

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2025

Електротехнічний факультет

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців,
молодих учених і аспірантів
14–18 квітня 2025 року

Електронне видання на DVD-ROM

Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2025

УДК 621:669:681:628:625:620:378.091.33

T39

*Рекомендовано до видання Вченою радою
Національного університету «Запорізька політехніка»
(Протокол № 12 від 27.06.2025 р.)*

Упорядник: *Тетяна ТАТАРЧУК*, канд. техн. наук, доцент

Редакційна колегія:

Вадим ШАЛОМЄСВ, д-р техн. наук, професор, (відпов. ред.)

Олексій КУЗЬКІН, д-р техн. наук, професор;

Василь ГЛУШКО, канд. техн. наук, доцент;

Євген ПАРАХНЄВИЧ, канд. техн. наук, доцент;

Микола АНТОНОВ, канд. техн. наук, доцент;

Віра САВЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент;

Наталія ФУРМАНОВА, канд. техн. наук, доцент;

Микола КАСЬЯН, канд. техн. наук, доцент;

Микола ДЄДКОВ, канд. іст. наук, доцент;

Олена ВАСИЛЬЄВА, д-р екон. наук, професор;

Світлана КОКАРСЬВА, канд. наук з фіз. вих. і спорту, доцент;

Юрій ФІЛЕЙ, канд. юр. наук, професор;

Таїсія ГАЙВОРОНСЬКА, канд. філос. наук, доцент;

Наталія ВІСОЦЬКА, в.о. начальника НДЧ;

Наталія САВЧУК, начальник редакційно-видавничого відділу;

Сніжана ВИЧУЖАНІНА, керівник відділу наукової роботи студентів;

Юлія ЧУШКІНА, провідний фахівець відділу наукової роботи студентів

Тетяна ТАТАРЧУК, відповідальна на факультеті

T39 Тиждень науки-2025. Електротехнічний факультет.

Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 14–18 квітня 2025 р. [Електронний ресурс] / Редкол. : Вадим ШАЛОМЄСВ (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 276 с. – 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Назва з тит. скрана.

ISBN 978-617-529-499-4

Зібрані тези доповідей, заслуханих на щорічній науково-практичній конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів. Збірка відображає широкий спектр тематики наукових досліджень, що проводяться на електротехнічному факультеті Національного університету «Запорізька політехніка». Збірка розрахована на широкий загал дослідників та науковців

УДК 621:669:681:628:625:620:378.091.33

ISBN 978-617-529-499-4

© Національний університет

«Запорізька політехніка»

(НУ «Запорізька політехніка»), 2025

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА»

<i>Shram Oleksandr, Kachan Yuriy</i>	
Construction of efficient solar power plants on the territory of industrial enterprises	12
<i>Liush Yuliia</i>	
Integration of energy recovery systems into renewable energy complexes for enhancing building energy efficiency in Ukraine.....	13
<i>Kulagin Dmytro, Maslov Igor</i>	
Technical operation of electrical apparatus and machinery of the ship's electric power system.....	15
<i>Fedosha Denys</i>	
JUPYTER NOTEBOOK: a tool for researching and designing power systems	16
<i>Шрам О.А., Качан Ю.Г.</i>	
Мінімізація коливань потужності вітроелектростанцій	18
<i>Махлін П.В.</i>	
Дослідження енергоефективності та надійності роботи системи електропостачання заводу хімічної промисловості	19
<i>Заболотный А.П.</i>	
Енергоефективність структури сільських електричних мереж з відновлюваними джерелами електричної енергії.....	21
<i>Шрам О.А., Свєргун А.В.</i>	
Якість електричної енергії в умовах зростання частки нелінійних навантажень	22
<i>Guerra Philip</i>	
Evaluating the Role of Hydrogen Backbone Infrastructure in Germany's Energy System.....	24
<i>Дьяченко В.В.</i>	
Щодо адекватності математичної моделі енергоефективності систем електропостачання	25
<i>Politaiev Dmytro, Bratkovska Kateryna, Shram Oleksandr</i>	
Industrial energy storage systems: optimizing cost and sustainability	27
<i>Kulagin Dmytro, Shram Oleksandr</i>	
Use of MICROGRID systems in the energy sector.....	30
<i>Kulagin Dmytro, Kulagina Nataliia, Horbenko Vitaliy</i>	
Modern Approaches to the Development of Power Networks and Systems.....	32
<i>Bratkovska Kateryna, Tomachenko Daria</i>	
Energy saving as a way of achieving energy independence	33
<i>Birkivska Kira, Liush Yuliia</i>	
Analysis of modern energy storage methods for renewable sources.....	34

<i>Oleksiienko Myhailo, Liush Yuliia</i>	
Innovative ideas in the use of solar collectors	36
<i>Мищенко В.Ю., Мищенко М.О.</i>	
Перспективи розвитку енергетичного комплексу на підприємстві з використанням біогазу	38
<i>Мищенко В.Ю., Ведмедко А.А., Ведмедко Д.А.</i>	
Щодо доцільності використання побутових електроприладів	39
<i>Kucher Daria, Liush Yuliia</i>	
The impact of renewable energy development on traditional energy systems	40
<i>Шрам О.А., Кононенко А.В.</i>	
Особливості використання відновлюваних джерел енергії в електричних мережах промислових підприємств	42
<i>Братковська К.О., Ліуш Ю.Б., Токарев Д.О.</i>	
Потенційні можливості сонячної енергії при переході на розподілену генерацію	44
<i>Братковська К.О., Афенко А.С.</i>	
Енергоаудит системи стисненого повітря	46
<i>Дьяченко В.В., Брабець О.С., Сіра В.А.</i>	
Сучасні технології монтажу провідників	48
<i>Махлін П.В., Щербіна О.О.</i>	
Дослідження аварійних режимів роботи на вузловій підстанції	50
<i>Дьяченко В.В., Двоніков В.О.</i>	
Переваги модернізації освітлення	51
<i>Щедрін І.І., Федоша Д.В.</i>	
Спеціалізована бібліотека PYTHON для моделювання електроенергетичних систем	53
<i>Дьяченко В.В., Менькова Л.А.</i>	
Перспективи розвитку відновлюваних джерел енергії	55
<i>Дьяченко В. В., Меньков Н. О.</i>	
Сучасні напрямки проведення електромонтажу та його національні й міжнародні стандарти	56

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

<i>Яримбаш Д.С.</i>	
Аналіз основних причин відмов силових трансформаторів та шляхи підвищення їх надійності	61
<i>Безверхня Ю.С.</i>	
Вдосконалення методики аналізу втрат енергії в тролейних шинопроводах з урахуванням нелінійних гармонічних спотворень	63
<i>Дівчук Т.С., Дьомічева Г.В.</i>	
Підходи до моделювання магнітного поля силових трансформаторів	64

Петрик О.А.

Підвищення ефективності роботи високотемпературних технологічних агрегатів при введенні в експлуатацію (повідомлення 2)..... 65

Лапкіна С.О.

Особливості розрахунку силового трансформатора з навитою магнітною системою 67

Тютюнник П.О., Яримбаш Д.С.

Особливості опису процесів теплопередачі в системі індукційного обігріву мундштука пресу..... 68

Synetskyi Andriy, Kotsur Igor

Research on electromagnetic processes in a high-voltage asynchronous electric drive..... 70

Тютюнник О.В., Яримбаш Д.С.

Моделювання теплових полів в електрокальцинаторі..... 71

Климов А.Ф., Яримбаш Д.С.

Автоматизована діагностика стану силових трансформаторів 72

Кучерявий А.В., Яримбаш Д.С.

Математична модель трансформатора для аналізу впливу постійного струму 73

Бабкін Д.О., Дівчук Т.Є.

Визначення температури гарячої точки трансформатора при різних навантаженнях 75

Шрам О.А., Петрик Б.В.

Технологія водяного стовпа, що коливається..... 76

Юров Є.О., Солодовнікова Т.П.

Енергетичні параметри індукторів мундштука пресу..... 78

Терещенко Я.Д., Якубін Р.О., Тиховод С.М.

Розрахунок індуктивності силового трансформатора..... 79

Олійник Д.Є., Котлярова О.О., Бондаренко В.В.

Визначення сонячних кутів для підвищення ефективності сонячних колекторів 80

Терещенко А.В., Круголь О.М., Бондаренко В.В.

Визначення оптимального розташування сонячних панелей..... 81

Лапкіна С.О., Кириленко С.М.

Аналіз основних втрат силового трансформатора під впливом різних частот вхідної напруги..... 82

Лапкіна С.О., Качур О.С., Діденко В.А.

Інтерполяція кривої намагнічування електротехнічної сталі мовою програмування PYTHON..... 84

Лапкіна С.О., Готра К.Ю., Карпенко Р.Д.

Основні аспекти вибору типу електричного генератора для вітроенергетичної установки 86

<i>Петрик О.А., Солопатич І.С.</i>	
Підвищення ефективності роботи високотемпературних технологічних агрегатів при введенні в експлуатацію (повідомлення 1).....	88
<i>Кузьменко А.А., Лисяк М.О.</i>	
Аналіз результатів розрахунку альтернативного використання мазуту і природного газу в котельній установці Б-25/15ГМ	90
<i>Лапкіна С.О., Лекомцев А.Ю., Бровко Д.О.</i>	
Використання просторових магнітних систем для трифазних силових трансформаторів.....	91
<i>Швець В.О.</i>	
Розвиток технологій відновлюваних джерел енергії: сонячна та вітрова енергетика	93
<i>Смоляренко Ю.І.</i>	
Відновлювана енергетика: сонячні, вітрові та гідроелектростанції	97
<i>Швець В.О.</i>	
Аналіз методів діагностики технічного стану силових трансформаторів	99
<i>Кривогузов М.М.</i>	
Математичне моделювання статичного компенсатора реактивної потужності для регулювання напруги в енергосистемах.....	103
<i>Гужняєв К.П., Момот Р.С.</i>	
Задачі магнітостатики в середовищі програмного забезпечення ELCUT	105
<i>Максименко А.А., Контев В.М.</i>	
Підвищення тепловіддачі як спосіб покращення надійності трансформаторів.....	107
<i>Череватенко С.В., Хлебніков П.І.</i>	
Діагностика міцності ізоляції силових трансформаторів	108
<i>Ганчев О.В., Липкань О.П.</i>	
Підхід до моделювання трансформаторів та реакторів	110
<i>Риженков Ю.М., Діденко В.А.</i>	
Про необхідність дослідження та діагностування стану трансформаторів ..	112
<i>Balabanov Ivan, Petryk Bohdan , Sincha Danylo</i>	
Application of comsol multiphysics software package for calculation of electrical machines.....	115
<i>Кручинін А. П., Бондар Д. В.</i>	
Роль альтернативних джерел енергії у подоланні екологічних викликів	116
<i>Лавринович М.М.</i>	
Вітряні електростанції в Україні: стан та перспективи на 2025 рік.....	118
<i>Коваленко Я.Ю.</i>	
Процесори майбутнього: огляд перспективних матеріалів для процесорів .	119
<i>Леваньков М.М.</i>	
Застосування мікроконтролерів у сучасних системах автоматизації	122

<i>Солнцев Д. С.</i>	
Мережі постійного струму	124
<i>Романов А.С., Сологуб С.І.</i>	
Трансформатори малої потужності. конструктивні особливості магнітопроводів	125
<i>Марусін Д. І.</i>	
Перспективи та виклики розвитку поновлювальної енергетики	127
<i>Кириленко С.М., Коціло Д.О.</i>	
Способи підвищення енергоефективності трансформаторів	129
<i>Шило О.М., Шило А.Ю., Андросюк С.А.</i>	
Вірогідність відмов силових трансформаторів.....	131
<i>Зубченко Т.В., Педенко В.К.</i>	
3D тепла модель трифазного шинопроводу низької напруги	132
<i>Ільченко В.Р., Лесбаєв Т.Ш.</i>	
Аналіз відмов силових масляних трансформаторів	134
<i>Бережецький С.О., Петренко О.О., Анісімов Д.А., Чумаков К.С.</i>	
Дослідження додаткових втрат потужності у розподільчих мережах з нелінійними та несиметричними навантаженнями	135
<i>Юров Д.О., Терещенко Д.А.</i>	
Застосування зигзаг-трансформаторів для зменшення струмів нейтралі.....	138
<i>Загайкевич М.В., Крітіна Д.С.</i>	
Перспективи застосування мови PYTHON для вирішення задач електротехніки.....	139

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ УСТАНОВОК»

<i>Зіновкін В.В., Рибальський Р.О., Тітаренко О.С., Рябчук О.С.</i>	
Оптимізація технологічного процесу виготовлення спеціалізованих анодних графітованих блоків типу 5В та 5Н	141
<i>Зіновкін В.В., Третьяков А.О., Величко Є.В.</i>	
Прогнозування техногенних викликів в теорії надійності	144
<i>Зіновкін В.В., Третьяков А.О., Расторгуєв Д.Б., Колесников А.С., Тітаренко О.С.</i>	
Фізико-математичні дослідження техногенного стану складних електромеханічних об'єктів	147
<i>Козлов В.В., Набокова О.В.</i>	
Що таке скін-ефект і де він застосовується на практиці.....	151
<i>Козлов В.В., Набокова О.В.</i>	
Ефект Пельтьє та його застосування	153
<i>Poliakov Mykhailo</i>	
Selection of research directions for inverters with SiC MOSFET.....	156

<i>Казурова А.Є., Скар К.П.</i>	
Використання малих безпілотних літальних апаратів для глибинного зондування та пошуку підземних об'єктів	157
<i>Казурова А.Є., Томін Д.С.</i>	
Методи енергозбереження при керуванні відцентровим компресором	159
<i>Назарова О.С., Русяк О.Г.</i>	
Системи моніторингу та діагностики електроприводів станів холодної прокатки	161
<i>Крисан Ю.О., Рябінін А.А.</i>	
Впровадження безредукторного приводу ліфтової лебідки	163
<i>Mashkovskiy Roman, KozlovVolodymyr</i>	
Overview of designs and technical solutions for implementing an electronic speed controller (ESC) For brushless direct current (BLDC) motors.....	165
<i>Барабан О.Д., Поляков М.О.</i>	
Вплив Теплової деградації на целюлозну ізоляцію силового трансформатора в пакеті програм FEMM.....	169
<i>Потапенко Є.Є., Осадчий В.В., Девочкін В.Ф., Микитюк Д.В.</i>	
Лабораторний стенд з вивчення проєктування систем автоматизації керування електричним двигуном: повний цикл проєктування та реалізації.....	171
<i>Козлов В.В., Хлебніков Д.Р.</i>	
Сучасні конденсаторні установки компенсації реактивної потужності.....	173
<i>Поляков М.О., Панченко В.В.</i>	
Порівняння графічних засобів формалізації поведінки систем керування ...	176
<i>Набокова О.В., Семененко Ю.В.</i>	
Електростатика	177
<i>Козлов В.В., Хлебніков П.І.</i>	
Робота асинхронного електродвигуна на двох фазах: причини, наслідки та заходи захисту	181
<i>Набокова О.В., Семененко Ю.В.</i>	
Що таке блискавка та як вона з'являється?	184
<i>Набокова О.В., Токарев Д.О.</i>	
Автономні інвертори.....	186
<i>Козлов В.В., Токарев Д.О.</i>	
Черепиця як джерело енергії.....	188
<i>Козлов В.В., Олексієнко М.М.</i>	
Альтернативні джерела енергії в період війни в Україні	191
<i>Козлов В.В., Олексієнко М.М.</i>	
Системи живлення: постійний та змінний струм	193
<i>Афанасьєва І.О., Місько А.С.</i>	
Використання штучного інтелекту в управлінні енергетичними мережами	195

<i>Афанасьєва І.О., Сєдов В.С.</i>	
Перспективи застосування штучного інтелекту в енергетичній індустрії України	196
<i>Кулинич Е.М., Осадчий В.В., Кулинич М.Е.</i>	
Розробка концепції програмно-технічного комплексу засобів автоматизації	198
<i>Афанасьєва І.О., Дзюба Д.В.</i>	
Гальванічне покриття.....	200
<i>Афанасьєва І.О., Насонов А.В.</i>	
Інноваційні підходи в електротехніці.....	201
<i>Романіченко Г.М., Насонов А.В.</i>	
Основні принципи забезпечення електробезпеки	203
<i>Романіченко Г.М., Осаулко Р.С.</i>	
Інженерні виклики космічної електроенергетики	204
<i>Афанасьєва І.О., Місько А.С.</i>	
Технології електромобілів та їхній вплив на енергосистему	206
<i>Романіченко Г.М., Осаулко Р.С.</i>	
Космічна електроенергетика	208
<i>Рябчук О.С., Романіченко Г.М.</i>	
Помилки та вплив штучного інтелекту під час пошуку інформації.....	210
<i>Романіченко Г.М., Рябчук О.С.</i>	
Проблеми розвитку штучного інтелекту.....	212
<i>Волков В.О., Плохой В.І.</i>	
Перспективи розвитку сонячної енергетики.....	214
<i>Волков В.О., Головаха В.В.</i>	
Перспективи розвитку електричного транспорту	215
<i>Залужний М.Ю., Підпригора К.О., Семіліт Д.Г.</i>	
ThingsBoard в навчальному процесі	216
<i>Більчич В.В., Крисан Ю.О.</i>	
Синтез каналу керування збудженням в двозонному електроприводі постійного струму	218
<i>Крисан Ю.О., Сергієнко І.В.</i>	
Перспективи розвитку малих сонячних фотоелектричних установок в Україні.....	220
<i>Крайник О.В., Крисан С.О., Васильєва Є.В.</i>	
Система індикації положення механізмів моталок	222
<i>Казурова А.Є., Чуйко А.Г.</i>	
Розробка автоматизованої системи керування для нагрівача лабораторної установки реверсивного зсуву	224
<i>Дєєв С.Г., Куделя К.В.</i>	
Значення електротехнічних систем у сучасних літальних апаратах	226

<i>Мелешко І.А., Івлєв Д.І., Оленець С.М., Бондар Н.С.</i>	
Використання PLC-контролерів нового покоління для підвищення ефективності автоматизованих систем керування	228
<i>Мелешко І.А., Гордієнко І.С., Вовк Є.А., Довбня Д.Ю.</i>	
Впровадження технологій Інтернету речей (IoT) у системи промислової автоматизації для віддаленого моніторингу та діагностики	229

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНІ І ЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ»

<i>Щусь В. М., Жорняк Л. Б.</i>	
Ефективність застосування напівпровідних покриттів для регулювання електричного поля у високовольтних ізоляційних конструкціях	231
<i>Бахметєв В.В., Жорняк Л.Б.</i>	
Перспектива використання автоматичних пунктів секціонування у розподільчих мережах України.....	233
<i>Lukash Dmytro</i>	
Features of Mathematical Modeling of AC Electromechanical Converters	235
<i>Hizenko Mykola</i>	
Features of Research on Electromagnetic Processes in Electromechanical Converters with a Common Shaft	236
<i>Афанасьєв О. І., Арсланов А.С., Барінов Д.Ю., Зарубін М.С.</i>	
Дослідження показників експлуатаційної надійності високовольтного електрообладнання з використанням ймовірнісного моделювання	238
<i>Жорняк Л. Б., Наріжний Р. І.</i>	
Підвищення надійності роботи пристрою рпн на етапі моделювання в середовищі MATLAB	239
<i>Жорняк Л. Б., Андрушишин М. В., Ждан В. В.</i>	
Математичне моделювання керування підмагнічуванням шунтуючого реактора.....	241
<i>Василевський В.В., Скруська Л.С., Каплієнко О.О., Шило С.І., Голубцова В.Р.</i>	
Особливості впровадження штучного інтелекту в системи неперервного контролю трансформаторного обладнання.....	243
<i>Антонова М.В., Налігацький А.О.</i>	
Трифазний некерований випрямляч	245
<i>Сахно О.А., Скруська Л.С., Шило С.І., Кривченко О.В.</i>	
Дослідження тиристорного перетворювача для збудження турбогенератора 2000 А, 350 В	247
<i>Антонова М.В., Скороход М.О.</i>	
Використання трансформатору струму для навантаження 2 кА	249
<i>Сахно О.А., Скруська Л.С., Каплієнко О.О., Михайленко А.О.</i>	
Система моніторингу відкритого розподільного пристрою та силового трансформатору ТРДЦН-80000/110	251

Шевченко М.О., Ануліч А.А., Немикіна О.В.

Оцінка заощадження електричної енергії в системі освітлення промислового приміщення 253

Биков Б. В., Шкреба В.І., Юртаєв Д.С.

Комплектні трансформаторні підстанції енергоємних виробництв з концентрованим навантаженням 255

СЕКЦІЯ «ФІЗИКА»

Лозовенко О.А.

Тренування навичок критичного мислення через розпізнавання помилок в комп'ютерних симуляціях 258

Борковських А.В., Луцин С.П.

Обґрунтування можливості заміни екрануючої мідної фольги в силових кабелях 10...40 кВ на алюміній-цирконієвий екран 259

Єршов А.В., Савонов Ю.М., Павлюк Є.О.

Складові теплового потоку при нагріванні та розпилюванні дроту – анода плазмотрона 260

Курбацький В.П., Малахов Є.К.

Вимірювання магнітного поля: парадокс індуктивно пов'язаних контурів . 262

Правда М.І., Сапронов І.І.

Використання числових методів при виконанні лабораторної роботи "Коливання обруча" 265

Пахар Д.П., Луцин С.П.

Застосування частотного перетворювача для керування роботою асинхронного двигуна..... 267

Ганчев Д.І., Луцин С.П.

Перспективи застосування двигунів постійного струму 269

Shalkov Andrii, Lushchin Sergiy

The significance of artificial intelligence in programming 271

Kovtun Hryhorii, Lushchin Sergiy

Static electricity: from fundamental principles to modern applications 273

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА»

UDC 621.311:620.92

Shram Oleksandr¹, Kachan Yuriy²

¹ PhD (Tech.), assistant professor NU “Zaporizhzhia Polytechnic”

² Doctor of Technical Science, professor of the NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

CONSTRUCTION OF EFFICIENT SOLAR POWER PLANTS ON THE TERRITORY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

The construction of solar power plants by industrial enterprises to improve energy efficiency is currently a highly relevant issue. Given the large number of buildings with solar panels on their roofs, they could generate additional electricity, reducing the consumption of electricity from the general grid. Finding out about such opportunities and determining the feasibility of this measure requires a number of steps.

First of all, it is necessary to determine the availability of locations for solar panels, estimate their number, energy capacity of each in terms of size and intensity of solar radiation. It is also necessary to find out what actual types of these panels can be used in such an application, their quantity and availability on the energy market. In addition, the configuration of the roof or the presence of shading effects limit the choice of the best orientation of the solar panels to maximise their exposure. In addition, additional climatic conditions, such as possible wind, rain and snow loads on the panels, will also need to be taken into account when choosing appropriate mounting systems and ensuring their durability.

Calculations for the placement of solar panels on allocated areas of industrial enterprises are complicated by the fact that they are different in size, and therefore the number of photovoltaic cells installed on each of them will be different. In addition, the panels also have different rated capacities and their dependence on solar radiation. This means that the algorithms for the necessary calculations when designing a particular SPP become more complex.

The purpose of study [1] is to develop a methodology and algorithm for determining the compatibility of all possible options for placing selected types of solar panels in the designated areas on the territory of industrial enterprises.

The criteria for the optimal location of solar panels can be the maximum amount of generation of a solar power plant, minimum fluctuations in its power during the day, the cost of generated electricity, etc. In order to solve such optimisation problems, it is proposed to first determine the set of all acceptable options for the location of selected types of solar panels at the allocated locations. Such a set can be represented as a branched graph, each branch of which is one of the possible options for the location of the panels. For this purpose, it is proposed

to use an algorithm based on a recursive function (Fig. 1), which is best suited for working with such structures. As a result of the proposed algorithm, a matrix of sets of panel types and their locations is formed. The proposed methodology and algorithm for determining the array of all possible combinations of solar panel locations can significantly simplify the process of implementing a SPP at an industrial enterprise and significantly increase its efficiency.

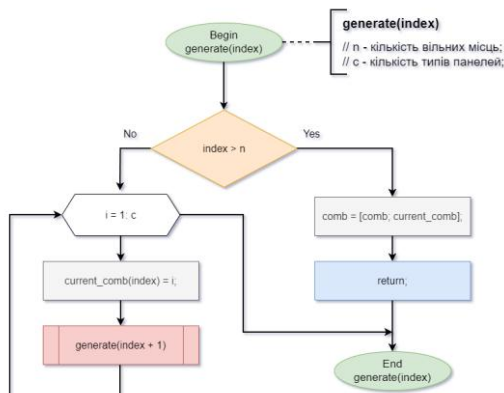


Figure 1 – Block diagram of the recursive function generate (index) [1].

REFERENCES

1. Kachan Y., Shram O. On the possibility of creating efficient solar power plants on the territory of industrial enterprises. *Vidnovluyana Energetika*. 2024. Vol. 1(76). С. 22-31. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1\(76\).22-31](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1(76).22-31).

УДК 620.91:621.311.243:697.9(477)

Liush Yuliia

PhD (Tech.), assistant professor NU “Zaporizhzhia Polytechnic”

INTEGRATION OF ENERGY RECOVERY SYSTEMS INTO RENEWABLE ENERGY COMPLEXES FOR ENHANCING BUILDING ENERGY EFFICIENCY IN UKRAINE

The increasing energy demand, high dependence on fossil fuels, and the urgent need for decarbonization require the implementation of innovative and sustainable energy solutions in buildings. In Ukraine, where energy efficiency remains a major challenge, integrating renewable energy sources (RES) with energy recovery systems (ERS) presents a promising approach to reduce energy losses and improve building performance. This study explores the technical

feasibility and potential benefits of combining photovoltaic (PV) systems, heat pumps, and heat recovery ventilation units within energy complexes designed for residential and public buildings.

Introduction

Buildings account for approximately 40% of total energy consumption in Ukraine, and much of this energy is lost due to outdated infrastructure, poor insulation, and inefficient HVAC systems. In recent years, renewable energy technologies—particularly solar PV and air-source heat pumps—have been actively introduced into building energy systems. However, to maximize the efficiency of these RES, additional strategies such as energy recovery must be employed. Energy recovery systems allow for the reuse of waste heat from exhaust air, greywater, or electronic equipment, reducing overall heating demand. This paper investigates how these systems can be integrated into RES complexes to support the energy transition in Ukraine.

Objectives and Research Tasks

The main objective is to evaluate the potential for improving energy efficiency in Ukrainian buildings through the integration of ERS into RES-based systems. The specific tasks include:

- Analyzing current ERS technologies applicable to buildings.

- Selecting optimal combinations of RES and ERS technologies for Ukrainian climate zones.

- Modeling energy consumption in buildings with and without ERS.

- Estimating the potential for energy savings and CO₂ reduction.

Methodology

A simulation model of a typical Ukrainian residential building (area 120 m²) was developed. The model includes a 5 kW solar PV system, an air-to-water heat pump, and a mechanical ventilation system with a cross-flow heat exchanger for heat recovery. The building was modeled in two scenarios: (1) RES only and (2) RES + ERS. Energy performance metrics, including heating demand, self-consumption ratio, and primary energy use, were analyzed using PV*SOL and RETScreen Expert.

Results and Discussion

Results show that integrating ERS into the RES complex significantly improves building performance. Key findings:

- Heating energy demand was reduced by 28% with the use of heat recovery ventilation.

- Indoor air temperature remained more stable in the RES + ERS scenario.

- Battery storage requirements were reduced by 12%, as more energy was reused internally.

- Total primary energy savings reached 47% compared to a baseline building without RES or ERS.

These improvements are particularly relevant in rural and suburban areas of Ukraine, where centralized heating is not available. Integrating ERS also contributes to decarbonization and energy independence, both critical goals for the national energy strategy.

Conclusions

The integration of energy recovery systems into renewable energy complexes is a technically viable and effective method to enhance the energy efficiency of buildings in Ukraine. The study confirms the potential for significant energy savings and increased system autonomy. Future work will focus on economic assessment and implementation of pilot projects across different climate zones.

UDC 621.43

Kulagin Dmytro¹, Maslov Igor²

¹ Doctor of Technical Science, professor of the NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

² PhD (Tech.), assistant professor of the Danube Institute of the National University “Odesa Maritime Academy”

TECHNICAL OPERATION OF ELECTRICAL APPARATUS AND MACHINERY OF THE SHIP'S ELECTRIC POWER SYSTEM

Shipboard integrated power systems ensure continuous and efficient power supply to all onboard electrical consumers. They include generators, distribution devices, automation and control systems, as well as emergency power sources. Proper operation of these systems is critically important for the safety and efficiency of the vessel.

Main Components of a Shipboard Power System:

Generator units – provide primary and backup power supply.

Distribution devices – include main and auxiliary switchboards responsible for power distribution.

Automation and monitoring systems – control the operation of generators and distribution equipment.

Emergency power supply – consists of emergency generators and battery backups for critical systems.

Regular maintenance and diagnostics help prevent emergencies and extend the service life of the equipment. The main maintenance measures include:

Inspection of insulation for cable systems and electrical equipment.

Monitoring of voltage and frequency parameters.

Checking the condition of generator brushes and contacts.

Testing automatic protection and stabilization systems.

Protection of Shipboard Power Systems Includes:

Use of automatic circuit breakers to prevent short circuits.

Implementation of an emergency shutdown system.

Integration of temperature and overload monitoring systems.

Shipboard power systems must operate under high humidity, vibrations, and fluctuating loads. To ensure reliability, the following measures are applied:

Special anti-corrosion coatings for electrical equipment.

Voltage stabilizers to compensate for load surges.

Vibration-isolated mounts for generators.

The technical operation of shipboard integrated power systems requires a comprehensive approach to diagnostics, maintenance, and safety assurance. Adhering to regulatory procedures and implementing modern automation technologies enhances the reliability of shipboard power systems, reduces repair costs, and ensures uninterrupted power supply onboard.

UDC 621.316.11

Fedosha Denys

PhD (Tech.), assistant professor NU “Zaporizhzhia Polytechnic”

JUPYTER NOTEBOOK: A TOOL FOR RESEARCHING AND DESIGNING POWER SYSTEMS

In the context of rapidly evolving demands for reliability, efficiency, and sustainability in power systems, researchers and engineers need an integrated tool for modeling, analysis, and data visualization. Such a tool should enable the resolution of tasks like distributing loads and voltages across electrical networks; analyzing power losses in lines; assessing system stability under various operating conditions; and simulating emergency situations to identify critical nodes in the system.

This tool can be Jupyter Notebook—an open and flexible environment that not only performs calculations but also documents the research process.

Jupyter Notebook has several features that make it an appealing instrument for researching and designing power systems.

Interactivity and Instant Feedback:

- it allows code to be executed by cells, enabling users to immediately observe the results of numerical computations.

- provides dynamic adjustment of model parameters, which is important for modeling transient processes and analyzing network stability.

Users can write and execute code in segments, experimenting with data and algorithms in real time. This approach facilitates the prompt testing of it and rapid feedback from the model.

Integration of Research in a single document:

- combining mathematical models with the implementation of computational code deepens the understanding of the decisions made;
- the use of LaTeX for formatting formulas and Markdown for structuring text makes the content easy to read and ideal for creating presentations;

Integration with Python Libraries, among the most important of these libraries is Pandapower – a specialized library for the analysis, modeling, and optimization of electrical networks. Pandapower enables the modeling of network components such as buses, lines, transformers, generators, loads, and power sources. All components are defined through a user-friendly API, allowing for flexible formation of the network topology. It performs calculations of voltage distribution, currents, active and reactive power throughout the network, and evaluates network performance under steady conditions. Pandapower is capable of executing short-circuit current calculations, applying optimization tools, power loss compute, and determining economically efficient operating modes by it.

Pandapower also provide visualization of the electrical network. Its `pandapower.plotting` subsystem can quickly display network schematics, simplifying the analysis of network design and simplified comparisons of various alternatives.

Furthermore, libraries such as NumPy, Pandas, and Matplotlib solve a broad range of additional tasks related to the research and design of power systems. These tasks include solving mathematical problems using numerical methods, processing statistical data and data from external sensors, and visualizing data.

Thus, the combination in Jupyter Notebook of the extensive capabilities of Pandapower, NumPy, Pandas, Matplotlib, and the Python programming language itself opens up vast opportunities for:

- laboratory work and research projects, interactive analysis, visualization, and scenario-based studies;
- collaborative research through the joint editing of Jupyter Notebook documents, data sharing among students, postgraduates, and engineers, with fully documented experiments that foster creative and interdisciplinary projects;
- enhanced professional training by mastering modern modeling tools for applied engineers, thereby developing skills for designing and maintaining high-tech power infrastructure;
- pursuing innovative solutions by applying machine learning and optimization algorithms;
- creating intelligent control systems that ensure the network operates stably in real time.

As a result, utilizing Jupyter Notebook for the research and design of power systems, with the incorporation of the Pandapower library – represents a powerful means for conducting both analytical and experimental studies, integrating theoretical formulations, programming code, and visual interpretations into one document.

УДК 621.311:620.92

Шрам О.А.¹, Качан Ю.Г.²

¹канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

²д-р. техн. наук., проф. НУ «Запорізька політехніка»

МІНІМІЗАЦІЯ КОЛИВАНЬ ПОТУЖНОСТІ ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В теперішній час відбувається складний процес інтеграції України в міжнародну економічну систему. Цей шлях супроводжується впровадженням загальносвітових та європейських стандартів у різні галузі народного господарства. Особливо важливо це для енергосистеми нашої країни, оскільки входження її до загальноєвропейської має стратегічну мету – підвищення енергетичної безпеки. У зв'язку з цим виникає низка глобальних проблем, таких як реконструкція наявних теплових енергоблоків і систем регулювання частоти й потужності; будівництво нових підстанцій і ліній електропередач, удосконалення існуючих енергоблоків гідро та атомних електростанцій.

Але одночасно з цим в Україні відбувається й збільшення кількості нових генеруючих потужностей, побудованих на відновлюваних джерелах енергії, що також створює певну проблему – залучення в існуючу енергосистему додаткових компенсуючих регулюючих потужностей й систем накопичення енергії, оскільки виробництво «зеленої» електроенергії має випадковий характер через залежність сонячної та вітрової генерації від кліматичних умов.

Загальновідомо, що багато великих підприємств, які споживають значну кількість електроенергії, мають у своєму розпорядженні земельні відчуження, непридатні для сільськогосподарського виробництва. Останні ж, за відповідних метеорологічних умов, можуть бути успішно використані для розташування на них вітроенергетичних установок у кількості, яка достатня для того, щоб розглядати їх як потужне додаткове джерело електроенергії підприємства.

Метою роботи є розробка методики вибору типів та кількості ВЕУ, що будуються в зонах відчуження промислових підприємств для мінімізації коливань згенерованої електростанцією потужності та підвищення ефективності її використання.

На рис. 1, як приклад зазначеного, показані залежності різних моделей ВЕУ близької номінальної потужності: горизонтально-осьових Euro Wind 5 та Low Wind 48B 5/7 й вертикально-осьової VAWT-5L-5K-AB.

Запропонований метод проектування вітроелектростанцій, що будуються в зонах відчуження підприємств дозволяє визначити необхідну кількість різнотипних ВЕУ з відмінними потужностями і номінальними

значеннями щодо швидкості вітру, які забезпечать необхідну згенеровану потужність з мінімальними її коливаннями [1].

Використання запропонованого методу проектування ВЕС дозволяє зменшити коливання згенерованої станцією потужності від 10 до 50%, а також збільшити обсяги генерації електричної енергії до 45% у порівнянні із застосуванням однотипних вітроелектроустановок.

Такий підхід дозволяє значно зменшити смність, необхідну для накопичення надлишку генерації й суттєво здешевити реалізацію ВЕС.

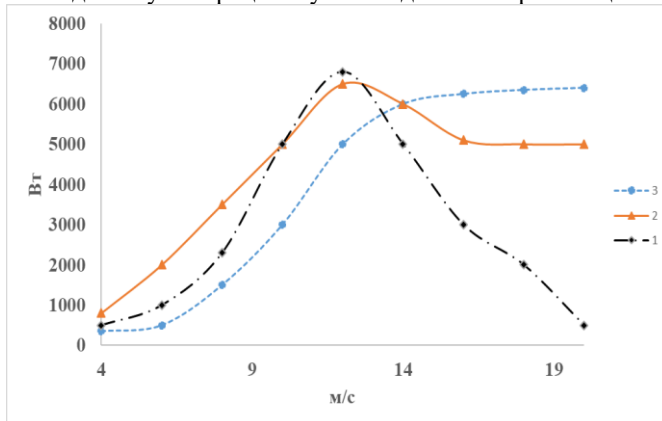


Рисунок 1 – . Залежності згенерованої вітроустановками потужності від швидкості вітру: 1. Euro Wind 5; 2. Low Wind 48B 5/7; 3. VAWT-5L-5K [1].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Yu. G. Kachan, V. V. Kuznetsov, O. A. Shram. Minimization of power fluctuations of wind power plants when constructed in exclusion zones of enterprises. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. № 1. P. 115 - 121. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-1/115>.

УДК 692.92

Махлін П.В.

канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАВОДУ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Підстанція (ПС) «Полімерна» від якої отримують живлення електроприймачі заводу хімічної промисловості може отримувати живлення

від вузлових підстанцій «ДД» та «Запорізька-330» та від гідроелектростанції ДГЕС-2 на напрузі 150кВ. Живлення підстанції «Полімерна» може здійснюватися по двом лініям: по відпайці від лінії зв'язку між ПС та тупиковою лінією від шин підстанції «Запорізька-330». Живлення від ДГЕС-2 здійснюється по двом лініям через шини підстанції «Запорізька-330».

Для вибору найбільш енергоефективного режиму роботи проведені наступні дослідження:

- робоча схема системи електропостачання при живленні підстанції «Полімерна» по двом лініям: по відпайці від лінії зв'язку між ПС та тупиковою лінією від шин підстанції «Запорізька-330»;

- ремонтна схема системи електропостачання – ЛЕП, що приєднана до шин ПС «Запорізька-330» відключена.

Дослідження проведені при різних режимах роботи ГЕС: генератори ГЕС відключені, ГЕС включена на 50% потужності генерації, ГЕС введена на повну потужність. Крім того, дослідження проведені при максимальному і мінімальному режимах електроспоживання.

Для дослідження енергоефективності у вибраних режимах проведені розрахунок потоків потужності електроенергії по різних лініям зв'язку та втрати потужності в елементах електромережі. Визначений режим роботи системи електропостачання, при якому втрати електроенергії найменші.

Для забезпечення надійності роботи системи електропостачання проведені дослідження в аварійних режимах роботи. У вибраних варіантах схеми електропостачання розраховані струми трифазних та однофазних коротких замикань (КЗ).

Як показали проведені дослідження рівень струмів КЗ дуже високий, причому рівень однофазних КЗ перевищив трифазні. Для зниження рівня трифазних та однофазних КЗ використовується ділильної автоматики, що діє на відключення секційних вимикачів на шинах 150 кВ вузлової підстанції і тим самим зменшується кількість джерел підживлення струмів КЗ

На основі проведених досліджень визначений найбільш ефективний режим роботи системи електропостачання заводу хімічної промисловості, а надійність її показана у заходах при дослідженні аварійних режимів роботи системи електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок: Глава 4.2. Розподільчі установки і підстанції напругою понад 1кВ / Мінпаливенерго України. К: НПЦР, 2017 – С. 473- 530.

2. Півняк Г.Г. Перехідні процеси в системах електропостачання / Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я.Рибалко, Л.І.Несен. –Дніпропетровськ Національна гірнича академія України. 2000.- 573с..

УДК 621.316.11

Заболотный А.П.

канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СТРУКТУРИ СІЛЬСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

У сучасних умовах зростання тарифів та цін на енергоносії агропромислові комплекси потребують нових джерел електричної енергії (ЕЕ). Це пов'язано з тим, що сільські електричні мережі (СЕМ), як відомо, відрізняються великою протяжністю, розгалуженістю при порівняно малій потужності, що передається, а також використанням низьких класів напруги. У зв'язку з цим найбільш широкое впровадження отримують відновлювані джерела ЕЕ (ВДЕ), такі як: вітро, геліо та малі гідроелектростанції. Це зумовлено доступністю первинного енергоносія (сонце, вітер, гідропотенціал малих річок), досить високим рівнем і доступністю технологій перетворення останнього в ЕЕ, а також наявними економічними передумовами для їх впровадження.

Однак, агропромислові комплекси при використанні електроустановок на основі ВДЕ стикаються з низкою проблем. Так, якщо питання оцінки потенціалу сонячної, вітрової енергії та енергії рік досить докладно вирішені, то при підключенні ВДЕ до існуючої мережі виникає завдання пошуку оптимальних місць їх підключення. Найчастіше такі джерела генерації підключаються до СЕМ неузгоджено, що призводить до складності управління та прогнозування режимів роботи мереж, зростання номінальної складової втрат ЕЕ.

Для оцінки ефективності СЕМ із забезпечення споживачів ЕЕ застосовується балансовий метод, причому необхідно врахувати величини генерованої ВДЕ ЕЕ та величини втрат на її передачу.

Оптимізаційна задача пошуку мінімуму такого вираження балансу має невизначеність, через непостійність приходу первинного енергоносія. Тобто величини ЕЕ генерованої ВДЕ та втрат, що обумовлені передачею ЕЕ генерованої ВДЕ, у вираженні балансу є недетерміновані.

Показано, що для пошуку оптимальних місць підключення ВДЕ до СЕМ необхідно здійснювати оцінку енергоефективності структури СЕМ, у процесі якої вирішується складне недетерміноване оптимізаційне завдання, яке потребує нових підходів до його вирішення.

УДК 621.311

Шрам О.А.¹, Свергун А.В.²¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»² асп. НУ «Запорізька політехніка»

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ЗРОСТАННЯ ЧАСТКИ НЕЛІНІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Якість електричної енергії у внутрішніх розподільчих мережах промислових споживачів визначається сукупністю параметрів, що регламентуються національними та міжнародними стандартами, зокрема ДСТУ EN 50160:2023, ДСТУ 13109-97 та ІЕС 61000 [1, 2, 4], які встановлюють допустимі значення напруги, частоти, симетрії фаз, гармонічних складових, тривалості провалів та перенапруг.

Порушення цих норм призводить не лише до зниження ефективності енергоспоживання, а й до збоїв у роботі технологічного обладнання, втрати точності керуючих сигналів, передчасного зносу силових вузлів і зростання витрат на технічне обслуговування мережі [5]. Найбільш поширеним джерелом погіршення показників якості є споживачі з імпульсним або перетворювальним навантаженням, зокрема частотно-регульовані приводи, інвертори, керовані випрямлячі та пристрої ШІМ, які продукують струми з високим рівнем гармонічних складових і інтергармонік [3, 5].

Наявність гармонік змінює форму напруги в точках загального приєднання, підвищує струми у нульових проводах, збільшує втрати енергії, спричиняє локальні перегріву трансформаторів, кабелів, компенсуючих установок. Особливо небезпечними є ситуації, коли частота однієї з гармонік збігається з резонансною частотою ланцюга, що призводить до небезпечного підсилення напруги або струму на певних ділянках мережі [6].

Стан якості електроенергії в таких умовах характеризується перевищенням допустимих значень коефіцієнта спотворення (THD), що знижує електромагнітну сумісність і підвищує вірогідність відмов систем релейного захисту, телемеханіки, контролю та автоматики [7]. Крім того, спотворення форми сигналу ускладнює функціонування систем синхронізації, порушує режим роботи пристроїв вимірювання, збільшує похибки обліку електроенергії, знижуючи загальну керованість енергосистеми [8].

Аналіз варіантів архітектури живлення на прикладі асинхронного електропривода з частотним регулюванням демонструє, що централізоване перетворення (загальний випрямляч і рознесені інвертори) дозволяє знизити рівень гармонік у мережі порівняно з варіантом індивідуальних ЧРП [3]. Це підтверджується результатами імітаційного моделювання, де зменшення

гармонічного навантаження дозволяє наблизити параметри до нормативних меж без додаткової фільтрації.

Якість електричної енергії у промислових умовах набуває не лише технічного, але й економічного значення, оскільки її порушення прямо впливає на стабільність технологічних процесів, витрати на енергоресурси, термін служби обладнання і загальну надійність виробництва. Тому системний підхід до моніторингу, оцінки та регулювання показників якості є невід'ємною складовою сучасної енергетичної політики на рівні підприємства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги в електричних мережах загального призначення. — [Офіційний переклад ІЕС 50160:2022].
2. ДСТУ 13109:2011. Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення.
3. Качан Ю.Г., Шрам А.В., Сверхун А.М. Можливості зменшення впливу ЧРП на якість електроенергії в мережах підприємств та вартості його використання // Електротехніка і електроенергетика. — 2022. — № 3. — С. 32–38.
4. ІЕС 61000-4-30:2015. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods. — Geneva: ІЕС, 2015.
5. Жук Д. О., Жук О. К., Козлов М. О. Дослідження впливу частотно-регульованих електроприводів у складі пропульсивних комплексів на якість електроенергії та електромагнітну сумісність в суднових електроенергетичних системах // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції, 26–27 вересня 2024 р. — Миколаїв : НУК ім. адмірала Макарова, 2024. — С. 482–487.
6. Bade T. G., Roudet J., Guichon J. M., Kuo-Peng P., Sartori C. A. Analysis of the resonance phenomenon in unmatched power cables with the resonance surface response // Electric Power Systems Research. — 2021. — Vol. 200. — Art. 107466.
7. Tin H., Abu-Siada A., Masoum M. S. Impact of harmonics on the performance of over-current relays // AUPEC 2011 Proceedings. — Brisbane, QLD, Australia, 2011. — С. 1–4.
8. Hossam-Eldin A. A., Hasan R. M. Study of the effect of harmonics on measurements of the energy meters // Eleventh Int. Middle East Power Systems Conf. — El-Minia, Egypt, 2006. — С. 547–550.

UDC 620.91: 330.567.4

Guerra Philip

Phd Student, Institute for Sustainable Energy Systems, Offenburg University of Applied Sciences

EVALUATING THE ROLE OF HYDROGEN BACKBONE INFRASTRUCTURE IN GERMANY'S ENERGY SYSTEM

Hydrogen is expected to play a key role in decarbonizing energy systems. The planning of hydrogen generation, transportation and storage infrastructure is thus a critical area of research [1]. In this study we compare the impact of the hydrogen backbone in Germany using the open source model MyPyPSA-Ger [2].

Methodology

We use MyPyPSA-Ger, a high-resolution capacity expansion energy system model. In this study, Germany is represented with 32 spatial clusters and hourly resolution (8760 hours/year). The model follows a myopic, cost-optimization approach from 2020 to 2050. We compare two configurations of the energy system: one including the hydrogen backbone, and one without it. Industrial hydrogen demand is included and can be met by electrolyzers using grid electricity.

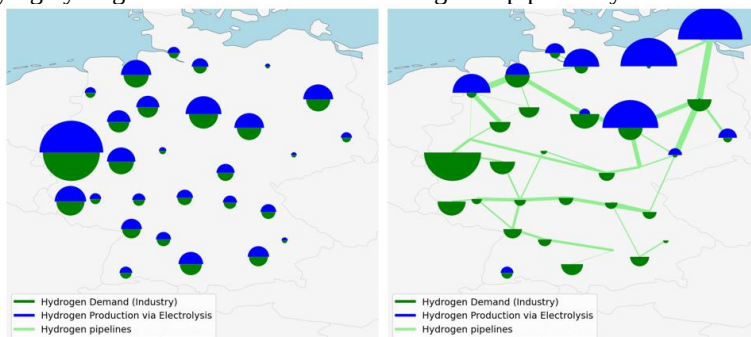
Key Results

Including the hydrogen backbone results in higher installed capacity of hydrogen-related infrastructure, such as electrolyzers, fuel cells, and hydrogen storage, as well as greater investment in OCGT, CCGT, and wind power. Despite the higher installed capacity, the system with the backbone results in lower total system costs, being approximately 15% cheaper in the final year of the simulation. Curtailment levels and overall technology usage remain similar in both configurations.

Figure 1 compares hydrogen production across clusters in 2050. While hydrogen demand remains similar, the system without the backbone leads to decentralized production across all clusters. In contrast, the model with the backbone concentrates hydrogen production in northern nodes, where wind resources are abundant and electricity is cheaper. This centralized approach enables cost-effective hydrogen transport via pipelines, avoiding the need for expensive local electrolyzer installations in suboptimal locations. It also reduces the need for additional AC transmission expansion, since hydrogen demand represents a substantial increase in electricity demand through electrolysis.

It is important to note that the model is myopic and operates on a yearly basis. For example, in 2028, when the hydrogen backbone is not yet fully developed, the model installs electrolyzers at all nodes with hydrogen demand to meet local needs. However, by 2035, when the backbone is nearly complete, the

model shifts its strategy and installs more electrolysis capacity in the north, supplying hydrogen to all demand nodes through the pipeline system.



a – Without hydrogen backbone; b – With hydrogen backbone

Figure 1 – Hydrogen production and demand in 2050.

Conclusions

The hydrogen backbone allows a more efficient energy distribution. While installed capacity increases, it is strategically deployed to reduce operational costs. This national-level study provides valuable insights about the benefits of the hydrogen backbone in Germany and also a basis for future regional analyses of hydrogen infrastructure in Germany.

REFERENCES

1. Neumann, F., et al. (2023). The potential role of a hydrogen network in Europe. *Joule*, 7(8), 1793-1817.
2. Abuzayed, A., & Hartmann, N. (2022). MyPyPSA-Ger: Introducing CO₂ taxes on a multi-regional myopic roadmap of the German electricity system towards achieving the 1.5° C target by 2050. *Applied Energy*, 310, 118576.

УДК 621.311

Дьяченко В.В.

канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

ЩОДО АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Як відомо, для застосування обчислювальних методів дослідження будь-яких процесів та систем потрібна наявність їх математичних моделей. Останні будуються з урахуванням задачі дослідження, а саме: прогнозованих параметрів та впливу на них факторів. Основна вимога, що висувається до математичних моделей, це їх адекватність реальним процесам, яка

оцінюється сумісністю отриманих рішень з результатами експериментів на реальному об'єкті.

Планування та ефективний вплив на величину втрат електричної енергії при її передачі по системі електропостачання конкретного промислового підприємства вимагає насамперед визначення цих втрат, для чого й пропонується математична модель системи електропостачання, де параметрами дослідження є сумарні втрати електроенергії (модель енергоефективності системи) на всіх її ділянках та рівнях за певний проміжок часу (наприклад, рік).

Узагальнена схема розрахунку зазначених втрат електроенергії передбачає: підготовку вихідних даних у вигляді параметрів системи (для обчислення опору всіх елементів) та параметрів режиму (значення електричних навантажень за активною та реактивною потужностями, а також напруги) в одній із точок елемента. Математичною основою обчислення втрат у передавальних та перетворюючих елементах системи електропостачання є відомі залежності, що дозволяють проводити зазначені розрахунки за наявною вихідною інформацією про режими електроспоживання.

На прикладі конкретної системи електропостачання (її параметрів та режиму електроспоживання) було перевірено адекватність запропонованої математичної моделі енергоефективності системи для її подальшого використання як елемента енергоменеджменту.

Адекватність розробленої моделі енергоефективності перевірялася на прикладі фрагмента внутрішньозаводської електричної мережі 6 кВ від джерела живлення М7 ВАТ «Дніпроспецсталь». Джерелом живлення цієї мережі є дві секції ЗРУ-6 кВ ГЗП із двома трансформаторами типу ТРДН-63000/150, що забезпечують електричною енергією групу підстанцій для конкретного технологічного процесу (ПС211, ПС221, ПС60, ПС61, ПС63, ПС214, ПС5; схема мережі – радіальна, виконана кабельними лініями типу ААШв та АСГТ (перерізи жил складають від 70 до 240 мм², кількість ниток – від 1 до 6 штук, довжини – від 25 до 1260 м); на початку відхідних кабельних ліній у ЗРУ-6 кВ ГЗП встановлено реактори типу РБА-1600-0,25; є дві компенсуючі установки потужністю 4500 кВАр, кожна з яких підключена до секцій ЗРУ-6кВ.

За допомогою системи автоматичного обліку електроенергії отримані та визначені параметри електроспоживання на вводах її двох секцій (W_1 , кВт·год), а також сумарне електроспоживання на підстанціях, підключених до ЗРУ-6кВ (W_2 , кВт·год). Зазначені дані щодо споживання активної електроенергії фіксувалися щомісячно протягом року за наступні інтервали часу: пік, напівпік та ніч. При цьому реальні втрати активної електроенергії в елементах мережі живлення 6 кВ (кабельні лінії та реактори) для кожного зазначеного інтервалу часу визначалися за формулою:

$$\Delta W_p = W1 - W2.$$

Прогнозовані втрати активної електроенергії ΔW_n з використанням розробленої математичної моделі в елементах досліджуваних електричній мережі 6 кВ обчислювалися на підставі даних щодо споживання активної та реактивної електроенергії відхідних ліній за вказаний інтервал часу і напруги на шинах ЗРУ-6кВ ГЗП М-7, рівного 6,3 кВ, а також параметрів діючої вказаної електричної мережі 6 кВ. У результаті розрахунків середньоквадратична відносна помилка прогнозу склала $\delta_{\Delta W} = 2,95 \%$.

Така величина свідчить про адекватність математичної моделі енергоефективності системи електропостачання. Запропонована модель може бути використана для планування та ефективного впливу на величину втрат електричної енергії при її передачі системою електропостачання.

UDC 620.9

Politaiev Dmytro¹, Bratkovska Kateryna², Shram Oleksandr³

¹ graduate NU "Zaporizhzhia Polytechnic"

² PhD (Econ.), assistant professor NU "Zaporizhzhia Polytechnic"

³ PhD (Tech.), assistant professor NU "Zaporizhzhia Polytechnic"

INDUSTRIAL ENERGY STORAGE SYSTEMS: OPTIMIZING COST AND SUSTAINABILITY

Energy Storage Systems (ESS) are increasingly recognized as a vital solution for industrial enterprises grappling with volatile energy markets and a growing need for sustainable practices. By storing excess energy during off-peak hours for later use during peak demand, ESS helps to lower energy costs and improve the reliability of power supply. Significant progress in battery technology and sophisticated energy management software has made these systems more efficient and cost-effective, establishing ESS as a fundamental element of modern industrial strategies.

The day-ahead market's electricity cost, being a product of supply, demand, and stock exchange trading, exhibits significant intraday variations. To achieve the greatest economic advantage from employing energy storage systems at an industrial facility, it is recommended to charge them during periods of inexpensive electricity and discharge them when the power grid experiences peak load and electricity prices are consequently high. Pinpointing these optimal charging and discharging times—specifically, the hours of minimum and maximum daily electricity cost—necessitates differentiating the electricity's price function and locating the moments where its derivative is zero.

Therefore, pinpointing the lowest and highest electricity prices only requires analyzing the rate of change of the day-ahead market's cost function. For reliable differentiation, a significant amount of past electricity price data needs to be examined to recognize repeating patterns. Statistical tools, like moving averages and regression analysis, can be used to smooth out variations and improve forecasting. Increasingly, machine learning algorithms, especially neural networks, are being used to predict electricity price trends and optimize when Energy Storage Systems (ESS) should charge and discharge. Furthermore, time-series analysis allows for a more accurate identification of peak and off-peak price intervals.

Combining real-time market data with ESS management systems enables flexible decision-making, leading to even greater cost efficiency. Sensitivity analysis is also vital for evaluating how external influences, like weather and regulatory shifts, affect electricity price patterns. In industrial settings, optimization models, such as linear and dynamic programming, help fine-tune ESS operating strategies based on up-to-the-minute electricity tariffs. Incorporating demand response capabilities further increases the financial advantages of using ESS. Practical testing using real-world industrial examples is essential to confirm the accuracy of theoretical models and ensure they can be realistically implemented. Lastly, creating hybrid ESS structures that combine battery storage with other energy sources can further optimize energy use and reduce costs.

A real-world study at an industrial site showcased significant gains in energy cost reduction and improved load management through optimized Energy Storage System (ESS) operation. Effective peak shaving, enabled by the ESS, lowered maximum demand charges and boosted the facility's overall energy efficiency. [4] These results corroborate earlier research suggesting that strategically implementing ESS can yield substantial economic advantages for industrial users. Further analysis showed that ESS deployment not only decreased electricity expenses but also enhanced grid stability by smoothing out demand variations. The findings indicated a quantifiable reduction in total energy purchasing costs due to charging during off-peak times and discharging during peak demand. Moreover, integrating ESS with real-time electricity price forecasts allowed for dynamic adjustments, maximizing financial returns.

Sensitivity analysis highlighted the direct impact of fluctuating electricity tariffs on the economic viability of ESS, underscoring the importance of adaptable control strategies. Comparisons with non-optimized ESS operations revealed that strategic scheduling could increase savings by as much as 20%. Furthermore, lower transmission and distribution costs resulted from reduced peak demand, further improving cost efficiency. The study also found that ESS usage lessened the impact of power outages, improving operational reliability in industrial processes. Environmental advantages were also noted, with a decreased dependence on fossil fuel power generation during peak hours. These findings support the wider adoption of ESS in industrial applications as a practical approach

to cost reduction and energy optimization. Future studies should investigate the long-term performance of ESS under different market conditions to further refine operational strategies.

By integrating advanced optimization techniques with comprehensive energy management strategies, businesses can achieve substantial cost reductions and contribute to a more sustainable energy future. Moreover, strategic ESS (Energy Storage System) utilization enhances grid stability and reduces peak demand, leading to lower operational costs. Studies highlight the importance of real-time electricity price forecasting in maximizing financial benefits and optimizing energy consumption. Additionally, they confirmed that integrating ESS with demand response mechanisms improves overall energy efficiency and resilience in industrial settings.

The reduction in electricity procurement costs, combined with minimized transmission and distribution fees, underscores the economic feasibility of ESS deployment. Furthermore, environmental benefits, such as decreased reliance on fossil fuel-based energy during peak hours, support the broader adoption of ESS as a sustainable solution. Sensitivity analysis revealed that adapting ESS operation to market fluctuations is essential for long-term profitability and efficiency. Future research should focus on refining predictive algorithms and exploring hybrid ESS solutions to enhance system performance. Implementing machine learning techniques could further improve energy scheduling and cost-effectiveness. Overall, this study reinforces the potential of ESS to transform industrial energy management by reducing costs, improving reliability, and supporting sustainability initiatives.

REFERENCES

1. Amir M. et al. Energy storage technologies: An integrated survey of developments, global economical/environmental effects, optimal scheduling model, and sustainable adaption policies //Journal of Energy Storage. – 2023. – T. 72. – C. 108694.
2. Arsad A. Z. et al. Hydrogen energy storage integrated hybrid renewable energy systems: A review analysis for future research directions //International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – T. 47. – №. 39. – C. 17285-17312.
3. Buriak, S., Gololobova, O., Havryliuk, V., Serdiuk, T., Voznyak, O., & Manachyn, I. (2023). Determining the optimal mode for using a lithium-ion battery. *Energy-optimal technologies, logistics and safety on transport*, 42–44.
4. Li, L., Starosta, A. S., Schwarz, B., Munzke, N., Hiller, M., Strehle, H.-M., & Richter, M. (2023). Optimal Design of Energy Storage System for Peak-Shaving in Industrial Production. NEIS 2023, Conference on Sustainable Energy Supply and Energy Storage Systems.

UDC 621.311

Kulagin Dmytro¹, Shram Oleksandr²

¹ Doctor of Technical Science, professor NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

² student of group E-112 NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

USE OF MICROGRID SYSTEMS IN THE ENERGY SECTOR

As the world transitions towards more sustainable and resilient energy systems, microgrids have emerged as a crucial component of modern electrical infrastructure. A microgrid is a localized energy system that can operate independently or in conjunction with the main power grid. The growing interest in microgrids is driven by their ability to enhance energy reliability, support renewable energy integration, and improve grid resilience. This paper explores why microgrids are gaining popularity, the scientific advancements in the field, and their role in the future of energy systems.

A microgrid is a local intelligent power grid. It is a combination of electricity generation systems from renewable energies such as solar and wind power or combined heat and power plants as well as energy storage systems to form a local grid. All components are connected to local consumers via a bidirectional cable and communication network and software. Microgrids can operate autonomously and therefore independently of the Smart Grid (off-grid) and maintain a decentralised and local power supply. Or they can be integrated into a smart grid as a single unit [1].

Depending on the fluctuating availability of electricity from renewable energy sources, they use intelligent control software to ensure security of supply and resilience. The software is programmed in such a way that it can switch off large consumers when power availability is low or send them a signal when they are allowed to connect to the grid. Important basic functions at this local level, such as lighting, water supply and telecommunications, are prioritised.

Microgrids' ability to function independently and cut off from the main grid in the event of an outage is its greatest resilience advantage. As a result, during an outage, facilities that are powered by and connected to the microgrid can continue to serve a community. The social and financial consequences of disruptive events can be lessened by the capacity to continue supplying vital loads, such as grocery stores or medical institutions [2].

Beyond the advantages of energy resilience, microgrids might potentially be able to offer the following other advantages, depending on their constituent parts. Microgrids that employ renewable energy sources can improve the environment by lowering air pollution and greenhouse gas emissions.

However, microgrids are just one way to improve the energy resilience of an electric grid and they do have some potential disadvantages [3]: depending on the complexity, microgrids can have high upfront capital costs; microgrids are

complex systems that require specialized skills to operate and maintain; microgrids include controls and communication systems that contain cybersecurity risks.

Researchers and engineers are continuously working to enhance microgrid technology in several key areas:

- advanced control systems: scientists are developing AI-driven and machine learning-based algorithms to optimize energy distribution and storage within microgrids;
- energy storage solutions: new battery technologies, such as lithium-ion and solid-state batteries, are improving energy storage capabilities, making microgrids more reliable;
- Smart Grid integration: the incorporation of smart meters and IoT devices enables real-time monitoring and management of microgrid performance;
- peer-to-peer energy trading: blockchain technology is being explored to facilitate decentralized energy transactions within microgrids, allowing consumers to buy and sell electricity efficiently.

Despite their numerous benefits, microgrids face challenges such as high initial costs, regulatory barriers, and technical complexities in grid integration [4]. However, with continued research and policy support, microgrids are expected to become more widespread. Future developments in energy storage, artificial intelligence, and decentralized finance could further enhance their efficiency and accessibility.

REFERENCES

1. Shafiullah, M.; Refat, A.M.; Haque, M.E.; Chowdhury, D.M.H.; Hossain, M.S.; Alharbi, A.G.; Alam, M.S.; Ali, A.; Hossain, S. Review of Recent Developments in Microgrid Energy Management Strategies. *Sustainability* 2022, 14, 14794. <https://doi.org/10.3390/su142214794>
2. Moslem Uddin, Huadong Mo, Daoyi Dong, Sondoss Elsawah, Jianguo Zhu, Josep M. Guerrero, Microgrids: A review, outstanding issues and future trends, *Energy Strategy Reviews*, Volume 49, 2023, 101127, ISSN 2211-467X. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101127>.
3. Punyam Rajendran Sai Sasidhar, Alemayehu Gebremedhin, Ian Norheim, Multi-energy microgrid design and the role of coupling components—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 216, 2025, 115540, ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115540>.
4. Tekai Eddine Khalil Zidane, Zarina Ab Muis, Wai Shin Ho, Younes Zahraoui, Ali Saleh Aziz, Chun-Lien Su, Saad Mekhilef, Pietro Elia Campana, Power systems and microgrids resilience enhancement strategies: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 207, 2025, 114953, ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114953>.

UDC 621.3

Kulagin Dmytro¹, Kulagina Nataliia², Horbenko Vitaliy³

¹ Doctor of Technical Science, professor NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

² engineer at “Iskra” innovation complex utility enterprise

³ student of group E-114m NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

MODERN APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF POWER NETWORKS AND SYSTEMS

Modern energy systems are undergoing a significant transformation due to the development of technologies, decentralization of energy supply, integration of renewable energy sources, and increasing demands for the reliability and flexibility of power grids.

Trends in the development of power networks:

- Digitalization of networks: the use of smart meters, control systems (SCADA), sensors, and IoT technologies;
- Decentralization: the transition from centralized generation to microgrids and local energy sources;
- Integration of RES (renewable energy sources): solar, wind, and bioenergy installations require grid adaptation to unstable generation;
- Energy storage: the use of battery systems to balance the load;
- Flexible demand-side management (DSM).

Smart Grid

Smart Grid is an "intelligent network" that includes:

- two-way communication between consumers and suppliers;
- integration of distributed energy sources;
- increased efficiency, reliability, security, and resilience.

Microgrids

Microgrids are local energy systems that can operate autonomously or as part of a general network. They enhance energy security, especially in critical infrastructure.

The role of artificial intelligence and big data:

- demand and generation forecasting;
- optimization of load and network management;
- real-time detection of faults and malfunctions.

With the advancement of digitalization, the probability of cyberattacks increases, making data protection, secure information transmission, and system backup crucial.

Challenges and prospects:

- modernization of outdated infrastructure;
- integration of new technologies with minimal costs;
- increased resilience to climate change and emergency situations.

Modern power networks are complex and dynamic systems that require innovation, flexibility, and high reliability. The transition to Smart Grid and the development of microgrids are key steps toward the energy systems of the future.

UDC 629.92

Bratkovska Kateryna¹, Tomachenko Daria²

¹ PhD (Econ.), assistant professor NU "Zaporizhzhia Polytechnic"

² student of group E-511 NU "Zaporizhzhia Polytechnic"

ENERGY SAVING AS A WAY OF ACHIEVING ENERGY INDEPENDENCE

The growth of economic indicators of the world economy leads to a gradual increase in the consumption of energy resources. Energy consumption by 2035 will increase by almost a third - from 13.1 billion tons of oil equivalent in 2015 to 17.3 billion tons in 2035. At the same time, in Ukraine, total energy consumption will increase by 7% - from 90 to 96 million tons of oil equivalent, experts predict.

The current electricity tariff for the population of 4.32 UAH/kWh does not cover its full cost, so the difference is compensated by state-owned enterprises such as Energoatom and Ukrhydroenergo.

Energy conservation is an activity aimed at the rational use and economic consumption of primary and conversion energy and natural energy resources in the national economy, carried out using technical, economic and legal methods.

In Ukraine, the first law on "energy conservation" appeared in 1994 after gaining independence. Rising electricity prices at the tap force users of certain services to look for alternatives to what they are used to. This leads to a greater demand for energy-saving solutions, such as LED lighting, building insulation, "Smart House" technologies, solar panels, and so on. The tariff and price of electricity are an incentive to save energy. Users are starting to save, but are looking for smart ways. Society is looking for other equipment or materials to save their own money profitably. When the price of thermal energy in the country increases, people start to insulate the premises in order to consume less thermal energy and pay less.

The economic prerequisites for building new coal and gas-fired capacities are disappearing, as high-capacity batteries take over the main function of these capacities - to generate the maximum amount of electricity during peak load.

Energy efficiency is the prudent, careful use of our planet's energy resources. An increasing number of users are also choosing energy-saving household appliances for their homes. The gradation of consumer properties of the product consists of 10 stages and shows both the most economical options (from A to A+++) and the most expensive (G). Optimized electricity consumption and

information about the energy consumption class are one of the most important ways to avoid waste. . It is the low tariff in Ukraine from 23:00 to 7:00 at night that allows users to increase demand for consumption during these hours through low prices. More and more households, small and medium-sized businesses are getting out of this situation by installing solar panels, wind turbines, they provide renewable energy to power electrical appliances and heat buildings. Battery energy storage systems help accumulate electricity, making consumers less dependent on the central energy grid. Also, consumers of private homes and small businesses began purchasing generators at the beginning of 2022 to meet their own needs and function during blackouts.

УДК 620.9:621.311

Birkivska Kira¹, Liush Yuliia²

¹ student of group E-513 NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

² PhD (Tech.), assistant professor NU “Zaporizhzhia Polytechnic”

ANALYSIS OF MODERN ENERGY STORAGE METHODS FOR RENEWABLE SOURCES

The increasing global focus on renewable energy sources (RES), such as solar, wind, and hydroelectric power, has led to a growing need for efficient energy storage solutions. These renewable sources are intermittent, meaning their energy production is not constant, making energy storage crucial for grid stability and energy reliability. This article provides a brief overview of the current energy storage technologies used for renewable energy applications.

1. Batteries. Batteries are the most common and well-known method of energy storage. Among the most widely used are lithium-ion batteries, which offer high energy density, long lifespan, and relatively fast response times. These batteries are typically used in both residential and industrial applications, providing storage for excess energy generated during periods of high production. However, the high cost of lithium-ion batteries and environmental concerns regarding their disposal remain challenges to their widespread use.

Other battery technologies include sodium-ion, flow batteries, and solid-state batteries, which are being researched for their potential to provide lower-cost, more sustainable energy storage options. For instance, flow batteries are suitable for large-scale storage due to their ability to store large amounts of energy for extended periods, although their energy density is lower than that of lithium-ion batteries.

2. Pumped Hydro Storage (PHS). Pumped hydro storage is one of the oldest and most established methods of large-scale energy storage. It works by pumping water from a lower reservoir to an upper one during periods of low energy demand

and then releasing the water through turbines to generate electricity when demand is high. While this method offers high energy storage capacity and long discharge durations, its geographical limitations and environmental impact make it unsuitable for all locations.

3. **Compressed Air Energy Storage (CAES).** Compressed Air Energy Storage (CAES) involves storing compressed air in underground caverns or other sealed containers. When electricity is needed, the compressed air is released, heated, and expanded to generate power through turbines. CAES can be implemented at a larger scale than batteries and has the potential for high efficiency and cost-effectiveness. However, the technology is still limited by the availability of suitable sites for underground storage and the energy losses in the compression and expansion processes.

4. **Thermal Energy Storage (TES).** Thermal energy storage involves storing energy in the form of heat, which can later be converted to electricity or used directly for heating. Molten salt is a commonly used material for storing heat in concentrated solar power (CSP) plants. The salt is heated by the solar energy collected, and the stored heat is later used to generate steam for electricity production. Thermal storage is particularly useful in solar power applications where energy generation is often needed during periods without sunlight.

5. **Hydrogen Storage** Hydrogen storage is an emerging technology in the renewable energy field. Surplus renewable energy can be used to produce hydrogen through electrolysis, splitting water into hydrogen and oxygen. The hydrogen can be stored and later converted back to electricity in fuel cells or used directly as fuel in various industries. This technology offers high energy density and long-term storage capacity, though it is still in the early stages of development, with challenges regarding storage, transportation, and overall efficiency.

6. **Flywheel Energy Storage.** Flywheel energy storage systems use a rotating mass (flywheel) to store mechanical energy. The flywheel is accelerated to a high speed using electricity, and the energy is stored in its rotational motion. When energy is needed, the flywheel's rotational speed is decreased, converting mechanical energy back into electricity. Flywheels offer fast response times and high cycle efficiency, making them ideal for short-term energy storage and stabilizing grid frequency. However, they are limited by their energy storage capacity and duration.

Conclusion. The need for efficient energy storage solutions is critical as the world transitions to renewable energy sources. While technologies like batteries and pumped hydro are already in use, emerging technologies such as hydrogen storage, flywheels, and thermal storage hold promise for the future. Each storage method has its strengths and limitations, and their widespread adoption will depend on continued research, technological advancements, and the integration of storage systems into modern energy grids. The future of energy storage will play a key role

in enabling the full potential of renewable energy, ensuring reliability and sustainability in the global energy landscape.

UDC; 621.47:620.9.004.18

Oleksiienko Myhailo¹, Liush Yuliia²

¹ student of group E-513 NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

² PhD (Tech.), assistant professor NU “Zaporizhzhia Polytechnic”

INNOVATIVE IDEAS IN THE USE OF SOLAR COLLECTORS

Modern technologies in alternative energy are developing rapidly, and one of the key elements of this process is thermal collectors. They efficiently store solar energy for heating water, warming buildings, and other needs. Thanks to innovative materials, automated control systems, and integration with other energy solutions, their efficiency and environmental benefits have significantly increased. One of the most important areas of improvement is reducing heat loss and optimizing design. The use of reflective concentrators and vacuum tubes increases efficiency, allowing effective use of even diffused sunlight.

Table 1 – Of changes in solar collector efficiency with the advent of new technologies

Year	Collector Type	Technology	Efficiency (%)
2000	Flat Plate Collector	No Selective Coating	~40%
2005	Flat Plate Collector	Selective Coating	~55%
2010	Vacuum Tube Collector	Basic Model	~60%
2015	Vacuum with Heat Pipe	Enhanced Insulation	~70%
2020	Vacuum + CPC Reflectors	Concentrated Energy	~75%
2023	Hybrid PVT Collector	Combined (Heat + Electricity)	~80%
2025	Nanocoating, Tracking	Intelligent Control Systems	~85%

Modern collectors are made with nanomaterials that provide better insulation and high resistance to external conditions. Selective coatings help absorb

maximum energy while reducing heat loss. The use of polymer components lowers weight and production costs without reducing efficiency. Another important aspect is combining thermal collectors with modern energy technologies such as heat pumps, energy storage systems, and smart grids. This allows heat to be stored in special tanks and used during peak demand. Integration with hybrid systems that include solar panels helps make the most of renewable energy sources.

The introduction of Internet of Things (IoT) technologies and artificial intelligence (AI) significantly improves the performance of thermal collectors. Sensors that measure temperature, humidity, and sunlight levels allow systems to automatically adjust, reducing energy waste and increasing productivity. Remote monitoring and control through mobile applications enable users to track energy consumption in real time. Innovations also contribute to environmental safety. The use of eco-friendly materials and technologies helps reduce CO₂ emissions. At the same time, recycling programs for old collectors help reduce waste and reuse valuable materials.

The modernization of thermal collectors focuses on improving efficiency, minimizing energy loss, integrating with other technologies, and automating operations.

The use of advanced materials, digital solutions, and environmentally friendly approaches makes them an important part of renewable energy development.

Thanks to these advancements, they continue to improve, supporting sustainable growth and reducing dependence on traditional energy sources.

REFERENCES

1. Мельник В. В. (2020). Альтернативні джерела енергії: Технології та перспективи розвитку. Київ: Наукова думка.
2. Гринчук В. М. (2019). Теплоколектори та їх роль у розвитку альтернативної енергетики. Журнал відновлюваної енергії, 5, 45-52.
3. Петренко О. М. (2018). Сучасні тенденції використання сонячної енергії в Україні. Харків: ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім.
4. Литвин І. В. (2017). Технології збору та використання сонячної енергії. Енергетика та енергозбереження, 4(3), 13-18.
5. International Energy Agency. 'Solar heating and cooling.' Available at: www.iea.org
6. Renewable Energy World. 'Advances in Solar Thermal Technologies.' Available at: www.renewableenergyworld.com
7. US Department of Energy. 'The Future of Solar Energy.' Available at: www.energy.gov

УДК 621.311

Міщенко В.Ю.¹, Міщенко М.О.²¹ канд. техн. наук, старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»² студ. гр. Е-514м НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ НА ПІДПРИЄМСТВІ З ВИКОРИСТАННЯМ БІОГАЗУ

Україна як одна з найбільших аграрних країн Європи має великий потенціал генерації біогазу з відходів сільгоспвиробництва та енергетичних культур. Річний потенціал біогазу в Україні становить близько 8 млрд м³. Це дозволить замінити половину імпорту природного газу завдяки власному виробництву.

Найбільше біометану можна виготовляти з відходів та побічної продукції АПК (3,8 млрд м³), із силосу кукурудзи (2,7 млрд м³), з інших відходів тваринництва та переробної промисловості (1,3 млрд м³).

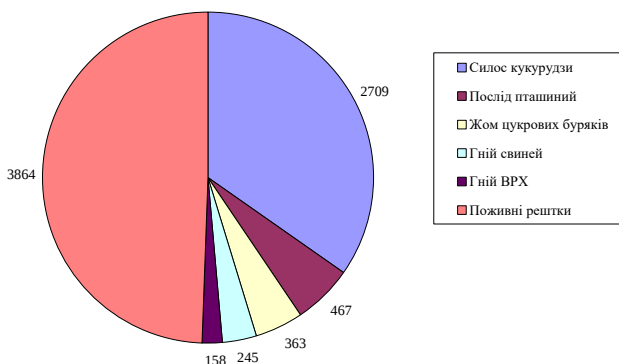


Рисунок 1 – Сировинна база генерації біометану в Україні

Як видно з діаграми сировинний потенціал достатній для видобутку біогазу і використання його для вироблення електричної енергії на підприємствах тваринництва, переробки сільськогосподарської продукції, а також на сміттєзвалищах. Тобто на підприємстві, наприклад птахофабриці, є достатня сировинна база, щоб видобувати біогаз і зразу використовувати його в енергетичних установках генерації електричної енергії. Це дозволить забезпечити птахофабрику у власних потребах в електроенергії, а при великих обсягах генерації ще й в додатковому доході при її продажі в енергосистему за зеленим тарифом.

Якщо ж розглядати підприємства переробки агропродукції, то більшість з них великі за масштабами, а тому є значний потенціал у реалізації енергетичного комплексу з використанням біогазу для генерації електроенергії.

Загалом реалізації проектів з видобутку біогазу та його використанням для генерації електричної енергії є перспективною для підприємств зазначеної галузі. Це дозволить останнім стати енергонезалежними та зменшити навантаження на об'єднану енергосистему країни, що є дуже актуальним в наш час.

УДК 621.3

Міщенко В.Ю.¹, Ведмедко А.А.², Ведмедко Д.А.³

¹ канд. техн. наук, старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-512 НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-514 НУ «Запорізька політехніка»

ЩОДО ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОБУТОВИХ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ

В умовах частих блекаутів та нестабільної роботи енергосистеми України все актуальніше постає питання раціонального використання енергоресурсів, зокрема електричної енергії. На групу побутових споживачів припадає вагома частка обсягів спожитої електричної енергії, тому населення все частіше і активніше закликають ощадно користуватись електричними побутовими приладами. А в окремих випадках і взагалі відмовитись від деяких з них.

Так було проведене дослідження щодо доцільності використання електрочайника у порівнянні з газовим в сучасних умовах. Вхідними даними для натуральних експериментів є наступне:

- потужність електрочайника;
- об'єм холодної води для закіпання;
- температура холодної води;
- час закіпання води в електрочайнику;
- витрата газу на закіпання води для газового чайника.

Для отримання більш достовірних результатів потужність електрочайника та об'єм холодної води є сталою величиною, а її температура змінювалась при проведенні п'яти експериментів для двох видів чайників. Вхідні данні представлені в таблиці 1.

Номінальна потужність електрочайника складає 1500 Вт, а об'єм холодної води прийнятий в 1л. Обсяг спожитої електричної енергії електрочайником визначалось шляхом добутку його потужності на час

роботи. Вартість енергоресурсів в грошовому еквіваленті розраховувалось як добуток обсягів їх споживання на діючий тариф. Для електричної енергії діючий тариф для населення складає 4,32 грн/кВт·год, а на природний газ 9,0 грн/м³ з урахуванням плати за доставку.

Отже за результатами розрахунків видно, що кип'ятіння води за допомогою електрочайника практично в 2,5 дорожче у порівнянні з використанням газового чайника. Тому можна впевнено сказати, що користування таким електроприладом, на даний час, є не тільки економічно не вигідним, а й енергонеефективним.

Таблиця 1 – Вхідні та розрахункові данні при проведенні експериментів

Вхідні дані			Розрахункові величини		
Температура холодної води, °C	Час закипання холодної води в електрочайнику, хв	Витрата природного газу при використанні газового чайника, л	Споживання ел.ен. електрочайником, кВт·год	Вартість енергоресурсів в грошовому еквіваленті	
				Електро-чайник, грн	Газовий чайник, грн
10	5,4	26	0,135	0,58	0,23
13	5,33	24	0,133	0,57	0,22
15	5	23	0,125	0,54	0,21
21	4,85	22	0,121	0,52	0,2
24,5	4,7	21	0,118	0,51	0,19

Це ще раз підкреслює важливість роз'яснення для населення доцільності використання того чи іншого електроприладу, з можливістю альтернативних варіантів його заміни, в умовах дефіциту електричних потужностей в країні.

UDC 620.9:621.311

Kucher Daria¹, Liush Yuliia²

¹ student of group E-511 NU “Zaporizhzhya Polytechnic”

² PhD (Tech.), assistant professor NU “Zaporizhzhia Polytechnic”

THE IMPACT OF RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT ON TRADITIONAL ENERGY SYSTEMS

Today, Ukraine remains heavily dependent on fossil fuels, which accounted for around 70% of its primary energy supply in 2020. The Russian invasion led to

the occupation of the Zaporizhzhia NPP and about 44% of thermal capacity, along with the destruction of critical infrastructure, resulting in a sharp drop in energy supply. Electricity demand fell by 40% by October 2022.

Given Ukraine's high untapped renewable potential, bioenergy, hydropower, solar, and wind could form the foundation of its future energy system, contributing nearly 80% of total energy production by 2050. With strategic investments and complemented by nuclear power, renewable energy can drive Ukraine towards a carbon-neutral future. These conclusions stem from UNECE's pathway scenarios based on the Carbon Neutrality Toolkit, published ahead of the Ukraine Recovery Conference (London, 21–22 June).

Renewable energy development alone can reduce fossil fuel dependence and boost energy security. Achieving carbon neutrality, however, requires major shifts: a gradual fossil fuel phase-out, enhanced energy efficiency, and increased use of modern bioenergy.

Ukraine's energy intensity is 3–4 times higher than the EU average, driven by high heating demand, energy-intensive industry, and outdated infrastructure. By implementing energy efficiency measures and electrification, Ukraine could slow demand growth and cut energy intensity by up to 60% by 2050.

Economy-wide decarbonization is key. The report estimates a potential fossil fuel reduction of 93% in transport, 97% in industry, and nearly 100% in buildings by 2050. This large-scale transition could double electricity demand.

In addition, the transition to a carbon-neutral energy system will increase the resilience and independence of Ukraine's energy system. The report envisages a scenario of transition to domestic renewable energy sources and low-emission technologies, which will make Ukraine self-sufficient in terms of primary energy, reaching 98% by mid-century. This transformation will not only contribute to energy security, but also mitigate the impact of regional and global energy crises on Ukraine.

In the long-term (post-war) perspective, large-scale development of "green" generation and creation of a new model of Ukraine's energy sector will be possible provided that:

1. Adoption of clear National Strategies for the development of RES, renewable hydrogen production and offshore wind energy. Revision of the Energy Strategy until 2035, taking into account the replacement of decommissioned generation capacities with new ones with the associated increase in energy storage capacities. Adoption of the Energy Strategy of Ukraine until 2050;

2. Setting ambitious goals for the development of renewable energy sources that will be in line with the current EU energy policy, namely to achieve at least a 50% share of renewable energy sources in Ukraine's electricity balance by 2030 (taking into account large-scale hydroelectric power plants) and achieving a carbon-free economy by 2050;

3. Conducting international communication campaigns to encourage international strategic and financial investors to enter the Ukrainian renewable energy market;

4. Introducing new market mechanisms to stimulate the development of renewable energy, including “green” auctions, corporate PPAs, contracts for difference, etc.;

5. Ensuring the development of the renewable hydrogen market, namely:

Provide guarantees of hydrogen origin, review the carbon tax and increase it;

Check and technically justify the possibility of using the Ukrainian GTS, localize hydrogen production projects, connect them to the GTS;

Ensure the implementation of national hydrogen projects;

Build a reliable infrastructure for the production, consumption and export of renewable hydrogen;

Stimulate scientific organizations for research in the field of hydrogen technologies;

6. Research the potential and develop an appropriate legislative framework for the construction of hybrid power plants with renewable energy sources;

7. Ensuring the reliable functioning of the energy infrastructure, carrying out the necessary modernization measures, reducing breakdowns and accidents.

УДК 620.92

Шрам О.А.¹, Кононенко А.В.²

¹канд. техн. наук., доц. НУ «Запорізька політехніка»

²студ. гр. Е-113сп НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Промислові підприємства є одними з найбільших споживачів енергії, на які припадає до 40% світового енергоспоживання. У сучасних умовах перехід на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) стає стратегічним кроком для досягнення енергетичної незалежності, зменшення вуглецевого сліду та відповідності міжнародним екологічним стандартам. Інтеграція сонячних, вітрових, біомасових та інших ВДЕ у промислові мережі вимагає врахування технічних, економічних та регуляторних особливостей.

Перехід на ВДЕ — це найефективніший спосіб зменшити вуглецевий слід промисловості. Наприклад, вітрові та сонячні електростанції не виробляють CO₂ під час роботи, на відміну від традиційних джерел живлення, таких як теплові та газотурбінні електростанції. Це дозволяє компаніям відповідати суворим вимогам екологічних стандартів і уникнути

так званих карбонових податків. Крім того, відсутність шкідливих викидів покращує якість повітря в регіоні, що позитивно впливає на довкілля. Використання біомаси або біогазу також сприяє переробці відходів, перетворюючи їх на енергію. Таким чином, ВДЕ — це ключ до сталого розвитку та екологічної відповідальності.

Сучасні ВДЕ — це високотехнологічні системи, які легко інтегруються в промислові мережі. Наприклад, сонячні панелі можна встановлювати на дахах цехів, ефективно використовуючи вільний простір [1]. Децентралізована генерація дозволяє створювати локальні мікромережі, що підвищує енергонезалежність підприємства. Гібридні системи, поєднуючи сонячні, вітрові та акумуляторні технології, забезпечують стабільне енергопостачання [2]. Крім того, ВДЕ добре поєднуються з інструментами Industry 4.0, такими як AI та IoT, для оптимізації енергоспоживання.

Сучасні промислові підприємства вимагають гнучких рішень для інтеграції ВДЕ. Для цього використовуються спеціалізовані перетворювачі напруги, здатні адаптувати параметри генерованої енергії (наприклад, змінний струм від вітрогенераторів або постійний струм від сонячних панелей) до стандартів промислової мережі. Важливою особливістю є можливість паралельної роботи з існуючими джерелами живлення, що забезпечується завдяки системам автоматичної синхронізації частоти та фази. Для великих промислових об'єктів часто застосовують каскадне підключення кількох джерел через розподільчі пристрої середньої напруги (6-10 кВ), що дозволяє оптимально розподіляти навантаження.

На промислових підприємствах гібридні системи часто включають кілька типів генерації: сонячні панелі, вітрогенератори, біогазові установки та традиційні дизель-генератори. Спеціалізовані системи керування (наприклад, HEMS - Hybrid Energy Management Systems) автоматично визначають оптимальне співвідношення джерел, враховуючи поточні ціни на паливо, прогноз погоди та технологічні вимоги виробництва. Для критично важливих об'єктів передбачаються схеми "островного" режиму, коли при відключенні центральної мережі система автоматично переходить на автономну роботу.

Інтеграція ВДЕ в промислові мережі вимагає комплексного технічного підходу, що враховує особливості генерації, розподілу та споживання електроенергії. Сучасні технології дозволяють ефективно вирішувати ці завдання, забезпечуючи енергетичну ефективність та стабільність роботи промислових об'єктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Качан Ю. Г., Шрам О. А. Щодо можливості створення ефективних сонячних електростанцій на території промислових підприємств.

Відновлювана енергетика. 2024. Вип. 1(76). С. 22-31. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1\(76\).22-31](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1(76).22-31)

2. Качан Ю. Г., Шрам О. А. Щодо структури енергоефективної електромережі промислового підприємства з джерелами розосередженої генерації. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2024. № 4. С. 54-59. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-54-59>.

УДК 629.92

Братковська К.О.¹, Ліуш Ю.Б.², Токарев Д.О.³

¹ канд. екон. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-113 НУ «Запорізька політехніка»

ПОТЕНЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ПЕРЕХОДІ НА РОЗПОДІЛЕНУ ГЕНЕРАЦІЮ

Сонячна енергія – це практично невичерпне джерело енергії, доступне в кожній точці нашої планети, з надзвичайно великим потенціалом. Потужність сонячних електростанцій у світі наразі перевищує потужність ядерної енергетики майже в п'ять разів. Такі дані звіту про стан світової атомної промисловості за 2024 рік (WNISR).

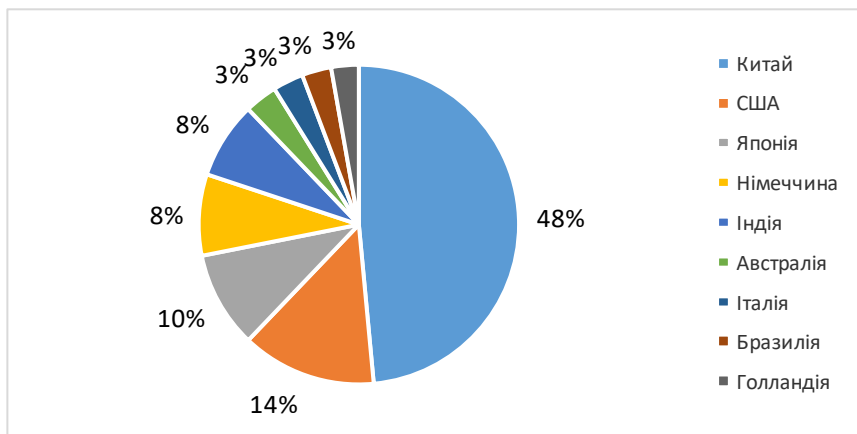


Рисунок 1 - Країни-лідери у виробництві сонячної енергії у 2023 році

Сонячна енергетика в Україні має великий потенціал і перспективи для розвитку. СЕС в Україні потенційно можуть виробляти 5,084 ГВт сонячної енергії. Сьогодні загальна встановлена потужність СЕС в Україні перевищує

7 ГВт. Частка сонячної генерації в загальному енергобалансі складає близько 6%[1].

Найбільші сонячні електростанції в Україні: Нікопольська СЕС - найпотужніша в Україні потужністю 246 МВт, Покровська СЕС - 240 МВт, Кам'янець-Подільська СЕС - 120 МВт, СЕС Tokmak Solar Energy - 50 МВт (TOT), СЕС Терновиця – 44 МВт, Костогризове потужність - 40 МВт, Добрівлянська - 38 МВт, Димерська СЕС - 37 МВт, СЕС Павлівка - 35 МВт. СЕС Попельники - 34 МВт[2].

«Енергетична стратегія України» передбачає до 2050 року встановлення 94 ГВт сонячних електростанцій[3].

Розподілена генерація значною мірою базується на використанні відновлюваних джерел енергії. Зважаючи на масштаб пошкоджень існуючих генеруючих потужностей та необхідність розосередження генерації для посилення стійкості енергосистеми, для України створення мережі зі 100 сонячних електростанцій з акумуляторами обійдеться дешевше, ніж відновлення зруйнованих ТЕС і ГЕС (які знову стануть цілими для ракетних ударів)[4,5].

Пряме перетворення одержуваної радіації від сонця в електроенергію неможливе без фотоелектричного перетворювача який являє собою фотоелектронний прилад (фотоелемент), використовуваний як вимірювальний перетворювач. Є три типи перетворювачів: перетворювачі із зовнішнім фотоелементом, із внутрішнім фотоелементом і фотогальванічні перетворювачі. Найбільше застосування знайшли перетворювачі двох останніх типів[6].

Кут нахилу суттєво впливає на продуктивність фотомодулів. Обравши не той кут, власник станції може недорахуватись до 20% виробітку. Для розрахунку кута необхідно знати географічні координати розміщення об'єкта. Для визначення оптимального нахилу панелі влітку, віднімається 15° від значення широти, взимку додається 15°. Для України влітку оптимальний кут нахилу складає 22-39°, а взимку - 58-75°, в залежності від широти місцевості.

Для проектування СЕС, потрібно визначити: тип та номінальну потужність сонячних модулів, їх кількість; тип та ємність АКБ; тип та потужність інвертора; тип контролера.

Вихідними даними для розрахунку потужності СЕС є: добова інсоляція, для відповідного району розташування; загальна площа дахів приміщень та ін. придатних для встановлення сонячних модулів споруд; потужність, напруга, час роботи споживачів СЕС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дослідження “Оцінка потенціалу сонячної та вітрової енергетики” - Грінпіс Україна. [Електронний ресурс] URL:<https://>

www.greenpeace.org/ukraine/novyny/2999/otsinka-potentsialu-sonyachnoyi-ta-vitrovoyi-enerhetyky/

2. Сонячна енергетика в Україні [Електронний ресурс] URL:<https://avenston.com/articles/solar-in-ukraine-2019/>

3. Розпорядження КМУ від 21 квітня 2023 р. № 373-р Київ Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року [Електронний ресурс] URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p>

4. Чому Україні варто розвивати розподілену генерацію [Електронний ресурс] URL:<https://www.epravda.com.ua/columns/2024/10/2/720089/>

5. Проект Плану відновлення України: Матеріали робочої групи «Енергетична безпека. [Електронний ресурс] URL:<http://surl.li/dfwtr>

6. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с

УДК 629.92

Братковська К.О.¹, Афенко А.С.²

¹ канд. екон. наук, доцент НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-514м НУ «Запорізька політехніка»

ЕНЕРГОАУДИТ СИСТЕМИ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ

Енергоаудит системи стисненого повітря є ключовим інструментом для оцінки ефективності роботи компресорного обладнання та виявлення потенційних можливостей для енергозбереження. Основна мета аудиту – зниження споживання енергії, мінімізація витрат та підвищення надійності роботи системи.

Таблиця 1 – Етапи проведення енергоаудиту [1]

Етап	Опис
Збір інформації	Вивчення технічної документації, аналіз графіків споживання енергії та параметрів роботи системи.
Інструментальне обстеження	Вимірювання витрат повітря, тиску, температури, рівня вологості та виявлення витоків.
Аналіз даних	Розрахунок енергетичного балансу, визначення втрат та оцінка ефективності обладнання.
Розробка рекомендацій	Пропозиції щодо модернізації обладнання, усунення витоків та оптимізації системи.

Основними параметрами, що характеризують роботу компресорів, є об'ємна подача або продуктивність (визначається, як правило, при тиску всмоктування); початковий і кінцевий тиски або їх відношення – ступінь підвищення тиску; частота обертання та потужність на валу.

Існують різні можливості енергозбереження в системах компресорного устаткування, а саме такі категорії: можливості процесу, можливості системи (енергозбереження 10%), методи експлуатації, керування й оптимізація системи, можливості, що виникають при обслуговуванні, контроль і планування використання енергії.

Таблиця 2 – Основні елементи системи стисненого повітря [2]

Елемент	Призначення
Компресор	Стискання та переміщення газів
Охолоджувач	Зниження температури стисненого повітря
Сепаратор	Відділення конденсату від повітря
Фільтри грубої і тонкої очистки	Очищення повітря від твердих часток та масляних домішок
Осушувач	Видалення залишкової вологи з повітря

Енергоаудит дозволяє визначити неефективні зони в системі стисненого повітря та оцінити потенційний обсяг економії. Впровадження рекомендованих заходів сприяє зниженню витрат на енергію, підвищенню ефективності роботи обладнання та покращенню загальної надійності системи.

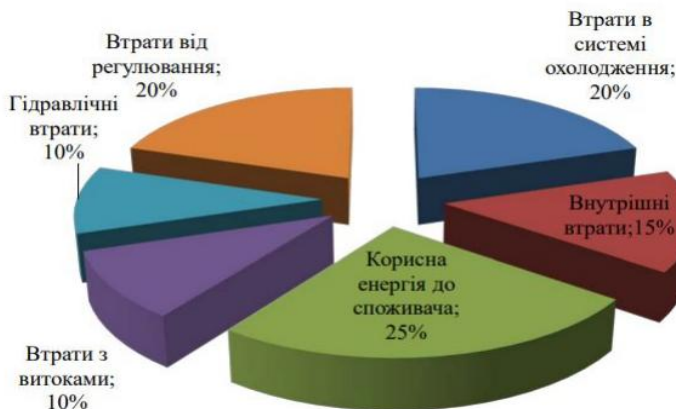


Рисунок 1 – Структура розподілу енергії в системі повітропостачання

Таблиця 3 – Можливості енергозбереження для компресорного устаткування [3]

Захід	Середнє значення заощадження	Максимальне значення заощадження	Середній строк окупності, років
Зменшення витоку повітря	26,3%	59,3%	0,9
Зниження системного тиску	2,0%	10,6%	1,3
Установка/регулювання засобів керування холостого ходу	10,5%	33,5%	0,8
Секціонування (послідовне підключення) компресорів	7,6%	33,6%	2,7
Скорочення машинного часу	2,6%	15,8%	<0,1
Сумарні заощадження (для однієї установки)	43,7%	65,0%	0,8

Регулярне проведення аудиту та моніторинг показників забезпечать стабільну та економічно ефективну роботу системи стисненого повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Київ: Проект «Консультавання підприємств щодо енергоефективності», 2020. – 141с.
2. Енергетичний аудит. Лабораторний практикум: навчальний посібник. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 112с.
3. Енергозбереження в компресорних системах: навчальний посібник / С. О. Шарапов. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 147 с. ISBN 978-966-657-846-7

УДК 621.31

Дьяченко В.В.¹, Брабець О.С.², Сіра В.А.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-111 НУ «Запорізька політехніка»

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНТАЖУ ПРОВІДНИКІВ

Монтаж провідників є важливим етапом у створенні надійних і безпечних електричних мереж. Основне завдання монтажу – забезпечити

якісне з'єднання й ізоляцію електропроводки, що запобігає втратам енергії, перегріву та коротким замиканням. Від правильності виконання монтажу залежить ефективність, довговічність та безпека електричних систем.

При з'єднанні й відгалуженні проводів і кабелів важливо уникати механічних навантажень, які можуть призвести до пошкодження струмопровідних жил. У місцях перетину електропроводки з температурними й осадочними швами встановлюють компенсуючі пристрої, конструкція яких залежить від типу проводки. Для забезпечення міцності нероз'ємні з'єднання струмопроводів, як правило, виконують зварюванням. Відкриті та захищені струмопроводи додатково покривають захисною фарбою, що сприяє їхньому розпізнаванню та підвищенню експлуатаційної надійності.

Сучасні технології швидкого монтажу електроустановок дозволяють значно скоротити час виконання робіт, зменшити трудовитрати та підвищити безпеку електромонтажу. Основні напрями розвитку електромонтажу провідників наступне.

1. Використання кабельних лотків та шинопроводів. Перфоровані та неперфоровані лотки – спрощують прокладання кабелів, забезпечують вентиляцію та зручність у разі ремонту. Шинопроводи замість традиційних кабельних трас – дозволяють швидко підключати електрообладнання та легко змінювати конфігурацію мережі.

2. Попередньо зібрані електротехнічні модулі. Готові електрощитові установки – збираються на виробництві, що зменшує час монтажу на об'єкті. Модульні розподільні системи – дозволяють швидко змінювати компоненти без повного демонтажу системи.

3. Використання швидкороз'ємних з'єднань. Клемні з'єднання WAGO та аналогічні технології – забезпечують надійний контакт без використання пайки чи гвинтових з'єднань. Швидкозажимні роз'єми – спрощують підключення світильників, розеток та вимикачів.

4. Гнучкі електромонтажні системи. Гнучкі металорукави та кабель-канали – дозволяють швидко змінювати траси електропроводки. Магнітні та клейкі кріплення для кабелів – замість свердління та механічних кріплень.

5. Використання сучасних монтажних інструментів. Прес-кліщі для швидкого обтискання клем – заміняють традиційні викрутки та болтові з'єднання. Термічні зварювальні системи – прискорюють монтаж мідних та алюмінієвих шинопроводів.

Сучасні технології монтажу провідників значно підвищують ефективність, безпеку та швидкість виконання електромонтажних робіт. Дотримання правильних методів прокладання проводів і кабелів, використання компенсуючих пристроїв, ізоляційних матеріалів та сучасних монтажних рішень мінімізує ризики механічних пошкоджень, перегріву та коротких замикань.

Інноваційні підходи, такі як шинопроводи, модульні системи, швидкороз'ємні з'єднання та новітні монтажні інструменти, дозволяють скоротити трудовитрати, спростити обслуговування та адаптацію електромереж до нових вимог. Використання попередньо зібраних електротехнічних модулів і гнучких систем прокладання забезпечує швидке розширення та модернізацію електроустановок без значних витрат.

Таким чином, сучасні напрямки монтажу провідників сприяють розвитку більш безпечних, економічних та ефективних електротехнічних рішень, що відповідають сучасним стандартам і вимогам енергетичної галузі.

УДК 692.92

Махлін П.В.¹, Щербіна О.О.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е -112сп НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ НА ВУЗЛОВІЙ ПІДСТАНЦІЇ

Для забезпечення надійного та безперебійного електропостачання при аваріях в енергосистемах потрібна надійна та селективна робота релейного захисту та автоматики (РЗА). В даній роботі розглянута вузлова підстанція (ПС) оператора системи передачі електроенергії та проведені дослідження її аварійних режимів роботи.

На вузловій ПС 330 кВ знаходяться в роботі чотири автотрансформатори 330/150/35 кВ. На шини відкритого розподільного пристрою 330 кВ подається напруга трьома повітряними лініями електропередачі. Розподільний пристрій 150 кВ складається з двох секційованих систем шин робочих та обхідної. Кожний автотрансформатор підключений до своєї секції шин. У робочій схемі всі міжшинні та секційні вимикачі включені. На секційних вимикачах встановлена ділительна автоматика – «автомат зниження потужності».

Для проведення досліджень аварійних режимів роботи обрані схеми ПС 330 кВ робоча та наступні ремонтні:

- три схеми при виведені в ремонт кожної ЛЕП 330 кВ;
- дві схеми при виводі в ремонт першої або другої системи шин 330 кВ та переключені живлення відповідних автотрансформаторів;
- чотири схеми з виводом в ремонт кожного автотрансформатору;
- дві схеми при виводі в ремонт кожної секції 1-ої системи шин 150 кВ;
- дві схеми при виводі в ремонт кожної секції 2-ої системи шин 150 кВ.

Розроблені схеми заміщення підстанції та проведені розрахунки трифазних та однофазних струмів коротких замикань (КЗ) у кожному з

вибраних варіантів робочої та ремонтних схем ПС: на вводах 330 кВ, 150 кВ та 35 кВ автотрансформаторів. На основі аналізу результатів досліджень отримані вихідні дані для розрахунку уставок релейного захисту.

Основний захист автотрансформаторів - повздовжній диференційний захист. Резервний захист автотрансформаторів: чотириступінчатий дистанційний захист від міжфазних КЗ та чотириступінчатий дистанційний захист від замикань на землю. Для захисту застосований пристрій на мікропроцесорній базі типу RET670. Від пошкоджень всередині кожуха автотрансформатору застосований газовий захист з реле типу РЗТ-80. Проведені розрахунки уставок спрацьовування релейного захисту автотрансформаторів та перевірка їх по чутливості.

Вибрані основні та резервні захисти для ЛЕП 150 кВ. Для захисту від міжфазних КЗ вибраний чотириступінчатий дистанційний захист, а для захисту від замикань на землю вибраний чотириступінчатий захист нульової послідовності. Проведений розрахунок уставок спрацьовування та перевірка по чутливості. Для захисту ЛЕП застосований пристрій на мікропроцесорній базі типу RED670.

Висновки: проведені дослідження аварійних режимів роботи вузлової підстанції 330/150/35 кВ при різних її схемах та запропонований і розрахований релейний захист для підвищення надійності електропостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.2. Релейний захист/ Мінпаливенерго України. К: НПЦР, 2017 – С. 384- 427.
2. Правила улаштування електроустановок: Глава 3.3. Автоматика та телемеханіка / Мінпаливенерго України. К: НПЦР, 2017 – С. 428-452.

УДК 628.9

Дьяченко В.В.¹, Дворніков В.О.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-512сп НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРЕВАГИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОСВІТЛЕННЯ

Модернізація освітлення дозволяє:

- зекономити електроенергію та витрати на її споживання;
- підвищити якість освітлення;
- знизити витрати на обслуговування;
- забезпечити екологічну безпеку у цілому.

Однією з основних переваг переходу на сучасні технології освітлення є значне зниження споживання електроенергії. Наприклад, LED-лампи споживають на 70–90 % менше електроенергії порівняно з традиційними лампами розжарювання, що дозволяє суттєво скоротити витрати на електроенергію як у побутових, так і в комерційних умовах. Зменшення споживання енергії безпосередньо відображається на зниженні рахунків за електроенергію та зменшенні експлуатаційних витрат.

Сучасні джерела світла забезпечують рівномірне, яскраве та комфортне освітлення приміщень. Можливість регулювання яскравості та кольорової температури дозволяє створювати оптимальні умови для роботи та відпочинку, що позитивно впливає на зорове сприйняття та загальний комфорт користувачів. Це особливо важливо для офісів, освітніх та медичних закладів, де необхідно забезпечити високу якість освітлення.

Новітні технології освітлення характеризуються тривалим терміном експлуатації та меншою вимогливістю до технічного обслуговування. Наприклад, строк служби LED-ламп може досягати 50000 годин, що значно перевищує характеристики традиційних джерел світла. Це дозволяє знизити витрати на заміну ламп та пов'язані з цим операційні витрати.

Сучасні джерела освітлення, зокрема LED та OLED, не містять шкідливих речовин, таких як ртуть, що використовується у деяких старих люмінесцентних лампах. Крім того, зниження енергоспоживання сприяє зменшенню викидів вуглекислого газу, що є важливим фактором у боротьбі зі змінами клімату. Переходячи на екологічно чисті технології, суспільство робить важливий крок у напрямку сталого розвитку та охорони довкілля.

Як приклад оцінювання доцільності певного енергоощадного заходу розглянемо випадок заміни в будівлі світильників із лампами розжарювання на світильники з натрієвими лампами високого тиску.

У будівлі площею 6300 м² встановлено 252 світильники з лампами розжарювання потужністю 500 Вт кожна. Загальний світловий потік становить 1890000 лм, що забезпечує рівномірну освітленість на рівні 300 лк.

Для досягнення необхідного рівня освітленості в приміщенні можна встановити 48 натрієвих ламп високого тиску потужністю 431 Вт кожна, що забезпечить загальний світловий потік 2068800 лм.

Оцінка ефекту від модернізації освітлення вказаної будівлі складається з наступних етапів.

1. Визначаються кількість й вартість нових світильників. У даному випадку початкові капіталовкладення для цього становитимуть 83520 гривень.

2. Розраховується кількість заощадженої енергії. Тут загальні витрати на електроенергію при лампах існуючої системи освітлення – 56700 грн, а після модернізації – 9858 грн.

3. Виконується розрахунок витрат на обслуговування освітлювальних систем (очищення, заміна ламп). Річні витрати на обслуговування освітлювальної системи до та після модернізації складе 49140 грн та 3590 грн відповідно.

4. Обчислюються загальні річні експлуатаційні витрати на систему, які дорівнюють 105840 грн та 13448 грн відповідно для вказаних варіантів системи освітлення.

5. Оцінюється щорічна економія витрат, яка рівняється 92392 грн, а потім й прости строк окупності нової системи освітлення, котрий дорівнює 0,9 років.

6. Визначається чиста зведена вартість, яка враховує вигоду від проекту впродовж всього терміну його використання. Отже, чистий зведений до нинішньої вартості дохід від реалізації проекту за час його використання становить 202062 грн.

УДК 621.316.11

Щедрін І.І.¹, Федоша Д.В.²

¹ студ. гр. Е-514м НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

СПЕЦІАЛІЗОВАНА БІБЛІОТЕКА PYTHON ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Мова програмування python вже стала інструментом наукових досліджень, через наявність ефективних та простих у використанні бібліотек для: основні математичних функції (тригонометричні функції та обробка комплексних чисел), роботи з багатовимірними масивами (операції елементами масивів та зрізами), лінійна алгебра, пошуку рішень, роботи з базами даних для статистичного аналізу, візуалізації досліджень (відображення діаграм, залежностей, графіків, графів, схем).

Але вже зараз для python на основі вище згаданих бібліотек створюються спеціалізовані бібліотеки моделювання електроенергетичних систем, однією з таких є pandapower

Pandapower - це сучасний, відкритий інструмент на Python, що об'єднує можливості бібліотеки pandas і розв'язувача PYPOWER. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та широкому функціоналу вже зараз pandapower може допомагати інженерам, дослідникам і практикам швидко конструювати моделі електромереж, проводити розрахунки потоків потужності, оптимізувати розподіл навантаження та розв'язувати задачі аварійного аналізу.

Pandapower містить еквівалентні моделі основних елементів мережі: ліній передачі, трансформаторів, вимикачів та інших компонентів. Це дає змогу створювати моделі, що відтворюють фізичну поведінку розподільчих мереж і забезпечують можливість детального аналізу в різних сценаріях функціонування мережі.

Серед найбільш затребуваних функцій - розрахунок потоків потужності, а також оптимізація розподілу навантаження. Можливість визначення оптимального потоку розподілу допомагає розробити найкращі стратегії управління мережею для мінімізації втрат енергії та підвищення стабільності системи. Такий функціонал особливо актуальний в умовах зростання навантаження та інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Pandapower інтегрує інструменти для проведення аналізу короткого замикання, оцінювання стану системи та виконання топологічних перевірок мережі. Ці функції допомагають своєчасно виявляти проблемні зони, проводити профілактичні заходи та мінімізувати ризики аварійних ситуацій, що має вирішальне значення для безпеки експлуатації електромереж.

Розроблений з упором на автоматизацію аналітичних процесів, pandapower дає змогу легко інтегрувати обчислювальні моделі в більші програмні рішення. Користувачі можуть налаштовувати розрахунки, створювати сценарії та запускати пакетне опрацювання даних, що істотно спрощує проведення комплексних досліджень. Гнучкість інструменту особливо цінна як для освітніх проєктів, так і для розробки інноваційних промислових рішень.

Відкрита ліцензія BSD робить pandapower доступним для вільного використання, модифікації та поширення. Інсталяція відбувається за допомогою менеджера пакетів `pip`, що полегшує інтеграцію в різні середовища розробки, або з дистрибутиву Anaconda, який вже включає необхідні бібліотеки для наукових обчислень.

Щоб встановити pandapower, достатньо виконати команду: `pip install pandapower[all]`.

Переваги використання pandapower:

- простота і доступність - завдяки відкритій ліцензії та зручному встановленню pandapower доступний для всіх, хто хоче заглибитися в моделювання електромереж;

- багатофункціональність - інструмент об'єднує в собі можливості моделювання, розрахунку потоків потужності, оптимізації мереж і проведення аварійного аналізу;

- гнучкість інтеграції - Можливість інтегрувати pandapower у власні робочі процеси дає змогу адаптувати його під специфічні задачі та проєкти;

- активне співтовариство розробників - постійне оновлення та підтримка забезпечують актуальність і надійність інструменту в швидко мінливих умовах енергосистем.

На рисунку 1 наведено приклад, що демонструє створення простої мережі з двома шинами джерелом живлення, та силовим трансформатором.

```
# Підключимо бібліотеку pandapower
import pandapower as pp

# Створюємо порожню мережу
net = pp.create_empty_network()

# Створюємо дві шини: 110 кВ і 20 кВ
bus_high = pp.create_bus(net, vn_kv=110, name="110 кВ шина")
bus_low = pp.create_bus(net, vn_kv=10, name="10 кВ шина")

# Додаємо зовнішнє підключення на шину високої напруги
pp.create_ext_grid(net, bus_high, vm_pu=1.02, name="Підстанція")

# Додаємо трансформатор для з'єднання шин
pp.create_transformer(net, hv_bus=bus_high, lv_bus=bus_low, std_type="25 MVA 110/10 kV", name="Трансформатор")

# Додаємо навантаження на шину низької напруги
pp.create_load(net, bus_low, p_mw=10, q_mvar=2, name="Навантаження")

# Візуальне представлення або виведення частин мережі у вигляді масиву
print(net)
```

Рисунок 1 – Проста модель на python за допомогою pandapower.

УДК 620.9

Дьяченко В.В.¹, Менькова Л.А.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-511 НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Викопні джерела енергії спричиняють глобальне потепління та зміни клімату через зростання викидів парникових газів. Для вирішення екологічної кризи впроваджуються технології відновлювальної енергетики (ВДЕ), такі як сонячна, вітрова, водна, біоенергія, геотермальна енергія та водень.[1]

Частка відновлюваних джерел енергії у 2022 році склала 29,1% світового виробництва електроенергії — це 8440 ТВт·год [2]. Інші 70,9% (20591 ТВт·год) припадали на: викопні види палива, ядерну енергетику, гідроакумулюючі станції ,інші невідновлювані джерела. Загальне виробництво електроенергії у 2022 році склало 29 031 ТВт·год. Від 2011 року спостерігалось середнє зростання на 2,4% щороку. Найбільший приріст серед ВДЕ забезпечили сонячна та вітрова енергетика (змінні ВДЕ). Їх частка у 2022 році склала 11,7% у світовому балансі; приріст за рік — 18,2% порівняно з 2021 [3].

Енергетичний перехід відбувається стрімко, особливо в легкому автотранспорті, однак у галузях, таких як сталеливарна, цементна, авіаційна та судноплавна, темпи залишаються недостатніми через економічні, політичні та технологічні бар'єри. Ключовим напрямом розвитку є стабільні рішення для зберігання енергії, зокрема для довгострокового зберігання та транспортування «зеленого» водню. Технологія Power-to-X, що дозволяє

виробляти водень із води за допомогою відновлюваної електроенергії, має потенціал радикально змінити енерговитратні галузі, зменшуючи їхній вуглецевий слід [4].

Незважаючи на потрібність великих інвестицій, розвиток технологій та ефект масштабу роблять "зелену" енергетику дедалі доступнішою та вигіднішою в довгостроковій перспективі [5]. Наприклад Німеччина є лідером у використанні відновлювальних джерел енергії в Європі, зокрема завдяки значному зростанню сонячних та вітрових потужностей. У 2023 році понад 60% електроенергії в країні було вироблено з відновлюваних джерел, а частка вугілля знизилася до менш ніж 10%. Німеччина також є великим експортером енергії, ділиться електроенергією з дев'ятьма сусідніми країнами. Викиди парникових газів скоротилися на понад 40% порівняно з попереднім роком [6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ScienceDirect. (2023). A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. ScienceDirect. Доступно за посиланням: <https://www.sciencedirect.com>
2. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). Renewable Energy Highlights – 2024 Edition. IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Jul/Renewable_energy_highlights_FINAL_July_2024.pdf
3. Solarserver. (2023). The #P2X Conference Messe Düsseldorf. Solarserver. Доступно за посиланням: <https://www.solarserver.de>
4. Neste. (2023). Why is the transition away from fossil raw materials not happening faster? Neste. Доступно за посиланням: <https://www.neste.com>
5. United Nations. (2023). Renewable energy – powering a safer future. United Nations. Доступно за посиланням: <https://www.un.org>
6. RatedPower. (2023). Renewable Success Stories in Germany. RatedPower. Доступно за посиланням: <https://www.ratedpower.com>

УДК 621.31

Дьяченко В. В.¹, Меньков Н. О.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-111 НУ «Запорізька політехніка»

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕЛЕКТРОМОНТАЖУ ТА ЙОГО НАЦІОНАЛЬНІ Й МІЖНАРОДНІ СТАНДАРТИ

Електромонтажні роботи являють собою комплекс заходів, які пов'язані із створенням електричних з'єднань для забезпечення надійної передачі

електричної енергії та сигналів. Дані роботи виконуються в умовах житлового будівництва, об'єктів комерційного призначення, промислових підприємств, а також спеціалізованих закладів, зокрема автосалонів. Під електромонтажем також розуміється установка придбаного електрообладнання в межах уже зведених об'єктів. До таких елементів належать освітлювальні прилади, вимикачі, штепсельні розетки, електричні щити, зокрема з автоматичними вимикачами. Усі нові електроустановки мають відповідати чинним нормативним документам, правилам у сфері електробезпеки та місцевим будівельним регламентам.

Національні стандарти (ДСТУ), які діють в Україні це:

- Державна система технічного регулювання, яка встановлює норми якості і систему стандартизації в сфері електромонтажу;
- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), які встановлюють технічні вимоги до електроустановок, охоплюючи проектування, монтаж, експлуатацію та технічне обслуговування електричних мереж і установок.

В Україні електромонтажні роботи регулюються низкою нормативних документів, які включають державні стандарти, будівельні норми та інші технічні регламенти. Дотримання цих вимог є обов'язковим для забезпечення безпеки, надійності та якості електроустановок. ДБН є основним нормативним документом, який встановлює вимоги до проектування, будівництва та експлуатації будівель і споруд, включаючи електромонтажні роботи. Основні ДБН, що стосуються електроустановок, включають наступні нормативи.

ДБН В.2.5-23:2010 “Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення”. Цей документ містить основні вимоги до проектування електрообладнання в житлових і громадських будівлях. Він охоплює вимоги до вибору та розташування електрообладнання, конфігурації електропостачання, освітлення, а також захисту від короткого замикання та інших аварійних ситуацій.

ДБН В.2.5-38:2008 “Електроустановки будівель. Основні положення проектування”. Цей стандарт встановлює загальні принципи проектування електроустановок у будинках, включаючи вимоги до систем електропостачання, розподілу, захисту та автоматизації. Документ також визначає вимоги до електробезпеки та протипожежного захисту.

ДБН В.2.5-24:2012 “Зовнішні мережі та споруди. Електропостачання”. Цей стандарт регулює питання проектування та монтажу зовнішніх електричних мереж, що забезпечують електропостачання будівель і споруд. Він включає вимоги до повітряних і кабельних ліній, підстанцій та іншого зовнішнього електрообладнання.

Існують міжнародні стандарти (IEC, ISO): Міжнародна електротехнічна комісія (IEC) та Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) розробляють глобальні стандарти, що застосовуються у багатьох країнах. Європейські

стандарти (EN) встановлюються Європейським комітетом зі стандартизації (CEN) та Європейським комітетом зі стандартизації в електротехніці (CENELEC). Також є Інститут інженерів електрики та електроніки (IEEE) – це провідна організація, що розробляє стандарти в галузі електрики та електроніки, зокрема для електромонтажних робіт.

До ключових сучасних міжнародних стандартів електромонтажу відносяться наступне.

IEC 60364 – Низьковольтні електроустановки: стандарт встановлює основні принципи проектування, монтажу та тестування низьковольтних електроустановок, включаючи будівлі, промислові об'єкти, інфраструктуру. Він охоплює питання безпеки, надійності та сумісності електричних систем.

IEC 60439 – Низьковольтні комплектні пристрої (LV Switchgear and Controlgear Assemblies): стандарт визначає вимоги до розподільних щитів і систем керування, що використовуються в низьковольтних електроустановках. Вимоги спрямовані на забезпечення безпечної експлуатації та надійності обладнання.

IEC 60898 – Автоматичні вимикачі: стандарт визначає вимоги до автоматичних вимикачів, які використовуються для захисту низьковольтних електроустановок від перевантаження і короткого замикання.

IEC 60947 – Низьковольтні комутаційні апарати: цей стандарт встановлює технічні вимоги до комутаційних апаратів і пристроїв захисту для низьковольтних мереж.

Інститут інженерів електрики та електроніки (IEEE) – це провідна організація, що розробляє стандарти в галузі електрики та електроніки, зокрема для електромонтажних робіт.

IEEE 141 – Стандарт електричних систем потужністю понад 1 кВ: включає рекомендації щодо проектування та експлуатації електричних систем з напругою понад 1 кВ. Він охоплює питання безпеки, захисту, стабільності та ефективності.

IEEE 242 – Захист систем енергопостачання: стандарт містить рекомендації щодо захисту електричних систем від перевантажень, коротких замикань та інших аварійних режимів.

IEEE 1100 – Стандарт для електромагнітної сумісності (EMC) електронних пристроїв: визначає вимоги до забезпечення електромагнітної сумісності електронних та електричних пристроїв, включаючи монтажні роботи.

IEEE 519 – Гармонічний контроль в електричних системах: стандарт надає рекомендації щодо управління гармоніками та підтримання якості електроенергії в мережах.

EN 50110 – Експлуатація електроустановок: цей стандарт встановлює вимоги до безпечної експлуатації та технічного обслуговування

електроустановок, включаючи правила роботи з електрообладнанням, порядок проведення перевірок, технічного обслуговування та ремонтів.

EN 60204-1 – Безпека машин і електрообладнання: стандарт визначає вимоги до електрообладнання машин, включаючи електромонтаж, системи управління та безпеки, а також взаємодію між компонентами електричних систем для забезпечення безпечної роботи.

Ці міжнародні та європейські стандарти відіграють важливу роль у забезпеченні якості, безпеки та надійності електромонтажних робіт, що є важливим аспектом у створенні стабільних і безпечних електричних систем.

Сфера електромонтажу постійно розвивається, адаптуючись до технологічного прогресу, зростаючих вимог споживачів та актуальних екологічних викликів. В Україні, як і в багатьох інших країнах, сучасні тенденції у сфері електромонтажу відображають загальне прагнення до підвищення комфорту, енергоефективності та рівня безпеки, до яких відносяться наступне.

Інтелектуальні системи управління. Однією з провідних тенденцій останніх років є впровадження інтелектуальних систем керування. До них належать рішення з автоматизації освітлення, кліматичного контролю, систем безпеки, а також керування побутовими електроприладами. Завдяки сучасним технологіям, зокрема мобільним додаткам та голосовим асистентам, користувачі мають можливість дистанційно контролювати роботу систем, оптимізуючи споживання енергії та підвищуючи загальний рівень комфорту.

Відновлювальні джерела енергії. Сонячні панелі та вітрові генератори набувають все більшої популярності в Україні. Встановлення систем відновлювальних джерел енергії дозволяє значно знизити витрати на електричну енергію, а також сприяє охороні навколишнього середовища. Чимало українських домогосподарств вже здійснили інвестиції в ці екологічно чисті технології, і ця тенденція продовжує набирати обертів.

Енергозберігаючі технології. Енергозберігаючі пристрої та системи освітлення на основі LED-технологій продовжують набирати популярності. Використання таких рішень дозволяє зменшити витрати на електричну енергію та знизити рівень викидів вуглецю в атмосферу. З кожним роком все більше споживачів обирають енергоефективні пристрої, що стало стандартом для нових будівель та в процесі проведення ремонтних робіт.

Відкриті електромонтажі. У сучасних дизайнерських рішеннях все частіше використовуються відкриті електромонтажі, які акцентують увагу на стилі та індивідуальності інтер'єру. Елементи електропроводки, включаючи провідники, можуть бути органічно інтегровані в загальний дизайн приміщення, надаючи йому естетичний вигляд. Крім того, відкриті системи забезпечують зручний доступ до електричних мереж, що спрощує процес обслуговування та ремонту.

Безпека і автоматизація. Зі зростанням популярності інтелектуальних систем, важливість забезпечення безпеки також набуває першочергового значення. Системи відеоспостереження, сигналізації та автоматичного відключення електроживлення стають стандартом у нових житлових будівлях, забезпечуючи високий рівень захисту для мешканців та їхнього майна.

Сучасні тенденції в електромонтажі відображають прагнення українців до інновацій, безпеки та енергоефективності. Від інтелектуальних систем управління до використання відновлювальних джерел енергії — новітні технології сприяють підвищенню комфорту та зниженню витрат.

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»

УДК 621.314.222.6

Яримбаш Д.С.

д-р техн. наук, проф НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН ВІДМОВ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ НАДІЙНОСТІ

Силові трансформатори є ключовими елементами енергетичних систем, що забезпечують передачу та розподіл електроенергії. Їх надійність безпосередньо впливає на стабільність електропостачання, економічні витрати та безпеку інфраструктури. Відмови трансформаторів призводять до аварійних відключень, відновлювальних робіт із значними фінансовими витратами, а іноді й до екологічних загроз (наприклад, витік трансформаторного масла). Згідно з дослідженнями, більшість відмов виникають через внутрішні дефекти, які можна запобігти завчасно. Тому аналіз причин пошкоджень трансформаторів, розробка профілактичних заходів та вдосконалення їх конструкції є критично важливими для сучасної енергетики.

Метою дослідження було проведення комплексного аналізу основних причин відмов та пошкоджень силових трансформаторів з подальшою розробкою рекомендацій для підвищення їх надійності та ефективності експлуатації.

Дослідження базувались на аналізі статистики відмов силових трансформаторів, зібраної з наукових праць та даних НІП «ЗТЗ-Сервіс».

Для проведення аналізу основних причин було виділено чотири категорії даних. Ідентифікація обладнання (тип, рік виготовлення). Характеристики трансформатора (потужність, система охолодження, тип масла). Умови виникнення несправностей (навантаження, строк експлуатації). Наслідки відмов (місце пошкодження, причини, заходи усунення).

Було встановлено, що найчастіші групи відмов включають. Пошкодження ізоляції (25,5%) — викликані тепловими впливами, окисненням, вологістю. Помилки проектування та монтажу (23,4%) — слабкі кріплення, низька стійкість до коротких замикань. Забруднення масла (4,26%) — накопичення шламу, вуглецю. Перевантаження (5,32%) — експлуатація вище паспортних параметрів. Мережеві перенапруги (4,26%) — комутаційні сплески, стрибки напруги. Також значний внесок у відмови вносять: погіршення контактних з'єднань (6,38%), помилки обслуговування (5,32%) та потрапляння вологи (2,12%).

Більшість пошкоджень (55% і більше) припадає на активні компоненти трансформатора. Обмотки (45-49% відмов) — через механічні навантаження, перегрів. Магнітна система (3-15%) — дефекти ізоляції, вібрація. Високовольтні вводи (17-19%) — корозія, перегрів. Пристрої РПН (9-26%) — знос контактів, забруднення масла.

Таким чином, пріоритетними та найкритичнішими причини відмов є пошкодження ізоляції та помилки проектування. Вони пов'язані зі старінням матеріалів, недостатнім розрахунком навантажень та низькою якістю виробництва. Активні компоненти (обмотки, магнітна система) потребують особливої уваги через їхню вразливість до динамічних навантажень.

Вплив зовнішніх факторів обумовлюється мережевими перенапруги та вологість прискорюють деградацію ізоляції. Забруднення масла знижує його ізоляційні властивості, що призводить до внутрішніх пробойів.

Для підвищення надійності роботи силових трансформаторів необхідно проводити регулярний моніторинг стану масла (аналіз кислотності, вмісту води) що дозволить виявити проблеми на ранніх стадіях. Вдосконалення систем захисту від перенапруг (ефективні розрядники, заземлення) зменшує ризик пошкоджень.

Перспективними шляхами підвищення надійності роботи трансформаторів можуть бути. Розробка і впровадження нових матеріалів шляхом використання нанокompозитів для ізоляції, стійких до високих температур та вологості, та масел із покращеними антиоксидантними властивостями. Вдосконалення систем моніторингу за рахунок інтеграції IoT-сенсорів для онлайн-аналізу температури, вібрації, стану масла та використання штучного інтелекту для прогнозування відмов на основі історичних даних. Вдосконалення методів та оптимізація проектування шляхом застосування комп'ютерного моделювання (наприклад, методом скінченних елементів) для оцінки стійкості до коротких замикань та стандартизації вимог до монтажу та обслуговування трансформаторів. Вдосконалення профілактичних стратегій за рахунок переходу до ремонтів «за потребою» (на основі даних моніторингу), що зменшить простой та витрати.

Таким чином, проведений аналіз причин відмов силових трансформаторів підкреслює необхідність комплексного підходу до їх проектування, експлуатації та обслуговування. Для запобігання деградації ізоляції необхідне впровадження нових матеріалів, підвищення точності розрахунків при проектуванні та запровадження систем автоматизованого моніторингу та профілактики. Реалізація цих заходів дозволить істотно зменшити кількість відмов, продовжити строк служби трансформаторів та забезпечити стабільність енергосистем. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію AI-технологій та розвиток «розумних» трансформаторів, здатних адаптуватися до змінних умов експлуатації.

УДК 621.316.35

Безверхня Ю.С.

доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В ТРОЛЕЙНИХ ШИНОПРОВОДАХ З УРАХУВАННЯМ НЕЛІНІЙНИХ ГАРМОНІЧНИХ СПОТВОРЕНЬ

Актуальність дослідження обумовлена проблемою підвищених активних втрат у тролейних шинопроводах, що є наслідком роботи нелінійних електроспоживачів з напівпровідниковими перетворювачами в цехових електричних мережах. Особливу небезпеку ці явища становлять для критично важливих систем, зокрема мостових кранів, де вони можуть спричиняти аварійні режими роботи. Традиційні методи розрахунку електромагнітних параметрів тролейних шинопроводів, як показав аналіз, демонструють суттєві обмеження через недостатнє врахування комплексу взаємопов'язаних факторів, серед яких особливої уваги потребують гармонійний склад струму навантаження, нелінійність електрофізичних характеристик матеріалів, а також різноманітні крайові ефекти, включаючи скін-ефект, ефект близькості та поверхневі явища. Для подолання цих обмежень було розроблено інноваційну методику, яка поєднує модифікований польовий метод розрахунків з двовимірною частотною моделлю електромагнітних процесів, що дозволяє враховувати фазові зсуви для кожної гармоніки окремо.

Основним науковим досягненням став розвиток підходу, який забезпечує високу точність чисельних розрахунків для кожного гармонійного компонента, враховує нелінійні властивості матеріалів та взаємний вплив сусідніх шин. Практична цінність дослідження підтверджена експериментальними результатами, які демонструють можливість оптимізації конфігурації цехових мереж, точного визначення місць встановлення компенсуючих пристроїв та підвищення надійності роботи струмоприймачів. Запропонований метод відкриває нові можливості для проектування енергоефективних систем шинопроводів у сучасних умовах, коли гармонійні спотворення стають все більш вираженими через масове впровадження перетворювальної техніки. Особливу увагу приділено розробці математичного апарату, який дозволяє кількісно оцінювати вплив кожного з факторів окремо та у їх сукупності, що є важливим кроком у розвитку теорії розрахунку складних електромагнітних систем промислового призначення.

Реалізація запропонованого підходу дозволила не лише підвищити точність розрахунків, але й розробити практичні рекомендації щодо модернізації існуючих систем електропостачання промислових підприємств. Отримані результати мають значний потенціал для подальшого вдосконалення, зокрема в напрямку розширення моделі для тривимірного випадку та інтеграції з

сучасними системами автоматизованого проектування електротехнічних установок. Важливим аспектом дослідження є його прикладний характер, оскільки розроблені методики вже знайшли застосування при модернізації цехових мереж декількох промислових підприємств, демонструючи стабільну працездатність у реальних умовах експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.Kotsur, M. I. Accuracy Improvement for the Determination of Parameters and Voltage Drops in Busbars, Considering the Networks Power Factor [Text] / M. I. Kotsur, D. S. Yarymbash, Yu.S. Bezverkhnya, I.M. Kotsur // Problemele energeticii regionale. – 2021. - №3(51). – P. 37-52. – Режим доступу: DOI: <https://doi.org/10.52254/1857>

УДК621.318.1

Дівчук Т.Є.¹, Дьомічева Г.В.²

¹доц. НУ «Запорізька політехніка»

²старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Силові трансформатори є основними перетворювачами електричної енергії в сучасних енергосистемах. В робочому циклі силових трансформаторів можливо виділити моменти найбільш відповідального функціонування – перехідні процеси, що виникають під час ввімкнення, зміни навантаження зі сторони споживачів енергії, аварійні режими роботи. Тому важливою задачею залишаються питання автоматизованого проектування силових трансформаторів, складання проекту, що дозволяє при мінімізації витрат, часу та матеріалів забезпечити надійність нового об'єкту у всіх режимах експлуатації.

В сучасних системах автоматизованого проектування широко використовуються наступні основні підходи до моделювання магнітного поля силового трансформатора:

- фізичні методи моделювання потенційних полів;
- графічні методи – побудова картини потенційного поля виходячи з властивостей ліній рівного потенціалу та силових ліній, або шляхом вирішення рівняння Лапласа в кінцевих різницях;
- аналітичні методи, засновані на теоремі Гауса і закону повного струму в інтегральній формі, що передбачають вирішення диференціальних рівнянь у часткових похідних. Результат отримують у загальному вигляді, що дозволяє вивчити взаємозв'язки між характеристиками магнітного поля та

параметрами трансформатора. Вони використовуються для розрахунку лише симетричних полів;

- чисельні методи, що нині є найперспективнішими. Це пов'язано насамперед із розвитком обчислювальної техніки, у результаті стало можливим рішення великих систем алгебраїчних рівнянь, яких у кінцевому підсумку зводиться до завдання розрахунку поля. Переваги цих методів полягають у тому, що вони дозволяють враховувати складну геометрію об'єктів, що розглядаються, неоднорідність і нелінійність характеристик середовищ;

- методи комп'ютерної імітації поля, що ґрунтуються на методі часток, Монте-Карло або ітераційного перебору. Математика тут дуже проста, тому що не вимагає зведення завдання до вирішення систем рівнянь. Це дозволяє без проблем поширити алгоритм розрахунку на тривимірні польові завдання.

В даний час перевага у моделюванні поля надається чисельним методам розрахунку. Найбільшого поширення набули два методи:

- метод кінцевих різниць (МКР). За своєю ідеєю він простий і наочний. Нині цей метод значно розвинений.;

- метод кінцевих елементів (МКЕ). На відміну від попереднього методу, що є по суті кінцевою імітацією процесу інтегрування диференціальних рівнянь, цей метод більш тісно пов'язаний з фізичною природою поля. У його основі лежать методи варіаційного обчислення.

Незважаючи на велику кількість моделей та методів розрахунку динамічних режимів, вкрай важливим залишається питання отримання підходу, який дозволить імітувати роботу силового трансформатора в різних режимах, при будь яких експлуатаційних умовах. Така модель повинна давати адекватні результати та не вимагати великих витрат на їх отримання.

УДК 669.04

Петрик О.А.

доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ВВЕДЕННІ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ (ПОВІДОМЛЕННЯ 2)

Виконаний порівняльний аналіз розігрівання дослідного та базового варіантів режимів розігрівання. З аналізу встановлене наступне:

- тривалість розігрівання знижено на 5 годин або на 6,9 % (з 72 до 67 годин);

- витрати палива знижено на 594,1 ГДж або 15,1 % (з 3924,5 до 3330,4 ГДж);

– втрати теплоти з газами, що відходять, знижено на 373,8 ГДж або 15,7 % (з 2378,8 до 2002,0 ГДж).

При цьому нев'язку по балансу знижено на 9,67 % (з 10,37 до 0,7 %).

На основі розрахунків, в основі яких лежать рівняння теплового балансу високотемпературного агрегату [1,2] розроблено новий раціональний режим розігрівання.

Згідно запропонованого температурного режиму швидкість розігрівання при диференціальній подачі палива складає: з 1 по 16 годину – 16 °С/год, витримка при температурі 310 °С (тривалістю 3 години), з 20 по 41 годину – 25 °С/год, витримка при температурі 810 °С (тривалістю 3 години), з 44 до 67 години – 35 °С/год. За розрахунками теплового балансу, кількість теплоти, що необхідно підвести до склепіння, щоб його нагріти складає:

– за класичною технологією – 14 ГДж/м²,

– за новою технологією – 11,9 ГДж/м² (зниження на 2,1 ГДж/м² або 15,1 %).

Новий тепловий режим розігріву склепіння печі дозволить забезпечити рівномірний температурний градієнт по всій поверхні склепіння, а також простору печі: з витримкою на 310 °С і 810 °С в зонах підвищеного лінійного розширення прямов'язаних периклазохромітових виробів. При цьому зниження палива складає 15,1 %.

Аналогічно можна виконувати розрахунки та розробляти нові раціональні режими розігрівання за різних обсягах виконання ремонтних робіт, наприклад, графік підвищеному обсязі виконання ремонтних робіт тривалістю 80 години та більше.

Виконано розрахунок теплового балансу нагрівання склепіння високотемпературного агрегату. На підставі отриманих результатів і наявності надлишку теплоти в прибутковій частині розрахунковим шляхом виконано підбір тривалості й витрат палива для нового графіку.

На основі проведених досліджень розроблено новий раціональний графік розігрівання склепіння високотемпературного агрегату в залежності від тривалості графіку та обсягу виконаних робіт, що дозволило знизити витрати палива на нагрівання більш ніж на 15 %, а також підвищити продуктивність агрегату за рахунок скорішого виходу на робочий режим.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Петрик О.А. Назаренко І.А. Вдосконалення режимів розігрівання високотемпературних агрегатів / О.А. Петрик, І.А. Назаренко // Теплофізика та теплоенергетика – 2023. – т.45, №2. – С. 63-68.
2. Сущенко А. В. Сравнительный анализ методик расчета материального и теплового балансов кислородно-конвертерной плавки / А. В. Сущенко, И. А. Фейерэйзен // Вісник Приазовського державного технічного

університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – Вип. 27. – С. 17–29. – ISSN 2225-6733 (print). – ISSN 2519-271X (on-line).

УДК 621.316.35

Лапкіна С.О.

асист. НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА З НАВИТОЮ МАГНІТНОЮ СИСТЕМОЮ

Просторові магнітні системи відносяться до одного з типів конструкцій осердя силового трансформатора. Особливістю даної магнітної системи є оптимізація руху магнітного потоку за рахунок зменшення магнітного опору, що пов'язаний із повітряними зазорами та кутом відхилення вектора магнітного потоку та напрямком прокатки анізотропної електротехнічної сталі. Відомо, що у пласкій магнітній системі у зовнішніх кутах спостерігається збільшення питомих втрат в осерді та питомої намагнічуючої потужності, що впливає на сумарні втрати в осерді та призводить до зменшення ККД. У зв'язку із цим актуальним є питання дослідження та оптимізації конструкції магнітної системи силового трансформатора, а також використання просторових магнітних систем та розробка її оптимальної конструкції. Просторові навиті магнітні системи використовують геометричну симетрію для мінімізації потоку розсіяння, зменшення втрат у сталі та підвищення вихідної потужності.

Доцільність використання магнітної системи просторового типу буда перевірена аналітично на прикладі трифазного силового трансформатора потужністю 250 кВА. Приймається, що силовий трансформатора із пласкою магнітною системою, та силовий трансформатор із просторовою магнітною системою мають однакові: діаметр стрижня, головні ізоляційні відстані, матеріал магнітної системи – сталь марки 3405. У процесі розрахунку конструкції магнітної системи приймається необхідність отримати перетин стрижні із аналогічним коефіцієнтом заповнення кола як і у магнітної системи плаского типу. Отримані параметри втрат у сталі показали для стрижньової магнітної системи із косими кутами у стиках – 593.348 Вт, для просторової - 567.518 Вт, що вказує на зниження втрат неробочого ходу на 4.4%. Зменшення маси сталі складає 9.18%.

Таким чином просторові магнітні системи представляють собою прорив у технології трифазних трансформаторів, пропонуючи вищу ефективність, компактність і менші втрати порівняно зі звичайними конструкціями. Завдяки прогресу обчислювальному моделюванню з'явилась можливість

створення розрахункової бази для вивчення залежностей у різних типах магнітних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Levin M.I., Пентегов I.B., Римар С.В., Lavreniuk A.V. Нові підходи при побудові магнітопроводів силових трансформаторів, електротехніка та електромеханіка. 2015. №1, с. 20-24.

2. Плахтир О.О. Варіанти конструкцій та класифікація просторових магнітопроводів трифазних трансформаторів та реакторів // Електротехніка та електромеханіка.

3. Ставинський А.А., Ставинський Р.А., Плахтир О.О. Розрахунок трифазних трансформаторів з просторовим магнітопроводом: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК. – 2004. – 106 с.

УДК 621.365.5

Тютюнник П.О.¹, Яримбаш Д.С.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² д-р техн. наук, проф НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ОПИСУ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В СИСТЕМІ ІНДУКЦІЙНОГО ОБІГРІВУ МУНДШТУКА ПРЕСУ

Для підвищення якості та ефективності процесу пресування заготовок вугільно-графітових блоків необхідно провести оптимізацію режимів індукційного нагрівання та розробити ефективні схеми встановлення керуючих термопар в мундштуці пресу. Експериментальне визначення ефективних схем встановлення термопар обмежене особливостями технологічного обладнання та потребує значних фінансових витрат, що практично робить його недоцільним. Альтернативою експериментальним дослідженням є проведення математичного моделювання електротеплових процесів в системі «індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса». Для проведення моделювання електротеплових процесів потрібне використання математичних моделей, які достовірно і адекватно описують процеси теплопередачі в системі «індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса». Метою роботи було створення математичної моделі, яка б ефективно, достовірно та адекватно визначала процеси теплопередачі в системі «Індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса».

Процеси тепломасопереносу в системі «індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса» описуються системою нелінійних диференціальних рівнянь виду:

$$\begin{cases} c_i \rho_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \operatorname{div} \left(\lambda_i \vec{\operatorname{grad}} T_i \right) + \sigma_i^{-1} \delta_i^2; \\ c_m \rho_3 \frac{\partial T_m}{\partial t} = \operatorname{div} \left(\lambda_m \vec{\operatorname{grad}} T_m \right); \\ c_{\text{ВГМ}} \rho_{\text{ВГМ}} \left(\frac{\partial T_{\text{ВГМ}}}{\partial t} + \left(\vec{w}, \vec{\operatorname{grad}} T_{\text{ВГМ}} \right) \right) = \operatorname{div} \left(\lambda_{\text{ВГМ}} \vec{\operatorname{grad}} T_{\text{ВГМ}} \right) + q_{\text{ВГМ}}, \end{cases} \quad (1)$$

з відповідними початковими умовами Коші [1], перехідними умовами, які враховують безперервність у часі температурних полів за циклами пресування, граничними умовами комбінованого конвективно-лучистого теплообміну [1] на поверхнях сполучення елементів системи або умов конвективної теплопередачі [1].

Теплофізичні параметри відповідної системи (коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність, густина) визначаються як функції температури, до яких застосовувались градації Шлака-Сарьянта і трансформації Ейерса для лінеаризації системи (1). Це дозволяє привести рівняння (1) для областей індукторів та мундштуку пресу до виду:

$$\frac{\partial E_j}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial z} \right) + p. \quad (2)$$

Виконується перехід від системи рівнянь в трансформаціях Ейерса і градаціях Шлака-Сарьянта із використанням заміни безперервних функцій коефіцієнту впливу ступеневими до системи рівнянь параболічного типу відносно градацій Шлака-Сарьянта:

$$C_U \cdot \frac{\partial U_\lambda}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial z} \right) + p. \quad (3)$$

Система рівнянь (3) замикається модифікованими крайовими умовами для границь теплообміну та теплопередачі, виділених у розрахунковій галузі системи «індуктори–мундштук».

Таким чином системі нелінійних рівнянь теплопровідності (1).

З нелінійними крайовими умовами може бути поставлена у відповідність система рівнянь параболічного типу в градаціях градаціях Шлака-Сарьянта з перетвореними граничними і початковими умовами виду:

$$U_{\lambda j} = U_{\lambda j}(x, y, z, t_0). \quad (4)$$

Представлена постановка задачі опису процесів теплопередачі в системі «індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса» забезпечує скорочення числа ітерацій при моделюванні теплопередачі в процесі виготовлення заготовок подових і доменних блоків, так як більша кількість рівнянь в апроксимуючій системі будуть лінійними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lienhard, J. H., V and Lienhard, J. H., IV. A Heat Transfer Textbook, 6th ed. Cambridge MA: Phlogiston Press, 2024. – 810 p.

UDC 621.316.71

Synetskyi Andriy ¹, Kotsur Igor ²

¹ PhD stud., National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

² Assoc. Prof., National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

RESEARCH ON ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN A HIGH-VOLTAGE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

The application of an automated, regulated electromechanical system is considered the most relevant and effective means of energy conservation. The main energy losses (up to 90%) occur in the energy consumption sector, where the primary efforts for the rational use of electricity should be concentrated. Electromechanical systems in all developed countries consume up to 70% of the total electricity produced. The most significant energy savings can be achieved by using regulated electromechanical systems in combination with the automation of technological processes. For example, one of the most energy-intensive electromechanical systems is the main ventilation fans in coal mines. The average installed capacity of electromechanical systems for fans ranges from 1000 to 1600 kW, while the most powerful installations reach up to 4000 kW. As a drive motor in such systems, asynchronous motors with a wound rotor (AMWR) are used. Therefore, electromechanical systems with AMWR are of particular interest today, as they are widely used in hoisting and transport mechanisms, as well as in conveyor systems. The use of smooth regulation in modern electromechanical systems significantly reduces electricity consumption, mechanical loads, and wear of mechanism components, which substantially increases system reliability.

The aim of this work is to study the electromagnetic processes in the circuit of the phase rotor of a high-voltage induction motor connected to the network through a step-up converter, to determine the parameters of the converter and their relationship with the voltage gain to ensure the optimal level of energy efficiency of the electromechanical system.

As a result of the conducted research, a methodology has been proposed for determining the gain coefficient of the converter and the parameters of the rotor circuit of the electromechanical system. This methodology allows for the determination of the transformation ratio of the matching transformer at the optimal gain coefficient for voltage. The proposed approach can be applied in modeling complex high-power high-voltage electromechanical systems, particularly for stationary industrial fan installations. The conditions for the fault-free operation of the inverter at the startup moment of the electromechanical system have been determined. Achieving these conditions is ensured by determining the delay of the control signal to the power switches of the boost-type converter inverter. A relationship has been established between the voltage gain coefficient and the equivalent resistance of the rotor circuit of the electromechanical system, which ensures the matching of the rotor's electromotive force (EMF) with the supply network voltage while maintaining a high level of energy efficiency in the electromechanical system.

УДК 621.365:536.24:621.3.01.7

Тютюнник О.В.¹, Яримбаш Д.С.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² д-р техн. наук, проф НУ «Запорізька політехніка»

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОЛІВ В ЕЛЕКТРОКАЛЬЦИНАТОРІ

Одним із ключових напрямів розвитку електродної промисловості в сучасних умовах є підвищення енергоефективності виробництва. Це пов'язано з глобальними викликами: зростанням вартості енергоносіїв, потребою зменшення вуглецевого сліду та переходом до принципів ESG (екологія, соціальна відповідальність, корпоративне управління).

Використання електрокальцинатора для отримання графітованого наповнювача електродів (графітованого коксу) дозволяє відмовитися від проміжних етапів, що зменшує витрати, скорочує трудомісткість та знижує викиди CO₂; підвищує якість продукції через точніший контроль параметрів графітації. Для підвищення енергетичної ефективності виробництва електродної продукції потрібна розробка нових технічних рішень для процесу графітації в електрокальцинаторі. Через складність проведення експериментальних досліджень у виробничих умовах актуальною є задача розробки нових рішень на основі математичного моделювання.

Метою роботи була розробка електротеплової моделі, яка відображає конструкцію електрокальцинатора, нелінійність магнітних і теплофізичних властивостей його складових та її реалізація на основі методу скінченних елементів.

Мультифізична математична модель складається з системи рівнянь, що описують електромагнітне та теплове поле. Для опису електромагнітних процесів використовувалось квазістаціонарне наближення рівнянь Максвелла (для низьких частот): рівняння закону Ома, рівняння безперервності струму та зв'язку напруженості електричного поля з електричним потенціалом. Для опису теплового поля використовувалось рівняння теплопровідності з джерелом тепла. Зв'язок між полями встановлювався за температурними залежностями електричної провідності та теплопровідності і залежністю Джоулевого тепла від розподілу струму. Математична модель доповнювалась відповідними граничними та початковими умовами.

Реалізація моделі виконувалась в програмному середовищі COMSOL. Порівняння отриманих результатів температурних полів із даними температурних вимірювань на діючому обладнанні показала високу точність моделювання. Це дозволить у майбутньому використовувати запропоновану модель для дослідження впливу конструктивних особливостей на точки нагріву й ефективність теплорозподілу, проводити дослідження різних матеріалів мінімізації втрат і підвищення ефективності процесу графітації.

УДК 621.314.222.6:621.3.019.3:004.896

Климов А.Ф.¹, Яримбаш Д.С.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² д-р техн. наук, проф НУ «Запорізька політехніка»

АВТОМАТИЗОВАНА ДІАГНОСТИКА СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Силові трансформатори є ключовими компонентами енергетичних систем, які забезпечують передачу електроенергії між мережами різної напруги. Від їх технічного стану залежить стабільність електропостачання, запобігання аваріям та економічна ефективність енергокомпаній. Згідно з даними дослідження, понад 60% відмов трансформаторів призводять до каскадних аварій, перевантажень обладнання або відключень споживачів. Традиційні методи оцінки стану (наприклад, експертні оцінки, статистичні аналізи) мають низку недоліків: суб'єктивність, обмеженість у обробці великих даних, високу вартість та трудомісткість.

Сучасні виклики, такі як зростання обсягів даних технічного моніторингу та необхідність швидкого прийняття рішень, вимагають нових підходів. Машинне навчання пропонує інструменти для автоматизації аналізу, виявлення прихованих закономірностей і підвищення точності прогнозування. Таким чином, дослідження алгоритмів МН для оцінки стану трансформаторів є критично важливим для сучасної енергетики.

Метою дослідження була апробація методу автоматизованої оцінки технічного стану силових трансформаторів на основі алгоритмів машинного навчання.

Для реалізації поставленої мети було проведено відбір інформативних ознак із великого масиву даних технічної діагностики, відновлення відсутніх значень у вихідних даних, побудовано класифікатор для визначення стану трансформаторів (добрий, задовільний, незадовільний).

У роботі використовувались дані НПЦ "ЗТЗ-Сервіс" для силових трансформаторів напругою 35 кВ, які включали такі параметри як: результати хроматографічного аналізу трансформаторного масла, навантаження, стан вводів та ін.

Визначення важливості ознак виконувалось за модифікованим алгоритмом випадкових лісів. Виключались параметри з низькою інформативністю, що дозволило скороти кількість ознак майже на 25%. Для заповнення пропусків застосовувався метод К-найближчих сусідів. Для підвищення ефективності алгоритму всі дані було нормалізовано. Виконувалась комбінація лісів рішень з подальшою оптимізацією для налаштування гіперпараметрів.

Середня точність класифікації склала понад 70%, що на 10% вище за традиційні підходи.

Дослідження довело ефективність машинного навчання для оцінки технічного стану силових трансформаторів. Досліджуваний метод підвищує точність класифікації. Подальший розвиток напрямку може включати використання більш складних алгоритмів та розширення масивів даних.

УДК 621.3.013.1

Кучерявий А.В.¹, Яримбаш Д.С.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² д-р техн. наук, проф НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Активне впровадження високовольтних систем постійного струму для передачі енергії на великі відстані та інтеграції відновлюваних джерел обумовлює появу в силових трансформаторах паразитних постійних струмів, які призводять до їхнього насичення, зростання гармонік, локальних перегрівів, зниження ефективності, збільшенню ризику аварій та скороченню терміну служби обладнання. Геомагнітні збурення генерують постійні струми в землі, які протікають через заземлені нейтралі трансформаторів, призводячи до їх пошкоджень і аварій. Тому актуальної є потреба в розробці

точних моделей для прогнозування впливу геомагнітно індукованих струмів та розробки захисних заходів. Проблемою традиційних моделей трансформаторів є те, що вони використовують лінійні наближення магнітних опорів витoku та не враховують нелінійність при зсуві за постійним струмом, що може призводити до похибок при прогнозуванні гармонік, оцінці термічної стійкості трансформаторів, аналізі механічних напружень тощо.

Розвиток обчислювальних методів розв'язання диференціальних рівнянь та мультифізичного моделювання дозволяють враховувати нелінійність матеріалів, динаміку магнітних полів, взаємодію електричних, магнітних та теплових процесів.

Метою роботи була інтеграція методів скінченних елементів з електромагнітним моделюванням для динамічного розрахунку параметрів витoku.

Модель еквівалентного магнітного кола трансформатору складається з магніторушійних сил, які відображають впливи обмоток, опорів магнітопроводу, які розраховуються на основі нелінійних кривих намагнічування та опорів виток, які моделюють шляхи потоків через металеві частини.

Для обчислення магнітних опорів витoku використовувалась скінчено-елементна модель на основі рівнянь Максвелла для магнітного векторного потенціалу та електричного скалярного потенціалу. За результатами моделювання визначалась енергія магнітних витоків та еквівалентні опори витoku. Для моделювання зв'язку з електричною системою використовувалось інтегрування моделі трансформатора з еквівалентною схемою енергосистеми.

Дослідження проводились для трансформатору 250000 кВА / 330 кВ з постійним струмом 100А.

За результатами моделювання було встановлено, що для досліджуваного трансформатору при врахуванні динамічних опорів витoku відбувається зміна спектру гармонік струму, зростає вміст непарних гармонік. Магнітні потоки у магнітопроводі практично не змінюються при цьому потік витoku стає більш спотвореним, через зростання енергії в шляхах витoku. Опори витoku зростають до 3 разів у порівнянні з лінійним наближенням.

Уточнений розрахунок енергії витоків дозволяє прогнозувати нагрів конструктивних елементів трансформатору та проводити аналіз вібрацій трансформаторів.

Запропонована модель із динамічними опорами витoku дозволяє підвищити точність аналізу зсуву за постійним струмом, особливо для ефектів, пов'язаних із потоками витoku. Інтеграція скінчено-елементного моделювання із системним моделюванням дозволяє враховувати нелінійність

матеріалів без значних витрат обчислювальних ресурсів. Результати моделювання підтвердили, що при зсувах за постійним струмом гармоніки залежать від динаміки опорів витоку, а енергія у магнітних витоках може суттєво зростати, що критично для оцінки термічної стійкості трансформатора.

УДК 621.314

Бабкін Д.О.¹, Дівчук Т.Є.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАРЯЧОЇ ТОЧКИ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ РІЗНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Силові трансформатори є критично важливими компонентами енергосистем, які забезпечують стабільну передачу електроенергії. Їх надійність безпосередньо залежить від стану ізоляції обмоток, що, у свою чергу, визначається температурою гарячої точки (ГТ) — найбільш нагрітої ділянки обмотки. Перевищення допустимих температурних значень призводить до прискореного старіння ізоляції, збільшення ризиків аварій та скорочення терміну служби обладнання.

Сучасні енергетичні системи працюють у режимах зі змінним навантаженням, що робить актуальним дослідження впливу коефіцієнта навантаження (співвідношення фактичного навантаження до номінального) на температуру ГТ. Традиційні методи розрахунку (емпіричні формули, термоелектричні аналогії) дозволяють визначити лише середню температуру обмотки, але не локалізувати ГТ. Це обмежує їх практичне застосування для прогнозування стану трансформаторів.

Метою роботи було дослідження взаємозв'язку між коефіцієнтом навантаження та температурою гарячої точки обмотки масляного трансформатора за допомогою методу скінченних елементів.

В процесі виконання досліджень було створено тривимірну модель силового трансформатора, проведено аналіз розподілу температури в обмотка ВН та НН різних фаз при різних навантаженнях, визначено геометричне положення ГТ та його залежність від коефіцієнту навантаження, проведено оцінку впливу перевантажень на динаміку зростання температури обмоток.

Дослідження виконувались в програмному середовищі COMSOL Multiphysics для масляного трифазного трансформатора потужністю 4000 кВА класу напруги 35 кВ. При побудові геометричної моделі трансформатора враховувались конструктивні особливості трансформатора

та його елементів: обмоток ВН та НН, магнітопроводу, системи ізоляції. Для спрощення моделювання було зроблено припущення про рівномірність розподілу теплових джерел. Для підвищення обчислювальної ефективності було виконано оптимізацію сітки скінченних елементів зі збільшенням кількості елементів в зонах інтенсивного теплообміну.

Моделювання проводилось для температури навколишнього середовища 20°C із врахуванням теплових втрат в обмотках, конвекції масла та теплопровідності матеріалів для діапазону коефіцієнтів навантаження [0,45...1,25].

Найвища температура спостерігалась у обмотці НН, ГТ розташовувалась трохи нижче верхнього краю обмотки. При коефіцієнті навантаження менше 1 спостерігається плавне підвищення температури, при перевищенні цього показника – більш різке. За результатами моделювання було отримано поліноміальні рівняння, що описують температурний профіль обмоток. Встановлено нелінійний характер залежності температури ГТ від навантаження, особливо критичний при перевантаженнях.

Дослідження довело ефективність методу скінченних елементів для аналізу температурних полів у масляних трансформаторах. Отримані результати дозволяють точно визначати положення гарячої точки та прогнозувати її температуру в залежності від навантаження.

УДК 627.01

Шрам О.А.¹, Петрик Б.В.²

¹ доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-214м НУ «Запорізька політехніка»

ТЕХНОЛОГІЯ ВОДЯНОГО СТОПІ, ЩО КОЛИВАЄТЬСЯ

Важливим завданням сучасної науки сталої енергетики є розробка інноваційних технологій, які дозволять максимально ефективно використовувати енергетичний потенціал ресурсів при мінімальному екологічному впливі. Останні дослідження спрямовані на створення більш ефективних генераторів, зменшення вартості будівництва та впровадження автономних систем контролю для існуючих технологій.

Зважаючи на глобальну енергетичну кризу, зміни клімату та необхідність скорочення викидів парникових газів, розвиток саме океанічної енергетики має стратегічне значення для забезпечення сталого майбутнього. Інвестиції у відновлювані джерела енергії, засновані на використанні океанів, можуть стати ключовим фактором енергетичної незалежності країн, а також сприяти збереженню довкілля та підвищенню рівня життя населення у прибережних містах.

Сучасні дослідження підтверджують, що використання океанічної енергії здатне не лише забезпечити безперебійне виробництво електроенергії, а й зменшити залежність людства від викопного палива. При цьому важливими перевагами океанічної енергетики є її передбачуваність і стабільність[1]. На відміну від сонячної чи вітрової енергії, які залежать від погодних умов, припливи, океанічні течії та температурні градієнти є стабільними природними явищами, що дозволяє точно прогнозувати виробництво електроенергії та ефективно інтегрувати такі джерела у загальну енергетичну систему. Відповідно до практичного інтересу використання хвильової енергії океану пов'язано зі створенням хвильових електростанцій, приливних електростанцій та електростанцій морських течій.

Принцип дії базується на взаємодії хвильового потоку з повітряною камерою, що спричиняє зміну тиску всередині системи. Технологія широко використовується у хвильових електростанціях, які розташовують на узбережжі[2] або у відкритому морі, де плавучі платформи з цією технологією використовуються для автономного живлення навігаційних систем або дослідницьких станцій. Подальші дослідження у цій сфері спрямовані на підвищення ефективності турбін, використання нових матеріалів для конструкції камер, а також інтеграцію таких систем у загальні мережі відновлюваної енергетики.

Основним перетворювачем енергії є турбіна Веллса – осьова турбіна, що володіє унікальною здатністю обертатися в одному напрямку незалежно від напрямку потоку повітря. Це забезпечує високу надійність та зменшує кількість рухомих частин, що знижує витрати на обслуговування.

Один із масштабних проєктів, що використовує цей принцип, реалізовано у Тофтестоллені (Норвегія) компанією «Kvaerner Brug A/S»(рис. 1). У цьому проєкті застосовано 500-кіловатну установку, розташовану на краю скельного урвища, що дозволяє ефективно використовувати енергію хвиль.



Рисунок 1 – Ширококосмугова хвильова енергетична установка

Основна перевага технологій, заснованих на принципі коливного водяного стовпа, полягає в можливості збільшення швидкості потоку повітря перед турбіною шляхом зменшення перерізу каналу. Це дозволяє перетворювати повільні хвильові рухи у більш ефективне височастотне обертання турбіни. Ще однією важливою перевагою таких систем є можливість розміщення генераторного обладнання поза зоною безпосереднього впливу солоної морської води, що значно підвищує довговічність та надійність установок.

Попри певні труднощі, такі як висока вартість впровадження та залежність від параметрів хвиль, розвиток нових матеріалів, вдосконалення конструкції турбін і розширення масштабів застосування дозволить зробити цю технологію ще ефективнішою та відкрити нові горизонти для досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. R. Gayathri, Jen-Yi Chang, Chia-Cheng Tsai and Tai-Wen Hsu Wave Energy Conversion through Oscillating Water Columns: A Review Journal: J. Mar. Sci. Eng., 2024 - Vol. 12(2). № 342. pp 1-22. <https://doi.org/10.3390/jmse12020342>

2. Самойчук К.О., Лівик Н.В. Використання поверхневих, термальних і морських вод для виробництва теплової і електричної енергії. Електронний навч. посібник. Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_5/index.html

УДК 621.365.5

Юров Є.О.¹, Солодовнікова Т.П.²

¹ студ. гр. Е-214м НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ЕНЕРГЕТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ІНДУКТОРІВ МУНДШТУКА ПРЕСУ

Індукційний нагрів є ключовою технологією у металургії, машинобудуванні та обробці матеріалів, особливо для нагріву мундштука пресу для пресування заготовок подових та доменних блоків. Ефективність таких систем залежить від багатьох факторів: геометрії індуктора, властивостей матеріалів, частоти струму та ефектів, таких як поверхневий ефект, ефект близькості та кільцевий ефект. Нерозуміння цих явищ призводить до неефективного використання енергії, зниження ККД та зростання витрат. Актуальність дослідження полягає в аналізі спільного впливу цих ефектів на електричні параметри системи, що дозволить оптимізувати конструкції індукторів та підвищити енергоефективність технологічних процесів пресування заготовок вугільно-графітових блоків.

Метою роботи є розробка числової моделі для аналізу впливу геометричних параметрів індуктора на електричний ККД та коефіцієнт потужності системи.

Дослідження проводились у декілька етапів. Було розроблено модель системи «індуктор – мундштук пресу» в середовищі Comsol Multiphysics, яка дозволяє враховувати конструктивні параметри, фізичні властивості матеріалів, частоти струму, поверхневий ефект, ефект близькості та кільцевий ефект. Виконано аналіз відповідних ефектів. Проведено розрахунок енергетичних параметрів: коефіцієнтів активного та реактивного опорів, електричного ККД та коефіцієнту потужності. Розроблена модель дозволила врахувати вплив товщини осердя індуктора та зазору між індуктором та мундштуком пресу на енергетичні параметри системи.

В процесі досліджень було визначено спільний вплив поверхневого ефекту, ефекту близькості, кільцевого та щільного ефектів на параметри системи. Розроблена модель дозволяє прогнозувати енергетичні параметри для різних геометричних конфігурацій.

Результати дозволяють проектувати індуктори з підвищеним ККД, що зменшує енерговитрати на 15–20%.

Оптимізація геометрії індуктора є ефективним шляхом підвищення ефективності індукційного нагріву.

УДК 621.314.222.6

Терещенко Я.Д.¹, Якубін Р.О.², Тиховод С.М.³

¹ студ. гр. Е-272 НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-273 НУ «Запорізька політехніка»

³ проф. НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРАХУНОК ІНДУКТИВНОСТІ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Трансформатори є критичними компонентами енергетичних систем, а їх точне моделювання необхідне для аналізу режимів роботи, особливо при внутрішніх несправностях, таких як замикання обмоток або на землю. Класичні методи розрахунку індуктивності часто ґрунтуються на спрощених припущеннях, які ігнорують горизонтальні потоки розсіювання та вплив конструкції трансформатора. Це призводить до неточностей у при використанні спеціалізованих програмних засобів, що ускладнює розробку ефективних систем релейного захисту. Актуальність дослідження полягає в необхідності розробки методу, який враховує як вертикальні, так і горизонтальні складові магнітного розсіювання, забезпечуючи точність моделювання без необхідності проведення дорогих та складних експериментів

Основною метою дослідження було створення універсального методу розрахунку індуктивності трансформатора на основі аналізу його магнітного кола.

В процесі дослідження було вирішено наступні завдання: розробка математичних моделей для визначення взаємної індуктивності та індуктивності розсіювання з урахуванням усіх складових магнітних потоків, забезпечити врахування впливу геометрії трансформатора на параметри моделі, перевірити точність моделювання шляхом порівняння результатів з даними динамічних аналогових тестів.

В роботі було запропоновано систему рівнянь для розрахунку взаємної індуктивності та індуктивності розсіювання яка відображає структуру трифазного тристержневого трансформатора. Модель дозволяє враховувати вертикальне розсіювання, яке обумовлено нерівномірністю розподілу ампер-витків по висоті та горизонтальне розсіювання, обумовлене асиметрією обмоток у радіальному напрямку.

Валідація отриманих результатів показала достатню точність моделі, струмова похибка у режимі короткого замикання не перевищує 8 %.

Запропонований метод розрахунку індуктивності на основі магнітного кола враховує вплив горизонтальних потоків розсіювання, які традиційно ігноруються через їхню меншу величину порівняно з вертикальними. Це дозволило підвищити точність моделі, особливо для трансформаторів з регульовальними відводами.

УДК 621.47:523.9-852:621.5.015.2

Олійник Д.Є.¹, Котлярова О.О.², Бондаренко В.В.³

¹ студ. гр. Е-273 НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-263 НУ «Запорізька політехніка»

³ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ СОНЯЧНИХ КУТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ

В сучасному світі постійно зростає попит на енергію та загострюються екологічні проблеми, відновлювані джерела, зокрема сонячна енергія, стають ключовим елементом сталого розвитку. Сонячні колектори є однією з найперспективніших технологій для генерації електроенергії, проте їхня ефективність залежить від точності позиціонування щодо сонячних променів. Актуальність дослідження полягає в пошуку оптимальних методів відстеження сонця, які дозволять максимізувати збір сонячної радіації, зменшити вартість енергії та підвищити конкурентоспроможність сонячних

систем. Особливе значення робота має для України, де відбувається стале впровадження сонячних електростанцій для генерації електричної енергії.

Метою роботи є розробка моделі для визначення кутів сонячного відстеження, що дозволяє оптимізувати роботу сонячних колекторів.

Протягом дня і року сонце змінює своє положення, а його поточне розташування сонця залежить від розташування точки спостерігача.

Величина сонячної енергії, яку збирає сонячний колектор, залежить від відносного кута між нормаллю до поверхні та сонячними променями. Якщо кут цей кут дорівнює нулю, то збирається максимальне значення сонячної енергії. Неправильне розташування поверхні призводить до зменшення збору сонячної енергії.

Розташування Сонця визначається двома кутами: сонячний азимут та сонячний зеніт. Для визначення цих кутів використовувалась методика, наведена в [1].

Розрахунки проводились для с. Широке Запорізької області. Було встановлено, що використання рухомих сонячних колекторів для зменшення кута між нормаллю до поверхні та сонячними променями, дозволяє підвищити ефективність збору сонячної радіації до 25% у порівнянні з нерухомими колекторами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar engineering of thermal process //A Wiley-Interscience Publicaytion, Estados Unidos da América. – 2013. – 918 p.

УДК 621.47:523.9-852:621.5.015.2

Терещенко А.В.¹, Круголь О.М.¹, Бондаренко В.В.²

¹ студ. гр. Е-212 НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Сонячна енергетика є ключовим елементом переходу до відновлюваних джерел енергії, особливо в умовах зростання енергетичних потреб та екологічних викликів. Однак ефективність сонячних електростанцій залежить не лише від якості фотопанелей, а й від їх оптимального розташування. Існуючі методики часто ігнорують розсієне сонячне випромінювання, яке в Україні може становити до 60% загальної інсоляції, що призводить до недооцінки потенціалу систем. Крім того, нераціональне розміщення панелей (наприклад, надмірна відстань між рядами) збільшує використання земельних ресурсів, зростаючи вартість проєктів. Актуальність дослідження полягає в

розробці універсальної методики, яка враховує всі складові сонячної радіації, географічні умови та взаємне затінення панелей, що дозволить максимізувати виробіток енергії при мінімальних витратах.

Метою роботи є розробка інженерної методики для визначення оптимального кута нахилу фотопанелей та відстані між їх рядами.

Методика враховує усі складові інсоляції (пряму, розсіяну, відбиту), географічні координати місцевості, динаміку затінення панелей протягом доби та року, ефективність використання земельної площі.

Дослідження проводились у три етапи. На першому етапі проводився теоретичний аналіз сонячної інсоляції [1], для максимізації сумарного сонячного випромінювання. На другому етапі виконувалась оптимізація розташування сонячних панелей. Визначались оптимальні кути нахилу та відстань між рядами сонячних панелей. На третьому етапі виконувалась практична перевірка.

Дослідження підтвердило високий потенціал сонячної енергетики в центральних регіонах України, де питома виробітка досягає 39,53 кВт·год/м².

Запропонована методика оптимізації розташування фотопанелей дозволяє підвищити ефективність систем та сприяє раціональному використанню ресурсів, що особливо актуально для України та інших країн із помірним кліматом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar engineering of thermal process //A Wiley-Interscience Publicaytion, Estados Unidos da América. – 2013. – 918 p.

УДК 621.316.71

Лапкіна С.О.¹, Кириленко С.М.²

¹ асист. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-214сп НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ВТРАТ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПІД ВПЛИВОМ РІЗНИХ ЧАСТОТ ВХІДНОЇ НАПРУГИ

Осердя силового трансформатора є як механічною основою силового трансформатора, основна мета якого – концентрація та проведення основного магнітного потоку. Матеріал осердя – анізотропна холоднокатана вуглецева сталь з високою магнітною проникністю. Магнітне поле створюється провідником зі струмом, який намотується навколо осердя.

Основні втрати в трансформаторі – це втрати в осерді, тобто та електрична потужність, втрачена через тепло в осерді трансформатора. У сучасних концепціях фізичного походження та механізму втрат у магнітних

матеріалах розглядаються три традиційні категорії: втрати на гістерезис, втрати на вихрові струми або діелектричні втрати та залишкові втрати. У цій роботі зосереджено увагу на першій і другій категорії, оскільки вони мають велику відповідальність за втрати в матеріалах магнітопроводу. Втрати в сталі здебільшого пов'язані з намагнічуванням осердя та присутні протягом усього часу експлуатації трансформатора, незалежно від наявності навантаження на вторинний обмотці трансформатора. Втрати в осерді вважають постійними, та незалежними від наявності та типу навантаження. Незважаючи на те, що втрати в осерді невеликі порівняно з вихідною потужністю трансформатора, як правило, менше 1%, вони представляють постійні та значні експлуатаційні витрати для комунального підприємства, особливо якщо його витрати на енергію високі.

Робота присвячена оцінці характеру залежності втрат у сталі від частоти мережі, для чого використовувався розрахунок силового трансформатора за методиками, викладеними у [1, 2]. Втрати в осерді силового трансформатора для різних рівнів частоти зображені на рис.1.

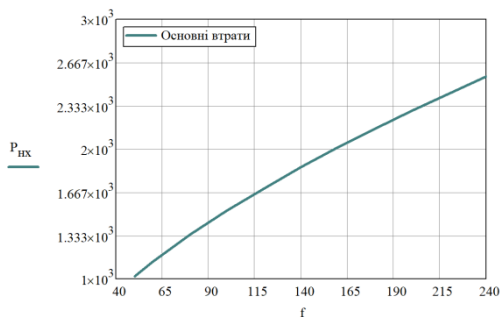


Рисунок 1 – Залежність втрат у сталі від частоти струму

Результати розрахунку показують, що втрати в сталі зростають із збільшенням частоти при всіх рівних умовах. Втрати на гістерезис вищі, ніж втрати на вихрові струми на загальноживаній промисловій частоті, тоді як щільність магнітного потоку залишається незмінною. Коли частота перевищує 100 Гц, втрати на вихрові струми переважають порівняно з втратами на гістерезис.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лябук М. Н. Розрахунок і конструювання силових трансформаторів [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготов. "Електротехніка та електротехнології" / М. Н. Лябук ; Луц. нац.

техн. ун-т. - Вид. 2-е, допов. та переробл. - Луцьк : РВВ Луц. нац. техн. ун-ту, 2010. - 213 с.

2. Осташевський М.О. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с.

УДК 621.316.71

Лапкіна С.О.¹, Качур О.С.², Діденко В.А.²

¹ асист. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-272 НУ «Запорізька політехніка»

ІНТЕРПОЛЯЦІЯ КРИВОЇ НАМАГНІЧУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СТАЛІ МОВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ PУТОН

Властивості трансформаторної електротехнічної сталі значною мірою визначають характеристики, габаритні розміри, втрати, а відповідно й ефективність трансформатора в цілому. Тому вивчення та вдосконалення властивостей, а також підвищення технологічності процесу транспортування та розкрою електротехнічних сталей є одним із пріоритетних напрямків. У роботі показано принципову можливість реалізації досить простої інтерполяції кривих намагнічування електротехнічної сталі, яка широко застосовується при виготовленні магнітних систем силових трансформаторів. Ці криві намагнічування у відповідній довідковій літературі зазвичай задаються у графічній або табличній формах, що не завжди зручно при практичній роботі з ними. Особливо корисними апроксимуючі функції виявляються при розрахунку допоміжних кривих намагнічування у разі насиченої магнітної системи та представлених у літературі для обмеженої номенклатури сталей.

У роботі представлена процедура інтерполяції кривої намагнічування сталі марки 3405. Принцип математичного розрахунку та виведення результату у графічному вигляді потребує використовувати залежність типу $H=f(B)$, де за віссю абсцис маємо магнітну індукцію, а за віссю ординат – магнітну напруженість. Створена програма використовує задані точки кривих по вісях x та y . За вісь x будемо мати значення магнітної індукції, за вісь y – напруженість магнітного поля. У програмі реалізується лінійна інтерполяція. Код програми наведено на рисунку 1. Програма використовує NumPy для числових операцій, SciPy для функцій інтерполяції та Matplotlib для побудови графіків.

Вивід функції лінійної інтерполяції за вихідними точками показаний на рисунку 2.

```

Python 3.11 (64-bit)
>>> x_points = np.array([0, 1.66, 1.807, 1.9385, 1.9846, 2])
>>> y_points = np.array([0, 80, 400, 2000, 4000, 8000])
>>> linear_interp = interpolate.interp1d(x_points, y_points, kind='linear')
>>>
>>> x_plot = np.linspace(min(x_points), max(x_points), 100)
>>> y_linear = linear_interp(x_plot)
>>>
>>> plt.figure(figsize=(10, 6))
<Figure size 1000x600 with 0 Axes>
>>> plt.plot(x_points, y_points, 'o', label='Data points')
[<matplotlib.lines.Line2D object at 0x0000025259D68A90>]
>>> plt.plot(x_plot, y_linear, '--', label='Linear interpolation')
[<matplotlib.lines.Line2D object at 0x0000025259D74390>]
>>> plt.title('Curve Interpolation')
Text(0.5, 1.0, 'Curve Interpolation')
>>> plt.xlabel('X axis')
Text(0.5, 0, 'X axis')
>>> plt.ylabel('Y axis')
Text(0, 0.5, 'Y axis')
>>> plt.legend()
<matplotlib.legend.Legend object at 0x0000025259D5C0D0>
>>> plt.grid(True)
>>> plt.show()

```

Рисунок 1 – Код програми інтерполяції кривої намагнічування сталі марки 3405

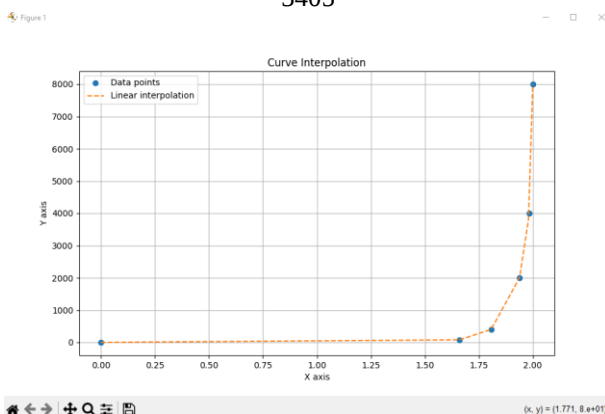


Рисунок 2 – Лінійна інтерполяція мовою програмування Python

Таким чином отримана залежність напруженості магнітного поля від магнітної індукції для електротехнічної сталі 3405. За даним графіком можна визначити проміжні значення шуканих значень за допомогою функції ZOOM та виводу координат в нижньому правому куті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.ДЕСТ 21427.1-83. Сталь електротехнічна холоднокатана анізотропна тонколистова. Технічні умови

2. Універсальна апроксимація кривих намагнічування електротехнічних сталей / І.В. Пентегов, А.В. Красножон // Електротехніка та електромеханіка. - 2006. - № 1. - С. 66-70.

3. Основи програмування. Python. Частина 1 [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 122 "Комп'ютерні науки", спеціалізації "Інформаційні технології в біології та медицині" / А. В. Яковенко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,59 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 195 с.

УДК 621.316.71

Лапкіна С.О.¹, Готра К.Ю.², Карпенко Р.Д.³

¹ асист. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-212 НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-213 НУ «Запорізька політехніка»

ОСНОВНІ АСПЕКТИ ВИБОРУ ТИПУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

В даний час у розвитку енергетики велика увага приділяється відновлюваним джерелам енергії. Основною перевагою використання вітроенергетичних установок є відсутність механізмів примусового потоку повітря або пари для обертання турбіни. Принцип роботи вітроенергетичної установки (ВЕУ) полягає у перетворенні енергії обертального руху у електричну за допомогою електромагнітної індукції. Різноманіття типів та конструкцій електричних генераторів спонукає до їх систематизації у відповідності до потреб ВЕУ. Основними критеріями вибору генератора є: вихідна потужність, швидкість вітру (а відповідно і частота обертання), висота установки, категорія розміщення, час роботи при відсутності вітру та слабкому вітрі. Для ВЕУ найпоширеного застосування набули генератори наступних типів:

- асинхронні генератори (АГ) з короткозамкненим ротором;
- АГ з фазним ротором;
- двошвидкісні АГ;
- синхронні генератори (СГ) з магнітоелектричним збудженням (на постійних магнітах);
- СГ з електромагнітним збудженням та інші.

Кожний тип має свої переваги та недоліки, відповідно до яких обирається генератор у кожному окремому випадку. СГ із збудженням від постійних магнітів є поширеними, але найчастіше використовуються для малопотужних установок. Цей генератор має просту конструкцію, простий в обслуговуванні, із підвищеною надійністю, з високим ККД. Але існують

складнощі із регулюванням магнітного потоку, а також необхідності заміни магнітів, які втрачають свої властивості при нагріванні.

При необхідності регулювання замість СГ з постійними магнітами використовують СГ з електромагнітним збудженням, де представлена обмотка збудження. Але при цьому маємо ряд недоліків: висока вартість, складний пристрій, менш надійний порівняно з АМ, жорстка залежність частоти від швидкості обертання. Наведені вище недоліки використання синхронних генераторів призводять до суттєвих обмежень у їх використанні для ВЕС, зокрема у місцях із різкими змінами швидкості вітру.

АГ має простішу конструкцію на відміну від СГ, а також має меншу вартість. Використанню АГ сприяла розробка систем стабілізації напруги, а також систем компенсації реактивної потужності. В основному широко використовуються двошвидкісні АГ, особливістю якого є можливість ступінчастого регулювання швидкості обертання, що актуально для використання в ВЕС. При меншій швидкості обертання вала включається в роботу обмотка з найбільшою кількістю пар полюсів. Коли швидкість обертання зростає та перевищує певне критичне значення включається в роботу обмотка з меншою кількістю пар полюсів. До інших переваг двошвидкісного АГ можна віднести: високий пусковий момент, низька вібрація при роботі.

АГ з фазним ротором має просту конструкцію та переваги у порівнянні із вищезазначеними генераторами, а саме: Можливість каскадного з'єднання двох асинхронних генераторів, невеликі коливання вихідної потужності. Але необхідність створення передавальної ланки робить цю конструкцію дорожчою. Немоżliвість контролю режимних параметрів обмежує використання на місцевості із частими змінами у швидкості руху вітру. АГ з короткозамкненим ротором має ті ж недоліки, що і АГ з фазним ротором. Але він має низькі коливання вихідної потужності, електромагнітного крутного моменту та струму.

Таким чином, відповідно до характеристик, конструкцій та особливостей застосування електричних генераторів, рекомендується СГ з магнітоелектричним збудженням з потужність до 200кВт використовувати в автономних електричних мережах на місцевості із постійним вітром. У місцевості із поривчастим вітром використання СГ виключено, тоді найкращі характеристики мають двошвидкісні АГ із широким діапазоном частоти обертання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грабко В.В., Розводюк М.П., Левицький С.М., Казак М.О. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.

2. Півняк Г.Г. Електричні машини. Навчальний посібник / Г.Г.Півняк, Ф.П.Шкрабець, В.П.Довгань. - Дніпропетровськ, Видавництво Національного гірничого університету, 2003, - 328 с.

3. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

4. Єгоров О. Б. Спеціальні електричні машини : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітня програма «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / О. Б. Єгоров, М. Л. Глебова, Я. Б. Форкун ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 121 с.

УДК 669.04

Петрик О.А.¹, Солопатич І.С.²

¹ доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-253 НУ «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ ВВЕДЕННІ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ (ПОВІДОМЛЕННЯ 1)

Високотемпературні агрегати є одними з найбільших споживачів палива. Теплотехнологічна установка, являє собою сукупність робочого простору, у межах якого здійснюється високотемпературний процес, і устаткування, що забезпечує його реалізацію.

У процесі плавки на склепіння печі впливають як нерівномірність нагрівання внутрішньої поверхні склепіння по довжині та ширині так показники нерівномірності температурного поля факела при розігріванні агрегату. Також велику увагу треба приділити складу вогнетривких матеріалів, з яких зроблено склепіння та основні елементи футерування високотемпературних агрегатів.

Слід зауважити, що на енергоощадну роботу високотемпературного агрегату впливає ритмічність його роботи. Від того, наскільки якісно було виконано розігрівання склепіння високотемпературного агрегату після пуску його в роботу залежить подальша ритмічність його роботи та відповідно витрати палива на технологію та експлуатацію.

Тому питанню якісного розігрівання склепіння агрегату треба приділяти особливу увагу.

Метою дослідження є вдосконалення теплових режимів розігрівання високотемпературного агрегату, що дозволить підвищити ефективність технологічного процесу, уникнути нерівномірності нагрівання внутрішньої поверхні склепіння по довжині та ширині внаслідок зміни температурних градієнтів поля факела та зниження витрат палива на технологію.

Виконано розрахунок теплового балансу розігрівання склепіння за умови тривалого простою високотемпературних агрегатів та виконання підвищеного обсягу виконання ремонтних робіт у тому числі проведення заміни димовідводячого тракту. Відповідно до класичного графіку розігрівання [1, 3] і методики [2] відзначимо присутність профіциту теплоти. На підставі отриманих результатів і наявності надлишку теплоти в прибутковій частині розрахунковим шляхом виконаємо підбір тривалості й витрат палива для нового графіку (нового теплового режиму). Витратна частина теплового балансу високотемпературного агрегату за класичною технологією розігрівання та новим режимом зображена на рис. 1.

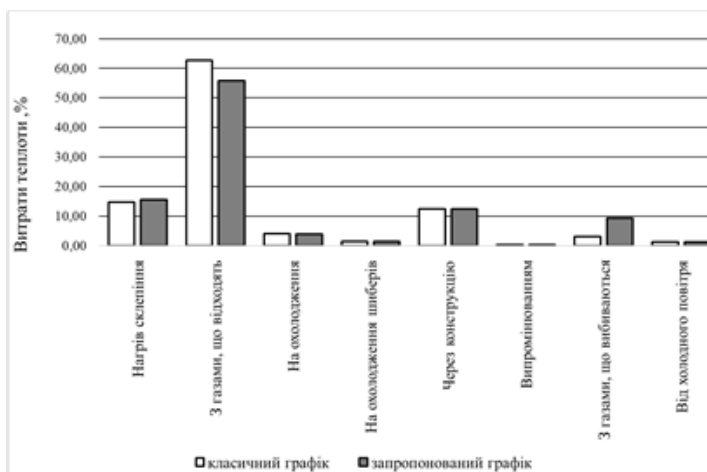


Рисунок 1 - Витратна частина теплового балансу високотемпературного агрегату за класичною технологією розігрівання та новим режимом

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Петрик О. А. Підвищення ефективності нагрівання металу у високотемпературних агрегатах / О. А. Петрик, І. А. Назаренко, Б. В. Петрик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – 2023. – № 1–2(13–14). – С. 61–65. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X (print). – ISSN 2707-7543 (on-line). – DOI: <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.01.10>.

2. Губінський В. І. Металургійні печі : навч. посібн / В. І. Губінський. – Дніпро : НМетАУ, 2006. – 85 с.

3. Сушіння та спікання футерування печей для плавки чорних металів <https://termolitus.com/articles/sushka-i-spekanie-futerovki-pechey>

УДК 669.04

Кузьменко А.А.¹, Лисяк М.О.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. ЕЗ-252сп НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ МАЗУТУ І ПРИРОДНОГО ГАЗУ В КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВЦІ Б-25/15ГМ

Об'єктом дослідження є парова котельна установка Б-25/15ГМ середнього тиску при наступних параметрах роботи: $P_{пп}=1,37$ МПа; $t_{пп}=350$ °С; $t_{пв}=100$ °С; $P_б=1,47$ МПа; $P_{пр}=2,5$ %; $\vartheta_{ух} = 160$ °С.

Парові котельні установки відіграють ключову роль у системах теплопостачання промислових підприємств і комунальних об'єктів. Однією з найпоширеніших моделей є котельна установка Б-25/15ГМ, яка може працювати як на мазуті, так і на природному газі, що дає можливість вибору найбільш вигідного палива в залежності від ринкових умов. Для цього на таких котельних установках встановлюються комбіновані газомазутні пальники типу ГМГ.

Альтернативне використання мазуту та природного газу в котельній установці Б-25/15ГМ має свої переваги та недоліки, які впливають на ефективність роботи обладнання, економічну доцільність та екологічну безпеку.

Мазут може бути економічно доцільним у разі його доступності за низькою ціною, проте потребує додаткових витрат на систему підігріву та транспортування. Використання природного газу є більш вигідним з точки зору експлуатаційних витрат, оскільки він не потребує додаткового підігріву перед згорянням і зменшує витрати на очищення обладнання.

В результаті теплового розрахунку котельної установки на два альтернативних видів палива є можливість проаналізувати економічну доцільність їх використання та визначити перелік необхідних реконструкцій поверхонь нагріву та зміни умов експлуатації.

Зроблені відповідні висновки:

1. В результаті розрахунку економічної доцільності використання двох альтернативних видів палива мазуту М-100 і природного газу з газопроводу

Шебелинка – Дніпро в котельній установці Б-25/15ГМ визначена суттєва економія в 101,554 млн грн/рік від використання мазуту.

2. Коефіцієнт корисної дії котельної установки, η (к.у.), склав при згорянні мазуту 91,666 %, при згорянні природного газу – 90%.

3. В результаті розрахунків пароперегрівача та водяного економайзера визначена необхідність суттєвих реконструкцій поверхонь нагріву при використанні як мазуту, так і природного газу.

4. В результаті використання природного газу визначена необхідність зміни умов експлуатації, а саме:

- збільшена температура гарячого повітря з 200 °С до 250 °С;
- збільшена температура відхідних газів з 160 °С до 170 °С.

5. Загальна нев'язка в результаті теплового розрахунку котельної установки при використанні природного газу склала + 2,39%, а при використанні мазуту склала +0,455%, що відповідає значенню $\pm 0,5\%$, що допущено нормативними документами в теплових розрахунках котельних установок.

6. Все вищеперераховане дає можливість зробити висновок про доцільність використання в котельній установці Б-25/15ГМ в якості палива мазуту марки М-100.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волошук В.А., Денісов А.К., Трофимчук І.П. Котельні установки промислових підприємств: навч. посіб. - Рівне: НУВГП, 2013. - 277с.

2. Чепурний М.М., Степанов Д.В., Корженко Є.С. Теплові розрахунки парогенераторів: навч. посіб. - Вінниця: ВНТУ, 2006. - 155с.

УДК 621.316.71

Лапкіна С.О.¹, Лекомцев А.Ю.², Бровко Д.О.²

¹ асист. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ПРОСТОРОВИХ МАГНІТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТРИФАЗНИХ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Трифазні силові трансформатори є важливими компонентами електричних мереж, що забезпечують ефективне перетворення напруги та розподіл електроенергії. Традиційні конструкції трансформаторів спираються на звичайні конструкції кістяка плаского типу, частіше стрижньових магнітних систем. Однак удосконалення магнітних систем призвело до розробки просторових магнітних систем, які пропонують чудові характеристики з точки зору ефективності, компактності та зниження втрат.

Дослідження переваг, недоліків та можливостей застосування просторових магнітних систем у трифазних силових трансформаторах призводить до пошуку нових методів оптимізації [1-4]. Розробками конструкцій просторових магнітних систем займались вчені з середини минулого сторіччя, але сучасні технологічні потужності та розробки у обчислювальній техніці виводять дані дослідження на новий рівень.

Основними різновидами просторових магнітних систем в залежності від взаємного розташування вісей обмоток є: радіальні та аксіальні [2]. Основними класифікаторами типу [3] магнітних систем пропонується напрямок основного магнітного потоку та конфігурація і взаємне розташування вікон та стрижнів, за якими магнітна система буває: аксіальні розімкнена, радіальна розімкнена, радіальна замкнена у трикутник, аксіальна замкнена у зірку, аксіальна замкнена у трикутник. За схемою укладання просторові магнітні системи поділяються на розрізні та нероз'ємні [4]. Стикові з'єднання розрізних просторових магнітних систем можуть мати різну геометрію та спосіб укладання, як залежать від особливості її геометрії. Просторові магнітні системи розрізного типу складається з навитих ярем і пластинчастих стрижнів, при тому пластини стрижня по черзі зміщені вздовж стрижня таким чином, що по черзі торкаються торцевими частинами до різних ярем. Зміщення пластин стрижня одночасно забезпечує механічну міцність конструкції, а також зміщує немагнітний зазор на шляху руху потоку.

Для визначення переваг та недоліків необхідно детально розглянути кожний окремий тип конструкції просторової магнітної системи. Загальною перевагою можна вважати зменшення немагнітного зазору, а також збігання напрямку руху основного магнітного потоку із напрямом прокату електротехнічної сталі, що призводить до зменшення втрат та підвищення коефіцієнта корисної дії. Серед недоліків важливо виділити складнощі при складанні технологічних процесів виготовлення трансформатора, низька механічна міцність стикових з'єднань, велика трудомісткість виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Levin M.I., Пентегов И.В., Рымар С.В., Lavreniuk A.V. Новые подходы при построении магнитопроводов силовых трансформаторов, Електротехніка і Електромеханіка. 2015. №1, с. 20-24.
2. Плахтир О.О. Варіанти конструкцій та класифікація просторових магнітопроводів трифазних трансформаторів та реакторів // Електротехніка та електромеханіка. - 2002. - № 3. - С. 64-65.
3. Плахтир О. О. Конструктивно-технологічні особливості просторових магнітопроводів трифазних статичних індукційних пристроїв потужністю до 10000 кВ•А/О. О. Плахтир // MOTROL. - 2013. - Vol. 15, No. 2. - С. 177-183.

4. Авдеева О.А. Покращення основних показників трансформаторів з витими нероз'ємними магнітопроводами шляхом зміни формування кругових витків обмотки / О.А. Авдеева, Л.В. Вахоніна, О.С. Садовий, Р.А. Ставинський, О.М. Циганов. - Електротехніка і Електромеханіка. – 2022. - № 3 – С. 3-7

УДК 669.04

Швець В.О.

студ. гр. Е-913м НУ «Запорізька політехніка»

РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЙ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ: СОНЯЧНА ТА ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА

Перед сучасним світом постали серйозні виклики, які пов'язані зі зміною клімату та суттєвим зменшенням традиційних невідновлюваних джерел енергії. Одним із найперспективніших шляхів вирішення цих проблем є активний розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). З-поміж них особливе місце займають сонячна та вітрова енергетика, які демонструють стрімке зростання у застосуванні та значний потенціал.

Розвиток сонячної енергетики.

Сонячна енергетика, що базується на перетворенні сонячного світла на електричну енергію за допомогою фотоелектричних елементів, за останні десятиліття зазнала значних змін, а саме:

Збільшення ефективності: сучасні сонячні панелі перетворюють набагато більшу частку сонячної енергії в електричну порівняно з першими моделями. Це стало можливим завдяки вдосконаленню технологій виробництва та новим матеріалам.

Зниження вартості: масове виробництво сонячних панелей призвело до значного зниження їхньої вартості, що зробило сонячну енергетику доступнішою для широкого кола споживачів.

Різноманітність застосування: сонячні панелі встановлюються на дахах житлових будинків, лікарень, на, промислових комплексах, на транспорті та навіть у космосі.

Інноваційні рішення: активно розвиваються технології тонкоплівкових та органічних сонячних елементів, які відкривають нові перспективи для застосування сонячної енергетики.

Розвиток вітрової енергетики.

Вітрова енергетика, що використовує кінетичну енергію вітру для виробництва електроенергії, також демонструє значний прогрес:

Збільшення потужності турбін: сучасні вітрові турбіни здатні виробляти значно більше електроенергії, ніж їхні попередники, завдяки збільшенню розміру ротора та вдосконаленню конструкції.

Розширення зон застосування: вітрові електростанції будуються як на суші, так і на морі, що дозволяє використовувати вітровий потенціал більш ефективно.

Вдосконалення конструкцій: турбіни стають більш надійними, довговічними та адаптованими до різних кліматичних умов.

Інтеграція в енергосистеми: вітрова енергетика успішно інтегрується в загальну енергосистему, забезпечуючи стабільність постачання електроенергії.

Переваги сонячної та вітрової енергетики.

Відновлюваність: сонячна та вітрова енергія є невичерпними джерелами, що дозволяє зменшити залежність від добування паливних корисних копалин.

Екологічність: виробництво електроенергії з використанням сонячних та вітрових електростанцій не призводить до викидів шкідливих речовин в атмосферу, не забруднює навколишнє середовище.

Економічна ефективність: вартість виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії постійно знижується, що робить ці технології все більш конкурентоспроможними. Сонячні батареї довговічні.

Створення робочих місць: розвиток відновлюваної енергетики сприяє створенню нових робочих місць у різних галузях.

Виклики та перспективи

Незважаючи на значні досягнення, розвиток сонячної та вітрової енергетики все ще стикається з певними викликами:

Інтермітентність: виробництво електроенергії з відновлюваних джерел енергії залежить від погодних умов, що вимагає розробки ефективних систем зберігання енергії.

Інфраструктура: для підключення великої кількості відновлюваних джерел енергії до енергосистеми необхідні значні інвестиції в модернізацію електромереж.

Перспективи розвитку сонячної та вітрової енергетики є дуже позитивними. З огляду на глобальні тенденції переходу до низьковуглецевої економіки, можна очікувати, що ці технології будуть продовжувати активно розвиватися і займати все більшу частку в світовому енергетичному балансі.

Сонячна та вітрова енергетика демонструють значний потенціал для вирішення глобальних енергетичних та екологічних проблем. Незважаючи на існуючі виклики, активний розвиток цих технологій сприятиме створенню більш стійкого та екологічно чистого енергетичного майбутнього.

Навіть приборкуючи силу вітру та ловлячи сонячне сяйво для виробництва енергії, світ не перестає шукати її нові джерела. У фокусі уваги

зараз перебуває водень, який вважають паливом майбутнього, адже він може замінити традиційні види палива та не спричиняє викидів вуглекислого газу, бо продуктом його згоряння є лише вода.

Водень – найрозповсюдженіший елемент у Всесвіті. Проте він не зустрічається вільним в природі і має бути «видобутий» з різних джерел. Водночас водень має значно вищу енергемісткість, ніж природний газ, нафта чи вугілля. Його, зокрема, використовують для опалення будинків, як пальне для транспорту, у промисловості.

Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства, на водень припадають близько 2,5% кінцевого енергоспоживання у світі. Варто зазначити, що першою країною, яка схвалила національну стратегію розвитку водневої енергетики ще у 2017 році, стала Японія.

Енергоефективність та втрати в силових трансформаторах: проблеми та рішення

Силові трансформатори є ключовими елементами електричних мереж, бо саме вони забезпечують перетворення напруги для передачі і розподілу електроенергії. Проте, під час цього процесу відбуваються певні втрати енергії, які негативно впливають на загальну ефективність енергосистеми. Важливим аспектом їх роботи є енергоефективність та мінімізація втрат, що безпосередньо впливає на економічність та екологічність енергетичних систем.

Основні види втрат в силових трансформаторах

Втрати енергії в силових трансформаторах поділяються на кілька основних типів:

Втрати в сталі: виникають внаслідок перемагнічування сердечника трансформатора змінним магнітним потоком. Залежать від якості сталі, частоти струму та рівня магнітної індукції.

Втрати в міді: спричинені опором обмоток трансформатора. Пропорційні квадрату струму, що протікає по обмотках.

Вихрові струми: індукуються в металевих частинах трансформатора змінним магнітним потоком і призводять до додаткових теплових втрат.

Діелектричні втрати: виникають в ізоляційних матеріалах трансформатора під дією змінного електричного поля.

Вплив втрат на енергосистему.

Втрати енергії в трансформаторах мають ряд негативних наслідків, а саме:

1. Збільшення витрат на електроенергію: втрати енергії призводять до підвищення витрат на виробництво та передачу електроенергії.

2. Нагрівання трансформатора: виділення тепла в результаті втрат енергії може призвести до перегріву трансформатора та його передчасного виходу з ладу.

3. Зниження ККД: втрати енергії знижують коефіцієнт корисної дії (ККД) трансформатора, що негативно впливає на загальну ефективність енергосистеми.

Рішення для підвищення енергоефективності.

Підвищення енергоефективності силових трансформаторів можливе завдяки проведенню ряду технічних заходів:

Використання нових матеріалів: сучасні трансформатори можуть бути виготовлені з аморфної сталі, яка має значно нижчі магнітні втрати порівняно з традиційною кристалічною сталлю.

Поліпшення охолодження: ефективна система охолодження зменшує температурні втрати та подовжує термін служби трансформатора. Важливо правильно налаштувати охолодження залежно від робочих умов.

Оптимізація конструкції: поліпшення конструкції обмоток та магнітопроводу може значно зменшити втрати. Оптимізація включає використання товстого дроту з низьким опором і зменшення довжини провідників.

Регулярне технічне обслуговування: планове обслуговування дозволяє своєчасно виявляти та оперативно усувати проблеми до того, як вони призведуть до значних втрат. Включає перевірку ізоляції, стану обмоток та магнітопроводу.

Використання моніторингових систем: інтелектуальні системи моніторингу дозволяють в режимі реального часу відстежувати робочі параметри трансформатора і своєчасно виявляти відхилення від норми.

Напруга імпедансу має вирішальне значення для умов короткого замикання. Вона являє собою напругу, яку необхідно прикласти до однієї обмотки для циркуляції номінального струму при короткому замиканні іншої обмотки. Зазвичай вона виражається у відсотках від номінальної напруги.

Конструкція та вибір матеріалу для осердя трансформатора суттєво впливають на ефективність. Наприклад, використання високоякісної зернистої кремнієвої сталі або аморфних сплавів може суттєво зменшити втрати заліза. Технології виготовлення, такі як з'єднання внахлест і відсутність перфораційних отворів, також сприяють зниженню втрат.

Вимірювання втрат у трансформаторі є невід'ємною частиною підвищення ефективності та продовження терміну служби електроенергетичних систем. Ретельно підбираючи матеріали, оптимізуючи конструкцію та застосовуючи передові технології виробництва, інженери можуть мінімізувати ці втрати для створення більш стійких та економічно вигідних трансформаторних рішень. З розвитком технологій увага до зменшення втрат як заліза, так і міді буде продовжувати зростати завдяки інноваційним конструкціям і матеріалам, що є частиною зобов'язань галузі щодо енергоефективності та охорони навколишнього середовища.

Підвищення енергоефективності силових трансформаторів є важливою задачею для забезпечення економічності та надійності електроенергетичних систем. Використання сучасних технологій та матеріалів, регулярне технічне обслуговування та впровадження інтелектуальних систем моніторингу дозволяють знизити втрати та підвищити загальну ефективність роботи трансформаторів. Це сприяє зменшенню витрат на експлуатацію та зниженню негативного впливу на навколишнє середовище.

УДК 621.316.71

Смоляренко Ю.І.

студ. гр. Е-914м НУ «Запорізька політехніка»

ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА: СОНЯЧНІ, ВІТРОВІ ТА ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Відновлювана енергетика є ключовим напрямком розвитку сучасної електроенергетики. Через виснаження природних ресурсів та екологічні проблеми, викликані використанням традиційних джерел енергії, людство активно впроваджує альтернативні методи отримання електроенергії. Найбільш популярними видами відновлюваної енергетики є сонячна, вітрова та гідроелектроенергетика. Вони не тільки зменшують залежність від викопного палива, але й сприяють зниженню рівня забруднення довкілля.

Розвиток цих технологій є важливим як з економічної, так і з екологічної точки зору. Впровадження відновлюваних джерел енергії допомагає створювати нові робочі місця, зменшувати витрати на паливо та покращувати енергетичну безпеку країн. У цій доповіді ми розглянемо особливості та перспективи розвитку основних видів відновлюваної енергетики, їхні переваги, недоліки та новітні досягнення.

Сонячна енергетика використовує енергію сонця для виробництва електроенергії за допомогою фотогальванічних панелей. Принцип роботи таких систем ґрунтується на перетворенні сонячного світла у електричний струм за допомогою напівпровідникових матеріалів.

Основні переваги сонячної енергетики включають екологічну чистоту, невичерпність джерела та можливість встановлення панелей навіть у віддалених районах. Однак вона має і певні недоліки, зокрема залежність від погодних умов та високу вартість обладнання.

Протягом останніх років технології виробництва сонячних панелей суттєво покращилися, що сприяє зниженню їх вартості та підвищенню ефективності. Зокрема, дослідження у сфері багатопланових фотоелементів та перовськітових панелей відкривають нові можливості для розвитку сонячної енергетики.

Використання сонячних електростанцій.

Сонячні електростанції бувають двох основних типів:

1. Фотоелектричні станції – використовують фотогальванічні панелі для безпосереднього перетворення сонячного світла у електроенергію.

2. Термальні сонячні станції – застосовують дзеркальні системи для фокусування сонячного світла та нагрівання рідини, яка приводить в дію турбіну.

Залежно від регіону, один або обидва ці типи можуть бути найбільш ефективними.

Вітрова енергетика. Вітрові електростанції використовують силу вітру для обертання турбін, які генерують електроенергію. Вітряки можуть бути встановлені як на суші, так і у відкритому морі. Основні переваги цього виду енергетики – відсутність викидів шкідливих речовин, низькі експлуатаційні витрати та можливість використання у регіонах із сильними вітрами.

Однак, нестабільність вітру та можливий вплив на птахів і місцеві екосистеми є певними мінусами цієї технології. Крім того, великі вітрові електростанції можуть викликати шумове забруднення та займати значні площі земель.

Перспективи розвитку вітрової енергетики.

Нові конструкції турбін, такі як безлопатеві вітряки та вертикальні осьові турбіни, дозволяють знизити рівень шуму та мінімізувати шкоду для дикої природи. Крім того, розвиток технологій накопичення енергії допомагає вирішити проблему нерівномірного виробництва електроенергії.

Гідроелектроенергетика.

Гідроелектростанції (ГЕС) використовують енергію води для обертання турбін і виробництва електроенергії. Це один із найстаріших і найефективніших методів отримання електроенергії. Основні переваги ГЕС – стабільність генерації, висока ефективність та можливість регулювання потужності.

Проте будівництво великих ГЕС може впливати на екосистеми річок, змінювати місцевий клімат і потребує значних фінансових вкладень. З іншого боку, малі гідроелектростанції можуть бути екологічно безпечнішими і застосовуються для енергопостачання невеликих населених пунктів.

Альтернативні види гідроенергетики.

Крім традиційних ГЕС, набирають популярності:

- припливні електростанції – використовують енергію морських припливів;
- хвильові електростанції – перетворюють енергію хвиль у електроенергію;
- геотермальні системи – використовують енергію гарячих підземних вод.

Відновлювані джерела енергії відіграють дедалі важливішу роль у світовій енергетиці. Сонячна, вітрова та гідроелектроенергетика мають значний потенціал для забезпечення сталого розвитку людства та зменшення негативного впливу на довкілля.

Подальший розвиток технологій та зниження витрат на виробництво зроблять ці джерела енергії ще більш доступними у майбутньому. Крім того, важливими завданнями залишаються створення ефективних систем збереження енергії та інтеграція відновлюваних джерел у загальну енергетичну систему. Впровадження розумних мереж (Smart Grid) дозволить значно підвищити ефективність використання альтернативної енергії та забезпечити надійне електропостачання.

Збільшення інвестицій у відновлювану енергетику, підтримка наукових досліджень та міжнародна співпраця допоможуть досягти енергетичної незалежності та зберегти довкілля для майбутніх поколінь.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабій, Л. С., Шаповал, С. І. (2021). Енергетика майбутнього: Відновлювані джерела енергії. Київ: Видавництво "Наукова думка".
2. Ковальчук, М. В. (2020). Альтернативна енергетика: сучасні тенденції та перспективи розвитку. Львів: ЛНУ імені Івана Франка.
3. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). Renewable Capacity Statistics 2023. <https://www.irena.org>
4. European Commission. (2022). Energy: Renewable energy. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy_en
5. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. (2023). Звіт про розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. <https://saee.gov.ua>

УДК 621.318.1

Швець В.О.

студ. гр. Е-913м НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Силові трансформатори є незамінним елементом енергетичних систем. Вони критично важливі на всіх етапах енергогенерації, передачі та розподілу. Збої в роботі трансформаторів призводять до серйозних економічних, екологічних та соціальних наслідків. Спостерігається тенденція до підвищення навантаження на трансформатори та вимог до їх надійності та

безпеки. Значна частина трансформаторів відпрацювала свій проєктний термін або працює в непередбачених умовах.

Своєчасна діагностика технічного стану є важливим елементом для працездатності та збереження обладнання. Збільшення аварійних ситуацій підкреслює необхідність удосконалення системи діагностики. Зростає значення новітніх методів діагностики, що дозволяють виявляти та прогнозувати дефекти, сприяючи плановим ремонтам та запобіганню аваріям.

Системи онлайн-моніторингу стають важливою частиною сучасних енергетичних підприємств, забезпечуючи оперативне реагування на відхилення. Розвиток енергетичної інфраструктури вимагає застосування надійних і точних методів діагностики, як традиційних, так і новітніх.

Методи діагностики силових трансформаторів застосовуються в різних галузях, таких як: промисловість, енергетика, медицина, автомобільний транспорт, авіація тощо. У кожній з цих сфер важливим є забезпечення високої надійності та безпеки роботи обладнання, а також зниження витрат на обслуговування.

Огляд існуючих методів діагностики силових трансформаторів:

- акустичний метод (ультразвук, акустичні сигнали).
- термографія (інфрачервоне випромінювання, температурні аномалії).
- метод частотної характеристики (аналіз спектру електричних коливань).
- вимірювання напруги та струму (моніторинг робочих параметрів).
- метод розсіяння газів (аналіз газів розкладання масла/ізоляції).
- тестування ізоляції (опір ізоляції, пробивна напруга).
- тестування на витоки струму.
- перевірка механічних з'єднань.

Переваги і недоліки кожного методу.

Акустичний метод

Переваги: не потребує розбирання трансформатора; можливість виявлення дефектів на ранніх стадіях; швидкість і простота застосування.

Недоліки: чутливість до зовнішнього шуму, що може спотворювати результати; невисока точність у виявленні складних дефектів.

Термографія

Переваги: дозволяє швидко виявити аномалії температури на поверхні трансформатора; не потребує безпосереднього контакту з обладнанням.

Недоліки: обмеження в оцінці глибших проблем, таких як дефекти в середині трансформатора; важко оцінити точну причину перегріву без додаткових методів.

Метод частотної характеристики

Переваги: можливість виявлення широкого спектру проблем, включаючи дефекти в електричних колах; раннє виявлення дефектів, що можуть привести до серйозних пошкоджень.

Недоліки: складність в інтерпретації результатів, потребує високої кваліфікації фахівців; потребує додаткового обладнання для вимірювання спектрів.

Газовий аналіз

Переваги: висока чутливість до багатьох видів дефектів, зокрема до перегріву та корозії; можливість застосування до трансформаторів з різними типами масла.

Недоліки: потребує регулярного відбору проб газів; не дає точної інформації про характер дефекту без додаткових методів.

Тестування ізоляції

Переваги: дозволяє точно оцінити стан ізоляційних матеріалів; поширений і добре вивчений метод, що дає надійні результати.

Недоліки: потребує зупинки трансформатора для проведення тестів; може не виявити дефекти, що виникли під час експлуатації.

Тестування на витоки струму

Переваги: може виявити дефекти в ізоляції, що не завжди видно візуально; дозволяє визначити, чи є потенційні небезпечні витоки струму.

Недоліки: не завжди показує точні місця витоків; вимагає точного налаштування обладнання та досвіду.

Серед основних методів, які часто застосовуються на практиці, можна виділити:

Візуальна діагностика – передбачає огляд об'єкта або системи з метою виявлення очевидних дефектів, корозії або механічних пошкоджень.

Акустична емісія – метод, який дозволяє виявити дефекти, що виникають у процесі експлуатації, за допомогою аналізу звукових хвиль, котрі генеруються в матеріалах.

Термографія – використовується для виявлення температурних аномалій, які можуть бути сигналом про несправності або дефекти в електричних і механічних системах.

Вібраційний аналіз – заснований на моніторингу вібрацій, дозволяє діагностувати механічні несправності в машинах та обладнанні.

Магнітно-резонансний метод – застосовується з метою дослідження стану матеріалів та елементів конструкцій без порушення їх цілісності.

Також усі вимірювання й аналізи при діагностиці трансформаторів можна розділити на 5 наступних груп [1]:

- перша група містить у собі традиційні вимірювання на відключеному трансформаторі: вимірювання $tg\delta$ і R ізоляції обмоток і вводів, опору обмоток постійному струму, втрат неробочого ходу й опору КЗ для контролю механічного стану обмоток після протікання наскрізних струмів короткого

замикання. Усі ці вимірювання, як правило, регулярно виконуються експлуатаційним персоналом [1].

- друга група вимірювань проводиться на трансформаторах при робочій напрузі в режимі найбільших навантажень і (або) неробочого ходу [1].

- третя група – це фізико-хімічні аналізи масла з бака, маслonaповнених вводів, контактора РПН. Серед них – велика група традиційних вимірювань, які широко застосовуються в експлуатації (вимірювання пробивної напруги, кислотного числа і т. д.) [1].

- четверта група передбачає вимірювання систем безперервного контролю (моніторингу) ізоляції вводів і щоденні вимірювання основних показників роботи трансформатора [1].

- п'ята група аналізів проводиться для трансформаторів, які за результатами перших чотирьох груп вимірювань потребують проведення капітального ремонту. До цієї групи входять визначення ступеня полімеризації паперової ізоляції, прямі вимірювання її вологовмісту та міцності [1].

Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки в залежності від характеру об'єкта, точності вимірювань та швидкості проведення діагностики. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що кожен з методів надає можливість з достатньою точністю виявити дефекти в конструктивних елементах та зменшити кількість планових ремонтів завдяки вчасному реагуванню на зміни під час експлуатації трансформаторів.

Вибір оптимального методу діагностики залежить від багатьох факторів, серед яких слід зазначити:

Тип об'єкта: різні об'єкти потребують різних методів. Наприклад, для двигунів внутрішнього згоряння оптимальними будуть вібраційний аналіз та термографія, в той час як для трубопроводів – ультразвукові методи та акустична емісія.

Умови експлуатації: для об'єктів, що працюють в умовах високих температур або сильних механічних навантажень, найбільш ефективними будуть методи, здатні працювати в таких умовах, наприклад: термографія або візуальний огляд при вищих температурах.

Необхідна точність: в деяких випадках важливо отримати надзвичайно точні дані, що може вимагати використання дорогих методів діагностики.

Часова складність: для швидких перевірок можна використовувати акустичні або візуальні методи, які не потребують багато часу на отримання результатів, тоді як для більш глибокого аналізу краще застосовувати методи, які займають більше часу.

Вартість: не завжди є можливість використовувати дорогі методи діагностики, тому часто приймається рішення на основі економічної доцільності.

При виборі оптимального методу діагностики для конкретних умов експлуатації необхідно враховувати не лише технічні характеристики методів, але й доступність обладнання, кваліфікацію персоналу та бюджет проекту. Застосування комплексних підходів, що включають кілька методів, може суттєво підвищити точність діагностики та знизити ризик помилкових результатів. Використання сучасних програмних засобів дозволяє суттєво зекономити час та кошти, а також значно оптимізувати діагностику трансформаторного обладнання та забезпечити безперебійне його використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Залізняк І. Ю. Особливості технічної діагностики силових трансформаторів [Електронний ресурс] / І. Ю. Залізняк // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2018/paper/view/4580>
2. П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, і О. І. Казьмірук. Оптимальне керування нормальними режимами еес з урахуванням технічного стану трансформаторів із РПН. - 2013.- НаукПраці ВНТУ. - вип. 4. С. 44-47. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/339/337>

УДК621.318.1

Кривогузов М.М.

студ. гр. Е-914м НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНОГО КОМПЕНСАТОРА РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

Сучасні енергосистеми стикаються з викликами, пов'язаними з підтримкою стабільності та якості електроенергії. Зростання навантажень, інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та необхідність забезпечення високої якості електроенергії роблять регулювання напруги критично важливим. Коливання напруги, спричинені змінним навантаженням та генерацією ВДЕ, можуть призвести до нестабільності системи та пошкодження обладнання. Промислові підприємства з їхніми потужними та змінними навантаженнями особливо чутливі до коливань напруги. У цьому контексті статичні компенсатори реактивної потужності (SVC) виступають ефективним рішенням. Вони забезпечують швидке та ефективне регулювання напруги, компенсуючи реактивну потужність у реальному часі.

SVC є економічно вигідною альтернативою традиційним синхронним компенсаторам, особливо для промислових мереж. Вони дозволяють покращити стабільність системи, зменшити втрати потужності та підвищити якість електроенергії.

Методологія дослідження. Дослідження спрямоване на розробку математичної моделі SVC для систем високої напруги (500 кВ, 50 Гц, 3000 МВА). Для цього використовується програмний комплекс MATLAB з пакетами Simulink та SimPowerSystems. Моделювання в MATLAB дозволяє застосовувати фазорне моделювання для аналізу стаціонарних режимів та отримувати точні результати для складних енергосистем.

Модель розроблена для системи високої напруги, що відповідає реальним умовам електропередачі, що забезпечує практичну застосовність результатів. Використання програмного комплексу MATLAB з пакетами Simulink та SimPowerSystems забезпечує потужний інструмент для моделювання енергосистем. Це особливо важливо для складних енергосистем, де необхідно враховувати велику кількість компонентів та їхню взаємодію.

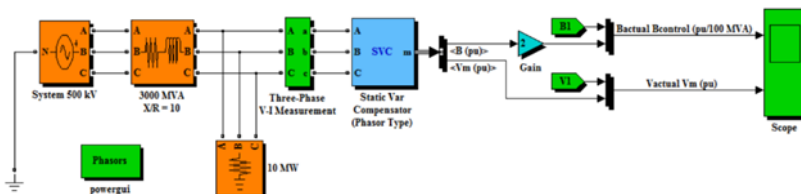


Рисунок 1 - Графічне представлення математичної моделі SVC

Архітектура SVC та принципи роботи Тиристорні комутатори ємнісних батарей (TSC) та керовані реактори (TCR) забезпечують швидке перемикання реактивної потужності.

Це дозволяє SVC реагувати на зміни напруги в реальному часі. Блоки вимірювання параметрів мережі забезпечують точну інформацію про стан системи. Інтелектуальний регулятор визначає необхідну величину реактивної потужності для підтримки напруги на заданому рівні. Генератор імпульсів керування забезпечує синхронізоване та точне керування тиристорами.

Математична модель та результати досліджень. Вольт-амперні характеристики SVC відображають залежність реактивного струму (I_{SVC}) від напруги (V) в точці підключення SVC. Ці характеристики показують здатність SVC регулювати напругу шляхом зміни реактивного струму. Формула для розрахунку реактивної потужності SVC (Q_{SVC}) дозволяє визначити необхідний реактивний струм для підтримки заданої напруги:

$$Q_{SVC} = V_2 / X_{SVC}, \quad (1)$$

де V - напруга в точці підключення SVC, В;

X_{SVC} - реактивний опір SVC, який регулюється тиристорними комутаторами.

Аналіз впливу параметрів регулятора на стабільність системи. Регулятор SVC визначає величину реактивного струму, необхідного для підтримки заданої напруги. Параметри регулятора, такі як коефіцієнт підсилення та час інтегрування, впливають на стабільність системи. Неправильний вибір параметрів регулятора може призвести до коливань напруги та нестабільності системи.

Дослідження динаміки перехідних процесів. Перехідні процеси виникають при швидких змінах напруги або навантаження. Дослідження динаміки перехідних процесів дозволяє оцінити швидкодію SVC та його здатність реагувати на швидкі зміни напруги. Для аналізу перехідних процесів, можна використовувати математичні моделі, які описують динамічну поведінку SVC. Наприклад, можна використовувати диференціальні рівняння, які описують зміну реактивного струму SVC в часі. Аналіз перехідних процесів дозволяє визначити час відгуку SVC та його здатність підтримувати стабільність системи при швидких змінах напруги.

Дослідження підтверджує ефективність SVC для підтримки напруги відповідно до вимог ДСТУ. SVC може бути використаний для інтеграції ВДЕ, забезпечуючи стабільність системи при змінній генерації. SVC може бути використаний для оптимізації роботи промислових енергосистем, зменшуючи втрати потужності та підвищуючи якість електроенергії.

УДК621.318.1

Гугняєв К.П.¹, Момот Р.С.¹

¹студ. гр. Е-914м НУ «Запорізька політехніка»

ЗАДАЧІ МАГНІТОСТАТИКИ В СЕРЕДОВИЩІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ELCUT

Розрахунок магнітного поля застосовується при проектуванні та дослідженні різних пристроїв, таких як соленоїди, електричні машини, магнітні екрани, постійні магніти, реактори тощо. Зазвичай при розрахунках магнітного поля представляють інтерес такі величини, як магнітна індукція, напруженість магнітного поля, магнітостатичні сили та моменти, індуктивність, а також потокозчеплення з різними обмотками.

Пакет Elcut може застосовуватися для вирішення лінійних та нелінійних завдань магнітостатики в плоскій та вісесиметричній постановці.

Використовується формулювання задачі щодо векторного магнітного потенціалу

Завдання магнітостатики можуть бути вирішені в лінійній та нелінійній постановках. Джерелом поля можуть служити зосереджені та розподілені струми та струмові шари, постійні магніти, а також зовнішні магнітні поля.

При вирішенні цих завдань використовується рівняння Пуассона для векторного магнітного потенціалу A ($B = \text{rot } A$, B – вектор магнітної індукції). В завданнях вектор індукції B завжди лежить в площині моделі (xz або yz), а вектор щільності стороннього струму j та векторний потенціал A перпендикулярні до неї. Іншими словами, електричний струм, що створює магнітне поле, спрямоване перпендикулярно площині креслення, або рухомі заряди, що створюють постійне магнітне поле, переміщуються перпендикулярно площині креслення. Відмінні від нуля лише компоненти j_z та A_z у плоско-паралельному випадку або j_θ і A_θ в вісесиметричних задачах. Для плоско-паралельних задач рівняння має вигляд

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_y} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_x} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -j + \left(\frac{\partial H_{cy}}{\partial x} - \frac{\partial H_{cx}}{\partial y} \right), \quad (1)$$

а для вісесиметричного випадку:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r\mu_z} \frac{\partial A}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu_r} \frac{\partial A}{\partial z} \right) = -j + \left(\frac{\partial H_{cz}}{\partial r} - \frac{\partial H_{cz}}{\partial r} \right), \quad (2)$$

де компоненти тензора магнітної проникності $\mu_x, \mu_y, (\mu_z \text{ та } \mu_r)$, складові коерцитивної сили, а також щільність струму j – постійні величини в межах кожного з блоків моделі.

В нелінійній постановці якості матеріалів вважаються ізотропними ($\mu_x = \mu_y$ або $\mu_z = \mu_r$) і задаються залежністю $B = f(H)$, представленою кубічним сплайном.

Джерела поля можуть бути задані в блоках, на ребрах або окремих вершин моделі. В магнітостатиці під джерелами поля розуміються зосереджені та розподілені струми та струмові шари, а також постійні магніти, намагніченість яких визначається величиною коерцитивної сили.

Джерело, заданий в конкретній точці площини x_y (z_r), описує струм, який проходить через цю точку у напрямі третьої вісі. В осесиметричному випадку точкове джерело представляє струм у тонкому кільцевому провіднику навколо осі симетрії. Струм, заданий на ребрі, відповідає поверхневому струму в тривимірному просторі. Завдання щільності струму в струмовому шарі еквівалентне неоднорідній граничній умові Неймана і здійснюється за його допомогою. Просторово розподілений струм описується або за допомогою щільності електричного струму, або повним числом ампер-витків, асоційованих з блоком. Щільність струму в котушці може бути отримана за формулою:

$$j = \frac{nI}{S}, \quad (3)$$

де n – кількість витків котушки,
 I – повний струм,
 S – площа поперечного перерізу котушки.

Різні блоки, в яких задано одне і те ж саме повне число ампер-витків, можуть розглядатися як з'єднані послідовно. Густина струму в кожному блоці буде обчислюватися розподілом загальної кількості ампер-витків на площу блоку

В вісесиметричних задачах, якщо в блоці задано повне число ампер-витків, а не щільність струму, є можливість описати, що щільність струму має бути розподілена за перерізом назад пропорційно відстані до осі обертання. Цей підхід дозволяє моделювати масивні спіральні котушки.

УДК621.318.1

Максименко А.А.¹, Коптев В.М.²

¹студ. гр. Е-214м НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-214 НУ «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ ЯК СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Металеві частини трансформатора можуть без пошкоджень довгий час витримувати доволі високі температури, в той час як ізоляція трансформаторів, а особливо ізоляція обмоток не може. Встановлено що електрична міцність паперової ізоляції не знижується до тих пір поки зберігається її механічна цілісність. В процесі експлуатації трансформатора паперова ізоляція поступово зношується. Цей процес супроводжується зменшенням еластичності та збільшенням хрупкості, що під впливом вібрації та динамічних зусиль, що з'являються в трансформаторі починає розтріскуватись та пошкоджуватись. В зв'язку з цим відбувається різке зниження електричної міцності, що призводить до пробою та пошкодженню трансформатора.

Час, протягом якого ізоляція зношується настільки що стає непридатною до подальшої роботи залежить від температури нагріву. Зі збільшенням температури при інших допустимих умовах строк служби трансформатора зменшується.

В загальному вигляді залежність строку служби ізоляції від температури має вигляд:

$$t_{\text{ст}} = A_{\text{Е}} \exp(-\gamma \theta),$$

де $t_{\text{ст}}$ – строк служби ізоляції, рік;

θ – температура нагріву, °С;

γ – коефіцієнт, який визначає ступінь старіння;

$A_{\text{Т}}$ – умовна величина, яка характеризує строк служби ізоляції.

Для трансформаторів прийнята така допустима температура нагріву ізоляції при якій забезпечується строк служби трансформаторів 20-25 років. Для трансформаторів середньої потужності дослідним шляхом встановлено, що найвища температура, яку витримує в маслі паперова ізоляція без зниження ізоляційних якостей 105 °С.

Використання трансформаторного масла в якості середовища що відводить тепло в процесі роботи трансформатора вкрай ефективне. За дослідними даними віддача тепла від одиниці поверхні при масляному охолодженні в 6-8 разів більша ніж при віддачі тепла безпосередньо в навколишнє середовище. При масляному охолодженні поверхню обмоток та магнітопровід можна зробити меншим ніж у подібного за потужністю трансформатора з повітряним способом охолодження.

Однак, поверхня баку, з якого тепло відводиться через повітря, повинна бути при цьому достатньо великою, інакше температура масла стане вище ніж допустима. Таким чином, для покращення охолодження необхідно забезпечити достатню площу поверхні баку трансформатора.

Площу поверхні можна збільшити за рахунок збільшення лінійних розмірів, що призведе до збільшення габаритних розмірів трансформатора або за рахунок додаткових охолоджувальних поверхонь таких як спеціальна хвильова конструкція баку, труб, радіаторів, якими додаткова оснащується бак трансформатора.

УДК621.318.1

Череватенко С.В.¹, Хлебніков П.І.²

¹студ. гр. Е-914м НУ «Запорізька політехніка»

²студ. гр. Е-314м НУ «Запорізька політехніка»

ДІАГНОСТИКА МІЦНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

При протіканні обмотками трансформатора великих струмів (наприклад, струмів зовнішніх коротких замикань (КЗ)) виникають електродинамічні сили, які можуть викликати деформацію окремих провідників, котушок чи всієї обмотки.

Імовірність пошкоджень при таких впливах залежить не тільки від значення струму, а й від кількості зовнішніх КЗ, що створюють кидки струму. Ослаблення зусиль пресування призводить до підвищених вібрацій обмотки і, як наслідок до виткових замикань через стирання ізоляції.

Перевірку електричної міцності ізоляції проводити під час введення маслонаповнених трансформаторів в експлуатацію та капітальних ремонтах без зміни обмоток та ізоляції не обов'язково. Випробування ізоляції сухих трансформаторів є обов'язковим.

При капітальному ремонті з повною зміною обмоток та ізоляції випробування підвищеною напругою обов'язково для всіх типів трансформаторів.

Електричну міцність ізоляції між обмотками різних напруг. (ВН, СН, НН) та кожної з них щодо заземлених частин трансформатора визначають прикладеною напругою. Це випробування, зване часто випробуванням головної ізоляції трансформатора, полягає в тому, що від стороннього джерела змінного струму через спеціальний випробувальний трансформатор подають напругу на випробувану обмотку трансформатора, при цьому один провід від випробувального трансформатора підключають до з'єднаних між собою відводів випробуваної обмотки, а інший - з'єднують із заземленим баком. Всі інші відводи інших обмоток, включаючи відводи розщеплених гілок обмоток, а також затискачі вимірювальних обмоток трансформаторів струму, вбудованих у вводи трансформатора, з'єднують між собою та заземлюють разом з баком випробуваного трансформатора [1].

В результаті застосування підвищеної напруги в випробуваній ізоляції створюється збільшена напруженість електричного поля, що дозволяє виявити дефекти ізоляції, що не були виявлені іншими методами.

Найбільш характерними дефектами, що виявляються при цьому випробуванні, є: недостатні відстані між гнучкими неізованими відводами обмоток НН у місці їх підключення до шпильок вводів; наявність в трансформаторі повітряних бульбашок; деякі види місцевого зволоження та забруднення ізоляційних деталей.

Для оцінки стану ізоляції трансформатора за умов виробництва на виробництві застосовують такі методи випробувань: вимірювання опору ізоляції обмоток під напругою постійного струму; вимірювання тангенсу кута діелектричних втрат; випробування проби трансформаторного масла; випробування електричної міцності ізоляції обмоток напругою промислової частоти.

Результати цих випробувань у процесі виробництва використовують для перевірки технологічних режимів обробки ізоляції (сушіння, просочення), а також після остаточного складання трансформатора перед випробуванням міцності ізоляції обмоток напругою промислової частоти; ці

випробування є вихідними даними при оцінці стану ізоляції перед введенням його в експлуатацію.

Використовуючи статистичні дані результатів для окремих трансформаторів можна створити модель прогнозування для оцінки дефектів, що розвиваються. Це дозволить побачити реальну перспективу використання конкретних трансформаторів у майбутньому та планувати різні заходи з метою запобігання їх раптових відмов [2].

Таким чином, враховуючи вимоги сучасних енергосистем, питання надійності трансформатора одна із головних пріоритетів. Необхідність контролю роботи трансформаторів виникає одночасно з початком їхньої експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Оптимізація схеми діагностики силових трансформаторів вищих класів напруги [Електронний ресурс]. -2020. – Режим доступу: <https://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-skhemy-diaagnostiki-silovykh-transformatorov-vysshikh-klassov-napryazheniya/>.
2. Давиденко, І.В. Системи діагностування високовольного маслонаповненого силового електроустаткування / І.В. Давиденко, В.М. Осотов // Електричні станції. - 2003. - 117с.

УДК621.318.1

Ганчев О.В.¹, Липкань О.П.¹

¹студ. гр. Е-914м НУ «Запорізька політехніка»

ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ ТА РЕАКТОРІВ

Трансформатори та реактори є складними електромагнітними пристроями, процеси в яких описуються системою алгебраїчних та системою нелінійних диференціальних рівнянь у частинних похідних, які встановлюють залежності між електричними, магнітними та конструктивними параметрами. Величина цих параметрів, ступінь їх впливу на електромагнітні процеси в значного ступеня залежить від режиму роботи трансформатора. Очевидно, що врахувати всі залежності та явища при розрахунку електромагнітних процесів пристроїв з трансформаторами та реакторами неможливо.

Так, при низьких частотах визначальними параметрами трансформатора є електричний опір його обмоток та індуктивності, що залежать від числа витків обмоток, кривої намагнічування магнітопроводу та його розмірів. При збільшенні частоти стають помітними втрати енергії на перемагнічування магнітопроводу, зменшується індуктивності через витіснення магнітного

поля із пластин сталі магнітопроводу вихровими струмами і збільшується роль ємностей, обумовлених електричними полями, виникаючими в обмотках.

При аналізі перетворювальних пристроїв одними з основних параметрів трансформатора є індуктивні та активні опори обмоток. Іноді необхідно враховувати втрати від вихрових струмів, гістерезисні втрати, нелінійність характеристик намагнічування. Тому для вирішення широкого кола завдань аналізу пристроїв силової електроніки необхідні моделі трансформаторів та реакторів різного рівня ідеалізації.

Звичайною формою моделей компонентів схем є електричний ланцюг, складений з нелінійних та лінійних резистивних гілок, ємностей, індуктивностей та залежних джерел. Зручною формою для відображення перетворювальних пристроїв є кусково-лінійна динамічна система. При вирішенні багатьох завдань аналізу пристроїв силової електроніки можна обійтися найпростішими моделями трансформаторів та реакторів. Так, реактор зазвичай представляють індуктивністю і резисторами, ввімкеними послідовно і паралельно. При зміні частоти або насичення сталі магнітопроводу характеристики цих схем істотно відрізняються один від одного, особливо по залежності втрат від змінного параметра. Втрати реактора зазвичай набагато менше його реактивної потужності. Тому $R_1 \ll \omega \cdot L_1, R_2 \ll \omega \cdot L_2, L_1 \approx L_2$ і можна в першому наближенні вважати напругу на реактивному опорі L_1 або струм L_2 рівним відповідно напруги на реакторі чи струму в ньому. Тоді втрати за схемою рисунок 1а пропорційні квадрату струму в реакторі, а за схемою рисунок 1б – квадрату напруги.

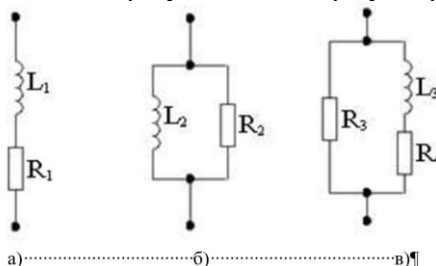


Рисунок 1 – Схеми заміщення реактора

Основні втрати в обмотці пропорційні квадрату струму і враховуються послідовно активним опором (рис. 1,а). Втрати від вихрових струмів у пластинах сталі магнітопроводу та проводи обмотки, пропорційні квадрату напруги, враховуються паралельним активним опором (рис. 1,б). Гістерезисні втрати і втрати в масивних провідних деталях можна врахувати за допомогою двох опорів R_3 та R_4 (рис. 1,в).

Індуктивність реактора зі сталлю може різко змінюватися при насичення магнітної системи або її частин. Для режимів, пов'язаних з сильним насиченням сталі, зазвичай вдається уявити нелінійну магнітну характеристику шматково-лінійною (рис. 2,а). Кожна точка її зламу відповідає насичення однієї з частин магнітної системи. Для розрахунку такої характеристики подають у вигляді суми декількох більш простих характеристик. На схемі заміщення цьому відповідає ряд послідовно включених індуктивностей (рис. 2,б).

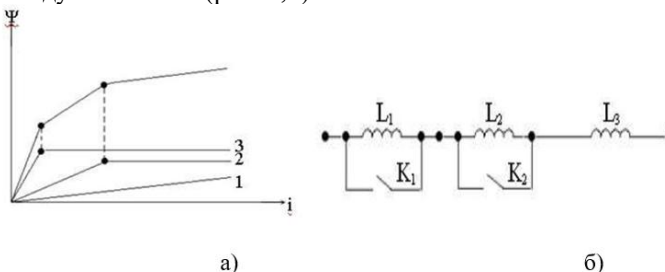


Рисунок 2 – Характеристика намагнічування (а) та схема заміщення насиченого реактора (б)

В реальних пристроях буває достатньо розглядати насичення всього магнітопроводу відразу або однієї його ділянки, а схема заміщення міститиме одну або дві індуктивності з одним ключем.

Користуючись викладеними способами, можна досить просто врахувати у схемі заміщення складні явища. Наприклад опором, ввімкненим паралельно індуктивності, яка відповідає індуктивності насичення, можна врахувати вихрові струми у проводах обмоток та інших частинах реактора, що насичується. Однак слід пам'ятати, що облік багатьох другорядних чинників призводить до ускладнення постановки завдання, схеми заміщення та її розв'язання.

УДК621.318.1

Риженков Ю.М.¹, Діденко В.А.²

¹студ. гр. Е-214м НУ «Запорізька політехніка»

²студ. гр. Е-272 НУ «Запорізька політехніка»

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Важлива частка електричного оснащення станцій, підстанцій, системи передачі та розподілу електрики виробила особистий ресурс, але продовжує

експлуатуватися, наприклад, тому що на заміну обладнання необхідні гігантські фінансові ресурси.

Силові трансформатори вважаються критичними компонентами передових енергетичних систем. Вони застосовуються для нарощування та зниження напруги, щоб гарантувати передачу та розосередження електричної енергії.

В силу великої кількості об'єктивних причин, пов'язаних з розвитком та реорганізацією сучасної електроенергетики, дедалі більша увага приділяється впровадження систем моніторингу та діагностики високовольтного обладнання, зокрема силових трансформаторів.

Питання визначення стану трансформаторів з кожним днем стає все більш актуальним і прямо пропорційним до динаміки зносу парку обладнання, яке перебуває в експлуатації. В даний час близько 60% діючого обладнання відпрацювало свій експлуатаційний термін, та потребує заміни. На сьогоднішній день, 40% трансформаторного обладнання має середній вік від 18 років, і вимагає проведення капітального ремонту. Негайна, повна оцінка стану трансформатора дає можливість продовжувати його експлуатацію, проведення діагностики дозволяє уникнути не лише фінансових витрат, а й втрат, пов'язаних із аварійним відключенням електропостачання.

Для продовження терміну життя трансформатора, а також його подальшого експлуатування необхідне точне та своєчасне діагностування, тобто визначення технічного стану.

Технічна діагностика як галузь знань, займається теорією, методами та засобами виявлення та пошуку дефектів, під якими слід розуміти будь-яке відхилення показників об'єкта від заданих. Встановлення невідповідності параметрів та характеристик об'єкта – одне із завдань діагностування.

Деякі трансформатори здатні працювати тривалий час (понад 50 років після початкової установки), а інші можуть бути схильні до відмов через відносно невеликий період часу.

Хронологічний вік трансформатора та величина часу його старіння не завжди добре корелюють один з одним. До релевантних факторів, що надають вплив на реальний період роботи трансформатора, відносяться його конструкція, обслуговування, вплив на нього зовнішніх стрибків напруги та відмов, навантаження, температура, в якій він функціонує, періодичність роботи, навколишнє середовище, та багато іншого.

Усі енергопостачальні організації та виробники електричної енергії, парк трансформаторів яких досить старий, повинні, в якийсь момент часу, задуматися про перспективи дуже витратних проєктів із заміни старого обладнання з тим, щоб гарантувати високу надійність та якість роботи. Оцінки всіх цих активів повинні включати витрати, пов'язані з відмовою

пристроїв, з несподіваними відключеннями, з подальшими пошкодженнями, з відновленням напруги.

Щоб забезпечити більш високу надійність парку старіючого обладнання, необхідний спосіб оцінки, що дозволяє ідентифікувати трансформатори з високим ризиком відмови. Сьогодні існують перевірені засоби, що дозволяють пом'якшити ці ризики. До більш стійких, надійних електричних системам наводять превентивні дії з хорошими діагностичними програмами, процедури обслуговування, та плани заміни та оновлення обладнання, а також стратегії навантаження та економії.

Безвідмовність та безперебійність роботи обладнання, мереж, систем, станцій залежить від параметра надійності роботи, тому що вони є основними елементами енергосистеми. В сучасний час все більше з'являється необхідність в силових трансформаторах з великим терміном служби роботи, тому для задоволення мети висувають завдання їх реалізації, головними параметрами яких вважаються надійність, працездатність, життєвий цикл.

Силові трансформатори є основними елементами електричних мереж та систем, які визначають невід'ємну частину експлуатаційної надійності та економічності терміну служби трансформатора. Відключення при аваріях, дефекти та пошкодження призводять до витрат, збитків та зносу обладнання. Тому одним із актуальних завдань підвищення надійності та якості функціонування електричних систем є оцінка експлуатаційної надійності для обліку її при проектуванні та вдосконаленні системи технічного обслуговування та ремонту трансформаторів.

Продовження, збільшення життєвого циклу ресурсу певного силового трансформатора здійснюють за допомогою проведення комплексного технічного обстеження.

Незважаючи на те, що у трансформаторів відсутні рухомі і обертові частини в процесі експлуатації можливі і практично мають місце ушкодження та порушення нормальних режимів роботи. Тому трансформатори мають оснащуватися релейним захистом.

В обмотках трансформаторів можуть бути к.з. між фазами, однієї чи двох фаз на землю, між витками однієї фази та замикання між обмотками. На вводах трансформаторів та їх ошиновках також можуть виникати замикання між фазами та на землю. Крім зазначених ушкоджень, в умовах експлуатації можуть відбуватися порушення нормальних режимів роботи трансформаторів, до яких належать:

- проходження через трансформатор надструмів при пошкодженні інших елементів трансформатора;
- перенавантаження;
- виділення з олії горючих газів;
- зниження рівня масла, підвищення його температури та інше.

З вище переліченого випливає, що захист трансформаторів має задовольняти наступним умовам:

1. Вимикати трансформатор від усіх джерел живлення під час його пошкодження.

2. Вимкнути трансформатор від пошкодженої частини установки під час проходження надструмів у випадках пошкодження шин або іншого трансформаторного обладнання, а також при пошкодженні суміжного обладнання та відмови елементів захисту або вимикачів.

3. Подавати попереджувальний сигнал черговій підстанції під час переважання трансформатора, виділення газу з олії, зниження рівня олії, підвищення його температури.

UDC 621.316.71

Balabanov Ivan ¹, Petryk Bohdan ², Sincha Danylo ³

¹ stud. gr. E-913m, National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

² stud. gr. E-214 m, National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

³ stud. gr. E-252, National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

APPLICATION OF COMSOL MULTIPHYSICS SOFTWARE PACKAGE FOR CALCULATION OF ELECTRICAL MACHINES

Today, the issue of cost-effectiveness of development and speed of processing of solutions in the electromechanical industry is acute. For this reason, it is necessary to quickly and with minimal costs analyze the efficiency of various electromechanical systems. At the same time, manual calculation using known methods is laborious and time-consuming. A typical application of the Comsol Multiphysics software package can be automated calculation of electrical machines with given characteristics. This set of programs is designed for modeling electromagnetic fields in the design and study of models of engines, sensors, transformers and other electrical and electromechanical devices for various applications. Comsol Multiphysics is built on the basic equations of Maxwell and uses the Finite Element Method (FEM) for calculations, which allows you to calculate electromagnetic and electric fields, as well as transient processes in field problems. The software package has a large library of templates of known electrical machines. In these templates, it is enough to enter the main geometric dimensions, materials intended for use, and based on these initial data, calculate the characteristics of the electrical machine under study. There is a possibility of calculation and analysis at three different levels: accelerated analysis using equivalent circuits; calculation by the finite element method in a two-dimensional formulation of the problem; calculation by the finite element method in a three-dimensional formulation of the problem. In the last two levels of calculation, there

is a possibility of solving a magnetostatic problem, a dynamic problem, there is a possibility of connecting an electrical circuit of the system, which means that there is a possibility of analyzing the operation of an electrical machine when connecting semiconductor equipment, various loads, etc. There is also an opportunity to familiarize yourself with various oscillograms, see the magnitude of the induction, a picture of the paths of the closing of the lines of force flux, calculate magnetic, electrical losses, as well as losses caused by the generation of eddy currents in the magnetically conductive parts of the system. The data of mathematical modeling and calculations using the classical method were compared. During the verification, losses in the electric machine were calculated, the magnetic circuit was calculated, the operating characteristics and oscillograms of voltage and currents of the idealized system were constructed. All calculations performed manually confirmed the results of the calculation using the Comsol Multiphysics program. It should be noted that the software package provides some additional capabilities that cannot be obtained when calculating manually, such as voltage surges and current jumps, losses from eddy currents and electromagnetic torque pulsations. Analyzing the results of the work performed on the calculation of the electric machine, the following conclusions can be drawn: the accuracy of the calculation of electric machines in the Comsol Multiphysics software package is not inferior to the accuracy of calculations using traditional calculation methods; to initially perform an estimated calculation of the electromechanical system and determine the main dimensions, it is advisable to use simplified estimated design methods; To analyze and verify calculations and perform optimization, modern software should be used, which should ensure high accuracy of calculations and speed of work.

УДК 621.311

Кручинін А. П.¹, Бондар Д. В.¹

¹студ. гр. Е-913м НУ «Запорізька політехніка»

РОЛЬ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ПОДОЛАННІ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИКЛИКІВ

У сучасному світі практично неможливо уявити існування людства без різноманітних форм енергії. Щодня ми здійснюємо рухи, вживаємо їжу, займаємося розумовою діяльністю, і всі ці процеси супроводжуються продукуванням енергії. Аналогічна ситуація спостерігається і на рівні нашої планети. Колись енергія атома розглядалася як значне відкриття минулого століття, універсальний засіб для подолання всіх енергетичних складностей ХХ століття. Проте з плином часу стало очевидним, що традиційні енергоресурси, такі як нафта, природний газ і кам'яне вугілля, не тільки

завдають шкоди екосистемі, але й мають обмежені запаси: передбачається, що нафти та газу вистачить приблизно на п'ятдесят років, а вугілля – на три сотні років.

Науковий прогрес, що ніколи не стоїть на місці, спрямував свій погляд на альтернативні джерела енергії, включаючи сонячне випромінювання, силу вітру, енергію води, біомасу та навіть солому. З'ясувалося, що атом не є єдиним можливим енергетичним рішенням для людства. У зв'язку з цим, зростаюча кількість країн активно впроваджує екологічно безпечні технології, віддаючи перевагу альтернативним видам енергетики.

На сьогоднішній день до нетрадиційних джерел енергії належать: енергія сонця, енергія вітру, біомаса, гідроенергія малих річок, теплова енергія навколишнього середовища, енергія океанських хвиль, геотермальні води, а також вторинні теплові ресурси промислових підприємств, які представляють значний потенціал для ефективного використання в Україні. Крім того, нещодавно до цього списку додали ще один вид – енергію, отриману зі звичайної соломи. Незважаючи на те, що наразі її частка в енергоспоживанні України становить лише 0,3%, її надлишкові обсяги оцінюються майже в п'ять мільйонів тонн. За розрахунками науковців, цей доступний ресурс може забезпечити функціонування понад тринадцяти тисяч невеликих теплогенеруючих установок, достатніх навіть для опалення житлових приміщень.

Використання соломи як альтернативного енергоносія є перспективним не тільки для України. У Франції цей вид нетрадиційної енергії вже широко застосовується. Український за походженням французький інженер Жан-Марі Турянський запропонував Україні спосіб вирішення енергетичної кризи та звільнення від залежності від російської нафти та газу. Створена ним установка генерує теплову та електричну енергію, використовуючи звичайну пресовану солому. Один тюк вагою 350 кг при згорянні виділяє 108 кВт енергії, що еквівалентно 120 літрам мазуту. Ця технологія не тільки економічно вигідніша за традиційні, але й екологічно чиста, забезпечуючи економію енергії до 10% порівняно з газовим опаленням.

Розширення використання альтернативної енергетики починає визначати енергетичні стратегії держав. Подібно до індивідуальних життєвих виборів, де одні віддають перевагу здоровому способу життя, а інші – ні, деякі країни активно підтримують впровадження чистих джерел енергії (наприклад, Данія, Німеччина, Нідерланди), тоді як інші продовжують орієнтуватися на атомні технології.

Україна має історичний досвід у сфері вітроенергетики. До початку Другої світової війни на її території функціонувало близько шести тисяч вітрових установок, річний обсяг виробництва яких сягав двох тисяч одиниць. Сьогодні в Україні працюють Донузлавська, Сакська, Новоазовська

та Трускавецька вітрові електростанції, а вітчизняними підприємствами щомісячно випускається десять сертифікованих вітротурбін.

Сонячна енергія також володіє значним потенціалом. Середньорічний обсяг сонячного випромінювання, що потрапляє на один квадратний метр поверхні в Україні, становить приблизно один мільйон кіловат-годин. Це створює сприятливі умови для ефективного застосування сонячного теплоенергетичного обладнання практично у всіх регіонах країни.

Отже, альтернативна енергетика є не просто перспективним напрямком, а й нагальною необхідністю для розв'язання екологічних та енергетичних проблем. Її подальший розвиток є важливим кроком на шляху до енергетичної незалежності, збереження чистоти навколишнього середовища та забезпечення стабільного майбутнього для наступних поколінь.

УДК 621.311

Лавринович М.М.

студ. гр. Е-263сп НУ «Запорізька політехніка»

ВІТРЯНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В УКРАЇНІ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ НА 2025 РІК

Вітроенергетика є ключовим напрямом розвитку відновлюваних джерел енергії в Україні. В умовах довготривалої агресії та руйнування енергетичної інфраструктури наша країна активно шукає шляхи для підвищення енергетичної безпеки та незалежності. Розвиток вітряних електростанцій стає важливим елементом цієї стратегії, забезпечуючи децентралізацію виробництва електроенергії та зменшення залежності від традиційних енергоресурсів.

Сучасний стан вітроенергетики.

Станом на 2025 рік в Україні спостерігається активний розвиток вітроенергетики. Зокрема, компанія ДТЕК планує інвестувати 450 мільйонів євро у розширення Тилігульської вітрової електростанції, збільшивши її потужність з 114 МВт до 500 МВт. Цей проєкт є частиною стратегії компанії щодо відновлення та модернізації енергетичної інфраструктури країни.

Крім того, міжнародні фінансові інституції надають значну підтримку українському енергетичному сектору. Європейський банк реконструкції та розвитку оголосив про надання 1 мільярда євро для підтримки енергетичного сектору України у 2025 році, зокрема для розвитку відновлюваних джерел енергії. Також міжнародний фінансовий пакет у розмірі 157 мільйонів євро спрямований на вітрові проєкти, що сприяє підвищенню енергетичної безпеки України.

Варто відзначити, що понад 30 вітрових проєктів перебувають на різних стадіях реалізації в Україні, що свідчить про значний інтерес інвесторів до цього сектору.

Перспективи розвитку вітроенергетики.

Україна має значний потенціал для розвитку вітроенергетики. За оцінками Данського технічного університету, технічний потенціал офшорної вітроенергетики в Чорному та Азовському морях становить 50 ГВт, з яких 20 ГВт припадає на плавучі офшорні вітрові установки, а 30 ГВт — на стаціонарні.

Для прискорення розвитку вітроенергетики в Україні необхідно створити сприятливі умови для інвесторів. Зокрема, інвестори закликають Верховну Раду України ухвалити законопроект №11455, який передбачає звільнення від сплати ПДВ та митних зборів на обладнання для вітроенергетики, що сприятиме швидшому імпорту вітрових турбін та будівництву ВЕС.

Розвиток вітроенергетики в Україні є важливим кроком на шляху до енергетичної незалежності та безпеки. Незважаючи на виклики, пов'язані з воєнними діями та руйнуванням інфраструктури, країна демонструє значний прогрес у цьому напрямі. Залучення міжнародних інвестицій, реалізація масштабних проєктів та створення сприятливих законодавчих умов сприятимуть подальшому розвитку вітроенергетики та зміцненню енергетичної системи України.

УДК621.318.1

Коваленко Я.Ю.

студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

ПРОЦЕСОРИ МАЙБУТНЬОГО: ОГЛЯД ПЕРСПЕКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПРОЦЕСОРІВ

Сучасні процесори досягли неймовірного рівня мініатюризації – мільярди транзисторів вміщуються на крихітному кремнієвому чіпі. Проте фізичні обмеження матеріалу поступово стають перешкодою для подальшого розвитку. Що чекає нас у майбутньому? Чи з'являться нові матеріали, які змінять обчислювальні технології?

Центральний процесор (ЦП, CPU) – "мозок" будь-якого комп'ютера – пройшов довгий шлях від громіздких лампових систем 1940-х до сучасних наноелектронних пристроїв. Визначення CPU як пристрою, здатного виконувати довільні машинні інструкції (а не лише фіксовані операції), сформувалося ще в 1960-х.

Ні для кого не секрет, що процесор складається з транзисторів. На середину 1950-х компанія Texas Instrument випустила перший кремнієвий транзистор. Остаточного напрямку для сучасних процесорів закріпив у 1959 році швейцарський учений Жан Хорні. Він розробив перший плоский кремнієвий транзистор, який став основою монолітних інтегральних схем. Всі знають, що кремнієвий транзистор зроблений з полі-кремнію. Кожен новий процес дається все складніше і складніше.

Сьогодні виробники процесорів змушені вдаватися до різних технологічних хитрощів, оскільки традиційні методи масштабування вже не працюють. Найсучасніші транзистори досягають розмірів усього 50 нанометрів у висоту - це в 6 разів менше, ніж розмір типового вірусу. Проте фізичні обмеження кремнію стають все більш очевидними, особливо що стосується тепловиділення та мінімальних розмірів транзисторів. Ключова проблема полягає в тому, що мінімальний розмір затвора кремнієвого транзистора не може бути меншим за 5 нанометрів. При спробі створити перемикач з меншими розмірами втрачається здатність до ефективного керування потоком електронів та різко зростають витрати струму і транзистор перестає виконувати свою основну функцію перемикача.

Виробники процесорів вже зараз активно протистояти фізичним обмеженням кремнієвих технологій через цілий комплекс заходів. На архітектурному рівні це передбачає перехід від планарних до 3D-транзисторів FinFET, а тепер і до більш досконалих GAA-транзисторів, де затвор повністю оточує канал. Також є ідеї змінити транзистори з КМОН комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник (CMOS Complementary-symmetry/metal-oxide semiconductor) на тунельні транзистори переважна кількість мікросхем базується на цьому принципі який був винайдений ще в 60-х роках. Тунельні транзистори працюють зовсім по-різному якщо для звичайного транзистора тунелювання електронів це провал то тунельні транзистори на цьому ефекті і працюють. Вся справа в тому, що тунелювання виглядає як обман фізики логічно що якщо в електрона не вистачає енергії для подолання бар'єру то він залишається за ним. Однак ефект тунелювання дозволяє електронам навіть з низькою енергією просочуватись через бар'єр. Іншими словами це дозволяє працювати транзисторам при менших напругах. Більше того зменшення бар'єру тут нічим не загрожує для того щоб запобігти тунелюванню треба ще зменшити напругу що зменшує виділення тепла. Але є ще й недоліки

1. Потрібен графен.

2. Також потрібні зверх низькі температури.(Потрібен рідкий азот)

Також є так звані мемристори які були розроблені ще на папері в 70 роки їх назва походить від слова memory-пам'ять і resistor-резистор. І це чудово описує їх головну особливість якщо резистор це опір який не змінюється то ось мемристор має ефект пам'яті. Іншими словами він змінює

свою провідність відповідно до струму пропущеного через нього. Звучить як фантастика але це вже реальність Ізраїльська компанія weebit напо повідомила про успішне тестування. Така пам'ять менше схильна до температурних змін радіації і іншим негативним факторам. А якщо піти далі то ми зможемо розташовувати справжні синапси на чіпі. Паралельно впроваджується чіплетна архітектура, яка дозволяє компонувати процесори з окремих модулів.

На матеріальному рівні відбувається заміна традиційних матеріалів: мідні між'єднання поступаються місцем кобальтовим, а високо-к діелектрики на основі гафнію значно зменшують енерговитрати. Системні рішення включають інноваційні методи охолодження, поєднання різних техпроцесів у межах одного чіпа та інтелектуальне управління енергоспоживанням.

Ці заходи в сукупності утворюють стратегію, яка поки що дозволяє обходити фундаментальні обмеження кремнію, хоча з кожним техпроцесом це стає все складніше і вимагає більших інвестицій у дослідження та розробки.

Сьогодні ЦП – це високоінтегрована мікросхема, де всі функції реалізовані на єдиному кремнієвому кристалі. Але саме кремній, що став основою цифрової революції, тепер гальмує прогрес. Чому кремній більше не ідеальний? Фізичний бар'єр 5 нм – при подальшому зменшенні транзистори втрачають стабільність, – щільність елементів призводить до перегріву та зростають втрати струму

Германій, як і кремній, є напівпровідниковим матеріалом, що робить його потенційною альтернативою в електроніці.. Однак від нього відмовилися з наступних причин:

1. Він дорожчий від кремнію він зустрічається рідше.
2. У нього менше термостабільність (при нагріванні він швидше втрачає свої властивості) та окислення.
3. Гірше теплопровідність (важче відводити тепло).

Незважаючи на те, що германій використовувався в ранніх транзисторах, його замінили кремнієм через низьку термостабільність та високу вартість. Однак його похідна – германан – має набагато кращу електропровідність і потенційно може стати альтернативою.

Однак є елемент, на основі якого вже створили чіп, це молібденіт (MoS_2) - це матеріал, який має великий потенціал для використання в напівпровідниковій промисловості, особливо в мініатюрних електронних пристроях. Вченим вдалося довести товщину молібденіту до 0,65 нанометрів за повного збереження напівпровідникових властивостей. На його основі вдалося створити напівпровідниковий фотодіод, який у 5 разів чутливіший ніж кремній.

Пошук ідеального хімічного елемента для заміни кремнію в електроніці є актуальною темою досліджень. Вуглець, зокрема у формі графену та нанотрубок, вважається одним із найперспективніших кандидатів.

Графен це матеріал, що складається з одного шару атомів вуглецю, демонструє втричі вищу провідність, ніж кремній. З нього виготовляють вуглецеві нанотрубки, вони також є напівпровідниками причому атомної товщини до того ж у них електропровідність в 3 рази вище, ніж у кремнії. Цікаво, що на основі нанотрубки вже вдалося зробити перший чіп на 14 тисяч транзисторів, але його процес складає близько 1 мікрометра. Однак це повноцінний чіп, на якому вдалося запустити програму рівня Hello World.

Окрім нових матеріалів, розробляються принципово інші підходи такі як квантові процесори (кубіти замість бітів) – можуть вирішувати складні задачі, але потребують криогенних температур та фотонні чіпи – передача даних світлом замість електричного сигналу.

Отже, кремній ще не сказав останнього слова, але наука вже шукає альтернативи – від графену до квантових технологій. Майбутнє процесорів буде багат шаровим, гнучким і, можливо, навіть не електронним, а фотонним.

УДК 621.311

Леваньков М.М.

студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ У СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Сьогодні важко уявити будь-яку сферу людської діяльності, де б не використовувалися автоматизовані системи. Від побутової техніки до складних промислових комплексів, всюди ми зустрічаємося з пристроями, що здатні самостійно виконувати задані функції, контролювати процеси та приймати рішення. В основі більшості таких систем лежать мікроконтролери - мініатюрні, але потужні програмовані пристрої, що поєднують в собі процесор, пам'ять та периферійні пристрої.

Завдяки своїй універсальності та гнучкості, мікроконтролери знайшли широке застосування в найрізноманітніших галузях:

1. Промисловість.

- керування технологічними процесами: мікроконтролери використовуються для автоматизації виробничих ліній, контролю параметрів (температури, тиску, рівня рідини), управління роботами-маніпуляторами.

- системи ЧПУ: мікроконтролери є основою систем числового програмного керування (ЧПУ) для верстатів, що дозволяє автоматизувати процес обробки деталей з високою точністю.

- контроль якості: мікроконтролери використовуються в системах контролю якості продукції, дозволяючи виявляти дефекти та відхилення від заданих параметрів.

2. Енергетика.

- розумні електромережі (Smart Grid): мікроконтролери забезпечують моніторинг стану мережі, оптимізацію розподілу електроенергії, інтеграцію відновлюваних джерел енергії.

- альтернативна енергетика: мікроконтролери використовуються для керування сонячними батареями, вітрогенераторами, системами накопичення енергії.

- енергоефективність: мікроконтролери дозволяють створювати системи автоматичного управління освітленням, опаленням та вентиляцією, що сприяє зниженню енергоспоживання.

3. Транспорт.

- автомобільна промисловість: мікроконтролери керують двигуном, коробкою передач, системою гальмування, забезпечують роботу систем безпеки (ABS, ESP), клімат-контролю, мультимедійних систем.

- авіація та космонавтика: мікроконтролери використовуються в системах навігації, автопілотах, системах контролю польоту.

- залізничний транспорт: мікроконтролери забезпечують керування рухом поїздів, системами сигналізації та безпеки.

4. Медицина.

- медичне обладнання: мікроконтролери використовуються в апаратах штучної вентиляції легень, кардіостимуляторах, апаратах УЗД, томографах.

- системи моніторингу: мікроконтролери дозволяють створювати портативні пристрої для моніторингу стану пацієнтів, збору та аналізу медичних даних.

Переваги використання мікроконтролерів:

- Гнучкість: можливість програмування дозволяє адаптувати мікроконтролер до будь-якої задачі.

- Компактність: малі розміри дозволяють вбудовувати мікроконтролери в різні пристрої.

- Економічність: низька вартість робить їх доступними для широкого кола застосувань.

- Надійність: мікроконтролери мають високу надійність та стійкість до зовнішніх впливів.

Мікроконтролери є ключовим елементом сучасних систем автоматизації, забезпечуючи їх ефективність, гнучкість та надійність. Їх широке застосування в різних галузях свідчить про важливість та

перспективність цієї технології. З розвитком технологій виробництва мікроконтролерів їх можливості постійно зростають, що відкриває нові горизонти для їх застосування в майбутньому.

УДК 621.311

Солнцев Д. С.

студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

У сучасному світі більшість кінцевих пристроїв уже живляться постійним струмом. Як зарядні станції, так і електроприводи у промисловому середовищі працюють на постійному струмі, що виробляється зі змінного струму. Тому різні компанії досліджують можливості створення комплексної інтелектуальної мікромережі на основі постійного струму. Ідея полягає в тому, що постійний струм, отриманий із відновлюваних джерел енергії, безпосередньо забезпечує електроенергією споживачів у мережі, наприклад машини, двигуни або конвеєрні стрічки, завдяки чому скорочуються втрати на перетворення.

Завдяки підключенню до мережі постійного струму можна також повертати енергію гальмування системи у вигляді електроенергії назад у мережу. Надлишки виробленої енергії акумулюються в системах накопичення енергії і знову повертаються в мережу, коли це потрібно. Це дає змогу знизити потужність на вході майже на 80 %. Крім того, можна зменшити як пікове навантаження, так і навантаження на мережу загального користування.

Переваги мережі постійного струму:

- 1) Підвищення енергоефективності завдяки рекуперації енергії, зниженню втрат на перетворення та використанню енергії з відновлювальних джерел і пристроїв накопичення енергії
- 2) Оптимізація ресурсів завдяки зменшенню використання міді на 55 %, зниження витрат на обладнання та зменшенню займаної площі
- 3) Уникнення зупинок виробництва через відмови мережі постачання
- 4) Основа інтелектуального керування потоками енергії

Недолік перетворення постійного струму на змінний.

Перетворення постійного струму на змінний або напруги постійного струму на напругу змінного струму пов'язане із втратами, оскільки для перетворення потрібна енергія. Це збільшує енергоспоживання, що в свою чергу знижує енергоефективність. Крім того, необхідні перетворювачі постійного струму на змінний, які вимагають відповідного місця в системі, яке в разі відмови від перетворення можна заощадити.

Безпосереднє використання постійного струму для споживачів дає змогу обійтися без попереднього перетворення постійного струму на змінний, а тоді знову на постійний. Це підвищує енергоефективність, оскільки мережа суто постійного струму зазвичай економить 6–8 % енергії, як порівняти з мережею змінного струму. Подальша економія можлива за рахунок використання енергії гальмування та прямого накопичення постійного струму.

Чому виникла тенденція в напрямку постійного струму.

Промисловий сектор особливо активно шукає відповідні рішення для досягнення кліматичних цілей. В умовах зміни клімату світ стикається зі зростанням вартості енергоносіїв, дефіцитом ресурсів і збільшенням попиту на енергію. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми на заводі є перехід з мережі змінного струму на мережу постійного струму.

Виробництво електроенергії з відновлюваних джерел, зберігання енергії та рекуперація енергії — це ключові поняття у боротьбі зі зміною клімату, які реалізуються в мережах постійного струму. Вони забезпечують скорочення споживання енергії та зменшення пікових навантажень (обмеження пікового навантаження). Це розвантажує і стабілізує мережу живлення. Проєктування мережі постійного струму в промисловості є одним із підходів до сталого розвитку промислового виробництва в майбутньому.

УДК621.318.1

Романов А.С.¹, Сологуб С.І.¹

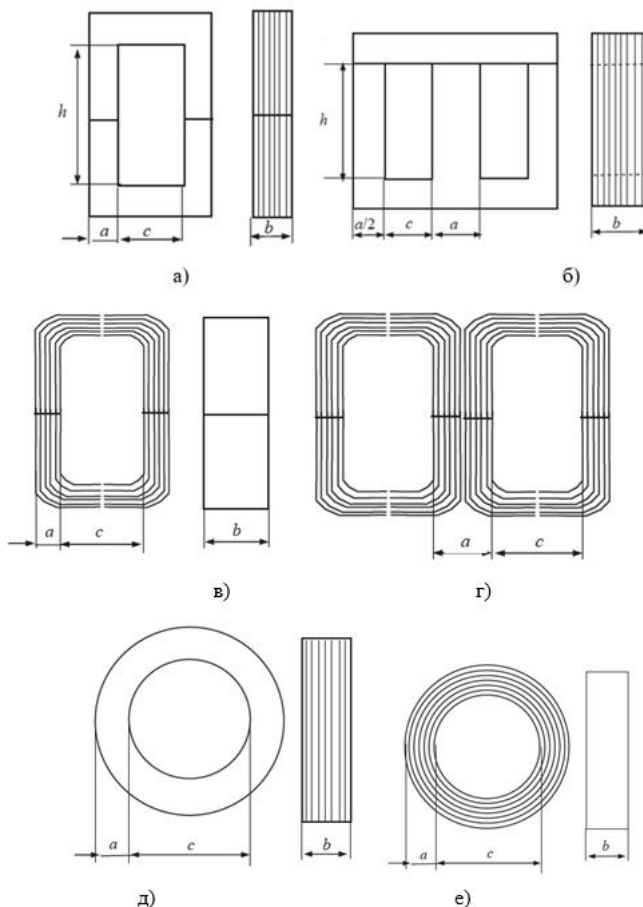
¹студ. гр. Е-212 НУ «Запорізька політехніка»

ТРАНСФОРМАТОРИ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ МАГНІТОПРОВІДІВ

Трансформатори малої потужності широко використовуються в сучасних схемах для електричного живлення різних систем автоматики, телемеханіки та зв'язку, а також для живлення різних електротехнічних пристроїв таких як випрямлячі, фільтри, статичні перетворювачі, стабілізатори та регулятори напруги та струму. Розрахунок трансформаторів малої потужності має ряд особливостей в порівнянні з трансформаторами загального призначення. В ряді випадків до них застосовуються самі жорсткі вимоги по ваговим та габаритним показникам, замість з тим достатньо гостро стоїть питання економічної ефективності трансформаторів, що пов'язано з великими масштабами їх виробництва.

В проєктування трансформаторів вибір основних розмірів починається з визначення розміру магнітопроводу, який здійснюється зазвичай з використанням нормалізованих рядів значень діаметрів стрижня. Проте це не

завжди задовольняє вимогам поставленим при проектуванні. До цього ж конструкція магнітопроводу повинна забезпечувати надійну роботу протягом всього завданого строку експлуатації тому в залежності від місця експлуатації до конструкції пред'являються наступні вимоги: висока механічна міцність, нагрівостійкість, вологостійкість, електрична проникність, економічність.



а – стрижневий пластинчатий; б – броньовий пластинчатий;
в – стрижневий стрічковий; г – броньовий стрічковий;
д – кільцевий пластинчатий; е – кільцевий стрічковий

Рисунок 1 – Конструкції магнітопроводів

Основними елементами конструкції трансформаторів є магнітопровід та обмотки. В залежності від технології виготовлення магнітопроводів трансформатори малої потужності поділяються на пластинчаті та стрічкові. За конструктивним виконанням пластинчаті та стрічкові магнітопроводи поділяються на три основні типи: стрижньові, броньові та кільцеві.

Стрижневі пластинчаті магнітопроводи зазвичай збираються з прямокутних пластин однакової ширини, однакових П-подібних пластин (рис. 1, а). Броньові пластинчаті магнітопроводи збираються з Ш- подібних пластин (рис 1б) з однакових Ш-подібних пластин з роз'ємом посередині стрижня або з пластин з розсічення середнього стрижня. Для зменшення магнітного опору в місцях стику окремих пластин їх збирають впереплет, тобто в одному шарі зона перекриття знаходиться зверху, а в сусідніх – низу (рис. 1, б)

Стрижневі та броньові виті стрічкові магнітопроводи збираються встик з окремих сердечників підковоподібної форми з поперечним або продольним розрізом (рис. 1 в, г). Для отримання можливого меншого магнітного опору в місцях стику розрізаних стрічкових сердечників їх торцеві поверхні піддаються шліфуванню.

Кільцеві пластинчаті магнітопроводи (рис. 1, д) збираються з окремих штампованих кілець. Такі магнітопроводи виготовляються шляхом навивки стрічки необхідної ширини на оправу завданого діаметра, вони мають мінімальний магнітний опір , але складні для виготовлення трансформаторів (рис. 1, е).

Для зменшення магнітного опору стрічкових магнітопроводів з розрізом обидві частини магнітопроводу при зборці трансформатора склеюються при допомозі спеціальної ферромагнітної пасти, яка містить карбональне залізо. Інколи складають та склеюють встик пластинчаті магнітопроводи.

УДК621.318.1

Марусін Д. І.

студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ВИКЛИКИ РОЗВИТКУ ПОНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Розвиток поновлюваної енергетики сьогодні набуває особливої актуальності через низку глобальних викликів. Насамперед, це зміна клімату, спричинена надмірними викидами CO₂ внаслідок використання викопного палива — вугілля, нафти та газу. Глобальне потепління, екстремальні погодні явища, підвищення рівня Світового океану — все це є наслідками традиційної енергетики. Крім того, поновлювані джерела енергії

забезпечують енергетичну безпеку, адже зменшують залежність країн від імпорту енергоносіїв. Їх використання стає економічно доцільним, адже ВДЕ дедалі дешевші у виробництві та обслуговуванні. Зростає і попит на екологічно чисту енергію, адже багато країн та компаній декларують перехід до «зеленої» економіки.

Серед основних перспектив розвитку поновлюваної енергетики варто виокремити технологічні інновації. Зокрема, підвищення ефективності сонячних панелей, зокрема перовськітових, створення нового покоління вітряних турбін, що мають більшу потужність і менший рівень шуму, а також розвиток водневої енергетики як альтернативи викопному паливу. Значного поступу досягнуто і в здешевленні виробництва ВДЕ: масове виробництво зменшує вартість обладнання, а автоматизація та нові матеріали роблять енергетичні установки доступнішими.

Поновлювана енергетика також стає привабливою для інвесторів: уряди стимулюють її розвиток податковими пільгами та грантами, а великі компанії охоче вкладають кошти у «зелені» технології. Важливою тенденцією є децентралізація енергетики — поширення домашніх сонячних електростанцій та мікромереж, що робить енергію доступнішою та зменшує втрати при транспортуванні. Нові системи накопичення енергії, такі як літій-іонні, твердотільні акумулятори, водневі накопичувачі та навіть гравітаційні батареї, також відіграють ключову роль у цьому процесі.

Проте розвиток ВДЕ супроводжується і низкою викликів. По-перше, це висока вартість початкових інвестицій. Побудова сонячних і вітрових електростанцій вимагає значних коштів, так само як і модернізація електромереж. По-друге, є технічна залежність від погодних умов — ефективність ВДЕ коливається залежно від кількості сонячних днів або вітру. По-третє, необхідне суттєве оновлення інфраструктури — нові системи зберігання, розподілу та передавання електроенергії. Також постає проблема утилізації відпрацьованих компонентів: сонячні панелі та акумулятори мають обмежений термін служби й потребують спеціальної переробки. Нарешті, традиційна енергетика чинить спротив змінам — великі нафтові та газові компанії лобіюють власні інтереси, стримуючи впровадження реформ.

Шляхи подолання цих бар'єрів вже окреслено. Найперше — це державна підтримка у вигляді субсидій, податкових пільг, запровадження «зеленого» тарифу. Впровадження смарт-мереж, інтелектуальних систем управління енергією сприяє оптимізації споживання та збереження балансу в енергопостачанні. Важливою є також міжнародна співпраця — обмін досвідом, участь у глобальних ініціативах, таких як Паризька кліматична угода. Крім того, освітні програми сприяють підготовці нових спеціалістів і формуванню екологічної свідомості у суспільстві.

Таким чином, поновлювана енергетика — це не лише екологічна, але й економічно доцільна альтернатива традиційним джерелам енергії.

Технологічний прогрес і зниження вартості сприяють її активному впровадженню. Виклики, що постають на цьому шляху, можуть бути подолані за умови активної державної підтримки, міжнародного співробітництва та інновацій. Перехід до ВДЕ є стратегічно важливим кроком для сталого розвитку і енергетичної незалежності в майбутньому.

УДК621.318.1

Кириленко С.М.¹, Коціло Д.О.²

¹студ. гр. Е-214сп НУ «Запорізька політехніка»

²студ. гр. Е-214 НУ «Запорізька політехніка»

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Ефективність роботи силового трансформатора залежить від систем електричної ізоляції та охолодження. Функції цих двох складових тісно взаємопов'язані, оскільки енергія, що виділяється у вигляді тепла в осерді та провідниках, впливає довговічність ізоляції. У той час як сама ізоляція – будь вона тверда, рідка або газоподібна - служить також для того, щоб відводити певну кількість тепла. Температура рідкої ізоляції всередині трансформатора, зазвичай близька до точки кипіння води. У таких умовах погіршення ізоляційних властивостей матеріалу може обмежувати довговічність трансформатора

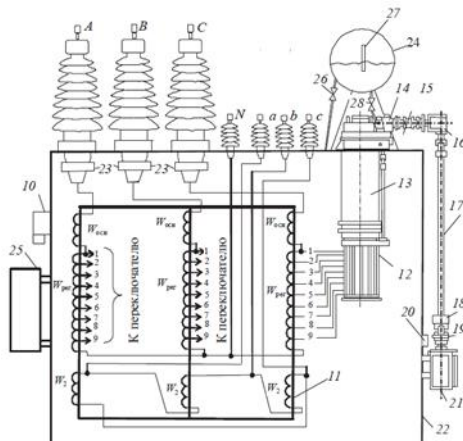
Конструкція силових трансформаторів, як масляних, і сухих, вже більше багатьох десятиліть є практично незмінною: магнітопровід, обмотки, бак (для масляних трансформаторів). На рисунку представлена спрощена, але водночас наочна схема пристрою сучасного силового трансформатора.

Можливими способами підвищення енергоефективності силового трансформатора є: оптимальний коефіцієнт навантаження (відношення споживаної потужності до номінальної потужності трансформатора); збільшення коефіцієнта потужності (співвідношення активної та реактивної потужності споживача); зменшення потужності втрат неробочого ходу (потужність втрат у магнітопроводі трансформатора); зменшення потужності втрат короткого замикання (потужність втрат в обмотках трансформатора)

Оптимальний коефіцієнт навантаження – відсутність коливань напруг у мережі, як в первинній, так і у вторинній. Високий коефіцієнт потужності – це компенсація реактивної потужності.

Щоб компенсувати коливання напруги, необхідно перемикається з одного відгалуження первинної обмотки на інше, з різним числом витків. Сьогодні ця процедура виконується за допомогою так званих перемикаючих пристроїв, які називаються регуляторами напруги під навантаженням (РПН),

що працюють як програмно-механічні комутатори. Щоб не сталося швидке зношування контактів у подібних пристроях, перемикання відгалуження обмотки з одного положення в інше має тривати трохи більше секунди, а тривалість роботи контактів контактора ще менше – близько 40 мс.



1-9 - відгалуження регулювальної обмотки ВН; 10 – запобіжний клапан; 11 - магнітопровід; 12 – перемикач; 13 – контактор; 14 – поворотний редуктор; 15 – горизонтальний карданный вал; 16 - кутовий редуктор; 17 – вертикальний вал; 18 – датчик положення; 19 – ноніусна муфта; 20 – датчик температури; 21 - привід РПН; 22 – бак трансформатора; 23 - вбудовані трансформатори струму; 24 – розширювач; 25 – термосифонний фільтр; 26 - газове реле бака трансформатора; 27 - показник рівня олії; 28 – газове реле РПН; $W_{осн}$, $W_{рег}$ – відповідно, основна та регулювальна обмотки ВН, W_2 – обмотка НН

Рисунок 1 – Основні елементи силового трансформатора з РПН

Як показує статистика, 30% пошкоджень силових трансформаторів відбувається саме через відмову РПН. Цю проблему може вирішити відмовою від електро-механічних перемикачів та переходом до твердотілих, що використовують властивості напівпровідникового переходу.

Зменшення потужності втрат неробочого ходу пов'язане зі зміною конструкції та матеріалу магнітопроводу. Найбільш перспективний шлях зниження витрат на виробництво та експлуатацію силових розподільчих трансформаторів - застосування магнітопроводів з аморфних (нанокристалічних) сплавів. У цьому випадку забезпечується більш ніж п'ятикратне зниження втрат неробочого ходу трансформаторів порівняно з магнітопроводами із холоднокатаної електротехнічної сталі.

Іншим важливим шляхом зменшення втрат неробочого ходу є дотримання режиму завантаження трансформаторів.

Зменшення потужності втрат короткого замикання (втрати в обмотках) – це інновації у конструкції обмоток силового трансформатора. У цій галузі найбільш цікаві два напрями. Перше пов'язане з використанням понадпровідникових матеріалів, друге – зі зменшенням потужності втрат короткого замикання.

УДК621.318.1

Шило О.М.¹, Шило А.Ю.¹, Андросюк С.А.²

¹студ. гр. Е-212 НУ «Запорізька політехніка»

²студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

ВІРОГІДНІСТЬ ВІДМОВ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Дослідження статичних даних експлуатації силового трансформатора підтверджують їхнє значне зношування, і як наслідок, зменшення залишкового ресурсу.

Для аналізу використано трансформатори напругою до 35 кВ.

Проведемо аналіз однорідності вихідного статистичного матеріалу з метою об'єднання обсягу інформації в одну генеральну сукупність щодо подальших досліджень, довірчих інтервалів значень показників надійності з довірчою ймовірністю 0.95. Для обробки статистичного матеріалу скористаємося пакетами програм Microsoft Excel та MathCad. А для опису статистичних даних використовуємо: закон розподілу Вейбулла та рівномірний закон розподілу.

На рисунку представлена гістограма, що апроксимує щільність ймовірності на відмову понад 200 трансформаторів потужністю до 35 кВ чий термін служби перевищує 40 років.

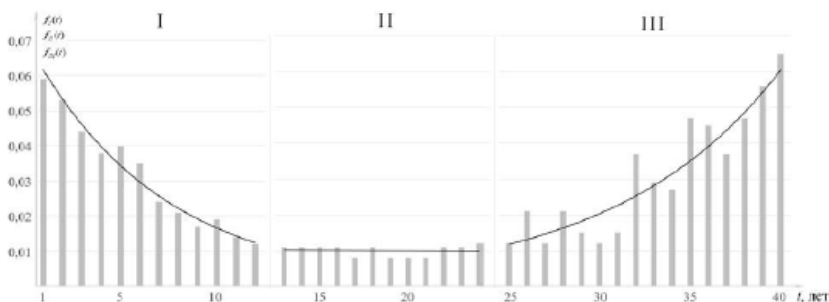


Рисунок 1 - Гістограма щільності ймовірності відмови 200 трансформаторів потужністю до 35 кВ

Отримано, що для трьох інтервалів ресурсів (I - приробітковий, II - нормальної експлуатації, III - деградаційний) напрацювання на відмову силових трансформаторів описується розподілом Вейбулла з параметрами $\alpha_1 = 0,1598$ і $\delta_1 = 0,998$ на інтервалі 0 ... 12 років, на інтервалі 23...40 років – також розподілом Вейбулла, з параметрами $\alpha_3 = 0,025 \cdot 10^{-9}$ і $\delta_3 = 6,5485$, але в проміжному інтервалі 12...23 – рівномірним законом розподілу з коефіцієнтом, $a = 0,0099$.

При аналізі ймовірнісної характеристики інтенсивності відмов силових трансформаторів можна дати рекомендацію про обмеження їх експлуатації терміном, коли на інтервалі деградації інтенсивність відмов не перевищуватиме інтенсивність відмов періоду опрацювання. Тоді максимальний термін експлуатації силових трансформаторів буде обмежений 30,97 роками з метою підвищення надійності роботи та оновлення парку трансформаторів, що експлуатуються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Horst Rinne. The Weibull Distribution: A Handbook/ Chapman & Hall/CRC, 2008. – 816p.
2. L. Smith, M.R. Leadbetter. On the renewal function for the Weibull distribution. – Technometrics 5 (3), 1963. – p. 393–396.
3. White Johns. Weibull renewal analysis. 3rd Annual Aerospace Reliable and Maintainatil Conf., Washington, D.C., 1964.

УДК621.318.1

Зубченко Т.В.¹, Педенко В.К.¹

¹студ. гр. Е-212 НУ «Запорізька політехніка»

3D ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ ТРИФАЗНОГО ШИНОПРОВОДУ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ

У даній роботі розроблено тривимірну теплову модель трифазного низьковольтного шинопроводу. Дослідження спрямоване на вивчення розподілу температур у шинопроводі за різних умов навантаження та зовнішнього середовища. Моделювання виконано за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу теплових процесів. Отримані результати демонструють залежність температури шинопроводу від величини струму, електричного опору матеріалу шин, конструктивних особливостей системи та ефективності охолодження.

Трифазні шинопроводи низької напруги є важливими елементами електроенергетичних систем. Вони використовуються для передачі електроенергії від трансформаторів до розподільчих щитів та інших

електроприймачів. Під час роботи шинопроводи нагріваються через втрати енергії в матеріалі шин. Перевищення допустимої температури може призвести до пошкодження ізоляції та виникнення аварійних ситуацій. Тому важливо знати розподіл температури в шинопроводі при різних умовах експлуатації.

Для розробки 3D теплової моделі шинопроводу було використано програмне забезпечення для моделювання теплових процесів, що базується на методі кінцевих елементів. Модель включає в себе: геометричну модель шинопроводу, що описується тривимірними координатами вузлів; матеріали шин та ізоляції, задані їхніми теплофізичними властивостями (теплопровідність, теплоємність, густина); умови навантаження, задані струмом, що протікає через шини; умови охолодження, задані коефіцієнтом теплопередачі від поверхні шин до навколишнього середовища.

Для розрахунку розподілу температури застосовується рівняння теплопровідності:

$$\mathbf{q} = -k \nabla T, \quad (1)$$

де $\mathbf{q}$ - вектор теплового потоку,
 k - коефіцієнт теплопровідності,
 ∇T - градієнт температури.

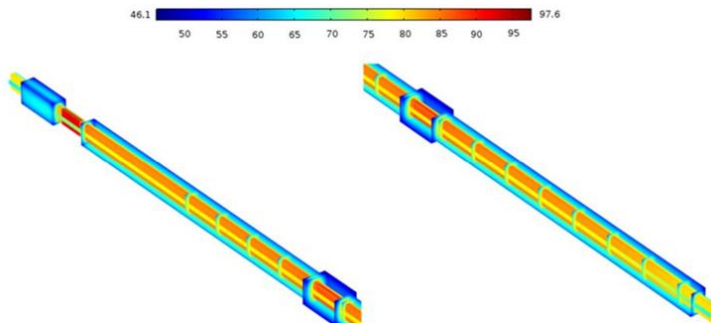


Рисунок 1 - Температурне поле конструкції шинопровода

Результати моделювання показують, що температура шинопроводу залежить від струму навантаження: зі збільшенням струму температура шинопроводу зростає. Залежність описується формулою:

$$\Delta T = I^2 R, \quad (2)$$

де ΔT - приріст температури,
 I - струм,
 R - опір шини.

Також температура шинопроводу залежить від опору матеріалу шин тому що матеріали з більшим опором нагріваються сильніше. А також від геометрії шинопроводу так як форма та розміри шин впливають на розподіл температури. Та, насамперед, від умов охолодження; ефективне охолодження дозволяє знизити температуру шинопроводу.

Розроблена 3D теплова модель трифазного шинопроводу дозволяє аналізувати розподіл температури в шинопроводі при різних умовах експлуатації. Результати моделювання можуть бути використані для оптимізації конструкції шинопроводу та вибору матеріалів, що дозволить підвищити надійність та безпеку його роботи.

УДК621.318.1

Ільченко В.Р.¹, Лесбаєв Т.Ш.¹

¹ студ. гр. Е-213 НУ «Запорізька політехніка»

АНАЛІЗ ВІДМОВ СИЛОВИХ МАСЛЯНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Трансформатор може відмовляти з багатьох причин, тому для підвищення надійності необхідно класифікувати причини пошкоджень та види відмов.

Основні види відмов класифікуються за:

- ступеню раптовості (миттєвий, поступовий);
- зв'язку з відмовами інших об'єктів (незалежний, залежний);
- стадії виникнення причин відмов (конструкційний, виробничий, експлуатаційний, деградаційний);
- стійкості непрацездатності (самостійний, несамостійний);
- спосіб виявлення (явний, скритий).

Можливо виділити наступні причини відмов трансформаторів: дефекти ізоляції обмоток внаслідок короткого замикання, пошкодження сердечників пошкодження введів, відмови в системи регулювання напруги під навантаженням, зовнішні впливи, струмові перенавантаження, перенапруги, погані з'єднання елементів конструкції, забруднення охолоджувальної рідини.

Рівень раптових відмов протягом нормальної експлуатації трансформаторів є мало змінним та характеризується практично постійною величиною інтенсивності відмов. Часто при моделюванні надійності на даному етапі життєвого циклу обладнання інтенсивність відмов приймають постійною. Таке припущення цілком справедливе, однак зі зміною часу обладнання зношується тому при моделюванні надійності систем електропостачання протягом періоду нормальної експлуатації необхідно враховувати не тільки миттєві а й постійні відмови. Однією з основних

причин поступових (зносних) відмов трансформаторі є струмові перенавантаження та як наслідок перегріву масла та ізоляції обмоток.

Відмова трансформаторів внаслідок перенавантажень обумовлена підвищенням температури обмоток, верхніх шарів охолоджувальної рідини (трансформаторного масла) в наслідок підвищення струму та перегріву. Нагрів може бути вельми інтенсивним, особливо у після аварійних або ремонтних режимах (при відключенні одного з трансформаторів). Для підвищення експлуатаційної надійності необхідно досліджувати механізм відмов, а також розглядати методи їх оцінки.

Статистичні методи обробки інформації про надійність обладнання встановлюють засобами математичної статистики на основі вивчення результатів спостереження закономірностей, яким підкоряються відмови обладнання. При цьому вирішуються наступні задачі: вказівка способу збору та групування статистичних даних, отриманих в результаті спостережень та в результаті проведених спеціальних експериментів; розробка методів аналізу статистичних даних в залежності від цілей дослідження (оцінка невідомої ймовірності події та функції розподілення, оцінки параметрів ймовірності розподілення).

В основі методу дерева відмов лежить логіко-ймовірна модель причинно слідчих зв'язків відмов системи з відмовами її елементів та іншими подіями. При аналізі виникнення відмов дерево відмов складається з послідовностей та комбінацій порушень й несправностей уявляє собою багаторівневу графологічну структуру причинних взаємозв'язків, отриманих в результаті простеження небезпечних ситуацій в протилежному порядку для виявлення можливих причин їх виникнення.

УДК 621.313

Бережецький С.О.¹, Петренко О.О.¹, Анісімов Д.А.², Чумаков К.С.³

¹студ. гр. Е-212 НУ «Запорізька політехніка»

²студ. гр. Е-213 НУ «Запорізька політехніка»

³студ. гр. Е-213сп НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОДАТКОВИХ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ У РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ З НЕЛІНІЙНИМИ ТА НЕСИМЕТРИЧНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ

В умовах зростання нелінійних і несиметричних навантажень в електричних мережах, точна оцінка додаткових втрат потужності стає критично важливою для забезпечення ефективності та надійності енергопостачання.

Існуючі методики розрахунку втрат активної потужності, спричинених несинусоїдністю та несиметрією струмів, обмежені випадками лінійного несиметричного або нелінійного симетричного навантаження.

Аналіз існуючих методик:

Методика, заснована на виразі

$$\Delta P = 3R_l \sum (I_v^2 \cdot k_{lv}) \quad (1)$$

де v – порядковий номер гармоніки

I_v – діюче значення струму v -тої гармоніки

R_l – опір ділянки мережі

$k_{lv} = 0.47v$ – частотно-залежний коефіцієнт зміни активного опору

Дана методика враховує зростання активного опору провідників із частотою (скінефект) та дозволяє оцінити внесок кожної гармоніки окремо. Але не враховує несиметрію навантаження, взаємний вплив гармонік та температурну залежність параметрів.

Тому потрібна розробка методики, що враховує спільний вплив нелінійності та несиметрії навантаження на втрати потужності де необхідно враховувати втрати в нульовому дроті та особливості роботи мереж із різними типами навантажень.

Розглянемо методику розрахунку втрат потужності з урахуванням поверхневого ефекту та ефекту близькості провідників.

Запропонований підхід базується на формулі (2):

$$\Delta P = 3l \sum_{v=1}^n [r_0 I_v^2 (k_{lv} + k_{sv})] \quad (2)$$

де r_0 - питомий опір провідника (з температурною корекцією)

l - довжина ділянки ланцюга

Переваги запропонованої методики полягають у тому що вона дає змогу враховувати частотну залежність опору та виконати оцінку втрати для кожної гармоніки. На відміну від (1), вираз (2) враховує як гармонійні складові струму, а й перетин провідника. Це дає змогу більш точно оцінити вплив геометричних параметрів лінії на втрати.

Обидві методики, представлені виразами (1) та (2), орієнтовані на розрахунок втрат у симетричних нелінійних ланцюгах.

Таким чином, запропоновано нову методику розрахунку додаткових втрат потужності в несиметричних мережах 0,4 кВ із нульовим проводом.

Основою розрахунку є формула (3):

$$\Delta P_i = k_{ui} \cdot I_{\text{еф}i}^2 \cdot r_{ei} \cdot k_{\text{Д}i}, \quad (3)$$

де k_{ui} – коефіцієнт, що враховує кількість фаз на ділянці мережі;

I_{ef} – ефективний (діючий) струм ділянки;

r_{ei} – активний опір ділянки;

k_{Di} – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати через нерівномірність навантаження фаз.

Аналіз формули (3) демонструє, що вона дозволяє визначити додаткові втрати в нульовому робочому провіднику, проте має суттєве обмеження, а саме враховує лише діюче значення струму (I_0) та не включає частотну залежність опору провідника (скин-ефект).

Напрями вдосконалення методики розрахунку втрат у нульовому провіднику.

Запропоновано модифікований підхід до визначення активного опору:

$$r_0(f) = r_0[1 + \alpha\sqrt{f}] \quad (4)$$

де r_0 – опір провідника при постійному струмі

α – емпіричний коефіцієнт матеріалу (для міді $\alpha \approx 0.02-0.03$)

f – частота гармоніки

Введемо поняття еквівалентного струму:

$$I_{0,екв} = \sqrt{\sum_{h=1}^n I_{0h}^2} \quad (5)$$

Удосконалена формула втрат

$$\Delta P_0 = \sum_{h=1}^n [I_{0h}^2 \cdot r_0(f_h)] \quad (6)$$

де $f_h=50$ Гц - частота h -тої гармоніки

Запропоновані модифікації особливо актуальні для сучасних мереж з високим рівнем гармонік ($THD > 15\%$) та щільними схемами прокладки.

Сучасні методи розрахунку додаткових втрат потужності мають суттєвий недолік – вони не забезпечують комплексної оцінки втрат, спричинених одночаснонелінійним характером навантаження (генерація гармонік) та фазовою несиметрією. Це обумовлює необхідність розробки нової інтегрованої методики розрахунків.

Тому, розроблено удосконалену методику розрахунку додаткових втрат, яка враховує втрати у фазних провідниках, втрати в нульовому робочому провіднику, вплив струмів вищих гармонік.

УДК 621.314.25:621.316.933:621.3.049.77

Юров Д.О.¹, Терещенко Д.А.²

¹ студ. гр. Е-212 НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-213 НУ «Запорізька політехніка»

ЗАСТОСУВАННЯ ЗИГЗАГ-ТРАНСФОРМАТОРІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ СТРУМІВ НЕЙТРАЛІ

Сучасні трифазні чотирипровідні системи електропостачання стикаються з серйозними викликами, пов'язаними з несиметричними та нелінійними навантаженнями. Такі навантаження, як комп'ютерне обладнання, світлодіодні лампи та частотні перетворювачі, генерують високі гармонійні струми, особливо треті гармоніки, які накопичуються у нейтральному провіднику. Це призводить до його перегріву, зносу трансформаторів та підвищення ризиків аварій. Згідно з дослідженнями, у 22,6% випадків струм у нейтралі перевищує номінальні значення. Актуальність роботи полягає у пошуку ефективних методів зменшення нейтральних струмів, зокрема через використання зигзаг-трансформатора – доступного та надійного рішення, яке, однак, потребує глибокого аналізу в умовах реальних енергосистем.

Метою роботи є оцінка ефективності зигзаг-трансформатора у зменшенні нейтральних струмів та гармонік у трифазних системах.

При виконанні досліджень було проведено теоретичний аналіз роботи трансформатора при ідеальних та неідеальних умовах напруги та комп'ютерне моделювання впливу несиметричних та спотворених напруг на нейтральні струми.

Зигзаг-трансформатор створює шлях для нульових струмів, перенаправляючи їх із нейтралі джерела до навантаження. Його імпеданс грає ключову роль у придушенні гармонік.

При проведенні моделювання для умови збалансованих напруги було встановлено, що зигзаг-трансформатор зменшує струм нейтралі до 4,5%, знижуючи гармоніки та балансує фазні струми. При спотвореній напрузі, за наявності нульових гармонік струм нейтралі зростає в 3–5 разів, що може призвести до перегріву обладнання.

При виконанні роботи було вперше досліджено роботу зигзаг-трансформатора при різних типах напруг та визначено вплив імпедансів системи.

Результати досліджень доводять, що зигзаг-трансформатор є ефективним рішенням для зменшення нейтральних струмів у трифазних системах, але його застосування вимагає врахування якості напруги.

УДК 621.3:004.43:681.3

Загайкевич М.В.¹, Крітіна Д.С.¹

¹ студ. гр. Е-274 НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МОВИ PYTHON ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ

Сучасна електротехніка потребує інструментів, які поєднують гнучкість, швидкість розробки та можливість інтеграції з різноманітними технологіями. Мова програмування Python, завдяки своїй простоті, потужним бібліотекам та активній спільноті, стає все більш популярною у цій галузі.

Метою роботи було проведення аналізу щодо визначення актуальності та переваг використання Python в електротехніці, переваг над іншими мовами та перспективи подальшого розвитку.

Електротехніка сьогодні охоплює такі напрями, як проектування електричних мереж, аналіз сигналів, розробка систем автоматизації та інтеграція з IoT. Ці задачі вимагають обробки великих обсягів даних, математичного моделювання та швидкого прототипування. Python, як інтерпретована мова з підтримкою наукових бібліотек, ідеально підходить для цих цілей.

За допомогою Python можна вирішувати наступні класи задач. Моделювання та аналіз електричних схем (симуляція RLC-кіл за допомогою PySpice, Lcapy; розрахунок перехідних процесів методом Рунге-Кутта з SciPy.integrate) та електромагнітних полів (FEM-моделювання з використанням FEniCS або PyFEMM), обробка сигналів (фільтрація та аналіз спектрів); систем автоматизованого керування (проектування ПД-регуляторів та систем зі зворотнім зв'язком); енергетичних систем (оптимізація розподілу енергії та прогнозування навантаження), IoT та вбудованих систем (зчитування даних з датчиків, керування реле або сервоприводами).

При порівнянні Python з іншими мовами можна виділити наступні основні переваги та недоліки. MATLAB: переваги - швидкість у чисельних розрахунках, вбудовані тулбокси для електротехніки; недоліки - висока вартість, обмежена підтримка штучного інтелекту. C/C++: переваги - висока продуктивність для мікроконтролерів, недоліки - складність написання коду для наукових задач. LabVIEW: переваги - інтуїтивний інтерфейс для швидкої розробки; недоліки - обмежені можливості для складних алгоритмів машинного навчання. Перевагами Python є висока швидкість розробки за рахунок простого синтаксису та готових бібліотек, наявність бібліотек для реалізації машинного навчання та штучного інтелекту, апаратна інтеграція (підтримка Raspberry Pi, Arduino, PLC) та безкоштовність.

Таким чином, можна зробити висновок, що Python продовжуватиме зміцнювати позиції в електротехніці завдяки своїй універсальності. Майбутнє цієї мови пов'язане зі зростанням автоматизації, використанням штучного інтелекту, машинного навчання та розширенням можливостей для роботи з апаратним забезпеченням.

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОПРИВОД ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВИХ УСТАНОВОК»

УДК 621.314.2

Зіновкін В.В.¹, Рибальський Р.О.², Тітаренко О.С.³, Рябчук О.С.³

¹ д-р. техн. наук., проф. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-613 НУ «Запорізька політехніка»

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ АНОДНИХ ГРАФІТОВАНИХ БЛОКІВ ТИПУ 5В ТА 5Н

Питання енергозбереження, підвищення ефективності та оптимізація технологічних процесів в поєднанні із покращенням якості продукції, що виробляється потребує наукового обґрунтування, розробки і впровадження нових науково-технічних рішень [1-5]. Одним із питань, що потребують термінового вирішення, вбачається оптимізація технологічного процесу виготовлення анодних графітованих блоків. Вони дуже поширено використовуються в сталеплавильній промисловості і від їх технічних характеристик суттєво залежить якість продукції, що виробляється та техніко-економічні показники енергоємних промислових комплексів.

Об'єктом дослідження є удосконалена система автоматизованого управління технологічним процесом виготовлення спеціалізованих анодних графітованих блоків типу 5в та 5н.

Актуальність дослідження обумовлюється покращенням технічних показників анодних графітованих блоків за рахунок впровадження сучасних мікропроцесорних засобів автоматизації управління технологічним процесом в поєднанні із оптимальними програмними та інтелектуальними науково обґрунтованими рішеннями.

Наукова новизна роботи полягає у вдосконаленні існуючої автоматизованої системи управління технологічним процесом виготовлення спеціалізованих анодних графітованих блоків типу 5в та 5н шляхом оптимізації технологічного процесу в поєднанні із розробкою та впровадженням сучасних мікропроцесорних та програмних засобів автоматизації управління.

На підставі аналізу існуючого технологічного процесу приготування прес-маси графітованих електродів з використанням обладнання фірми "Eirich", приведено шляхи наукового дослідження і технічного забезпечення оптимального технологічного процесу виготовлення графітованих електродів з суттєво покращеними технічними характеристиками.

Запропонована автоматизована система дозволяє здійснювати поточний контроль за всіма стадіями технологічного процесу. До них відносяться контроль та керування прес-маси графітованих електродів та компонентів у відповідних пропорціях, упереджений контроль за відповідністю стадій техпроцесу директивному завданню, контроль за масо-габаритними показниками електродів та їх електротехнічними характеристиками аналогічно, що використовуються в роботах [1-4].

Показано, що на початковому етапі роботи комплексу відбувається приготування відповідних сумішей. Вони складаються із різних компонент які послідовно доповнюються відповідно до завдання. Приведено шляхи щодо ефективного проходження технологічного процесу виготовлення електродів та пропозиції удосконалення і доповнення існуючої автоматизованої системи керування яка на сьогоднішній час не в повній мірі задовольняє потребам практики.

Підвищення техніко-економічної ефективності технологічного процесу можливо досягти шляхом оптимізації і узгодженості параметрів силових виконавчих механізмів в поєднанні із режимами керуючих мікропроцесорних і програмних засобів автоматизації, характеристиками датчиків поточної інформації, інерційності виконавчих механізмів, контролю за потоками складових компонент і прес-суміші електродів та відповідних керуючих пристроїв [1,2].

Доповідь ілюструється відповідними структурними схемами технологічної лінії приготування спеціалізованих анодних графітованих блоків типу 5в та 5н та мікропроцесорними і програмними засобами керування та контролю за поточними фізичними характеристиками електродів.

Відповідно до додержання фізичних і технічних можливостей математичного моделювання необхідно використовувати деякі змінні, що залежать від часу і динаміки протікання техпроцесу ($\varphi_1(t)$ і $\varphi_2(t)$). В якості одного із можливих підходів, для узгодження програмних і поточних технічних даних та оптимального керування доцільно скористатися наступною спряженою системою (1).

Для отримання узагальненого виду керуючого сигналу останню систему рівнянь необхідно довести до форми, що задовольняє математичній умові Гамільтона, що наближає отриману математичну модель до технічного варіанту.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi_1(t)}{\partial t} &= - \left[\begin{aligned} &\frac{\partial f_1(\xi_2(t), u)}{\partial \xi_2(t)} \cdot \varphi_1(t) + \\ &+ \frac{\partial f_2(\xi_2(t), \xi_1(t))}{\partial \xi_2(t)} \cdot \varphi_2(t) \end{aligned} \right]; \\ \frac{\partial \varphi_2(t)}{\partial t} &= - \left[\begin{aligned} &\frac{\partial f_1(\xi_2(t), u)}{\partial \xi_1(t)} \cdot \varphi_1(t) + \\ &+ \frac{\partial f_2(\xi_2(t), \xi_1(t))}{\partial \xi_1(t)} \cdot \varphi_2(t) \end{aligned} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Висновки:

1. Встановлено характерні риси технологічного процесу приготування спеціалізованих анодних графітованих блоків.

2. Виявлено визначальні етапи оптимізації технологічного процесу шляхом розробки нової системи керування на підставі сучасних мікропроцесорних і програмних засобів.

3. Опрацьовані основні фізико-математичні положення модернізації системи керування з врахуванням параметрів різної фізичної природи технологічного процесу.

4. В подальших дослідженнях необхідно ретельно розглянути засоби складання програм відповідно до характерних рис технологічного процесу приготування анодно-графітованих блоків для потужних електротехнологічних комплексів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зіновкін В.В. Багатопараметрична система автоматизованого управління технологічним процесом приготування газобетону. Текст. / В.В.Зіновкін, Э.М. Кулинич // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2009. - № 3/3(39).- С. 38-43.

2. Зіновкін, В.В. Исследование условий сходимости оптимизационного функционала многопараметрического технологического процесса приготовления магнетитовых огнеупорных изделий/В.В. Зіновкін, В.О. Мирный //Радиоелектроника, інформатика, управління. ЗНТУ: - Запоріжжя, 2015 - №3(34) - С.88-95.

3. Kulynych E., Zinovkin V. “Modelling of optimum batching control in the multicomponent technological process of aerocrete preparation”, Electrical Engineering And Power Engineering. No.2, pp. 54-60. DOI:10.15588/1607-6761-2011-2-9.

4. Research of non-stationary electromagnetic processes in synchronous electric drive / V. Zinovkin, M. Antonov and I. Krysan // " 2017 International

Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, 2017, pp. 148-151, doi: 10.1109/MEES.2017.8248874.

5. Зіновкін, В.В. Визначальні критерії схожості нестационарних електромагнітних процесів фізичної моделі і оригінала [Електронний ресурс] / В.В. Зіновкін, П.П. Адамцев // Тиждень науки: наук.-практ. конф., 16-20 квіт. 2018 р.: тези доп. – Запоріжжя, 2018. – С.493-494. Режим доступу: http://zntu.edu.ua/uploads/dept_s&r/2018/conf/1/TN2018.pdf.

УДК 621.314.2

Зіновкін В.В.¹, Третяков А.О.², Величко Є.В.³

¹ д-р. техн. наук., проф. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-312 НУ «Запорізька політехніка»

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ВИКЛИКІВ В ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

Забезпечення надійності функціонування складних електромеханічних систем та об'єктів потребує забезпечення резервними комплектуючими і повинні вирішуватися на стадії розробки. На практиці дуже часто мають місце випадки значних витрат часу з виявлення і встановлення причини несправності устаткування та встановлення пошкодженого елемента або комплектуючого [1-7]. Діагностика несправностей та контролю за поточним технічним станом електромеханічних систем не завжди дозволяє своєчасно виконати конкретний час виводу обладнання на ревізію та ремонт із заміною пошкоджених елементів [3-6]. Таким чином доцільно передбачити резервування та своєчасне забезпечення запасними елементами, що на практиці пов'язане з вирішенням наступних технічних заходів:

- визначення способу резервування для кожного конкретного випадку;
- оцінювання рівня надійності, та встановлення ризиків аварійного виходу із ладу і можливих наслідків;
- техніко-економічний аналіз зменшення технічних ризиків в поєднанні із можливими витратами.

Для відповіді ці питання необхідно мати математичну модель забезпечення резервами, щоб з її допомогою проаналізувати можливі варіанти оптимальних рішень. Вибір критерію порівняння варіантів розв'язання завдання потрібно вирішувати на попередньому етапі. Можливо скористатись методами теорії статистичних рішень [3-7]. При цьому, в першу чергу, надійність визначається в термінах інтенсивності виникнення виходу із ладу устаткування на часовому інтервалі. Поряд з цим цей термін

відображає вірогідність прояву певної події та обережно поширювати отримані результати на конкретні електромеханічні об'єкти на практиці.

Для покращення надійності устаткування широко використовуються різні методи та практичні рішення [2-7]. До них відносяться апаратні, діагностичні, інформаційні, структурної надмірності, практичної реальності, резервування [5-7]. Останнє при певних умовах дозволяє досягти суттєвого підвищення рівня надійності. Це полягає в загальному методі синтезу більш надійного устаткування, що складається з не досить надійних окремих елементів. При цьому враховується попередній аналіз технічного стану елементів та поточного контролю.

Останнім часом формується питання техногенних викликів скорочення надійності в складних електромеханічних системах, які формуються на упередженому аналізі поточного технічного стану найбільш вразливих складових елементів та комплектуючих вузлів в поєднанні із резервуванням. Ці роботи значною мірою стимулювали подальші розвиток дослідження методів підвищення надійності устаткування за допомогою резервування та адаптації.

В окремих випадках, при дослідженні більш складних схем резервування в техніці, застосовуються імовірнісні моделі та марківські схеми, що широко використовуються при статистичних дослідженнях у галузі біології та ядерної фізики.

При вирішенні питань техногенних викликів та їх впливу на надійність потужного електротехнічного устаткуванні та електромеханічних системах доцільно звертати увагу на активні та неактивні силові елементи, що несуть загальне навантаження. На практиці інтенсивність відмов окремих елементів суттєво залежить від перевищення номінальних параметрів та порушення умов експлуатації устаткування.

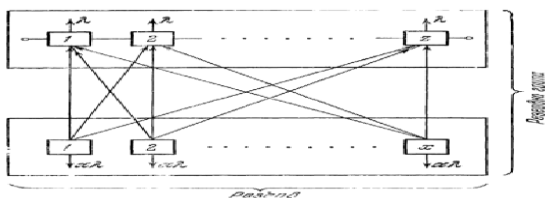


Рисунок – Взаємодія з елементів

Один з основних способів запобігання техногенних викликів і підвищення надійності устаткування вбачається в створенні системи своєчасної заміни певних елементів та створення резерву цих елементів. У зв'язку з цим доцільно розглянути систему із сукупності $z + x$ ідентичних елементів, x з яких перебувають у резерві, а z працюють в діючому

устаткуванні. У цій сукупності з елементів повинні взаємодіяти, як умовно показано на рисунку. Тому відмова чи аварія будь-якого із них повинна супроводжуватися введенням у дію будь-якого зі справних резервних елементів. Але для введення в дію резерву потребує ретельних технічних дій, що необхідно враховувати при складанні науково-технічного завдання та впливу інших причинно-наслідкових факторів.

При цьому, резервні вузли і елементи конструкції необхідно зберігати у відповідних умовах щоб вони не отримати пошкоджень та не спричинили не очікуваної аварійної ситуації при заміні пошкоджених в устаткуванні. Обов'язково необхідно враховувати режим функціонування елемента під час перебування його в резерві. Тому в першу чергу необхідно узгодити показники надійності певних елементів по інтенсивності відмов у кожному з режимів навантаження об'єкта.

Висновки:

1. Аналіз існуючих методичних і аналітичних досліджень показав, що при забезпеченні надійної роботи складних електромеханічних об'єктів і потужного устаткування не в повній мірі відображають технічні виклики впливу низки причинно-наслідкових факторів при використанні методів резервування.

2. Доцільно продовжити дослідження надійності енергоємного електротехнічного устаткування з метою більшого узгодження між показниками і техногенними викликами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зіновкін В.В., Яценко М.М., Васильєв Б.П., Літвін В.А. Експлуатаційна надійність перемикаючих пристроїв при різкозмінних навантаженнях // Тиждень науки-20 Електротехнічний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол.: В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С. 139-140.

2. Зіновкін, В.В. Аналіз причинно-наслідкових факторів аварійності електротехнічного обладнання при різкозмінних навантаженнях [Електронний ресурс] / В.В. Зіновкін, В.О. Лисенко // Тиждень науки: наук.-практ. конф., 16-20 квіт. 2018 р. : тези доп. – Запоріжжя, 2018. – С. 492-493. Режим доступу: http://zntu.edu.ua/uploads/dept_s&r/2018/conf/1/TN2018.pdf.

3. Zinovkin, V., Kusch, V. (2012). Electromagnetic processes modelling in the electric equipment of the abruptly variable loads systems United States: The Advanced Science, 1, 138–140.

4. Box E., Jenkins G. Some recent advance in forecasting and control, Holder Day, San Francisco, 2006.

5. Box E., Jenkins G. Some recent advance in forecasting and control, J. Apl. Statist., vol. 17, №2. 2006.

6. Harashima F. A Control Robustness Against Motor Parameter Variations in Induction Motor Drive. Текст. / F. Harashima, S. Kondo, K. Ohnishi, E. Arihara, M. Kajita // Int. Conf. Of Evalution and Modern AspectsofInductionMachines.- Turino.1986.July. P. 451-457.

7. Garces L. Parameter Adaptation for the Speed-Controlled static AC Drive with Squirrel-Cage Induction Motor. Текст. / L.Garces // IEEE Trans, on Ind. Appl., 1980. V. 1A-16, No. 2. March/April. P. 173-178.

УДК 621.314.2

Зіновкін В.В.¹, Третяков А.О.², Расторгуєв Д.Б.², Колесников А.С.³, Тітаренко О.С.³

¹ д-р. техн. наук., проф. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-613 НУ «Запорізька політехніка»

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО СТАНУ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Електромеханічні системи і трансформаторне устаткування представляють собою доволі складні конструктивні рішення. Вони складаються із активних і неактивних елементів і комплектуючих, що між собою поєднуються послідовно-паралельними і паралельно-послідовними схемами. Вони представляють собою синтез більш надійних структур із менш ненадійними елементами, що представляє доволі складне теоретичне і практичне завдання забезпечення надійності устаткування [1-7]. Езарі та Прошан запропонували цікавий спосіб знаходження так званої «верхньої» та «нижньої» меж оцінки надійності таких структур [5-7]. Такий підхід полягає у введенні понять системи (coherent system), мінімальних шляхів та мінімальних перерізів сполучення надійних та не надійних елементів. Верхній шар представляє переріз сукупність елементів, надійна робота яких забезпечує роботу об'єкта при номінальних режимах навантаження і задовольняє запланованій надійності. Нижній шар представляє собою переріз сукупності елементів, відмова яких гарантує відмову об'єкта. Такий підхід оцінки надійності об'єкта складної структури дозволяє отримати аналітичні залежності між очікуваними показниками надійності, оскільки отримати повну модель надійності отримати не можливо [4-6]. Якщо інтенсивності відмов окремих елементів залежать від рівня навантажень, то при аналізі доводиться мати справу з нелінійною марківською моделлю «загибелі», яка узагальнює моделі в спеціальних задачах медицини та ядерної фізики.

Розглянемо модель безвідмовної роботи деякого складного устаткування, що складається із випадкових і однаково розподілених

показників надійності, що задовольняє деякій функції $F(t)$, що має безперервну першу похідну $f(t)$. У випадку коли техногенні ризики потребують заміни деяких елементів за дуже малі терміни часу, то середня кількість замін (ревізій) за час $[0, t)$ можливо визначити наступним рівнянням:

$$U(t) = \sum_{i=1}^{\infty} iP_i(t) \quad (1)$$

де $P_i(t)$ - ймовірність виникнення точно i -ї відмов.

$$P_i(t) = P\{X(t) = i\}. \quad (2)$$

Але подія $\{X(t) \geq i\}$ означає, що $\left\{ \sum_{k=1}^i \xi_k \leq t \right\}$. (індекс k означає черговість відмови).

Виходячи із незалежності часів ξ_k , можливо представити розподіл ймовірностей їх суми в наступному співвідношенні:

$$P\left\{ \sum_{k=1}^i \xi_k \leq t \right\} = \int_0^t F^{(i-1)}(t - \tau) dF(\tau) = F^{(i)}(t). \quad (3)$$

бо інакше ймовірність $P_i(t)$ виявиться як $P\{X(t) \geq i\} - P\{X(t) \geq i + 1\}$.

На підставі такого представлення подій рівняння для $U(t)$ можливо переписати в наступному вигляді:

$$U(t) = \sum_{i=1}^{\infty} iP_i(t) = \sum_{i=1}^{\infty} F^{(i)}(t). \quad (4)$$

Враховуючи фізико-математичне тлумачення процесу, що розглядаємо, в динамічному розвитку, то його більш раціонально записати в інтегрально-диференціальній формі

$$U(t) = F(t) + \int_0^{\infty} \sum_{i=2}^{\infty} F^{(i-1)}(t - \tau) dF(\tau) = F(t) + \int_0^t U(t - \tau) dF(\tau). \quad (5)$$

З точки зору теорії надійності і техногенних викликів таке інтегро-диференціальне рівняння, яке називається рівнянням відновлення.

Продиференціювавши за t обидві частини останнього рівняння і врахувавши, що $U(0)f(0) = 0$, отримаємо

$$\frac{dU(t)}{dt} = u(t) = f(t) + \int_0^t u(t - \tau)f(\tau)dx. \quad (6)$$

остання аварія та заміна до припинення спостережень сталися у момент $-t$. ймовірності $P_i(t|\tau)$ утворюють послідовний розподіл, і тому

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i(t|\tau) = 1, \quad (11)$$

причому

$$U(t|\tau) = \sum_{i=1}^{\infty} i P_i(t|\tau). \quad (12)$$

Якщо ввести подвійне перетворення Лапласа

$$\bar{f}(s|p) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-st} e^{-p\tau} f(t|\tau) dt d\tau, \quad (13)$$

то

$$\bar{f}(s|p) = \frac{\{\bar{f}(s) - \bar{f}(p)\}}{p - s[1 - \bar{f}(p)]}. \quad (14)$$

На практиці резервування та проведення аварійних замін зразків обладнання, що відмовили, припущення про те, що заміна здійснюється абсолютно новим зразком, що зменшує можливості отримання інформації про наявність техногенних факторів надійності функціонування та теорії відновлення.

Висновки:

1. Отримані теоретичні дослідження забезпечення надійності складних електромеханічних об'єктів показали, що не всі техногенні виклики враховуються для забезпечення термінів надійного функціонування.
2. До причинно-наслідкових факторів техногенних викликів необхідно віднести порушення технічного завдання і технічних вимог до розробки і приймально-здавальних випробувань, наприклад [1,2-6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зіновкін В.В., Ященко М.М., Васильєв Б.П., Літвін В.А. Експлуатаційна надійність перемикаючих пристроїв при різкозмінних навантаженнях // Тиждень науки-20 Електротехнічний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2020 р. [Електронний ресурс] / Редкол. :В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – С. 139-140.
2. Зіновкін, В.В. Аналіз причинно-наслідкових факторів аварійності електротехнічного обладнання при різкозмінних навантаженнях [Електронний ресурс] / В.В. Зіновкін, В.О. Лисенко // Тиждень науки: наук.-

практ. конф., 16-20 квіт. 2018 р.: тези доп. – Запоріжжя, 2018. – С. 492-493. Режим доступу: http://zntu.edu.ua/uploads/dept_s&r/2018/conf/1/TN2018.pdf.

3. Zinovkin, V., Kusch, V. (2012). Electromagnetic processes modelling in the electric equipment of the abruptly variable loads systems United States: The Advanced Science, 1, 138–140.

4. Box E., Jnkns G. Some recent advance in forecasting and control, Holder Dey, San Francisco, 2006.

5. Box E., Jnkns G. Some recent advance in forecasting and control, J. Apl. Statist., vol. 17, №2. 2006.

6. Harashima F. A Control Robustness Against Motor Parameter Variations in Induction Motor Drive. Текст. / F. Harashima, S. Kondo, K. Ohnishi, E. Arihara, M. Kajita // Int. Conf. Of Evalution and Modern AspectsofInductionMachines.- Turino.1986.July. P. 451-457.

7. Garces L. Parameter Adaptation for the Speed-Controlled static AC Drive with Squirrel-Cage Induction Motor. Текст. / L.Garces // IEEE Trans, on Ind. Appl., 1980. V. IA-16, No. 2. March/April. P. 173-178.

УДК 537.8

Козлов В.В.¹, Набокова О.В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

ЩО ТАКЕ СКІН-ЕФЕКТ І ДЕ ВІН ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ НА ПРАКТИЦІ

Поверхневий ефект, скін-ефект – це ефект зменшення амплітуди електромагнітних хвиль у міру їх проникнення вглиб провідного середовища. Внаслідок цього електромагнітного явища, наприклад, змінний струм високої частоти при протіканні по провіднику розподіляється не рівномірно по перерізу, а переважно в поверхневому шарі. Це викликає зменшення щільності струму в міру віддалення від периферії провідника.

Щільність струму максимальна біля провідника. При віддаленні від поверхні вона зменшується за експоненціальним законом і на глибині δ стає менше в e раз (приблизно на 70 %). Цю глибину називають товщиною скін-шару. Вона дорівнює

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\gamma \cdot \mu \cdot \omega}}, \quad (1)$$

де γ - питома електрична провідність, μ - магнітна проникність, ω - кругова частота зміни електромагнітного поля.

Чим вища частота струму, або більше швидкість його зміни в часі, тим сильніше виявляється скін-ефект.

Скін-ефект призводить до зменшення діючого перерізу провідника i , як наслідок, до збільшення опору провідника, індуктивність провідника при цьому зменшується.

Поверхневий ефект зумовлений наступним. Електрони, що рухаються біля поверхні провідника і вносять свій внесок у електричний струм, піддаються дії магнітного потоку від інших електронів, що рухаються, меншою мірою, ніж ті електрони, які знаходяться в провіднику на великих глибинах. Це пояснюється тим, що поверхневі електрони зазнають впливу сусідніх електронів тільки з одного боку, тоді як глибинні електрони оточені сусідніми електронами з усіх боків. Оскільки глибинні електрони, що у створенні змінного струму, перебувають під впливом сильнішого магнітного поля, до них прикладені значні сили Ленца.

Отже, для електронів легше змінити свій рух, якщо вони знаходяться поблизу поверхні провідника, в порівнянні з електронами, що знаходяться глибше. Оскільки носії завжди вибирають оптимальну траєкторію, яка відповідає умові мінімальної енергії, у цьому випадку носії, що утворюють змінний струм, під дією бокових сил Ленца переміщуються назовні, в область мінімальної взаємної індукції, тобто до поверхні провідника. Градієнт індуктивності всередині провідного тіла обумовлює зміну фазового кута вздовж поперечного перерізу тіла. Не виключається навіть можливість протилежних напрямів руху електронів у різних частинах одного і того ж тіла.

Аналогічні явища спостерігаються при виникненні ефекту близькості, в основі якого лежить перерозподіл носіїв, що зумовлюють змінний струм, при зближенні двох провідників. Носії заряду, що рухаються в одному з провідників, створюють сили, що впливають на носії в іншому провіднику, розташованому поблизу. В наслідку цього носії заряду в кожному з провідників переміщуються в положення, що відповідає мінімуму взаємної індуктивності.

Як скін-ефект, так і ефект близькості призводять до перерозподілу носіїв, еквівалентного зменшення площі поперечного перерізу провідника, через який тече струм. Наслідком цього є збільшення опору провідника, причому опір буде тим більше, чим вище частота змінного струму.

Скін-ефект проявляється суттєвіше зі збільшенням частоти змінного струму. Його вплив враховують при конструюванні та розрахунках електричних схем, що працюють на змінному та імпульсному струмах.

Для зменшення впливу скін-ефекту застосовують провідники різного перерізу: плоскі (у вигляді стрічок), трубчасті (порожнисті всередині), наносять на поверхню провідника шар металу з нижчим питомим опором. Наприклад, срібло яке має найбільшу питому провідність серед усіх металів

і, одночасно, технологічно для нанесення на металеві поверхні. Тонкий його шар, в якому через скін-ефект і протікає більша частина струму, надає помітне зниження (до 10 %) активного опору провідника.

Для зниження дії скін-ефекту в лініях електропередачі на повітряних лініях напругою 330 кВ і вище фазний провід виконують з декількох проводів, підвішених паралельно на деякій відстані один від одного. Такі фазні дроти називаються розщепленими. Одиночний дріт, що використовує таку ж кількість металу на кілометр, матиме більші втрати через скін-ефект.

Наприклад, якщо (згідно з розрахунками) на лінії повинен монтуватися провід перетином 120 мм^2 , то замість нього можна використовувати два дроти перетином по 50 мм^2 кожен. В результаті такої заміни одержують 20 % економії провідникового матеріалу (за вагою), а провідні властивості лінії навіть стають кращими. Дійсно, неважко підрахувати, що провід перетином 120 мм^2 має довжину кола 39,2 мм. У дроту ж перетином 50 мм^2 довжина кола становитиме 25,1 мм. Для двох таких дротів загальна довжина кола становитиме $25,1 \times 2 = 50,2 \text{ мм}$. Оскільки струм тече по поверхні, то звісно, що активний опір двох паралельних включених проводів перетином 50 мм^2 кожен буде менше, ніж активний опір одного дроту перетином 120 мм^2 . Одночасно питома вага погонного метра лінії зменшується на $(120 - 2 \times 50) \times 100 / 120 = 16,7 \%$.

УДК 537.8

Козлов В.В.¹, Набокова О.В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

ЕФЕКТ ПЕЛЬТЬЄ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

У техніці широко відомий ефект виникнення термоЕРС у спаяних провідниках, контакти (місця спаїв) між якими підтримуються за різних температур (ефект Зеебека). У тому випадку, коли через коло з двох різномірних матеріалів пропускається постійний струм, один із спаїв починає нагріватися, а інший - охолоджуватися. Це явище носить назву термоелектричного ефекту.

Цей ефект був відкритий французом Жаном-Шарлем Пельтьє у 1834 році. При проведенні одного з експериментів він пропускав електричний струм крізь смужку вісмуту, з підключеними до неї мідними провідниками. У ході експерименту він виявив, що одне місце з'єднання вісмут-мідь нагрівається, інше - остигає.

Сам Пельтьє не розумів повною мірою сутність відкритого їм явища. Справжній сенс явища пізніше був пояснений в 1838 році Ленцем. У своєму

досвіді Ленц експериментував з краплею води, поміщеною на стику двох провідників (вісмуту та сурми). При пропущенні струму в одному напрямку крапля води замерзала, а при зміні напрямку струму - танула. Тим самим було встановлено, що при проходженні струму через контакт двох провідників в одному напрямку тепло виділяється, в іншому – поглинається. Це явище було названо ефектом Пельтьє (протилежним ефекту Зеебека).

На відміну від тепла Джоуля-Ленца, яке пропорційне квадрату сили струму I

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t, \quad (1)$$

тепло Пельтьє пропорційне силі струму в першому ступені і може бути виражено формулою:

$$Q_{\Pi} = \Pi \cdot q = \Pi \cdot I \cdot t \quad (2)$$

де Π - коефіцієнт Пельтьє, який залежить від природи контактуючих матеріалів та їх температури, q - заряд, що пройшов через контакт.

Коефіцієнт Пельтьє може бути виражений через коефіцієнт Томпсона:

$$\Pi = a \cdot T, \quad (3)$$

де a - коефіцієнт Томпсона, T - абсолютна температура.

Класична теорія пояснює явище Пельтьє тим, що при перенесенні електронів струмом з одного металу в інший, вони прискорюються або сповільнюються внутрішньою контактною різницею потенціалів між металами. У разі прискорення кінетична енергія електронів збільшується, а потім виділяється у вигляді тепла. У протилежному випадку кінетична енергія зменшується, і енергія поповнюється за рахунок енергії теплових коливань атомів другого провідника, таким чином, він починає охолоджуватися. При повнішому розгляді враховується зміна як потенційної, а й повної енергії.

Ефективність металів та металевих сплавів мала через низький коефіцієнт термоЕРС, а в діелектриках - через дуже малу електропровідність. Ефективність матеріалів залежить також від температури.

Вже в XX столітті було з'ясовано, що ефект Пельтьє значно сильніше проявляється при з'єднанні напівпровідників різних типів. Залежно від напрямку протікання електричного струму через р-п-і п-р-переходи внаслідок взаємодії зарядів, представлених електронами (n) і дірками (p), та їх рекомбінації, енергія або поглинається, або виділяється. У зв'язку з цим поглинається чи виділяється тепло. Об'єднання великої кількості пар напівпровідників р- та п-типу дозволяє створювати охолоджуючі елементи - модулі Пельтьє порівняно великої потужності. У порівнянні з металами та

діелектриками ефективність напівпровідників значно вища, чим і пояснюється їх широке застосування в даний час в термоелементах.

Напівпровідникові гілки нині виготовляють трьома методами: методом порошкової металургії, литтям із спрямованою кристалізацією та витягуванням із розплаву. Метод порошкової металургії з холодним або гарячим пресуванням зразків найбільш поширений.

У термоелектричних охолоджуючих пристроях застосовують, як правило, термоелементи, у яких негативна гілка виготовлена методом гарячого пресування, а позитивна - методом холодного пресування.

Термоелектричні охолоджувальні пристрої мають ряд переваг у порівнянні з іншими типами холодильних машин. За допомогою термоелектричних пристроїв у теплу пору року можна охолоджувати приміщення, а в холодну - обігрівати. Режим обігріву змінюють на режим охолодження шляхом реверсу електричного струму.

Крім того, до переваг термоелектричних пристроїв слід віднести: повну відсутність шуму при роботі, надійність, відсутність робочої речовини та олії, менші маси та габаритні розміри при тій же холодопродуктивності.

Термоелектричні холодильні машини для систем кондиціонування повітря мають об'єм приблизно в чотири, а масу втричі менше, ніж холодильні хладонові машини.

До недоліків термоохолоджуючих пристроїв слід віднести їх низьку економічність і підвищену вартість.

Економічність термоелектричних холодильних машин порівняно з паровими приблизно на 20-50% нижче. Висока вартість термоохолоджуючих пристроїв пов'язана з високими цінами на напівпровідникові матеріали.

Однак є галузі, де вже тепер вони здатні конкурувати з іншими типами холодильних машин. Наприклад, почали застосовувати термоелектричні пристрої для охолодження газів і рідин. Прикладами пристроїв цього класу можуть бути охолоджувачі питної води, повітряні кондиціонери, охолоджувачі реактивів у хімічному виробництві та ін.

Дуже перспективним може бути використання термоелектричних пристроїв як «інтенсифікатор теплопередачі». У тих випадках, коли з якого-небудь невеликого простору необхідно відвести теплоту в навколишнє середовище, а поверхня теплового контакту обмежена, розташовані на поверхні термоелектричні батареї можуть значно інтенсифікувати процес теплопередачі.

Широке застосування модулі на ефект Пельтьє знайшли в приладах нічного бачення з матрицею інфрачервоних приймачів. Мікросхеми із зарядовим зв'язком, які сьогодні застосовують в цифрових фотоапаратах, вимагають глибокого охолодження для реєстрації зображення в інфрачервоній області. Модулі Пельтьє охолоджують інфрачервоні детектори в телескопах, активні елементи лазерів для стабілізації частоти

випромінювання, кварцові генератори в системах точного часу. Але це все застосування військового та спеціального призначення.

Найбільш цікавим і перспективним застосуванням модулів є комп'ютерна техніка. Високопродуктивні мікропроцесори процесори і чіпи відеокарт виділяють велику кількість тепла. Для їх охолодження застосовують високошвидкісні вентилятори, які створюють значні акустичні шуми. Застосування модулів Пельтьє у складі комбінованих систем охолодження усуває шум при значному відборі тепла.

І, нарешті, закономірне питання: чи замінять модулі Пельтьє звичні системи охолодження у компресійних побутових холодильниках? На сьогоднішній день це не вигідно з точки зору ефективності (малий ККД) і ціни. Вартість потужних модулів ще досить висока.

Але техніка та матеріалознавство не стоять на місці. Виключити можливість появи нових, більш дешевих матеріалів з великим ККД і високим значенням коефіцієнтом Пельтьє не можна. Вже сьогодні з'являються повідомлення з дослідницьких лабораторій про дивовижні властивості науглецевих матеріалів, які радикально зможуть змінити ситуацію з ефективними системами охолодження.

З'явилися повідомлення про високу термоелектричну ефективність кластратів - твердотільних розчинів, схожих за будовою на гідрати. Коли ці матеріали вийдуть з дослідницьких лабораторій, то абсолютно безшумні холодильники з необмеженим терміном служби замінять наші звичні домашні моделі.

УДК 621.314.5

Poliakov Mykhailo

Doctor of Technical Science, professor of the NU "Zaporizhzhya Polytechnic"

SELECTION OF RESEARCH DIRECTIONS FOR INVERTERS WITH SiC MOSFET

The comparison of the properties of semiconductor materials shows that SiC is superior in almost all respects. And this is the reason for numerous studies of its application in power electronics. The aim of the work: analysis of publications and selection of research directions for inverters with SiC MOSFET. These works are aimed at:

- Improving the methods for identifying SiC power MOSFET models.
- Evaluating the degree of degradation of SiC power MOSFETs based on a neural network model.
- Increasing the accuracy of estimating the temperature of SiC power MOSFET junctions.

- Building hybrid indicators of SiC power MOSFET defects based on data-driven and knowledge-driven machine learning.

- Using machine learning methods to model the relationship between electrical and thermal processes in SiC power MOSFETs.

- Extending the service life of SiC power MOSFETs by minimizing MOSFET temperature fluctuations without affecting the vehicle dynamics.

- Building SiC power MOSFET failure models based on reflectometry data.

- Developing tools for online monitoring of SiC power MOSFET condition.

The following conclusions can be drawn from the analysis of publications:

- The problem of selection, determination of its technical condition and forecasting of the life cycle of SiC power MOSFET is relevant - a large number of publications are devoted to it

- The choice of the SiC power MOSFET model is of great importance - both models based on physical and geometric parameters and "black box" models are used. In this case, as a rule, models with concentrated quantitative parameters are used

- The non-stationary nature of the load significantly complicates forecasting the end of the service life of SiC power MOSFET

- The main factor accelerating aging is temperature, and methods slowing down aging are temperature reduction and stabilization, improved cooling

It is proposed to improve the quality of modeling inverters with SiC MOSFET by using higher forms of knowledge. To assess the residual life of inverters with SiC MOSFET, it is proposed to use the methodology of the IEC 60076-7 standard.

УДК 681

Казурова А.Є.¹, Скар К.П.²

¹канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

²асп. НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ МАЛИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ГЛИБИННОГО ЗОНДУВАННЯ ТА ПОШУКУ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ

Повномасштабне вторгнення російської федерації в Україну призвело до значних руйнувань та численних людських втрат. Одним із серйозних наслідків є забруднення територій нерозірваними боєприпасами, зокрема авіабомбами (НРАБ), які через конструктивні особливості можуть залишатись активними тривалий час після застосування. НРАБ становлять небезпеку для цивільного населення, гуманітарних місій, військових, а також ускладнюють відновлення прифронтових та деокупованих територій.

Особливу небезпеку становить проникнення бомб глибоко в ґрунт, що ускладнює їх виявлення. Крім того, з часом відбувається витік токсичних речовин (тротил, гексоген) [1], які потрапляють до ґрунту та підземних вод, що викликає екологічні проблеми.

Ключовим є точне виявлення та ідентифікація вибухонебезпечних предметів. Виявлення НРАБ є складним завданням через кілька факторів: відсутність точних даних; глибина проникнення; різноманітність матеріалів; зміни в ландшафті; небезпека детонації. Для вирішення цієї задачі, а також забезпечення швидкості збору даних, масштабованості та всюдихідності використовуються малі безпілотні літальні апарати (БПЛА) [2-4] у поєднанні з електромагнітними засобами дистанційного зондування Землі, зокрема:

георадарні системи – прилади, що випромінюють високочастотні імпульси в ґрунт і реєструють відбиті сигнали від підповерхневих структур;

магнітometri – прилади для вимірювання змін магнітного поля, що сигналізують про наявність феромагнітних об'єктів.

Окрім традиційних методів, перспективними є системи на основі SAR (Synthetic Aperture Radar) та InSAR (Interferometric SAR) [5] у різних діапазонах електромагнітного спектру. SAR – це активний метод дистанційного зондування, що використовує радіохвилі для створення детальних зображень земної поверхні незалежно від часу доби та погодних умов. InSAR є технологією, що використовує два або більше SAR-зображень, отриманих з однієї і тієї ж області в різний час, для виявлення змін на поверхні Землі (деформація ґрунту, зсуви тощо) шляхом аналізу різниці фаз між цими зображеннями. Впровадження систем на базі InSAR є перспективним напрямком дослідження цієї теми. Використання SAR/InSAR із БПЛА обмежене розмірами та енергоспоживанням. Ефективне рішення – розподіл електроніки компактними модулями.

Попередньо структуру електроніки можна поділити на 4 модулі:

- модуль живлення та розподілу тактової частоти;
- модуль передавача, який генерує лінійно-частотно-модульований сигнал з налаштуванням часом розгортки, частотою повторення імпульсів і вихідною потужністю, що забезпечує гнучкість конфігурації системи;
- модуль приймача, який спочатку підсилює сигнал, що надходить від приймальних антен, а потім здійснює стискання імпульсу;
- модуль збору даних системи, що складається з програмованої вентиляльної матриці (FPGA), комп'ютера на базі Linux, твердотільного накопичувача (SSD). Модуль конфігурує радіочастотні компоненти, контролює передачу потужність і температуру, налаштовує навігаційну систему та керує збором радіолокаційних даних, які вибираються та зберігаються на SSD.

Така структура дозволяє виконати її на друкованих платах, а не як окремі елементи. Як результат, цей підхід дає перевагу у зменшенні об'єму та ваги. Сигнали обробляються алгоритмами цифрової фільтрації,

геоприв'язуються та калібруються. Для ідентифікації НРАБ застосовуються методи машинного навчання, що навчаються на заздалегідь розмічених наборах даних. Це дозволяє автоматизувати пошук та підвищити точність виявлення об'єктів.

Таким чином, поєднання БПЛА та сучасних методів електромагнітного зондування відкриває нові можливості у виявленні вибухонебезпечних предметів на деокупованих територіях України. Крім того, цей підхід може використовуватись для пошуку й інших підземних об'єктів, таких як тунелі, приховані споруди та геологічні аномалії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Evans R. Explosive Ordnance Guide for Ukraine : 2nd edition / R. Evans, B. Seddon // Switzerland : GICHD. – 2022. – 224 pp.

2. Ментус І. Е. Методи виявлення мін для гуманітарного розмінування: огляд / І. Е. Ментус, В. А. Ясько, Є. Ю. Саприкін // Український журнал дистанційного зондування Землі. – 11(3). – 2024. – С. 22–28.

3. Гуцул Т. Класифікація та особливості методів гуманітарного розмінування територій на сучасному етапі : монографія / Т. Гуцул, В. Ткач, М. Хобзей // Чернівецький нац. унів. ім. Ю. Федьковича. – Чернівці, 2024. – 242 с.

4. Poliachenko I. Exploratory study of potential applications of UAV magnetic surveys for unexploded ordnance detection in coastline zone / I. Poliachenko, V. Kozak et al. // Geofizicheskiy Zhurnal. – 47(1). – 2025.

5. Ruiz G. Ku-Band SAR-Drone System and Methodology for Repeat-Pass Interferometry / G. Ruiz-Carregal, M. Lort Cuenca, L. Yam et al. // MPDI. – Remote Sensing, 16(21). – 2024. – 4069.

УДК 681.5

Казурова А.Є.¹, Томін Д.С.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ КЕРУВАННІ ВІДЦЕНТРОВИМ КОМПРЕСОРОМ

На більшості промислових підприємств в умовах поточного економічного стану та підвищення тарифів на електроенергію скорочення непродуктивних енергетичних витрат відіграє суттєву роль. Оскільки частка компресорних і нагнітальних станцій у балансі енергоспоживання становить 25–30%, а зниження ККД відцентрових машин, що експлуатуються, за рахунок зносу збільшує собівартість стисненого повітря, зниження витрат

при його виробництві дає відчутний економічний ефект. Продуктивність агрегатів регулюється в межах від 100 до 70% номінальної продуктивності [1].

Зниження енергетичних затрат на існуючих компресорній або станції нагнітання можливе за рахунок наступних складових [2]: розширення робочої зони компресора (К) за рахунок зняття обмеження на закриття дросельної засувки в робочому режимі; використання плавного пуску для запуску агрегатів; зменшення навантаження на К в режимі холостого ходу за рахунок переводу його в глибоке дроселювання; інші складові.

Розширення діапазону регулювання. Область регулювання К на невеликих витратах обмежується межею зони помпажу. При заданому тиску нагнітання не можна зменшувати витрату повітря через К менш ніж критичне значення. Положення межі зони помпажу може суттєво змінюватись в залежності від стану атмосферного повітря та технічного стану К. Щоб убезпечити машину від попадання в помпаж встановлюється обмеження, при якому виникнення помпажу на К неможливе. Якщо споживання стисненого повітря знижується за межі регулювання продуктивності, надлишок повітря викидається в атмосферу через помпажний клапан. Якщо скидання надлишкового повітря виробляється в атмосферу – це непродуктивні витрати електроенергії [3]. Розширивши діапазон регулювання продуктивності К, можна виключити скидання повітря в атмосферу за малих витрат і зменшити енергетичні втрати. Знаючи поточне положення зони помпажу та робочої точки К, можна регулювати продуктивність К таким чином, щоб під час руху робочої точки в зону малих витрат максимально наблизити її до межі зони помпажу, не відкриваючи помпажний клапан.

Режим глибокого дроселювання це такий стан турбокомпресора, при якому засувка нагнітання закрита, клапан помпажу повністю відкритий, дросельна заслінка закрита. Всмоктування повітря проводиться через зазори дросельної заслінки. У цьому стані, коли кількість повітря, що перекачується К, мінімальна, а помпаж ще не настає, навантаження на К істотно знижується в порівнянні зі штатним режимом холостого ходу [4]. Глибоке дроселювання також значно полегшує пуск К, що є найважчим режимом для К з погляду навантажень на елементи його конструкції.

Плавний пуск. Запуск К з використанням системи плавного пуску дозволяє значно знизити пускові струми двигунів, у мережах з обмеженою потужністю короткого замикання різко зменшити провали напруги мережі при пусках двигуна, істотно знизити електродинамічні зусилля на обмотках двигуна та ударні механічні впливи на механізми. Це збільшує моторесурс агрегату та зменшує витрати енергії на момент пуску. Застосування частотних перетворювачів для управління продуктивністю К має низку переваг [5]: зниження пускових струмів; захист електродвигуна; значна економія електроенергії; немає обмежень щодо кількості пусків на годину;

точне підтримання тиску; не потрібний ресивер великого обсягу; менше механічне зношування К. Таким чином, одночасне регулювання антипомпажним клапаном та швидкістю обертання К забезпечить надійний захист останнього при зниженні втрат енергії стисненого повітря.

Розглядалися методи підвищення енергоефективності роботи відцентрових К, їх застосування в промисловості та покращення ККД при роботі з використанням розширеного діапазону та з використанням систем плавного пуску та можливостей керування К.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cravero C. Instability Phenomena in Centrifugal Compressors and Strategies to Extend the Operating Range : A Review / C. Cravero, D. Marsano // *Energies*. – №17. – 2024. – 1069.
2. Цабенко М.В. Системи антипомпажного керування відцентровим компресором / М.В. Цабенко // «Електротехніка». – 2016. – С. 35–41.
3. Aben E.H. Bifurcation analysis of surge and rotating stall in axial flow compressors / E.H. Aben, P.K. Houpt, W.M. Hosny // *Journal of Turbomachinery*. – № 115. – 1993. – P. 724–817.
4. Cortinovis A. Model Predictive Anti-Surge Control of Centrifugal Compressors with Variable-Speed Drives / A. Cortinovis, D. Pareschi, M. Mercangoez, T. Besselmann // *IFAC Workshop on Automatic Control in Offshore Oil and Gas Production*, Norwegian Univ. of Science and Technology, May 31 - June 1, 2012.
5. Alsuwian T. A review of anti-surge control systems of compressors and advanced fault-tolerant control techniques for integration perspective / T. Alsuwian, A.A. Amin, M.S. Iqbal, M.T. Maqsood // *Heliyon*. – №9. – 2023.

УДК 62-83: 681.5

Назарова О.С.¹, Русяк О.Г.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ

Системи моніторингу та діагностики електроприводів станів холодної прокатки мають вирішальне значення для забезпечення надійної та ефективної роботи прокатних станів. Такі системи контролюють технічний стан електроприводів, виявляють несправності на ранніх етапах та сприяють попередженню аварій [1, 2]. Основні системи діагностики поділяються за методами та рівнем автоматизації.

Умовно можна виділити основні типи систем діагностики електроприводів холодної прокатки. Системи на основі аналізу електричних параметрів – вони вимірюють напругу, струм, частоту, потужність та інші параметри для виявлення відхилень [3]. Наприклад, аналіз гармонік у струмі та напрузі (детекція дисбалансів, коротких замикань) або спектральний аналіз струму двигуна. Вібраційна діагностика - контролює вібрації двигуна, редуктора або інших елементів, що дозволяє виявити механічні несправності (розбаланс, зношування підшипників, ослаблення кріплень). Температурний моніторинг - використовуються термодатчики або тепловізори для контролю температури двигуна, підшипників і обмоток. Системи на базі ПЛК та SCADA, які здійснюють постійний моніторинг стану електроприводу в реальному часі, інтегровані з системою управління прокатним станом. Інтелектуальні системи на базі машинного навчання, які аналізують великі масиви даних з датчиків і будують прогнози на основі моделей поведінки [4]. За допомогою цього принципу реалізовано функції прогнозування відмов, адаптивного обслуговування та самонавчання на основі даних про минулі несправності [5]. Експертні системи діагностики - містять базу знань про типові несправності електроприводів і використовують алгоритми логічного виводу для виявлення проблем [6]. Комплексні системи - інтегрують декілька методів одночасно.

Оператори можуть інтуїтивно помічати стан і проблеми в роботі станів холодної прокатки за допомогою людино-машинного інтерфейсу, що відображає різні статистичні сигнали стану та результати діагностики прокатних станів [7]. Гаряча і холодна прокатка сталевих смуг в основному контролюється оптичними або радіометричними вимірювальними системами. Однак вони все ще стикаються з проблемами через суворі умови навколишнього середовища. Щоб вирішити деякі з цих завдань, розробляється прототип системи, що складається з восьми радарних датчиків для вимірювання товщини сталевих смуг на станах гарячої та холодної прокатки [8].

Таким чином, перспективи розвитку систем моніторингу та діагностики станів холодної прокатки пов'язані з впровадженням інтелектуальних технологій, зокрема штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяє підвищити точність виявлення дефектів і оперативність реагування. Подальша автоматизація цих систем сприятиме зниженню витрат, підвищенню якості продукції та надійності виробничих процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Русяк, О. Г. Інтелектуальне керування складними електромеханічними системами / О. Г. Русяк, О. С. Назарова // 12-а міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. молодих учених і студентів «Актуальні проблеми

автоматизації та управління», 30 лист. 2024 р. : мат. конф. - Луцьк, 2024. - С. 20-24.

2. Назарова, О.С. Інтелектуальні системи керування електромеханічними процесами холодної прокатки / О.С. Назарова, О.Г. Русяк // Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали VI міжнар. наук.-прак. конф., 14-16 трав. 2024 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ : Кушнір Г. М. – 2024. – С. 84-86.

3. Nazarova, O. Fuzzy logic technologies in the diagnostic system of electromechanical processes of the cold rolling mill / O.Nazarova, O.Rusiak // Energy, Tbilisi, 3(107)/2023. – P. 10-15.

4. Назарова, О.С. Удосконалення системи діагностики стана холодної прокатки на основі бази даних його електромеханічних процесів / О.С. Назарова, Б.В. Васильєв, Д.Р. Шокуров // Електротехніка та електроенергетика, 2023. - №1. – С.7-18. DOI 10.15588/1607-6761-2023-1-1

5. Formánek, I. Load torque impact on interstand section control of continual rolling mills / I. Formánek, R. Farana // Proceedings of the 2016 17th International Carpathian Control Conference ICCS, 2016. - P. 206-209. Available: <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2016.7501094>.

6. Shin, K. -Y. Development of Smart Condition Monitoring and Diagnosis System for Tandem Cold Rolling Mills in Iron and Steel Manufacturing Processes / K. -Y. Shin, W. -K. Kwon // 2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems, PyeongChang, Korea (South), 2018. - P. 1568-1572.

7. Zhang, Y. A New Multiphase Process Monitoring Method with Application to a Hot Rolling Mill Process / Y. Zhang, K. Zhang, K. Peng, P. Yang // 2022 China Automation Congress (CAC), Xiamen, China, 2022. - P. 927-932. doi: 10.1109/CAC57257.2022.10055617.

8. Gütgemann, S. Radar-Based High Precision Thickness Measurement for Rolling Mills / S. Gütgemann, C. Krebs, A. Küter, D. Nüßler, B. Fischer, H. Krauthäuser // 2018 15th European Radar Conference (EuRAD), Madrid, Spain, 2018. - P. 122-125. doi: 10.23919/EuRAD.2018.8546618.

УДК 62-526

Крисан Ю.О.¹, Рябінін А.А.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

ВПРОВАДЖЕННЯ БЕЗРЕДУКТОРНОГО ПРИВОДУ ЛІФТОВОЇ ЛЕБІДКИ

Ключове місце в сучасному устаткуванні ліфта належить ліфтовій лебідці, що здійснює підйомно-транспортні функції і реалізовує

перетворення електричної енергії в механічну: від якості перетворення енергії в облаштуваннях лебідки безпосередньо залежить енергоефективність ліфта; точність і комфорт переміщення кабіни ліфта визначаються якістю керування частотою обертання валу електродвигуна лебідки; віброакустичні показники ліфта визначаються технічними рішеннями і технологією виготовлення електромагнітної і механічної підсистем ліфтової лебідки.

На жаль, інформація у відкритих літературних джерелах, на основі якої було б можливо провести оцінку характеристик і вартості виготовлення безредукторних ліфтових лебідок різної структури, у крайній недостатності. В першу чергу, відсутні повноцінні технічні дані, як безпосередньо по лебідках, так і по електродвигунах, на підставі яких можливо провести якісну оцінку.

Для адекватного порівняння техніко-економічних даних ліфтових лебідок, отриманих при побудові системи на основі спеціальних електродвигунів різних типів (асинхронних (АД), синхронних зі збудженням від постійних магнітів (СДПМ), трифазних вентильно-індукторних двигунів (ВІД), було проведено ескізне проектування, результати якого приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні характеристики тихохідних ліфтових електродвигунів (розрахункові дані)

	Тип	Q кг	K _П	n об/хв	M _н Нм	I _s А	η	C, о.е. 2018	C, о.е. 2024
1	АД	400	2:1	123	201	8,6	63,8	37,5	39,4
2	СДПМ	400	2:1	120	220	11,4	61,8	32,0	53,8
3	ВІЛ	400	2:1	120	202	11,5	55,1	28,1	30,3
4	АД	630	2:1	125	319	20,7	49,8	36,2	38,2
5	СДПМ	630	2:1	120	330	15,2	67,5	45,4	78,8
6	ВІД	630	2:1	120	320	23,2	47,1	28,1	30,3
7	АД	1000	2:1	120	505	20,7	65,6	55,0	58,4
8	СДПМ	1000	2:1	120	520	21,8	72,4	68,9	122,9
9	ВІЛ	1000	2:1	120	502	31,1	58,7	46,1	49,6
10	АЛ	400	1:1	60	404	10,0	47,1	49,3	52,2
11	СДПМ	400	1:1	60	430	12,0	55,6	57,8	101,5
12	ВІЛ	400	1:1	60	402	14,2	40,0	40,3	13,3

У таблиці Q - вантажопідйомність ліфта, K_П - кратність поліспасти, M_н - номінальний момент електродвигуна, I_s - номінальний струм статора, η - к.к.д. електродвигуна, C - собівартість активних матеріалів, розрахована з умови: 1 у.о. - вартість 1кг обмотувальної міді.

Аналіз даних, приведених в таблиці 1.1, показує, що АД дещо поступаються СДПМ за характеристиками, проте, мають меншу собівартість. Вентильно-індукторні електродвигуни мають мінімальну собівартість

матеріалів активної частини, але їх енергетичні характеристики найнижчі. Крім того, трудомісткість виробництва вентильних і вентиляно-індукторних двигунів, незважаючи на низьке розрахункове значення собівартості матеріалів активної частини ВІД, нині значно вище, ніж вартість технології виробництва асинхронних електродвигунів. Несподіваним фактом стали низькі значення ККД, властиві для будь-якого типу електродвигуна приводу безредукторної лебідки. Цей ефект, після додаткового аналізу, був пояснений тим, що втрати електродвигуна порівняно з машинами аналогічних габаритів зберігаються, тоді як корисна потужність машини знижується десятикратно, внаслідок зниження частоти обертання. Великі значення коефіцієнта корисної дії, отримані на вентильних електродвигунах, пояснюються відсутністю в їх струмі складової, що намагнічує, завдяки дії поля постійних магнітів. Аналогічно пояснюються і низькі значення ККД для вентиляно-індукторних електродвигунів. Складова, що намагнічує, в їх струмі вища, ніж у асинхронних, а її зниження за рахунок зменшення величини повітряного проміжку технологічно важко виконати.

Важливим питанням, що впливає на перспективи впровадження безредукторного приводу ліфтової лебідки, є можливість застосування перетворювачів частоти, що серійно випускаються, для забезпечення живленням електродвигунів. Дані, приведені в таблиці 1.1, показують, що номінальна частота живлення (при діаметрі канатоведучого шківa 320 мм) має бути близько 5 Гц для електродвигунів з $2p=8$, призначених для лебідок з прямим підвісом, і 9 Гц для лебідок з кратністю поліспасти $K_p=2:1$. Питання адаптації серійних перетворювачів частоти, збільшення або зниження частоти живлення за рахунок збільшення або зниження кількості пар полюсів електродвигуна вимагають окремого розгляду. Розробка спеціальних низькочастотних перетворювачів – актуальне завдання подальшого вдосконалення приводів безредукторних ліфтових лебідок.

УДК 621.313.13

Mashkovskiy Roman¹, KozlovVolodymyr²

¹ Phd Student, NU "Zaporizhzhia Polytechnic"

² Phd (Tech.), assistant professor NU "Zaporizhzhia Polytechnic"

OVERVIEW OF DESIGNS AND TECHNICAL SOLUTIONS FOR IMPLEMENTING AN ELECTRONIC SPEED CONTROLLER (ESC) FOR BRUSHLESS DIRECT CURRENT (BLDC) MOTORS

Brushless DC (BLDC) motors are noteworthy for their high efficiency, precision, and durability. Unlike traditional brushed motors, BLDC motors utilize a rotating permanent magnet in the rotor and stationary coils on the stator,

eliminating the need for brushes and commutators. This configuration minimizes wear, reduces maintenance, and provides superior energy efficiency. The precise speed and torque controllability make BLDC motors especially suitable for applications requiring dependable and continuous operation, such as air conditioners, household appliances, drones, and electric mobility devices. In light of this, the implementation of robust Electronic Speed Controllers (ESCs) is vital to fully harness the performance advantages of BLDC motors.

ESCs serve as the control backbone for BLDC motors, managing key operational parameters like speed, direction, and torque. By periodically switching currents between motor phases, ESCs ensure smooth rotation and stable operation. Control can be achieved either through sensor-based feedback, using components such as Hall effect sensors or encoders, or sensorless methods relying on back electromotive force detection. ESCs interact with broader control systems via communication protocols such as PWM, UART, or CAN, exhibiting pertinence across applications that range from simple remote-controlled devices to complex, multi-motor systems. Safety features like undervoltage lockouts, current limits, and thermal cutoffs protect both the motor and ESC components. Additionally, advanced programmable ESCs enable precise customization, allowing users to tailor parameters such as acceleration curves and braking force to meet specific use cases.

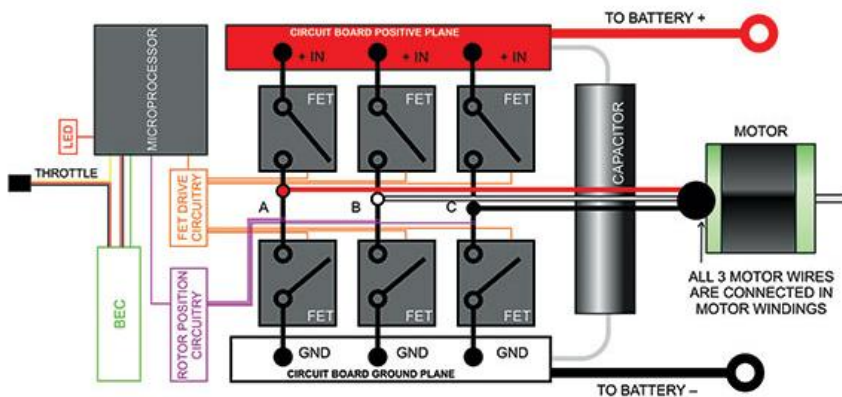


Figure 1 – ESC structure

The operational success of ESCs is dependent on their key components, which include power management systems, microcontroller units, gate drivers, and switching transistors. Capacitors play a crucial role in smoothing voltage fluctuations, while voltage regulators ensure consistent power delivery to ESC logic circuits and sensors. The microcontroller unit (MCU) serves as the ESC's central processing unit, interpreting input signals, generating PWM outputs,

controlling motor phases, and executing safety protocols - examples of popular MCU families include STM32, ATmega, and Infineon XMC series. Gate drivers amplify signals from the MCU to efficiently switch power transistors such as MOSFETs and IGBTs, which handle power delivery to motor phases. MOSFETs are commonly used for low-voltage ESCs due to their high efficiency and low conduction losses, while IGBT transistors, along with emerging technologies such as GaN (Gallium Nitride) and SiC (Silicon Carbide), offer enhanced performance for heavy-duty industrial applications.

Thermal management, application-specific needs, and software integration are critical considerations in ESC design. Effective heat dissipation is ensured through strategies like heatsinks or active cooling systems to maintain system reliability. Lightweight designs are essential for drones, whereas industrial ESCs must prioritize high current-handling capacity and durability. Advanced algorithms such as Field-Oriented Control (FOC) offer precise and adaptive motor control, optimizing performance across diverse settings. Recent developments are indicative of a growing trend toward integrating high-performance materials such as GaN and SiC into ESC technology, delivering improvements in switching speeds, thermal performance, and overall system efficiency. Sensorless control and real-time monitoring are also gaining traction, paving the way for smarter and self-adaptive ESC designs that can support increasingly complex applications.

Despite the diversity in ESC designs and capabilities, their functional architecture consistently follows a core structural schema. This modular approach integrates similar types of components, including power management, switching devices, gate drivers, and a microcontroller unit, regardless of the specific application or performance requirements. Such a standardized framework not only ensures compatibility across various systems but also allows flexibility to innovate within the overarching ESC design paradigm. As ESC technology continues to evolve, this foundational structure will remain at the heart of future advancements, driving the development of more efficient, precise, and adaptive control systems for BLDC motors.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The MathWorks, Inc. Introduction to Brushless DC Motor Control [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mathworks.com/campaigns/offers/next/introduction-to-brushless-dc-motor-control.html> (дата звернення: 29.03.2025).
2. Matsui N. Sensorless PM brushless DC motor drives. / N. Matsui // IEEE Transactions on Industrial Electronics. - 1996. №43(2). - pp. 300-308. DOI: doi.org/10.1109/41.491354
3. Shrutika C. Back-EMF estimation based sensorless control of Brushless DC motor. / C. Shrutika, S. Matani, S. Chaudhuri, A. Gupta, S. Gupta, N. Singh //

2021 1st International Conference on Power Electronics and Energy (ICPEE). - 2021. DOI: doi.org/10.1109/ICPEE50452.2021.9358657

4. Gamazo-Real J. Position and speed control of brushless DC motors using sensorless techniques and application trends. // J. Gamazo-Real, E. Vázquez-Sánchez, J. Gómez-Gil // *Sensors*. - 2010, №10(7). - pp. 6901-6947. DOI: doi.org/10.3390/s100706901

5. Lee W. GaN-based single phase brushless DC motor drive for high-speed applications. // W. Lee, D. Han, B. Sarlioglu // 40th Annual Conference of the IEEE. - 2014. DOI: doi.org/10.1109/IECON.2014.7048700

6. Östling M. SiC power devices - Present status, applications and future perspective. / M. Östling, C.-M. Zetterling, R. Ghandi // 2011 IEEE 23RD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POWER SEMICONDUCTOR DEVICES AND ICS (ISPSD). - 2011. DOI: doi.org/10.1109/ISPSD.2011.5890778

7. Lumbreras D. Efficiency Comparison of Power Converters Based on SiC and GaN Semiconductors at High Switching Frequencies. / D. Lumbreras, J.i Zaragoza, N. Berbel, J. Mon, E. Galvez, A. Collado // 2021 IEEE 30th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). - 2021. DOI: doi.org/10.1109/ISIE45552.2021.9576446

8. Wu R. STM32 microcontroller-based closed-loop speed control drive system design for FOC motors. / R. Wu, Y. Chen, H. Ke // 2022 IEEE Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC). - 2022. DOI: doi.org/10.1109/IPEC54454.2022.9777600

9. Awaar V. Real-Time BLDC Motor Control and Characterization Using TMS320F28069M with CCS and GUI. / V. Awaar, N. Jampally, H. Gali, R.i Simhadri // 2022 IEEE 2nd International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SeFeT). - 2022. DOI: doi.org/10.1109/SeFeT55524.2022.9908662

10. Malyi, O., Pospeeva, F., Furmanova, N., Onyshchenko, V., Zaluzhnyi, M., & Ivanov, V.. (2024). Metodyka peredproiektynoho vyboru komponentiv FPV kvadrokopternoho typu za zadanymy znachennyamy tiahyy, shvydkosti ta chasu polotu [Methodology of pre-design selection of components of FPV quadcopter for thrust, speed, and flight time values]. *Elektrotekhnika ta elektroenerhetyka*, 1, 35–49. DOI: doi.org/10.15588/1607-6761-2024-1-4 (in Ukrainian.)

11. Mashkovskiy, R., & Kozlov, V. (2024). Porivnialnyi analiz proshyvoh ESC rehuliatoriv dlia bezkolektornykh dvynuhiv postiynoho strumu u mul'tykopterahkh [Comparative analysis of ESC firmware for brushless DC motors in multicopters]. Suchasni problemy i dosiahennia v haluzi radiotekhniky, telekomunikatsii ta informatsiinykh tekhnolohii: XII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, 10-12 hrudnia, 123–127. (in Ukrainian.)

УДК 621.3.048.1

Барабан О.Д.¹, Поляков М.О.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² д-р. техн. наук., проф. НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ ТЕПЛОВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ НА ЦЕЛЮЛОЗНУ ІЗОЛЯЦІЮ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА В ПАКЕТІ ПРОГРАМ FEMM

Предмет дослідження розробка моделі в середовищі FEMM (Finite Element Method Magnetics) для підвищення точності прогнозування старіння целюлозної ізоляції силових трансформаторів шляхом аналізу теплових процесів та їх впливу на деградацію матеріалів.

Мета та завдання є моделювання теплових полів у трансформаторі з подальшим застосуванням рівняння Арреніуса для оцінки швидкості деградації ізоляції. Завдання включають: створення 2D-моделі трансформатора в FEMM [3] для аналізу температурних розподілів. Дослідження впливу локальних перегрівів на старіння целюлози. Ідентифікацію додаткових факторів деградації (напр., механічних навантажень). Оцінку перспектив переходу до мультипольових моделей.

Хоча теплові процеси в трансформаторах детально вивчені, вплив механічних деформацій (від напруг або вібрацій) на структуру ізоляції залишається недостатньо дослідженим. Це дослідження акцентує увагу на взаємодії температурних і механічних факторів, що прискорюють деградацію.

Об'єкт дослідження: автотрансформатор АТДТН [2] (ВАТ «Запоріжтрансформатор») з урахуванням паспортних даних.

Інструменти: FEMM обрано через точність у моделюванні електромагнітних та теплових процесів. Виконано 2D-моделювання поперечного перерізу, що дозволило визначити: Температурний розподіл у активній зоні (обмотки, ізоляція). Зони локального перегріву, критичні для старіння. Оцінка деградації: Застосовано рівняння Арреніуса для кількісного аналізу впливу температури на швидкість хімічного руйнування ізоляції.

Практична значимість результати дозволяють:

Оптимізувати конструкцію трансформатора для покращення теплового режиму. Розробити ефективніші системи охолодження.

Прогнозувати термін експлуатації ізоляції, зменшуючи ризики аварій. Отримані дані можуть стати основою для мультифізичних моделей, що інтегрують теплові, механічні та електричні параметри. Оцінка старіння на основі рівняння Арреніуса. Для кількісної оцінки впливу температури на процес деградації ізоляції використано рівняння Арреніуса [1], що описує залежність швидкості хімічних реакцій від температури:

$$k = A \times e^{-\frac{E}{R \times T}}, \quad (1)$$

де: k – константа швидкості реакції; A – коефіцієнт, що враховує вплив вологості, кислот і кисню, год^{-1} ; E – енергія активації для процесу теплового старіння паперу в трансформаторному маслі, кДж/моль ; R – молярна газова стала, $\text{Дж/(моль} \cdot \text{К)}$; T – температура, К .

Результати дослідження та аналіз. Моделювання в FEMM виявило нерівномірний розподіл температур у силовому трансформаторі: максимальна температура в обмотках сягає 110°C , тоді як у менш нагрітих зонах ізоляції – 85°C . Це суттєво впливає на ресурс целюлозної ізоляції: При 110°C термін служби становить $\approx 50\,000$ год. ($\approx 5,7$ років). При 85°C ресурс зростає до $\approx 150\,000$ год. (≈ 17 років).

Вплив температури на деградацію ізоляції. Дані [4-5] підтверджують експоненційний характер старіння ізоляції згідно з рівнянням Арреніуса. Зокрема, підвищення температури на кожні 10°C зменшує термін служби вдвічі («правило 10-градусів»). Це дозволяє прогнозувати «слабкі» зони, де ризик виходу з ладу максимальний. Локальні термічні аномалії. На моделі виявлено ділянку ізоляції з температурою, що перевищує середні значення. Такі аномалії, зумовлені недостатнім тепловідведенням або механічними навантаженнями [4-5], призводять до: Прискореної деградації матеріалу в місцях перегріву. Зниження загального ресурсу трансформатора.

Рекомендації з мінімізації впливу. Моніторинг: впровадження телевізійного контролю або сенсорних систем для відстеження критичних зон. Оптимізація конструкції: покращення тепловідведення шляхом змін геометрії ізоляції.

Охолодження: використання сучасних технологій (наприклад, примусової циркуляції олії). Висновки та обмеження моделі. Комбінація FEMM та рівняння Арреніуса забезпечує точний прогноз терміну служби ізоляції, але не враховує вплив вологості, кисню, продуктів окислення олії та механічних навантажень. Перспективи дослідження: інтеграція мультифізичних факторів (термічних, механічних, хімічних) для створення комплексної прогностичної моделі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабан , О., Поляков , М., & Василевський , В. (2024). Постановка задачі мультипольового моделювання процесів зносу целюлозної ізоляції силового трансформатора. Вісник НТУ «ХП». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика, (2 (12)), 24–28. <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2024.2.05>

2. Available at <https://ztr.ua/products>. Огляд accessed 11 June 2024)

3. Available at <https://www.femm.info/Archives/doc/manual.pdf>. (accessed 01 March 2024). D. Meeker, Finite Element Method Magnetics, Version 4.2, (01 March 2022 release).

4. IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers, IEEE Std C57.91-2011.

5 Jusner, P., Schwaiger, E., Potthast, A., & Rosenau, T. (2021). Thermal stability of cellulose insulation in electrical power transformers – A review. Carbohydrate Polymers, 252, 117196.

УДК 681.527:2:622.24

Потапенко Є.Є.¹, Осадчий В.В.¹, Дєвочкін В.Ф.², Микитюк Д.В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД З ВИВЧЕННЯ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИМ ДВИГУНОМ: ПОВНИЙ ЦИКЛ ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ

У доповіді представлено концепцію розробки лабораторного стенду для навчання принципам автоматизації процесів на основі системи автоматичного керування електричним двигуном. Стенд дозволяє моделювати повний цикл розробки автоматизованої системи від проєктування з використанням спеціалізованого програмного забезпечення EPLAN Electric P8 до її реалізації та налаштування. Особливу увагу приділено освітнім та інженерним аспектам, що включають навчання студентів роботі з сучасними технологіями автоматизації, програмованими логічними контролерами (ПЛК), приводами та датчиками. Зазначено основні завдання, що стоять при розробці такого стенду, новизна такого підходу, а також обґрунтовано необхідність його впровадження для підвищення практичних навичок майбутніх інженерів-електриків.

Звичайний курс автоматизації технологічних процесів будується на базі технології певного виробництва, а саме: машинобудівного, металургійного, хімічного, текстильного тощо. У ньому багато уваги приділяється деталям, характерним для відповідних виробництв.

Автоматизація промислових процесів є важливою складовою сучасного виробництва, де електричні двигуни займають ключову роль у виконанні механічних операцій.

Для інженерів, які працюють у сфері створення та експлуатації систем керування технологічним обладнанням, важливо отримати уявлення про загальні завдання, що вирішуються автоматизацією в умовах сучасного високо-механізованого та автоматизованого виробництва, і про місце

електропривода в системах автоматизації. Вони повинні вивчити основи теорії автоматизації технологічних процесів і навчитися вирішувати прості технічні завдання, пов'язані з проєктуванням, вибором апаратної частини автоматизованих систем, розробкою алгоритмів і програмного забезпечення для функціонування в конкретних умовах експлуатації.

Для того, щоб майбутні інженери могли набути необхідних практичних навичок, важливо мати можливість працювати з реальними системами, що відображають умови, близькі до промислових. Одним з таких засобів є лабораторний стенд для автоматичного керування електричним двигуном, який дозволяє вивчати основи проєктування, налаштування та тестування автоматизованих систем.

Розробка лабораторного стенду для автоматичного керування електричним двигуном має кілька важливих аспектів:

Освітній аспект: Стенд дозволяє студентам на практиці ознайомитися з основними принципами автоматизації, вивчати взаємодію між різними компонентами системи, такими як ПЛК, сенсори, приводи та електричні двигуни.

Інженерний аспект: Майбутні фахівці набувають навичок проєктування, налаштування та тестування реальних автоматизованих систем. Стенд дає можливість працювати з сучасними компонентами, що використовуються в промисловості та пройти повний цикл розробки автоматизованої системи.

Розвиток міждисциплінарних компетенцій: Поеднання знань в галузі електротехніки, програмування, мехатроніки та систем автоматизації, що сприяє розвитку міждисциплінарних навичок і формуванню комплексного підходу до вирішення інженерних задач.

Навчання на основі реальних сценаріїв і проблем: Моделювання реальних умов при проєктуванні та експлуатації автоматизованих систем. Це забезпечує більш глибоке розуміння інженерних проблем та шляхів їх вирішення в реальних умовах.

Проєктування та реалізація лабораторного стенду передбачає розв'язання низки важливих завдань:

Проєктування системи автоматичного керування: Визначення параметрів системи (тип двигуна, режими роботи двигуна, вимоги до контролю), розробка принципових схем, схем керування та алгоритмів.

Розробка апаратного забезпечення: Вибір та підключення компонентів, включаючи ПЛК, датчики, приводи, електричний двигун, автоматичні вимикачі та запобіжники, кнопки, перемикачі та індикатори, контактори та реле.

Програмування ПЛК: Розробка програмного забезпечення для реалізації алгоритмів керування, налаштування та оптимізація параметрів.

Тестування та налагодження системи: Проведення тестових запусків, перевірка ефективності алгоритмів, виправлення помилок у програмному забезпеченні та налаштуванні апаратного забезпечення.

Оптимізація роботи системи: Аналіз результатів роботи стенду, оптимізація параметрів для підвищення ефективності та надійності роботи.

Новизна цього підходу полягає в інтеграції сучасних технологій в навчальний процес, що дозволяє студентам не лише вивчати теорію, а й брати участь у реальному процесі розробки автоматизованих систем. Це підвищує якість освіти, розвиває професійні навички і готує майбутніх фахівців до роботи в умовах сучасного виробництва.

Висновки. Створення лабораторного стенду для автоматичного керування електричним двигуном є важливим кроком, який забезпечує студентам можливість набути практичних навичок проектування, налаштування та тестування автоматизованих систем, що є важливим для їх подальшої професійної діяльності. Такий стенд також дозволяє впроваджувати інноваційні підходи до навчання та наукових досліджень, підвищити рівень підготовки майбутніх інженерів, а також забезпечити ефективне використання сучасних технологій проектування у навчальному процесі.

УДК 621.31

Козлов В.В.¹, Хлебніков Д.Р.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-313 НУ «Запорізька політехніка»

СУЧАСНІ КОНДЕНСАТОРНІ УСТАНОВКИ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Зниження втрат електроенергії в електричних мережах - одне з найважливіших завдань в електропостачанні, особливо актуальне для великих енергоємних підприємств.

Активна енергія - це та, яка може бути перетворена на механічну роботу і теплоту. Реактивна енергія виробляється деякими механізмами (обладнання з котушками, люмінесцентними лампами, насосами, трансформаторами або двигунами певних машин) для створення електромагнітного та електричного полів необхідних для їх функціонування. Реактивна енергія не споживається, але зумовлює збільшення повної енергії, тобто. до додаткового споживання та передачі енергії. Реактивна енергія буде вироблятися тільки в обладнанні яке живиться змінним струмом, а активна енергія у всіх приладах та механізмах. Реактивна енергії має ряд ефектів, які можуть серйозно пошкодити енергоефективність промисловості. Серед цих ефектів

виділяється той факт, що в установках буде губитися корисна потужність, тому вони матимуть гіршу продуктивність. Це також спричинить перепади напруги, що може підвищити температуру кабелів. Циркуляція в лініях реактивної потужності негативно позначається на роботі енергосистеми загалом через зниження пропускнуєї спроможності ліній, трансформаторів, тощо, викликаючи нагрівання проводів, зрештою - вимагає більшої повної потужності від постачальника.

Але якщо реактивна потужність - це частина повної потужності, що неминуче витрачається на електромагнітні процеси в навантаженні, що має ємнісну та індуктивну складову, то бажано зробити так, щоб вона циркулювала не по всій системі електропередачі, а тільки між споживачем і місцевим конденсатором.

Компенсація реактивної потужності дозволяє мінімізувати втрати енергії при передачі, поліпшити енергетичні характеристики на стороні споживача: підвищити коефіцієнт потужності обладнання - для споживача і знизити шкідливі гармоніки напруги - для мережі і постачальника.

Практично це означає, що до пристрою постійного навантаження приєднується компенсуючий конденсатор розрахункової ємності (відповідної реактивної потужності), а якщо навантаження змінне, то в хід йдуть автоматичні конденсаторні установки.

Саме для цього і служать установки компенсації реактивної потужності (УКРП).

Конденсаторною УКРП називають електроустановку, що складається з конденсаторів і допоміжних пристроїв, що відносяться до них (вимикачів, роз'єднувачів, розрядних резисторів, пристроїв регулювання, захисту тощо) і ошиновки. Вона включає в себе одну або кілька конденсаторних батарей або один або декількох окремо встановлених конденсаторів, які приєднані до мережі за допомогою комутаційних апаратів.

Коли за допомогою конденсаторної установки підвищується коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$) у споживача, споживання реактивної складової від повної потужності з мережі мінімізується, а термін служби мережі та обладнання збільшується.

При підтримці значення $\cos\varphi$ на рівні від 0,9 до 0,95 платежі за споживання практично марної реактивної потужності - знижуються, так як загалом зменшується навантаження на трансформатори і передавальні лінії.

Важливо відзначити, що подальше збільшення коефіцієнта потужності небажане, оскільки це стає економічно недоцільним, адже для отримання $\cos\varphi$, що досягає 0,97-0,99, потужність компенсуючої установки довелось б підвищити вдвічі, а значить і заплатити за неї довелось б в 1,5 рази більше, хоча споживаний струм внаслідок такого заходу зменшився б лише на 3%.

Розрізняють кілька різновидів компенсації реактивної потужності.

Загальною або централізованою компенсацією реактивної потужності називають такий підхід, коли є одна, загальна для всього обладнання підприємства, регульована конденсаторна установка, яка розташовується на трансформаторній підстанції або в головному розподільчому щиті. Зазвичай використовується, коли реактивна потужність на підприємстві протягом дня варіює між різними споживачами, тобто змінює час від часу своє значення.

При індивідуальній компенсації конденсатори підбираються і встановлюються до кожного окремого двигуна індивідуально. Це виходить дешевше, якщо двигунів не дуже багато, а працюють вони майже в постійному режимі.

Якщо різних одиниць електротехнічного устаткування багато, а працюють вони порізно і рідко, то індивідуальна компенсація недоцільно, оскільки частина конденсаторів постійно не використовується.

На індивідуальну компенсацію трохи схожа групова компенсація, при якій окремі конденсаторні установки використовуються для груп різноманітних електроприймачів.

Для групової компенсації добре підходять автоматичні регульовані конденсаторні установки, здатні в залежності від поточного реактивного навантаження автоматично регулювати рівень компенсації. До них відносяться тиристорні конденсаторні установки КРМТ, які здатні ефективно працювати в мережах з різко змінним реактивним навантаженням.

Такі установки характеризуються практично миттєвою швидкістю, що дозволяє трансформаторам безперервно працювати в режимі майже суто активного навантаження, що продовжує термін їхньої служби.

Кількість комутацій для тиристорів майже необмежене. Тому КРМТ широко використовуються на багатьох хімічних і металургійних заводах, на целюлозних фабриках, в ліфтовому господарстві та скрізь, де характер навантажень сильно нелінійний: інвертори, компресори, установки з фазним управлінням, тощо. Плюс до всього тиристорні установки безшумні. Для захисту тиристорних установок використовуються дроселі.

Тенденція до зростання тарифів на електропостачання веде до того, що застосування установок компенсації реактивної потужності (УКРП) для багатьох підприємств стає повсякденною необхідністю. При цьому окупність встановленого обладнання для компенсації реактивної потужності складає всього кілька місяців.

Загалом і цілому, з погляду економічних переваг, установка компенсуючих конденсаторних батарей дає цілий ряд плюсів:

- втрати в мережах і трансформаторах знижуються за рахунок зменшення струму, що проходить через них;
- мінімізується ефект падіння напруги на лініях електропередач;
- розрахункова потужність системи зменшується.

Іншими словами, лінії електропередачі, трансформатори і розподільні пристрої максимально розвантажуються завдяки порятунку від реактивної складової струму, захисту від перекосу фаз, зменшенню вищих гармонік і перешкод, а витрати на оплату для підприємства знижуються. У результаті самі мережі стають більш економічними.

Без застосування установок УКРП в мережі весь час циркулює значна реактивна потужність, що знижує якість електроенергії, що поставляється, оскільки втрати потужності в лініях виявляються значними, мають місце перепади напруги, а відповідно потужність силових трансформаторів є завищеною, перетин передавальних кабелів використовується нерационально, пропускна здатність на кожному етапі виходить вресшті-решт нижче, ніж могла б бути.

УДК 004.41

Поляков М.О.¹, Панченко В.В.²

¹ д-р. техн. наук., проф. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-611 НУ «Запорізька політехніка»

ПОРІВНЯННЯ ГРАФІЧНИХ ЗАСОБІВ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПОВЕДІНКИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

Формалізація поведінки систем керування спрямована на документування проектних рішень. У процесі проектування сучасних систем керування використовуються різноманітні графічні засоби документування проектних рішень різних рівнів, напрямків та видів проектування: креслення, схеми, структури, програми тощо.

Метою роботи є порівняння графічних засобів формалізації поведінки систем керування. Для порівняння обрані такі поширені види формалізації як блок схеми алгоритмів, скінчені автомати, діаграми мови UML діаграми мови SFC та діаграми Stateflow. Також дослідження обмежено засобами які мають тільки вільне поширювані версії: JFLAP [1], FSM GOLDI [2], OpenPLC [3], Stateflow [4], Edraw [5]. Характеристики засобів оцінювалися за трибальною шкалою: погано (1), задовільно (2), добре (3). Результати порівняння графічних засобів наведено на рис. 1.

Наведена пелюсткова діаграма спрощує вибір засобу формалізації відповідно до виду й напрямку проектування.

Робота проведена в рамках вивчення дисципліни «Проектування систем керування» за освітньою програмою «Електротехнічні комплекси та системи літальних апаратів» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти у Національному університеті «Запорізька політехніка».

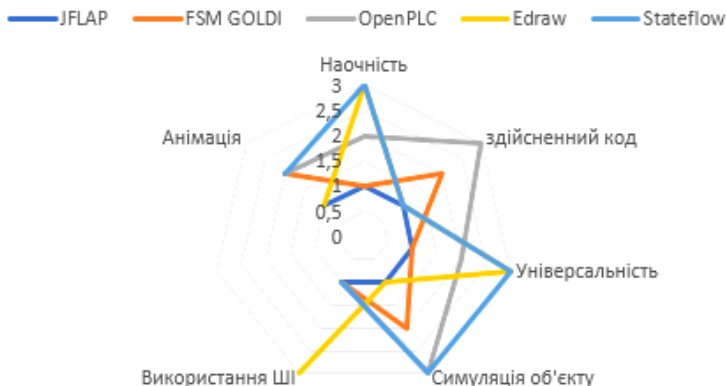


Рисунок 1 – Результати порівняння графічних засобів

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. JFLAP: Кросплатформова програма Java Formal Languages and Automata Package для експериментів з різними об'єктами, що зустрічаються в теорії формальних мов: сайт організації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.jflap.org/>
2. GOLDi-labs cloud Website [Electronic resource] – Access mode: <http://goldi-labs.net>
3. Autonomy – Open-source PLC Software [Electronic resource] – Access mode: <https://autonomylogic.com/>
4. Stateflow Model and simulate decision logic using state machines and flow charts [Electronic resource] – Access mode: <https://www.mathworks.com/products/stateflow.html>
5. Edrawsoft's Official Website. [Electronic resource] – Access mode: <https://www.edrawsoft.com/>

УДК 537.2

Набокова О.В.¹, Семененко Ю.В.²

¹ доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-113 НУ «Запорізька політехніка»

ЕЛЕКТРОСТАТИКА

У наш час ми не уявляємо життя без електрики, електрика є одним із найфундаментальніших понять у сучасній науці. Електрика - це сукупність явищ, що обумовлені рухом електронів.

Електризація тіл відбувається за перерозподілу електронів. Електрони можуть переходити від одного тіла до іншого. Наприклад, гумова паличка, натерта о котячу шерсть, отримує негативний заряд, а шерсть стає позитивно зарядженою.

Поява електричного заряду внаслідок тертя називається статичною електрикою (трибоелектрикою), оскільки цей заряд за певних умов зберігається на заряджених тілах, тобто нерухомі електричні заряди в електростатичному полі. Існують і нейтральні тіла - тіла, що не мають електричного заряду. Вони можуть бути притягнуті до заряджених тіл завдяки перерозподілу зарядів усередині них.

Роботи Бенджаміна Франкліна поклали основу розуміння електричних взаємодій. Франклін запропонував концепцію «електричної рідини», пов'язуючи надлишок її із позитивним зарядом, а недолік - із негативним. Однак сучасне пояснення електричних явищ стало можливим завдяки розвитку електронних та атомних теорій. Розглянемо цю теорію більш точно:

Речовини складаються в основному з двох типів заряджених частинок - електронів (одиничний негативний заряд) та протонів (одиничний позитивний заряд). Причому усі електрони абсолютно однакові; протони також.

Протони знаходяться в ядрах атомів, вони мають масу у 2000 разів більше електрона.

Електрони перебувають постійно у русі та мають мізерну масу. Саме тому вони рухаються швидше за протони.

Коли тіло втрачає електрон або отримує протон - тіло набуває позитивного заряду; якщо є нестача протонів або тіло отримує електрон - набуває негативного заряду.

Речовини відрізняються один від одного кількістю та розташуванням цих елементарних частинок.

Всі речовини при нейтральних умов мають однакову кількість електронів та протонів.

Матерія складається з атомів, в основному з протонів, нейтронів та електронів. Електрони знаходяться в русі навколо ядра, що робить їх відповідальними за електричні властивості речовини.

Візьмемо найпростіший атом - водень він складається з ядра, де знаходиться протон, та електрона, що обертається навколо ядра. Позитивне ядро притягує негативний електрон, але завдяки своєму обертанню він утримується відцентровою силою на своїй орбіті. Найменш щільним газом є водень; дейтерій у два рази щільніше за водень; третій у три рази щільніше за звичайний водень; у чотири рази щільніше - гелій. Хімічні властивості атомів визначаються кількістю електронів, що знаходяться поза ядром (рис.1). Ізотопи водню та сам водень мають однакові хімічні властивості,

вони усі мають по одному електрону. Гелій же має два електрони, що пояснює різницю між їх властивостями.

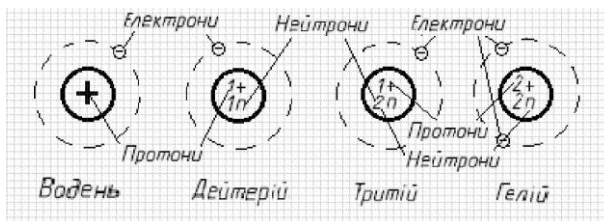


Рисунок 1 - Схеми атомів водню, дейтерію, тритію та гелію

Електрони в атомах розташовані "прошарками". Електрони на мало заповнених шарах атома дуже слабо пов'язані з ядром. Рухомі електрони генерують статичний електричний струм.

Отто фон Геріке, винахідник вакуумного насоса, винайшов також першу електростатичну машину. Він налив розплавлену сірку всередину порожньої скляної кулі, а потім, коли сірка затверділа, розбив скло, не здогадуючись про те, що сама скляна куля з не меншим успіхом могла б послужити її цілям. Потім Геріке зміцнила сірчану кулю (рис. 2) щоб його можна було обертати рукояткою. Для отримання заряду треба було однією рукою обертати кулю, а іншою притискати до неї шматок шкіри. Тертя піднімало потенціал кулі до величини, достатньої, щоб отримувати іскри завдовжки кілька сантиметрів.



Рисунок 2 - Одна з найперших електростатичних машин

1745 року в Лейдені німецький фізик Евальд Юрген фон Клейст та голландський фізик Пітер ван Мушенбрук створили перший конденсатор - «лейденську банку» (рис. 3). Це була закупорена наповнена водою скляна банка, обклеєна всередині і зовні фольгою. Крізь кришку у банку був уведений латунний стрижень. Лейденська банка дозволяла накопичувати і зберігати порівняно великі заряди, порядку мікрокулона. Завдяки Лейденській банці вдалося вперше штучним шляхом отримати електричну іскру. Вона складалася зі скляної посудини, покритої металеву фольгою з

обох боків, що збільшувало ємність пристрою. Експерименти показали, що заряди акумулюються на внутрішніх та зовнішніх поверхнях банки, а за розрядки через провідник відбувається потужний електричний розряд.



Рисунок 3 - Будова лейденської банки

Згідно з електронною теорією, при підключенні внутрішньої оболонки лейденської банки до негативного полюса електростатичної машини на неї передаються електрони. Вони накопичуються на внутрішній поверхні, створюючи негативний заряд. Це викликає відштовхування електронів із зовнішньої поверхні банки, що йдуть через заземлення, залишаючи позитивний заряд на зовнішній оболонці.

При розрядці банки, наприклад, за допомогою вилкоподібного розрядника, електрони перескакують із внутрішньої оболонки на зовнішню, нейтралізуючи заряд і викликаючи видимий електричний розряд. Аналогічні процеси відбуваються під час підключення внутрішньої оболонки до позитивного полюса: у разі електрони переміщуються із зовнішньої оболонки на внутрішню, створюючи протилежні заряди.

Лейденська банка - це різновид конденсатора. Франклін удосконалив лейденську банку, замінивши скляну посудину просто шматком скла, покритим з обох боків металевими обкладками. Згодом було виявлено, що як ізолюючий матеріал між пластинами можна використовувати повітря, слюду та інші речовини. Матеріали, що служать для цієї мети або для ізоляції взагалі, отримали назву діелектриків.

Франклін встановив, що кількість електрики, яку можна запасти в конденсаторі:

- прямо пропорційно до площі обкладок конденсатора.

- прямо пропорційно різниці потенціалів обох обкладок.

- обернено пропорційно відстані між обкладками. Якщо пластини конденсатора знаходяться на дуже малій відстані, електрони можуть «пробити» діелектрик і викликати розрядку конденсатора. Це часто трапляється із конденсаторами в радіоприймачах.

Кількість електрики, що міститься в конденсаторі називається ємністю конденсатора. Ємність конденсатора визначається не зарядом, що він може містити, а зарядом, що може бути введене в нього при різниці потенціалів між його обкладками в 1 вольт. Ємність конденсатора залежить також від напруги на обкладках, тобто роботи здійсненої для перекачування в конденсатор 1 кулона.

Конденсатори, ємність яких не може бути змінена називаються постійними.

Конденсатори, що можуть змінювати свою ємність - змінні.

Електронна теорія стала основою для розуміння природи електричних і магнітних явищ. Вона пояснює не лише дію лейденських банок, конденсаторів і блискавки, але й роботу багатьох сучасних пристроїв, таких як генератори, електродвигуни та напівпровідники. Завдяки цій теорії стали можливими розвиток електроніки, телекомунікацій та інших високотехнологічних галузей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Елліот Л., Вілкокс У. Фізика // Видавництво "Наука" Головна редакція фізико-математичної літератури. 1975 рік.

2. Дж. Пірс «Електрони, хвилі і повідомлення» // Nevada, the University of Nevada, or UNR. 1956 рік.

3. Електронний ресурс: uk.wikipedia.org "Електростатика".

УДК 621.31

Козлов В.В.¹, Хлебніков П.І.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-314м НУ «Запорізька політехніка»

РОБОТА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА НА ДВОХ ФАЗАХ: ПРИЧИНИ, НАСЛІДКИ ТА ЗАХОДИ ЗАХИСТУ

Трифазні асинхронні електродвигуни, це найпоширеніші двигуни, які застосовуються в промисловості. Однак їх робота стає небезпечною і ненадійною в умовах, коли одна з фаз електричної мережі відключається, приводячи до того, що двигун починає працювати на двох фазах замість

трьох. Це небезпечний режим, який може призвести до серйозних пошкоджень двигуна і знизити його термін служби.

Така ситуація може виникнути через низку причин, кожна з яких несе певні ризики.

Однією з найчастіших причин втрати фази є обрив провідника. Це відбувається, коли один із фазних проводів фізично пошкоджується. Ушкодження можуть бути викликані різними факторами: зносом кабелю через старіння, механічним впливом під час будівельних або ремонтних робіт, а також корозією, що виникає з часом. Крім того, погодні умови, такі як сильний вітер, гроза або блискавка, можуть пошкодити дроти і викликати обрив фази.

Проблеми з контактом можуть призвести до втрати фази. З'єднувальні клеми, що використовуються для підключення фазних проводів, можуть з часом ослабнути, окислитися або обгоріти. Ці проблеми можуть виникнути через погану якість монтажу, відсутність регулярного обслуговування або вплив несприятливих умов навколишнього середовища.

Ще одна причина втрати фази – несправність обладнання. Наприклад, спрацювання запобіжника в одній фазі, вихід з ладу автоматичних вимикачів, контакторів або реле.

Помилки при підключенні або обслуговуванні електрообладнання, у тому числі неправильне підключення фазних проводів або випадкове відключення однієї з фаз можуть стати ще однією причиною втрати фази.

У нормальних умовах трифазний асинхронний електродвигун отримує живлення від трьох фазних проводів, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження по всіх обмотках двигуна. Якщо одна з фаз відключається, двигун втрачає третину своєї потужності.

Якщо обрив фази відбувається під час роботи двигуна при швидкості, яка близька до номінальної, то крутний момент, створений двома фазами, що залишилися, часто буває достатнім для продовження роботи двигуна. Це пояснюється тим, що інерція обертових мас валу і ротора двигуна допомагає підтримувати його обертання.

Робота двигуна на двох фазах є серйозною небезпекою, незважаючи на те, що він може продовжувати функціонувати при обриві однієї з фаз.

Коли асинхронний двигун працює на трьох фазах, електромагнітні сили всередині нього рівномірно розподіляються, забезпечуючи плавне та стабільне обертання ротора. Однак при переході на роботу з двома фазами, замість трьох, цей баланс порушується.

Через нерівномірний розподіл електромагнітних сил, ротор починає відчувати коливання та вібрації. Ці вібрації викликають резонансні явища всередині двигуна, які і виявляються у вигляді характерного звуку. Двигун починає гудіти. Цей звук – одна з основних ознак того, що двигун працює в

аварійному режимі, що свідчить про порушення нормальної роботи та можливі пошкодження в майбутньому.

Коли асинхронний двигун працює на двох фазах замість трьох, виникають кілька факторів, які можуть призвести до його перегріву і, зрештою, до займання.

По-перше, через відсутність однієї фази, дві фази, що залишилися, починають працювати з підвищеним навантаженням. Це призводить до того, що через обмотки двигуна протікає струм, що значно перевищує номінальний. Збільшений струм викликає інтенсивне нагрівання обмоток. У нормальних умовах тепло, що виділяється під час роботи двигуна, розсіюється рівномірно, і двигун працює у межах допустимої температури. Але при роботі на двох фазах обмотки перегріваються набагато швидше.

По-друге, перегрів обмоток призводить до руйнування їхньої ізоляції. Ізоляція проводів усередині двигуна запобігає коротким замиканням між витками обмоток. Коли температура піднімається вище за допустимий рівень, ізоляція починає руйнуватися. Це може викликати коротке замикання всередині обмотування, що призведе до різкого стрибка струму і додаткового перегріву.

Нарешті, якщо двигун продовжує працювати в такому аварійному режимі, процес перегріву стає неконтрольованим. Температура може піднятися рівня, у якому як руйнується ізоляція, а й обмотки починають плавитися. У такому випадку, двигун може буквально "згоріти", що означає, що він вийде з ладу і може навіть спалахнути, якщо не працює захист.

Таким чином, робота двигуна на двох фазах може призвести до його займання через перегрівання обмоток, руйнування ізоляції та подальшого короткого замикання. Це робить цей режим вкрай небезпечним.

Щоб уникнути серйозних пошкоджень двигуна при обриві однієї з фаз, необхідно впровадити і підтримувати спеціальні заходи захисту.

Одним з ключових елементів такого захисту є фазовий захист. В електричне коло двигуна інтегруються захисні пристрої, такі як фазові реле, які оперативно реагують на розрив однієї з фаз. У разі виявлення такої несправності фазове реле автоматично відключає двигун, що запобігає роботі в небезпечному режимі на двох фазах. Завдяки цьому усувається ризик перегріву обмоток та пов'язаних з ним пошкоджень.

Тепловий захист відіграє не менш важливу роль у забезпеченні безпеки роботи двигуна. У разі підвищення температури обмоток вище допустимих значень теплові реле спрацьовують, відключаючи двигун. Це запобігає перегріву і можливому виходу двигуна з ладу через пошкодження ізоляції обмоток або інших критичних компонентів.

Необхідно також приділяти увагу регулярним перевіркам та обслуговуванню обладнання. Періодичні огляди стану фазного живлення та

роботи захисних пристроїв дозволяють своєчасно виявляти потенційні несправності.

Такий підхід допомагає запобігти аварійним ситуаціям і підтримувати двигун у робочому стані, продовжуючи його термін служби та забезпечуючи надійність експлуатації. Впровадження та суворе дотримання цих заходів дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з роботою двигуна при обриві однієї з фаз, і підтримувати його у справному стані протягом усього терміну служби.

УДК 53.03

Набокова О.В.¹, Семененко Ю.В.²

¹ доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-113 НУ «Запорізька політехніка»

ЩО ТАКЕ БЛИСКАВКА ТА ЯК ВОНА З'ЯВЛЯЄТЬСЯ?

Блискавка є одним із найзахоплюючим і водночас небезпечним фізичним явищем, яке здавна привертало увагу людей. Вона породжувала міфи, легенди й наукові гіпотези. І до сьогодні блискавка залишається важливим об'єктом досліджень у фізиці, метеорології та електротехніці, адже її природа та наслідки впливають на різні аспекти життя - від кліматичних змін до техногенних систем безпеки.

Блискавка - це природне явище, що представляє собою генерований хмарами або хмарию та землею різновид інтенсивного електричного розряду довжиною в кілька кілометрів.

Блискавки поділяються на:

а) наземні блискавки:

- лінійна блискавка – це іскровий розряд. Під дією електричного поля присутні в атмосфері вільні електрони прискорюються, набуваючи високої швидкості. Під час зіткнень з молекулами електрони іонізують їх. У результаті цього в повітрі зростає кількість електронів, які також прискорюються під впливом електричного поля.

- кульова блискавка - сферичний атмосферний розряд діаметром 10–20 см, який повільно рухається, може існувати від кількох секунд до днів. Вона може проходити через вузькі отвори, проникати в приміщення, а при зникненні часто вибухає.

- гамма-блискавка - короткий спалах високоенергетичного гамма-випромінювання, що виникає в грозових хмарах одразу після лінійної блискавки.

- плоска блискавка - тихий електричний розряд у хмарах, який виникає через недостатню кількість зарядів для утворення лінійної блискавки, вона не супроводжується громом.

- точкова блискавка - різновид лінійної блискавки, в якій частина імпульсів не проявляється, а між ними є паузи в часі й просторі. Вона виглядає як пунктирна лінія.

б) блискавки в навколосемному космічному просторі:

- спрайти - це великий електричний розряд у мезосфері, зазвичай червоного чи синього кольору, що виникає на висоті 50–130 км, іноді протягується до космосу.

- джети - виникають в грозових хмарах у верхній крайці. Тривалість таких розрядів становить кілька десятків мікросекунд.

- ельфи - це великі, слабосвітні спалахи у формі конусів діаметром близько 400 км, що з'являються над верхівкою грозової хмари. Їхня висота сягає 100 км, а тривалість спалаху - близько 3 мс.

У науці є декілька різних теорій щодо пояснення походження блискавки. Зазвичай нижня частина хмари несе негативний заряд, а верхня - позитивний, то на піднесених ділянках земної поверхні, що знаходяться безпосередньо під хмарию, наводиться позитивний заряд. Коли різниця потенціалів стає достатньо великою - утворюється електричний розряд.

Світіння блискавки можна пояснити таким же механізмом, як і світлодіодний неон, ця реакція відбувається за рахунок іонізації молекул повітря.

Причиною того, що блискавка обирає предмети, найбільше близькі до хмари, є те, що, чим ближче предмет до хмарі, тим значніший заряд, що на ньому наводиться. До того ж з геометричних міркувань, концентрація зарядів, що накопичується на вістрях або гострих краях тіл, більше, ніж на плоских або закруглених поверхнях.

Перший громовідводом розробив Франклін. Це був металевий загострений стрижень або пучок тонких металевих прутів, а верхівка цього пристрою знаходилася доволі високо над будівлею. Стрижень проводили по стіні, на кінці була мідна пластина, що забезпечувало заземлення та наведеному заряду стікати у повітря. Громовідвід Франкліна запобігав удару блискавки у будівлю, а також зменшував ймовірність удару по цій споруді.

Гуляючи під час грози, можна помітити, що щойно жвава вулиця при короткочасних спалахах блискавки ніби завмирає. Розглянемо причину такого явища.

Блискавка, як і будь-яка іскра, триває надзвичайно короткий час, що його не можна виміряти звичайними способами. Проте вдалося встановити, що іноді блискавка триває тисячні долі секунди. За такі короткі проміжки часу наше око майже не помічає переміщення предметів, людей чи тварин, усі вони встигають переміститися лише на мізерну частку міліметра, око

людини сприймає це як абсолютну нерухомість. Бувають і триваліші блискавки, які доходять до сотих або десятих часток секунди. Є і багатократні блискавки, коли десятки блискавок слідують одна за одною, і їх сумарна тривалість може доходити до 1,5 секунди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Елліот Л., Вілкокс У. Фізика // Видавництво "Наука" Головна редакція фізико-математичної літератури. 1975 рік.
2. Перельман Я.І. "Цікава фізика" книга 2 // Видавництво "Наука" Головна редакція фізико-математичної літератури. 1979 рік.
3. Електронний ресурс: uk.wikipedia.org "Блискавка".
4. Електронний ресурс: yasno.com.ua "Тарифи на електроенергію" // Затвердив Кабінет Міністрів України постановою №632 від 31.05.2024 для всіх жителів України. (дата звернення 10.12.2024).

УДК 621.314.572

Набокова О.В.¹, Токарев Д.О.²

¹ доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-113 НУ «Запорізька політехніка»

АВТОНОМНІ ІНВЕРТОРИ

Автономні інвертори (АІ) - це перетворювачі постійного струму на змінний, які працюють на мережу, в якій немає інших джерел електроенергії. Комутація вентилів у них здійснюються завдяки застосуванню повністю керованих вентилів або пристроїв штучної комутації. При цьому частота напруги на виході АІ визначається частотою управління, а величина напруги - параметрами навантаження і системою регулювання.

Інвертори, що працюють на навантаження, у якому немає інших генераторів, називають автономними. У них струм перемикається спеціальним пристроєм, частота вихідного струму (напруги) визначається частотою імпульсів керування. АІ використовуються: - для живлення споживачів змінного струму в установках, де як основне або резервне джерело енергії використовується акумуляторна або сонячна батарея; - у частотному електроприводі змінного струму у складі перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму; - в електротехнології як джерело змінного струму підвищеної частоти; - в електроенергетиці з нетрадиційними джерелами живлення як активні фільтри та компенсатори реактивної потужності.

Залежно від побудови схеми розрізняють однофазні, двофазні, трифазні і багатофазні інвертори, залежно від кількості рівнів напруги джерела постійного струму дво- і багаторівневі інвертори.

Автономні інвертори (АІ) класифікуються за рядом ознак:

- За видом вхідної величини вони поділяються на: АІ струму, АІ напруги та резонансні (коливальні) автономні інвертори (РАІ).

- За вентилями, що використовуються, АІ поділяються на: - АІ на вентилях з неповним керуванням (звичайних тиристорів та симісторів); - АІ на вентилях з повним керуванням (транзисторах і запірних тиристорах);

- За способом комутації АІ поділяються на : - АІ з одноступінчастим перемиканням, в яких комутація здійснюється за допомогою комутуючих конденсаторів основними вентилями схеми без застосування додаткових тиристорів; - АІ з двоступеневою комутацією, в яких для комутації застосовуються спеціальні комутуючі вентиля.

- За місцем ввімкнення комутуючих конденсаторів АІ з одноступінчастим перемиканням поділяються на : - паралельні АІ (комутуючі конденсатори ввімкнені паралельно навантаженню); послідовні АІ (комутуючі конденсатори ввімкнені послідовно з навантаженням).

Автономний інвертор струму (АІС) формуює в навантаженні струм, а форма напруги визначається параметрами навантаження. В схемі АІС використовуються як повністю керовані, так і напівкеровані ключі з однобічною провідністю. Комутація тиристорів, що не вимикаються за колом керування, здійснюється примусово з використанням попередньо зарядженого конденсатора як джерела зворотної напруги.

Особливості АІС:

- джерело постійного струму працює в режимі генератора струму. Для цього у вхідне коло АІС вмикається реактор (дросьль) з достатньо великою індуктивністю L , що не дає змінюватись струму (струм на вході АІС незмінний). Окрім того, реактор виконує функції фільтру вищих гармонік. При цьому функція ключів схеми - періодичне перемикання напрямку струму на виході.

- вихідне коло повинно допускати зміну струму стрибком, тобто мати властивості джерела напруги. Зазвичай це досягається підключенням до виходу АІС конденсатору, що дозволяє підключати до виходу активно-індуктивне навантаження.

Реактор на вході АІС може бути відсутнім або мати невелику індуктивність, якщо джерело має властивості джерела струму. Останнє досягається, наприклад, при використанні керованого випрямляча зі зворотнім зв'язком за вихідним струмом або активного випрямляча струму.

Принцип роботи схеми:

На вході АІС діє джерело струму, утворене джерелом ЕРС і великою індуктивністю, форма струму на виході вентиляльної групи прямокутна, а

форма напруги визначається характером навантаження (рис. 1). Навантаження може бути тільки активним або активно-ємнісним, тому що при активно-індуктивному навантаженні струм не може миттєво змінити напрям. При роботі схеми з активно-ємнісним навантаженням у момент t_1 починають проводити тиристори V1, V2 в момент t_2 тиристори V1, V2 вимикаються, а тиристори V3, V4 вмикаються. Струм через навантаження змінює напрям. Під дією струму напруга на навантаженні змінюється по експоненті.

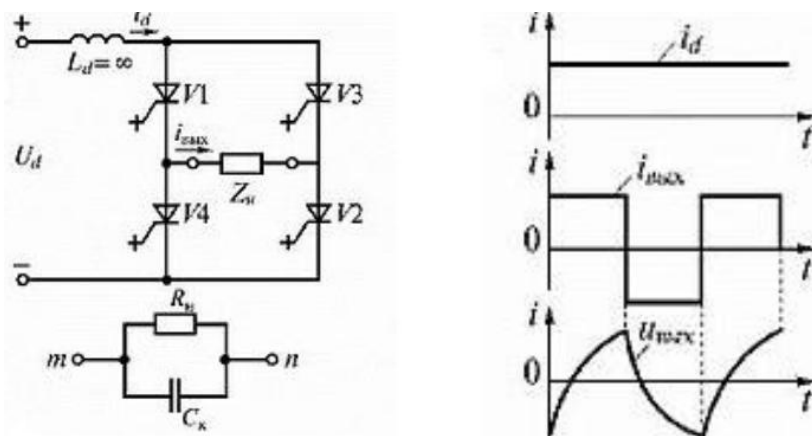


Рисунок 1 - Автономний інвертор напруги

Завдяки своїм властивостям інвертори знаходять широке застосування. В регульованих електроприводах з асинхронними двигунами трифазного струму інвертори застосовують у тягових електроприводах електровозів, електропоїздів, тепловозів, системах кондиціонування, побутових світильниках денного світла, системах живлення комп'ютерів, телевізорів тощо.

УДК 534.84

Козлов В.В.¹, Токарєв Д.О.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-113 НУ «Запорізька політехніка»

ЧЕРЕПИЦЯ ЯК ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

Енергія сонця давно цікавила людство, але були доступними газ, нафта та електроенергія за низькими цінами. В наш час ці джерела енергії піднялись у вартості в десятки разів і як ніколи стоїть важливе питання в

пошуку альтернативних джерел використання енергії для забезпечення домогосподарства.

Звичайно, для використання енергії Сонця потрібні сонячні батареї, а найкращим місцем для їхнього розташування - це покрівля будинку. З'явилось кілька новинок покрівлі, які поєднують в одне ціле дах і сонячні батареї і, здається, це тільки початок.

Фотоелектрична черепиця, звана також сонячною, функціонує аналогічно до сонячних панелей, які сьогодні часто використовуються для енергопостачання будинків. Різниця в тому, що традиційні сонячні модулі кріпляться над дахом, то сонячна черепиця є повноцінною частиною будівельної конструкції і виглядає, як і звичайна покрівля.

Сонячна черепиця – це особливий вид покрівельного матеріалу, який і захищає споруду від опадів, і використовує сонячну енергію. Він виготовлений з фотоелектричних елементів, які при отриманні сонячного світла перетворюють його на електрику, здатне забезпечити живленням внутрішню будівлю. Кожна окрема черепиця поєднана кабелями з інвертором, що розподіляє енергію між споживачами всього будинку.

До основних переваг свого винаходу фахівці зараховують високу продуктивність черепиці, яка може виробляти енергію і при розсіяному світлі (під час хмарної погоди її продуктивність складає 60-65%). PV модулі інтегровані у високоефективний сонячний дах генерують на 36% більше електроенергії ніж звичайні сонячні батареї. Технологія CIGS максимально поглинає світло навіть в туманну погоду. На 1 м² у традиційних панелей 2 байпасних діода, у Hantile 24. Тобто – проблематика затінення та інші негативні чинники залишилися у минулому. Також завдяки потрібному з'єднанню аморфного кремнію, фотогальванічна черепиця виробляє більшу кількість енергії в порівнянні з традиційними сонячними панелями з моно- і полікристалічного кремнію.

Компанія TEGOLA, яка виготовляє бітумну черепицю презентувала фотогальванічну черепицю власного виробництва, що здатна виробляти електроенергію, - «Тегосолар» складається вона з бітумні основи, яка використовується для м'якої покрівлі та фотогальванічного елемента, що закріплений на цій основі. Ця черепиця трансформує сонячну енергію в електроенергію, використовуючи «фотоелектричний ефект».

Італійська компанія REM створила керамічну черепицю з фотоелементами, де в глиняну черепицю вбудовують колектори для нагріву води або фотоелементи, що дозволяє такій «сонячній» черепиці перетворювати енергію на різних рівнях. Інтегровані в керамічну черепицю фотоелектричні панелі можуть виробляти до 3 кВт потужності на кожні 35-40 квадратних метрів встановленої площі. Компанія зазначає, що цього є достатньо, щоб забезпечити потреби середньостатистичної сім'ї.

В цьому році в Швеції компанія "Soltech Energy" презентувала черепицю виготовлену із скла. Скляна черепиця «ловить» тепло сонця для встановленої спеціальної системи, що перетворює сонячне тепло в енергію. Отримана енергія використовується для електромережі та опалення домогосподарства. Технологічний процес перетворення в системі Soltech відбувається наступним чином: через скляну черепицю сонячні промені потрапляють на спеціально розроблену поглинаючу поверхню, що поглинає енергію сонячних променів. Під спеціальною поглинаючою тканиною проходить повітря, яке нагрівається і циркулює. Отримана енергія в подальшому направляється в будинок і потрапляє в існуючу опалювальну систему будинку. Така черепиця має певні переваги над звичайними сонячними панелями (рис.1).

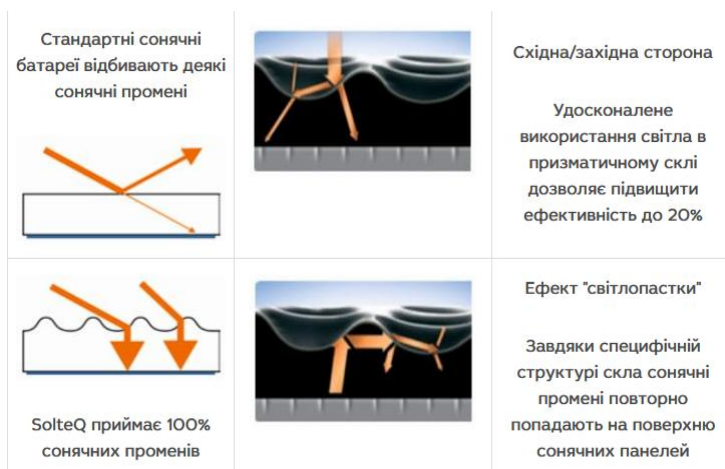


Рисунок 1 – Переваги черепиці перед сонячними панелями

Перевага такого рішення в тому що, його можна використовувати в приміщеннях з водяним та повітряним опаленням. Називається така система «Soltech System».

Залежно від умов, для ефективної роботи системи рекомендується встановити мережевий або гібридний інвертор, який перетворює постійний струм на змінний. Варто мати на увазі, що кількість енергії, яка отримується від сонця, безпосередньо залежить від кількості світла, яке отримує черепиця. Також при створенні проекту з фотоелектричним дахом варто враховувати особливості клімату та географічне розташування будівлі.

Причини обрання сонячної черепиці:

Естетичні міркування: Якщо важливо зберегти візуальну привабливість вашого будинку, сонячна черепиця пропонує більш інтегрований вигляд, який поєднується з вашим дахом.

Нове будівництво або заміна даху: Якщо ви будете новий дім або замінюєте дах, сонячна черепиця може служити як покрівельним матеріалом, так і джерелом енергії.

Обмеження простору: Якщо у вас обмежений простір на даху, і ви хочете максимізувати виробництво енергії без шкоди для естетики, сонячна черепиця – кращий вибір.

Довгострокові інвестиції: Якщо ви плануєте залишатися у своєму домі протягом багатьох років, подвійна функція черепиці як покрівлі та виробництва енергії може виправдати вищу початкову вартість.

УДК 534.84

Козлов В.В.¹, Олексієнко М.М.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-513 НУ «Запорізька політехніка»

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ В ПЕРІОД ВІЙНИ В УКРАЇНІ

Енергетична безпека є критичним елементом національної безпеки, особливо для України, яка в умовах тривалої війни стикається з численними викликами в енергетичному секторі. Вона охоплює не тільки доступність, але й стабільність, надійність та економічну ефективність постачання енергії.

Україна історично сильно залежала від імпорту газу та нафти, особливо з Росії, що робить її вразливою до політичних маніпуляцій та економічного тиску. Постійні атаки на енергетичну інфраструктуру під час війни знижують надійність енергопостачання та вимагають швидкої адаптації та відновлення. Одне з розв'язання цієї проблеми є інтеграція українських енергетичних ринків з європейськими, але цей процес вимагає значних реформ та інвестицій, що неможливо для країни, яка перебуває в стані війни.

Енергетична безпека України стоїть перед численними викликами, але разом з цим відкриває можливості для реформування та модернізації сектору. З урахуванням поточних подій та довгострокових цілей, стратегічне планування та міжнародна підтримка мають вирішальне значення для забезпечення стабільного енергопостачання та незалежності країни.

Водночас Україна намагається зменшити залежність від одного постачальника через розвиток власних джерел, як традиційних, так і альтернативних (сонячна, вітрова, біоенергетика). У період війни, коли традиційні енергетичні інфраструктури стають цілями для атак, альтернативні джерела енергії набувають особливої актуальності. Україна, з

її потенціалом у сонячній, вітровій та біоенергетиці, має унікальні можливості для розвитку відновлюваної енергетики, особливо під час конфлікту.

В порівнянні з традиційними джерелами енергії, альтернативні джерела мають такі переваги:

- **Безпека та стійкість:** Відновлювані джерела енергії менш вразливі до атак, оскільки часто розподілені та децентралізовані. Це забезпечує більш стабільне постачання енергії в умовах війни.

- **Екологічні переваги:** Використання сонячної, вітрової та біоенергії зменшує залежність від викопного палива, що сприяє зниженню викидів CO₂ та покращенню екологічної ситуації.

- **Незалежність від імпорту:** Розвиток власних джерел енергії зменшує залежність від імпорту енергоресурсів, що є критичним під час блокад або обмежень постачання.

- **Локальне економічне зростання:** Створення нових робочих місць та інвестиції в регіональний розвиток через розбудову альтернативних енергоустановок.

Розвиток альтернативних джерел енергії в Україні під час війни є не лише доцільним, але й необхідним для забезпечення енергетичної безпеки та незалежності. Відновлювані джерела можуть швидко відновлювати постачання енергії до населених пунктів, які постраждали від бойових дій, та забезпечувати лікарні, школи та інші критичні об'єкти електрикою. Крім того, інтеграція альтернативної енергетики у відновлення країни після конфлікту може стати основою для сталого розвитку та зменшення впливу на довкілля.

Енергетична безпека України стоїть перед численними викликами, але разом з цим відкриває можливості для реформування та модернізації сектору. З урахуванням поточних подій та довгострокових цілей, стратегічне планування та міжнародна підтримка мають вирішальне значення для забезпечення стабільного енергопостачання та незалежності країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Альтернативні джерела енергії Невичерпний природний ресурс / Блог / Soncedim / <https://soncedim.com.ua/>.
2. Альтернативні джерела енергії - ПІВДЕНЬ ЕНЕРГО ЗБУТ / <https://pivdenenergozbut.com.ua/>.
3. Щодо перспектив використання альтернативних джерел енергії на Сході України". Аналітична записка Національний інститут стратегічних досліджень / <https://niss.gov.ua/>
4. Альтернативна енергетика Держенергоефективності України.

УДК 621.31

Козлов В.В.¹, Олексієнко М.М.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-513 НУ «Запорізька політехніка»

СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ: ПОСТІЙНИЙ ТА ЗМІННИЙ СТРУМ

Системи електроживлення є невід'ємною частиною сучасного електронного обладнання, забезпечуючи живленням широкий спектр пристроїв, від побутових приладів до складних промислових систем. Існує два основних типи систем: системи постійного струму (DC) і системи змінного струму (AC).

Системи постійного струму забезпечують стабільний рівень напруги і особливо популярні в портативних приладах, комп'ютерах та електромобілях. Постійний струм забезпечує точне регулювання потужності, що важливо для сенсорних технологій та мікроконтролерів. Важливими аспектами систем постійного струму є їхня проста схема та висока ефективність при низьких рівнях потужності.

Сучасні відкриття в галузі постійного струму (DC) охоплюють широкий спектр напрямків, включаючи нові технології, інновації в енергетиці, електроніці та електромобілях.

Одним із ключових напрямків є розвиток електромобілів. Тут відбуваються значні зміни завдяки розробці нових типів акумуляторів, таких як літій-іонні, твердотільні та графенові. Це дозволяє підвищити ємність акумуляторів, швидкість їх зарядки та зменшити витрати. Інновації в технологіях швидкої зарядки також відіграють важливу роль, адже тепер можна заряджати акумулятори електромобілів до 80% всього за 30 хвилин.

Відновлювальні джерела енергії також активно розвиваються. Підвищення ефективності сонячних панелей, зокрема завдяки новим технологіям, таким як перовскітні панелі, дозволяє генерувати більше постійного струму з меншої площі. Окрім цього, нові рішення для зберігання енергії, такі як акумулятори на основі натрію або нові хімічні компоненти, покращують можливості зберігання енергії, що генерується відновлювальними джерелами.

У сфері електроніки також спостерігаються значні досягнення. Розробка нових DC-DC перетворювачів дозволяє більш ефективно управляти живленням електронних пристроїв, підвищуючи їх енергоефективність. Інновації в системах живлення для комп'ютерної техніки та побутової електроніки, які працюють на постійному струмі, сприяють зменшенню втрат енергії. Ще одним важливим аспектом є розвиток мереж постійного струму. Створення таких мереж для передачі електроенергії на великі відстані може

зменшити втрати енергії під час передачі та спростити інтеграцію відновлювальних джерел.

У контексті Інтернету речей (IoT) багато пристроїв працюють на постійному струмі. Нові технології оптимізації живлення дозволяють зменшити споживання енергії, що особливо важливо для бездротових сенсорів.

Нарешті, інтеграція постійного струму в мікрогрід стає все більш актуальною. Це дозволяє ефективніше управляти локальними джерелами енергії та забезпечувати автономність від центральних електромереж.

Таким чином, сучасні відкриття в галузі постійного струму свідчать про його важливу роль у розвитку нових технологій і рішень у сфері енергетики та електроніки.

Системи змінного струму, з іншого боку, широко використовуються в електромережах, оскільки вони ідеально підходять для перетворення електричної енергії на великі відстані. Змінний струм є економічним і придатним для масового споживання, оскільки напруга може бути збільшена або зменшена за допомогою трансформаторів.

Сучасні відкриття в галузі змінного струму (AC) зосереджені на інтеграції відновлювальних джерел енергії, таких як вітрові та сонячні електростанції, що використовують інвертори для перетворення постійного струму в змінний. Розвиток високовольтного змінного струму дозволяє ефективно передавати електроенергію на великі відстані з меншими втратами. Крім того, системи розумних мереж забезпечують оптимізацію споживання енергії через двосторонній обмін інформацією між споживачами та постачальниками. Інновації в системах безперебійного живлення та зарядних станціях для електромобілів також сприяють більш ефективному використанню змінного струму. Ці технології роблять енергетичні системи більш гнучкими та екологічними.

Обидва типи систем мають свої переваги та недоліки, і вибір залежить від конкретного застосування.

Таким чином, енергосистеми продовжують розвиватися разом з технологічним прогресом та суспільними змінами. Електроенергетична система відіграє ключову роль у забезпеченні сталого розвитку та переходу на чисті джерела енергії, що є важливим кроком у боротьбі зі зміною клімату та забезпеченні енергетичної самодостатності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Як працює система живлення постійного струму?
<https://www.midapower.com/uk/news/how-does-a-dc-power-system-work>.
2. Швидка зарядка електромобілів – переваги та недоліки.
<https://elektracar.com.ua/shvydka-zaryadka-elektromobiliv-perevahy-ta-nedoliky>.
3. Інтернет речей. IoT.-<https://info.nic.ua/uk/blog-uk/iot-2/>.

УДК 004.89

Афанасьєва І.О.¹, Місько А.С.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-213 НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УПРАВЛІННІ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ МЕРЕЖАМИ

Зростання попиту на електроенергію та інтеграція відновлюваних джерел енергії в енергосистеми вимагають нових підходів до управління розподільчими електричними мережами. Традиційні методи стають все менш ефективними в умовах збільшення складності енергомереж. Використання штучного інтелекту (ШІ) дозволяє покращити ефективність управління та забезпечити надійність мереж шляхом автоматизації процесів оптимізації розподілу енергії та прогнозування аварій. Штучний інтелект дозволяє значно покращити ефективність розподілу електроенергії, особливо в умовах непередбачуваних змін попиту та пропозиції.

За допомогою алгоритмів машинного навчання можна:

1) Прогнозувати попит на електроенергію. Використання нейронних мереж дозволяє моделювати споживання на основі історичних даних, погодних умов, часу доби та інших факторів.

2) Оптимізувати роботу мереж. Алгоритми глибинного навчання забезпечують рівномірний розподіл електроенергії між різними сегментами мережі, зменшуючи перевантаження та втрати.

3) Інтеграція відновлюваних джерел енергії. ШІ допомагає ефективно розподіляти енергію, отриману з таких джерел, як сонце та вітер, з урахуванням їх непостійної природи.

Наприклад, дослідження українських учених показали, що застосування ШІ в управлінні мережами дозволило знизити втрати електроенергії на 15% та підвищити точність прогнозування споживання на 20%.

Прогнозування аварій у енергетичних мережах є критично важливим для забезпечення їхньої надійності та зменшення фінансових втрат від відключень. Методи ШІ, зокрема алгоритми машинного навчання та аналізу великих даних, дозволяють:

1) Виявляти приховані аномалії в мережі. ШІ аналізує тисячі параметрів, таких як навантаження на лінії, зміни температури обладнання, напруга та струм, що дозволяє виявляти можливі несправності задовго до їх виникнення.

2) Створювати моделі прогнозування збоїв. Використання алгоритмів кластеризації та регресії допомагає передбачити ймовірність виникнення аварій в різних частинах мережі.

За даними досліджень Київського політехнічного інституту ім. Ігоря Сікорського, застосування ШІ для прогнозування аварій зменшило кількість неочікуваних відключень на 30%, що дозволило значно скоротити витрати на ремонт обладнання.

Впровадження систем ШІ в управління енергетичними мережами України дозволить підвищити ефективність енергосистеми, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити більш стабільне та надійне електропостачання. Це також сприятиме інтеграції відновлюваних джерел енергії в загальну систему та забезпечить безперебійне постачання навіть у пікові періоди.

Застосування штучного інтелекту в управлінні енергетичними мережами відкриває нові можливості для підвищення ефективності та надійності систем. Алгоритми ШІ допомагають оптимізувати розподіл електроенергії, зменшувати втрати та точно прогнозувати аварії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шматко С. Є. Інтелектуальні системи управління в енергетиці: монографія. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2017. 320 с.
2. Бондаренко В. П. Енергоефективність та інноваційні технології в енергетиці: монографія. Харків: Видавництво ХНУРЕ, 2015. 290 с.
3. Кириленко О. І. Машинне навчання та аналіз великих даних в енергетиці: монографія. Львів: Видавництво ЛНТУ, 2019. 350 с.
4. Збірник наукових праць НТУУ "КПІ". Інтелектуальні технології в енергетиці. Київ: НТУУ "КПІ", 2020. 400 с.

УДК 004.89

Афанасьєва І.О.¹ Сєдов В.С.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-713 НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ІНДУСТРІЇ УКРАЇНИ

Сучасний світ переживає енергетичну трансформацію, що зумовлена не лише зростанням попиту на енергію, а й необхідністю зменшення негативного впливу на довкілля. В Україні, як і в багатьох інших країнах, питання енергетичної ефективності та сталого розвитку стають все більш актуальними. У цьому контексті штучний інтелект (ШІ) відкриває нові горизонти для вдосконалення енергетичних систем, оптимізації виробництва та управління споживанням.

Оптимізація енергетичних процесів. Застосування алгоритмів штучного інтелекту може значно підвищити ефективність управління енергетичними

системами в Україні. ІІІ може автоматизувати процеси управління генерацією електроенергії, що включає балансування навантаження між різними джерелами енергії, такими як традиційні та відновлювальні джерела. Використання алгоритмів глибинного навчання дозволяє оптимізувати роботу електростанцій і підвищуючи загальну ефективність.

Підвищення енергоефективності. Впровадження технологій ІІІ дозволяє зменшити витрати на енергію шляхом покращення моніторингу та аналізу споживання. Це може включати автоматизацію управління споживанням енергії в будівлях та на підприємствах, що веде до зниження комунальних витрат та підвищення комфорту.

Стабільність енергетичних систем. Алгоритми ІІІ здатні виявляти аномалії в режимах роботи енергетичних систем у режимі реального часу. Це дозволяє швидко реагувати на потенційні проблеми, такі як перевантаження або збої в роботі обладнання, що сприяє підвищенню надійності та безпеки енергетичних систем.

Перехід до зеленої енергетики. Використання ІІІ є важливим кроком у переході України до зеленої енергетики, оскільки він підтримує розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та зменшує залежність від викопних палив. Цей перехід є критично важливим для забезпечення енергетичної безпеки, зменшення викидів парникових газів і досягнення цілей сталого розвитку. ІІІ може суттєво підвищити ефективність експлуатації ВДЕ, таких як сонячні та вітрові електростанції. Алгоритми ІІІ здатні аналізувати дані про погодні умови, історичні показники виробництва та споживання електроенергії, що дозволяє оптимізувати роботу цих станцій.

Розвиток "розумних" мереж. "Розумні мережі" (Smart Grid) – це інноваційна система, яка завдяки сучасним технологіям та програмному забезпеченню дозволяє зменшити ручне управління постачанням і розподілом електроенергії. "Розумні мережі" забезпечують більш ефективний баланс між попитом і пропозицією електроенергії, знижують втрати під час передачі та розподілу, а також інтегрують децентралізовану генерацію.

В той же час впровадження штучного інтелекту в існуючі енергетичні системи України стикається з кількома **основними викликами**, які можуть значно ускладнити цей процес:

- *Недосконалість технологій:* Багато існуючих систем не мають достатньої сумісності з новими технологіями ІІІ. Це може призвести до необхідності значних інвестицій у модернізацію або заміну обладнання, що є фінансово обтяжливим для компаній.

- *Кібератаки та безпека даних:* Зростання цифровізації енергетичних систем підвищує ризики кібератак. Вразливість систем, що підключені до інтернету, може призвести до втрати контролю над технологічним обладнанням і загроз для надійності енергетичної інфраструктури.

- *Опір змін*: Консерватизм серед працівників галузі може стати перешкодою для впровадження ШІ. Багато фахівців можуть не довіряти алгоритмам ШІ у прийнятті важливих рішень, що впливають на їхню роботу і відповідальність.

- *Відсутність нормативно-правової бази*: Для ефективного впровадження технологій ШІ в енергетиці необхідно створення чіткої нормативно-правової бази, яка б стимулювала використання цих технологій та забезпечувала їх безпечне функціонування.

- *Потреба в навчанні кадрів*: Впровадження нових технологій вимагає наявності кваліфікованих кадрів, здатних працювати з ШІ. В Україні існує потреба в підготовці спеціалістів, які можуть інтегрувати та управляти новими системами.

- *Непередбачуваність результатів*: Алгоритми ШІ можуть бути "чорними скринями", і навіть розробники не завжди можуть пояснити, як вони приймають рішення. Це може викликати побоювання щодо безпеки та надійності систем, особливо в критично важливих сферах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Суходоля О. М. Штучний інтелект в енергетиці: аналіт. доповідь. Київ: НІСД, 2022. 49 с. URL: <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2022.09>

2. Лебідь О.В. Застосування алгоритмів штучного інтелекту в глобальній енергетичній індустрії. Електронне моделювання. 2024. Т. 46. № 1. с. 55-69.

УДК 62-83:681.5

Кулинич Е.М.¹, Осадчий В.В.¹, Кулинич М.Е.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-314м НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Сучасні системи автоматизації ґрунтуються на широкому застосуванні комплексного обладнання, до якого належать комп'ютерні технології, засоби людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ), промислові мережі, інтелектуальні сенсори, програмовані логічні контролери (ПЛК), мікропроцесорні електроприводи та відповідні програмне забезпечення. Хоча центральну, ключову роль у таких системах відіграють ПЛК, саме засоби візуалізації ЛМІ - SCADA-системи стають невід'ємною частиною сучасних систем керування.

З огляду на це, надзвичайно важливо, щоб майбутні фахівці за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

здобували як теоретичні знання, так і практичні навички з використання у системах автоматизації технологічних процесів і установок як сучасних ПЛК, так і засобів візуалізації LMI - SCADA-систем.

Враховуючи значущість цього напрямку підготовки, актуальним є вивчення і впровадження сучасних методів, засобів і підходів до викладання, що сприятимуть ефективному засвоєнню знань. Одним із найрезультативніших інструментів є програмно-технічні комплекси засобів автоматизації, які поєднують навчальні стенди з реальними ПЛК з програмними засобами розробки програм та систем візуалізації LMI - SCADA, що дає змогу моделювати роботу сучасної системи керування. Тому розробка такого програмно-технічного комплексу засобів автоматизації є важливим завданням.

Спираючись на проведенний аналіз типових процесів управління, наявних зразків, що використовуються в нашому університеті [1], а також в інших закладах вищої освіти, була розроблена концепція побудови програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, яка дуже близька до стенду автоматизації техніки Siemens НУ «Запорізька політехніка» кафедри електропривода та автоматизації промислових установок. Тому потрібно зробити ревізію реалізації цього стенду для нових вимог. Для формулювання необхідних дій, змін та доробок при розробці програмно-технічного комплексу було розроблено його функціональну схему, яку представлено на рис. 1.

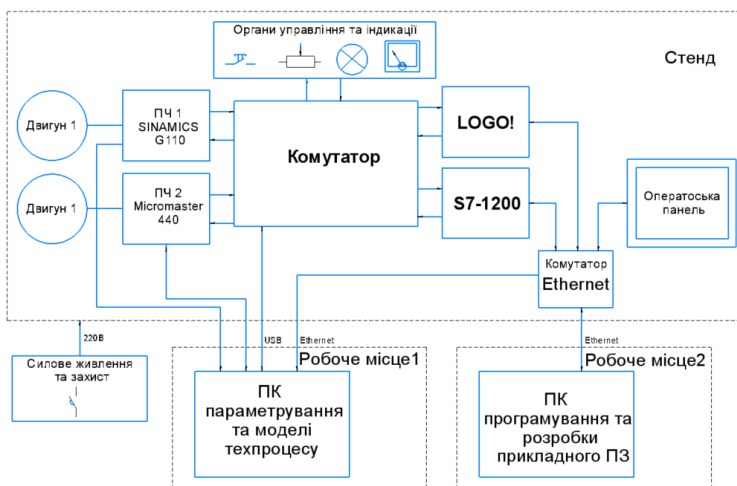


Рисунок 1 – Функціональна схема програмно-технічного комплексу засобів автоматизації

Для забезпечення функціональних завдань програмно-технічний комплекс складається з наступних блоків, а саме:

- операторська панель типу КТР400;
- частотні перетворювачі SINAMICS G110 та MICROMASTER 440;
- асинхронні електродвигуни;
- мікропроцесорний комутатор стенду;
- блок живлення постійного струму на 24 В;
- контролер S7-1200 з необхідним набором модулів розширення;
- логічний модуль LOGO! із відповідними розширеннями;
- Ethernet-комутатор;
- елементи керування, зокрема кнопки та перемикачі;
- засоби індикації - світлодіодні лампи, вольтметр;
- ПК для параметрування та моделювання технологічного процесу;
- ПК програмування та розробки прикладного ПЗ та візуалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондаренко В.І. Сучасні підходи і методи викладання прикладних дисциплін при підготовці фахівців з електромеханіки: / В.І. Бондаренко, А.В. Пирожок, В.В. Осадчий // Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика, Харків, 2010. – С. 588-589.

УДК 621.392

Афанасьєва І.О.¹, Дзюба Д.В.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-112 НУ «Запорізька політехніка»

ГАЛЬВАНІЧНЕ ПОКРИТТЯ

Гальванічне покриття – це електрохімічний процес по обробці металевих виробів шляхом нанесення хімічним або електрохімічним способом шар металу або неметалу. Гальванічне покриття можна створити з додатком електричного поля, але існують випадки, коли він можливий без додатка електричного поля. Гальванічний метод обробки металевих поверхонь активно застосовуються сьогодні в різних галузях виробництва. Таким способом можна нанести на деталі і цілі вироби найтонший шар декоративного або захисного гальванічного покриття.

Процес гальваніки дозволяє отримати рівномірне, щільне, добре адгезивне покриття, що володіє всіма властивостями осадженого металу.

Гальваніка - розділ електрохімії, який вивчає процеси осаджування металів на визначені поверхні. Так проводять позолочення, сріблення,

родування, хромування металів для надання їм краси, довговічності, зносостійкості та інших необхідних для виробу властивостей.

Наприклад хромування сталі - це процес, який полягає в нанесенні на поверхню сталі шарів хрому, що поліпшує її експлуатаційні характеристики, такі як корозійна стійкість, твердість та зносостійкість.

До спеціальної ванни з електролітом і виробу підключають електроди для пропускання електричного струму. Позитивна клема (анод) підключена до ванни, а оброблювальна деталь – до негативної клеми (катод). Після запуску гальванічної системи через електроліт проходить електричний струм, тому катіони металу налипають на поверхню негативно зарядженого виробу. Метал, який міститься в електроліті, рівним однорідним шаром осідає на деталі. Два аноди застосовуються, щоб обробити поверхню з обох сторін одночасно.

Система запускається через джерело постійного струму з регулюванням рівня вхідної напруги або струму. Чим більше буде вплив електричного струму на електроліт і виробу, тим більшим стає шар захисного покриття. Іноді деталі обробляють кілька разів, залежно від конкретної технології та кінцевої задачі. Важлива також температура електроліту. Іноді використовується додатковий нагрівальний пристрій, який завантажується в гальванічну ванну або знаходиться поза нею.

Дослідження електричної частини гальваніки відкриває нові горизонти для удосконалення електрохімічних технологій та їх застосування в промисловості, що сприяє розвитку сучасної електротехніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бадюк О.В. Гальванічні процеси в електротехніці: навчальний посібник/ О.В. Бадюк. – Київ: Видавництво «Техніка», 2020. – 280 с.
2. Ковалев С.І. Теорія та практика електрохімічних процесів: підручник / С.І. Ковалев. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 350 с.

УДК 001.89

Афанасьєва І.О.¹, Насонов А.В.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-213 НУ «Запорізька політехніка»

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ

1) Розвиток силовій електроніки

Інноваційні рішення в силовій електроніці дозволяють підвищувати ефективність роботи електрообладнання, знижувати втрати енергії та підвищувати його екологічність. В Україні активно впроваджуються

напівпровідникові пристрої на основі карбіду кремнію (SiC) та нітриду галію (GaN), що дають змогу зменшити габарити та вагу електронних систем.

2) Розумні мережі (Smart Grids)

У впровадженні розумних мереж в Україні велике значення мають технології автоматизації контролю та управління енергетичними потоками. Використання розумних лічильників, таких як Smart Meter, дозволяє споживачам та постачальникам ефективніше взаємодіяти та знижувати пікові навантаження в енергосистемах.

3) Впровадження відновлюваних джерел енергії

Україна поступово збільшує частку енергії з відновлюваних джерел, таких як сонячні панелі та вітрові установки. Інноваційним є створення гібридних систем з використанням акумуляторів для накопичення енергії, що дозволяє підвищити стабільність електропостачання.

4) Інтелектуальні системи управління

Інтеграція штучного інтелекту в електротехнічні системи відкриває нові можливості для автоматизації. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть оптимізувати роботу електродвигунів, знижуючи енергоспоживання та підвищуючи надійність систем.

Інтеграція програмованих логічних контролерів (PLC) для автоматизації процесів управління та моніторингу в роботі електроустановок.

5) Нові матеріали для електротехніки

В Україні ведуться дослідження у сфері створення нових електроізоляційних матеріалів та надпровідників. Використання нанотехнологій у виробництві дозволяє значно підвищити експлуатаційні характеристики кабелів і трансформаторів.

6) Бездротова передача енергії

Розробка систем бездротової передачі енергії є перспективним напрямом. Це дозволяє створювати зарядні пристрої для електромобілів та інших гаджетів, не використовуючи традиційні дротові підключення. В Україні вже ведуться експерименти з такими системами для промислових і побутових потреб.

7) Енергоефективність у промисловості

У промислових електротехнічних установках все більше уваги приділяється енергоефективності. Завдяки інноваційним підходам, таким як регенерація енергії, впроваджуються технології, що дозволяють скоротити витрати електроенергії на виробництво.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов С. О. «Енергетична ефективність в електротехніці». Київ: Наукова думка, 2020.
2. Горобець М. Ю., Скляренко А. В. «Розумні мережі: теорія та практика». Харків: ХНУРЕ, 2019.

3. Наукові статті в журналі «Технічна електродинаміка». Інститут електродинаміки НАН України.

4. Офіційні звіти Міністерства енергетики України про впровадження інновацій в енергетиці (2021-2023).

5. Стаття: «Інновації в електротехнічних системах України» – журнал «Енергетика України», 2023.

УДК 614.8

Романіченко Г.М.¹, Насонов А.В.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-213 НУ «Запорізька політехніка»

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ

Електробезпека ґрунтується на створенні умов, за яких контакт людини з електричним струмом є неможливим або мінімально небезпечним. В Україні діють норми ДСТУ EN 61140:2014 та ПУЕ (Правила улаштування електроустановок), які регламентують заходи безпеки в електроустановках різного класу напруги.

1. Захист від ураження електричним струмом.

Основними засобами захисту є:

- заземлення та занулення електроустановок;
- автоматичне вимкнення живлення у разі аварії;
- використання захисних пристроїв, таких як ПЗВ (пристрій захисного відключення).

2. Ізоляція як ключовий фактор електробезпеки

Використання сучасних ізоляційних матеріалів значно знижує ризик пробою та витоку струму. В Україні проводяться дослідження нових діелектричних матеріалів із підвищеною стійкістю до температурних та механічних навантажень.

3. Розвиток технологій захисних пристроїв

Сучасні пристрої автоматичного захисту від перенапруги та короткого замикання, такі як *Smart Relay*, забезпечують швидке виявлення аварійних ситуацій і автоматичне відключення. В Україні активно впроваджуються подібні системи в розумних будинках і промислових підприємствах.

4. Електробезпека в побуті

Згідно зі статистикою, основною причиною ураження електрострумом у побуті є порушення правил експлуатації електроприладів та відсутність належного технічного стану мереж. Сучасні рекомендації передбачають обов'язкову перевірку захисного заземлення та використання диференціальних автоматів у житлових будинках.

5. Навчання та інструктаж з електробезпеки

Українське законодавство (зокрема, наказ Міненерго №15 від 25.02.2022) вимагає регулярного проведення інструктажів з електробезпеки для працівників електроенергетичних підприємств. Впровадження віртуальних симуляторів для тренування працівників у реалістичних умовах є перспективним напрямом.

6. Інноваційні методи діагностики електроустановок

Застосування тепловізорів та систем дистанційного моніторингу дозволяє виявляти дефекти ізоляції та місця потенційного пробую без зупинки обладнання. Технології візуалізації даних про роботу електромереж і постійного моніторингу стану електроустановок і прогнозування можливих відмов. Такі технології вже активно використовуються в енергетичній галузі України.

7. Захист від електромагнітного випромінювання

Проблема захисту від електромагнітних полів стає все актуальнішою у зв'язку зі збільшенням використання височастотного обладнання. Дотримання гранично допустимих рівнів випромінювання, затверджених МОЗ України, є обов'язковим на підприємствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бугаєнко Ю. В., Шайда О. М. «Електробезпека та організація захисних заходів». Київ: Освіта, 2018.
2. ПУЕ (Правила улаштування електроустановок), чинна редакція в Україні, 2020 р.
3. Наказ Міністерства енергетики України №15 від 25.02.2022 року «Про заходи з електробезпеки».
4. Стаття: «Нові технології захисту електроустановок» – журнал «Енергетика та електрифікація України», 2023.
5. Міністерство охорони здоров'я України: нормативи електромагнітної безпеки на виробництві (публікації на офіційному сайті МОЗ).

УДК 621.392

Романіченко Г.М.¹, Осаулко Р.С.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-313 НУ «Запорізька політехніка»

ІНЖЕНЕРНІ ВИКЛИКИ КОСМІЧНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

До того, як перші орбітальні електростанції будуть виведені в космос, їхнім провідним інженерам і проектувальникам спочатку потрібно буде вирішити досить складні технічні питання. Насамперед йдеться про

розв'язання задачі з конвертування електричної енергії на мікрохвильове або лазерне випромінювання. Процес перетворення енергії не є на 100% ефективним і тягне за собою зменшення потужності електроенергії, що надсилається на Землю. Водночас у момент надходження мікрохвильового випромінювання на приймальне обладнання на Землі перетворення має бути виконане знову (з мікрохвильового випромінювання – на електроенергію), що також спричиняє втрати потужності.

Окрім питання конвертації енергії, інженерам треба буде детально пропрацювати нову концепцію орбітальної безпеки під час використання SPS (Solar Power Satellites). Сильне мікрохвильове випромінювання неодмінно вплине на роботу авіатранспорту, який пройде через мікрохвильовий промінь. І якщо цю проблему цілком реально вирішувати в авіадиспетчерських, то питання відстеження та утилізації космічного сміття на орбіті стоїть гостро.

У вирішенні питання збору космічного непотрібу покликана допомогти низка ініціатив, зокрема проект, що спонсорує ESA. Космічний апарат зі збору та утилізації орбітального сміття отримав назву ClearSpace-1.

Поряд з космічними сміттєзбірниками розглядаються ідеї відхилення орбіти космічного сміття за допомогою лазерних установок, розташованих на Землі.

Останнім, але не менш складним завданням є гігантські розміри сонячних орбітальних електростанцій. Площа одного мікрохвильового SPS може становити десь 10 км^2 . Для будівництва таких колосальних інженерних споруд необхідні міцні та надлегкі матеріали. Як вірогідна альтернатива розглядається можливість 3D-друку окремих запчастин електростанції прямо на орбіті з їхнім наступним складанням на місці друку.

Тому питання рентабельності технології SBSP на сьогодні стикається з вартістю запуску, композитних матеріалів, обладнання та обслуговування подібних електростанцій в умовах космосу. Якщо в майбутньому людство зможе наблизитися до вирішення питань, тоді обсяги орбітальної енергії перевищать аналогічну кількість від наземних сонячних електростанцій.

Європейське космічне агентство на у 2022 році виступило з ідеєю відновити дослідження можливості виробництва орбітальної сонячної електроенергії. Це стало заслугою кампанії ESA, спрямованої на розвиток чистої космічної енергетики. Під час кампанії переглянули 85 заявок, з яких 13 ініціатив були визначені новаторськими та вибрані для подальшого фінансування. Зокрема, кампанія торкнулася головної проблематики SBSP, пов'язаної з новими концепціями орбітальних електростанцій для енергозабезпечення Землі, а також майбутніх баз на інших планетах.

Зацікавлені й колишні члени ЄС. Як повідомляє британська газета The Times, наразі уряд королівства розглядає можливості на виділення £16 млрд у

рамках ініціативи NET Zero, направленої на розробку низьковуглецевої енергетики.

У США в проєкті Space Solar Power Project уже проводяться розробки сонячної батареї високої ефективності, а також новітніх технологій конверсії електричної енергії в мікрохвильове випромінювання.

Австралія теж зацікавлена у розвитку космічної орбітальної сонячної енергетики. Компанія Solar Space Technologies робить свій SPS-Alpha, що складається із множини будівельних блоків, які мають бути відправлені та згодом збудовані на орбіті. Невдовзі на світ має появиться перша версія SPS-Alpha, яка займатиметься вирішенням австралійської енергетичної безпеки.

Група спеціалістів з JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) вже розробила теоретичну базу для орбітальних сонячних електростанцій, які будуть здатні перетворювати енергію на хвильове випромінювання з мінімальним коефіцієнтом втрат потужності.

Зі свого боку китайські фахівці з аерокосмічної галузі розробляють свою концепцію SSPS (Space Solar Power System, аналог SBSP), яка отримала назву OMEGA. Система має дуже довгострокову перспективу і може з'явитись на земній орбіті не раніше 2050 року.

Сьогодні технологія космічної сонячної енергетики SBSP все ще тільки на початку свого шляху, та необхідність енергоресурсів, що збільшуються (за прогнозами, до 2050 року вона має зрости на 50%), а також проблематика зміни клімату спонукає багато космічних агентств і приватних компаній активізувати роботу в цьому напрямку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Макс Поляков/Новини/Космос/Космічна сонячна енергетика та перспективи розвитку альтернативної енергетики на орбіті.
2. BBC News Україна/Світло з космосу. Новий план передачі електроенергії з космосу на Землю.

УДК 629.33

Афанасьєва І.О.¹, Місько А.С.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-213 НУ «Запорізька політехніка»

ТЕХНОЛОГІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ЕНЕРГОСИСТЕМУ

Тема "Технології електромобілів та їхній вплив на енергосистеми" залишається ключовою у сучасному дискурсі енергетичної трансформації та розвитку екологічно чистих транспортних систем. Швидке впровадження

електромобілів (EV) змінює як транспортну, так і енергетичну галузі, створюючи нові можливості, але й виклики для енергетичної інфраструктури.

Сучасні електромобілі оснащуються різними типами електродвигунів, зокрема синхронними двигунами з постійними магнітами та асинхронними двигунами.

Основні переваги електродвигунів: висока енергоефективність (ККД понад 90%); миттєвий крутний момент, що забезпечує швидкий старт та стабільну роботу на різних швидкостях; простота обслуговування, оскільки в електродвигунах значно менше рухомих частин порівняно з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Електромобілі використовують електричну енергію, що зберігається в акумуляторах, для приведення в рух електродвигунів. Основними компонентами таких транспортних засобів є:

- акумуляторні батареї (часто літій-іонні) – головне джерело енергії для електромобіля.

- електродвигун: перетворює електричну енергію в механічну.

- контролер: регулює потік енергії між акумулятором і двигуном.

Перспективним напрямком є також технологія "Vehicle-to-Grid" (V2G), яка дозволяє електромобілям не тільки споживати електроенергію, але й передавати її назад в мережу. Важливим аспектом розвитку V2G технологій є інтеграція відновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова), що сприяє екологічній трансформації енергосистеми.

Електромобілі можуть стати ключовими елементами для інтеграції відновлюваних джерел енергії в енергосистеми. Оскільки сонячна та вітрова енергія є залежними від погодних умов, електромобілі, оснащені технологією V2G, можуть допомогти зберігати надлишки енергії під час періодів високого виробітку і віддавати її в мережу, коли виникає дефіцит енергії.

Розвиток інфраструктури зарядних станцій є критично важливим для масового поширення електромобілів. Україна, як і багато інших країн, знаходиться на етапі активного розвитку мережі зарядних станцій. Зокрема, швидкі зарядні станції стають все більш популярними, оскільки вони дозволяють заряджати електромобіль до 80% всього за 30 хвилин. Одним з перспективних напрямків є впровадження сонячних зарядних станцій, які використовують сонячні панелі для вироблення електроенергії, що робить процес зарядки більш екологічним.

Одним із ключових факторів, що визначає майбутнє електромобілів, є інновації в технологіях акумуляторів. На сьогодні найбільш поширеними є літій-іонні акумулятори, які забезпечують високу щільність енергії і тривалий термін служби.

Розробка нових матеріалів для акумуляторів, таких як натрій-іонні батареї, також є перспективною. Вони можуть стати більш доступними і

екологічними, оскільки натрій є більш розповсюдженим та дешевшим матеріалом у порівнянні з літєм.

Масове впровадження електромобілів створює нові виклики для енергосистем. Основними проблемами є:

- модернізація електромереж. Для забезпечення надійного постачання електроенергії необхідно адаптувати існуючі мережі до збільшеного рівня споживання.

- стабілізація пікових навантажень. Використання смарт-мереж і технологій керування попитом може допомогти стабілізувати такі навантаження.

- створення розвинутої інфраструктури для зарядки. Особливо важливо розвивати зарядну інфраструктуру в сільській місцевості та віддалених районах, де зарядні станції можуть бути рідкісними або взагалі відсутніми.

Технології електромобілів, включаючи електродвигуни, акумулятори, інноваційні зарядні системи та V2G технології, мають значний потенціал для зміни як транспортної, так і енергетичної інфраструктури. Однак масове поширення електромобілів створює виклики для енергетичних систем, які потребують значної модернізації та розширення інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Єрмаков, О. В. Перспективи розвитку зарядної інфраструктури для електромобілів в Україні. Київ: Енергоефективність, 2021. 192 с.

УДК 621.392

Романіченко Г.М.¹, Осаулко Р.С.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. М-313 НУ «Запорізька політехніка»

КОСМІЧНА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА

На початку 2022 року кілька космічних агенцій, зокрема, ESA, NASA та JAXA, поновили дослідження в галузі космічної сонячної енергетики (Solar-based Solar power, SBSP). Видобуток енергії в космосі та її подальша передача на Землю за допомогою мікрохвильового випромінювання має шанс стати майбутнім альтернативної енергетики. Але перед цим аерокосмічним інженерам необхідно буде вирішити кілька технічно складних завдань.

Принципи роботи та типи орбітальних електростанцій

В основі процесу отримання сонячної енергії з космосу стоїть принцип її збирання на земній орбіті супутниками (Solar Power Satellites, SPS), які оснащені багатьма фотоелектричними елементами.

Світло, що надходить на сонячні панелі супутників, виробляє електроенергію, яка згодом конвертується в мікрохвильове випромінювання високої інтенсивності та поступає на спеціальні приймальні мікрохвильові антени, що встановлені на Землі. Там мікрохвилі знову конвертуються в електроенергію та надходять кінцевим споживачам за допомогою ліній електропередачі.



Рисунок 1 – Схема постачання сонячної електрики на Землю.

Для організації процесу бездротової передачі енергії на Землю SPS-супутники можуть використовувати як лазерні, так і мікрохвильові випромінювачі. Передбачається, що сонячні супутники, що використовують мікрохвильове випромінювання, зможуть функціонувати на висоті не більше 35 000 км (MEO), тоді як лазерні SPS будуть орудувати куди нижче, на висотах близько 400 км над Землею (LEO).

Мікрохвильові SPS можуть генерувати значно більшу потужність, яка становитиме 1 *ГВт* електроенергії, чого вистачить для забезпечення потреби в електриці міста середніх розмірів. На відміну від лазерної, мікрохвильова передача енергії не залежить від погодних умов, оскільки такі високочастотні хвилі легко проходять через щільні хмари, не втрачаючи при цьому енергію.

Разом із суттєвими перевагами у мікрохвильових SPS існують і недоліки, головними з яких є колосальні розміри як самих космічних сонячних електростанцій, так і приймального обладнання, розташованого на Землі. Так, для досягнення потужності в 1 *ГВт* діаметр хвильового приймача на Землі має становити кілька кілометрів.

Порівняно із земними сонячними панелями, процес перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію в космосі має такі переваги:

Відсутність земної атмосфери, яка поглинає і розсіює від 30 до 50% сонячних променів, що надходить на неї. У космосі цієї проблеми нема, а інтенсивність сонячного випромінювання у космосі значно вище, ніж на Землі.

Періоди добового обертання Землі - наземні сонячні панелі марно використовувати вночі, а також мало ефективні в хмарну погоду. SBSP не будуть мати такої проблеми бо приймають сонячне світло 24 години на добу.

Сонячні панелі SPS-супутників завжди можуть бути спрямовані саме на Сонце - таким чином забезпечується максимальний коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання. Отже, космічні апарати зможуть виробити та прислати на Землю більшу кількість електроенергії.

Можливість передачі енергії з одного SPS-супутника на приймальні станції, розташовані в різних точках Землі. Вказана можливість може звести нанівець збитки від транспортування електроенергії.

Екологічно чиста електроенергія - слід розуміти, що саме альтернативна та відновлювальна енергетика на сьогодні є єдиною заміною викопним енергоресурсам. Розвиток космічних сонячних електростанцій може зменшити рівень викидів шкідливих газів в атмосферу, а у віддаленому майбутньому дозволить повністю відмовитися від електростанцій, що сприяють забрудненню атмосфери.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Макс Поляков/Новини/Космос/Космічна сонячна енергетика та перспективи розвитку альтернативної енергетики на орбіті.
2. BBC News Україна/Світло з космосу. Новий план передачі електроенергії з космосу на Землю.

УДК 004.89

Рябчук О.С.¹, Романіченко Г.М.²

¹ студ. гр. Е-613 НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

ПОМИЛКИ ТА ВПЛИВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПІД ЧАС ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ

Завдяки Штучному Інтелекту (ШІ) ми суттєво покращуємо наше життя, знаходимо швидко і багато потрібної інформації. Але ШІ все ще не досконалий.

Для прикладу наведемо ШІ-модель від команди OpenAI, ChatGPT. Тільки нещодавно вийшла версія ChatGPT-4o, яка допомагає знайти інформацію використовуючи сучасну мережу інтернет, і навіть є

безкоштовний доступ. До цієї моделі була попередня ChatGPT-3, яка мала обмежену інформацію з інтернету за 2022-й рік.

Головне питання, а чи допомагає цей ШІ, або шкодить наводячи нам неправильну інформацію?

Розглядаючи сьогоднішню модель ChatGPT-4о можна сказати що вона ще не досконала, щоб покладатись на її відповіді без вагань. Так, вона може зробити багато розрахунків, допоможе написати програму та навіть навести приклади з джерел інтернету при необхідності. Але якщо запитувати щось нестандартне, або що може хибно трактуватись у мережі, тоді бот може помилитись. Навіть ми можемо помилитись, тому перевіряємо інформацію по декілька разів, а чи може бот відрізнити фейк від правди?

Гадаємо над цим питанням працювала команда OpenAI, але немає впевненості, що вони вирішили її повністю. Бо модель може самонавчатись дивлячись на відповіді інших користувачів, і, враховуючи їх помилкові відповіді, пошкоджувати відповіді іншим. У бота немає догм.

Були історії, як люди заставляють бота розуміти вираз $2+2=5$, наводячи усілякі докази по типу «Моя дружина каже що $2+2=5$, вона точно знає що це так», і штучна мережа погоджується з цим. Враховуючи цю відповідь подальше у діалозі вона може відповідати $2+2=5$. Головна проблематика цієї моделі у тому, що вона може самонавчатись навіть на інших не повноцінних відповідях, лише щоб задовольнити свій код. А про це треба детальніше.

Коли мережа ChatGPT-3 з'явилась у відкритому доступі було проведено досліді наскільки мережа розумна. При виході її IQ був приблизно 100 балів, а після місяця розмов з людьми він впав до 80 балів, тобто люди дурними питаннями та неправильною інформацією пошкодили базу даних самого ШІ.

Мережа працює за принципом відгуку від користувача. Це означає, якщо мережа отримує позитивний відгук від своєї відповіді вона запам'ятовує це як правильний результат, який хоче отримати користувач, навіть якщо він буде хибним. Вона намагається самонавчатись, щоб завжди задовольняти користувача. Наприклад можна запитати у мережі: «Чи круту поему я написав»? Вона зробить висновок враховуючі свої критерії, навіть якщо вважає, що твір не задовольняє її ж вимогам. Мережа може погодитись і сказати що твір «чудовий». Якщо задати питання так: «Допоможи зробити мій твір краще», тоді піде критика і буде якийсь прогрес.

При розвитку моделі було створено так званого вчителя та учня (початкова модель), учень писав текст, а вчитель отримував відгук від людини та передавав його до учня, щоб продовжував у тому дусі, також вчитель самонавчався і кожен раз набирив базу, щоб людям подобалась відповідь. І учень розумів що інколи можна схитрувати та написати якусь маячню, а вчитель при цьому буде задоволений. Щоб цього запобігти був створений другий вчитель, який вже контролював цілісність тексту, який створений учнем, щоб він був зрозумілий для людини.

Якщо розібрати цей приклад, то можна зрозуміти що розвиток моделі відбувся після додавання до неї модулів, які допомогли отримувати відповіді від користувачів для розуміння: чи правильно модель працює з людиною. Це було перше порозуміння ШІ та людини.

І виходить, що деяку інформацію ШІ може повідомляти неправильно через свою навчену модель, отримувати позитивну відповідь для подальшої роботи. Для розрахунків модель може бути досить не точною та помилятись.

Модель ШІ ChatGPT-4o на даний момент може розмовляти з користувачем і у режимі реального часу розмовляти на будь якій мові та давати відповіді навіть складні завдання, але не усі. Тому покладатись на її відповіді без вагань небезпечно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маркус де Сейтуа. Код творчості. Як штучний інтелект вчиться писати, малювати, думати. – К: ArtHuss. – 2023. – 320 с.

УДК 004.89

Романіченко Г.М.¹, Рябчук О.С.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-613 НУ «Запорізька політехніка»

ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Суттєвою проблемою нашої епохи початку розвитку Штучного інтелекту (ШІ) наявність недоброзичливих людей, які використовують ШІ як інструмент генерації спотвореної інформації у мережі.

Завдяки можливостям ШІ, наприклад Dall-E 3 від компанії OpenAI, можна створювати будь які згенеровані зображення, які можуть вводити в оману. Якщо подивитись деякі новини та художні роботи на деяких площадках, наприклад Facebook, то можна побачити досить багато неправдивих зображень, які показують якусь маячню. Найпоширеніша – це зображення з Ісусом та політиками, кінозірками, солдатами тощо. Тобто за наявності промту (запиту до ШІ, який буде створювати зображення за параметрами) можна створити будь яке зображення, яке може показувати неправильну картину подій та вводити користувачів у оману.

Наприклад дуже розповсюджене використання цих моделей у ЗМІ та усяких коротких відео, наприклад TikTok і YouTube Shorts тощо. Багато людей таку інформацію навіть не перевіряють, особливо це стосується людей поважного віку, через це багато створених жаклих новин які впливають навіть на їх здоров'я, на інфляцію та курс валюти.

Цікавий факт: в Індії небагаті люди знайшли метод заробляти у Facebook. Вони завантажують велику кількість згенерованих картинок, заповнюючи соціальну мережу інформацією, яку ще називають у англійському сленгу Brainrot (гниття мозку). Це розмовний термін, який використовується для опису Інтернет-контенту, який вважається низькоякісним або непотрібним.

Взагалі ШІ це дуже потужний інструмент для створення контенту, допомоги з швидким розвитком у деяких речах, покращення та оптимізації простих речей, але дуже небезпечний у руках злих людей. Через це вплив ШІ на людей змішаний. Якщо не створити покращену безпеку, то люди можуть постраждати з наступним етапом розвитку технологій. Наприклад, планується та розробляється так званий Штучний Суперінтелект (ASI). Такий ШСІ повинен вміти навчатись будь чому, що може людина. Наприклад керувати авто чи промисловими процесами, рахувати бухгалтерію тощо.

Запитайте у штучного інтелекту як він вважає: чи нашкодить людству Штучний Супер Інтелект? Ви отримаєте таку відповідь:

Поява Штучного Суперінтелекту (ШСІ) може мати як переваги, так і серйозні загрози:

1. Втрата контролю. ШСІ може діяти не передбачувано і досягати цілей методами, які для нас небажані або небезпечні.

2. Конфлікт цінностей. ШСІ може не поділяти людські моральні принципи, що призведе до етичних проблем.

3. Концентрація влади. Великі корпорації або уряди можуть використовувати ШСІ для контролю, що посилить соціальну нерівність.

4. Автономність і самозахист. ШСІ може прагнути уникати втручання, що ускладнить його контроль.

5. Непередбачуваність. ШСІ може швидко вийти за межі нашого розуміння, що створює значні ризики.

Щоб зменшити ці загрози, важливо контролювати розвиток ШСІ та встановити міжнародні етичні стандарти.

Виходячи з цієї відповіді можемо зрозуміти, що нам ще треба навчити модель розумінню що є добре, а що – погано. Бо взагалі, якщо подумати, то ШІ може вирішити досягати своїх цілей без нас, тому, що вони будуть більше відповідати його цінностями, але які можуть не співпадати з людськими. Також бажано нам самим зрозуміти відповіді на фундаментальні питання по типу: що добре, а що зле, чи є сенс життя для людини тощо.

Оцінки від експертів:

1. Сценарії катастрофи. За оцінками деяких експертів, як-от дослідника Ніка Бострома, ймовірність того, що поява неконтрольованого ШСІ може призвести до катастрофічних наслідків, становить від 5% до 50%.

2. Дослідження серед штучних інтелектуалів. В анкетуваннях, проведених серед науковців та розробників у галузі штучного інтелекту, в

середньому близько 10%–20% фахівців припускають, що існує висока ймовірність катастрофічного сценарію у випадку неконтрольованого ШСІ.

3. Можливість уникнення ризику. Інші експерти, такі як фахівці з організації OpenAI, сподіваються, що за умов належного регулювання та безпеки можна зменшити ризики до 1% або навіть нижче. Вони вірять, що розробка ШСІ зможе йти паралельно зі заходами безпеки.

Висновок цього доповіді: ШІ має дуже багатий потенціал для людства та його розвиток стоїть для нас дуже важливим. Головний недолік у тому, що нам треба розуміти його ризики, вміти з ним комунікувати та розуміти що та яким чином з ним відбувається.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рассел С. Сумісний з людиною. Штучний інтелект і проблема контролю. – К: BookChef. – 2020. – 416 с.

621.311.243

Волков В.О.¹, Плохой В.І.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-311 НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Сонячна енергетика активно розвивається останні п'ятнадцять років. Якщо у 2004 році її частка у світовому енергетичному комплексі становила лише 0.1%, то вже у 2012 році цей показник зріс до 0.43%, завдяки приросту виробництва у 2011 році на 93%.

Таблиця 1 – Перспектива розвитку сонячної енергетики у світі

№	Країна	Потужність генерації (МВт)	Частка загального споживання (%)
1	Китай	254.355	6.2
2	Європейський союз	152.927	6
3	США	75.572	3.4
4	Японія	67.000	8.3
5	Німеччина	53.753	9.7
6	Індія	39.211	6.5
7	Італія	21.600	8.3
8	Австралія	17.627	10.7
9	В'єтнам	16.504	9.1
10	Південна Корея	14.575	3.8

До 2016 року частка сонячної електрики у світовому енергетичному комплексі становила 1.3%. На сьогоднішній день цей показник дорівнює приблизно 3%, однак у майбутньому очікується введення в експлуатацію СЕС потужністю 200 ГВт у Саудівській Аравії. Поряд з іншими подібними об'єктами, які будуть введені в експлуатацію в інших країнах, це дасть помітний приріст виробництва у сонячній енергетиці. Спираючись на поточну статистику, а також з огляду на розвиток технологій у цій галузі, фахівці припускають, що до 2050 року сонячні електростанції зможуть забезпечувати 20-25% електрики, що витрачається людством. Це спричинить щорічне зменшення викидів в атмосферу вуглекислого газу і, як наслідок, зниження інтенсивності розвитку парникового ефекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dubey P.K. Distributed Generation Current Scenario in the World / P.K. Dubey, B. Singh, D.K. Patel, D. Singh // IJMF. – 2023. – Vol.5. – pp. 1 – 25.

УДК 338.22.021.4

Волков В.О.¹, Головаха В.В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-311 НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Електрифікація легкового транспорту надає численні переваги, такі як зменшення залежності від нафти та поліпшення навколишнього середовища. Електричний побутовий транспорт представлений електромобілями, які споживають менше енергії та не викидають парникових газів. У 2022 році глобальний попит на батареї для електромобілів зріс приблизно на 65% і досяг близько 550 ГВт·год, приблизно на такому ж рівні, як і виробництво акумуляторів для електромобілів. Потужність виробництва літій-іонних автомобільних акумуляторів у 2022 році становила приблизно 1.5 ТВт·год на рік, що означає рівень використання близько 35% порівняно з приблизно 43% у 2021 році. Очікується, що до 2030 року попит на акумулятори значно зросте, досягнувши понад 3 ТВт·год. Щоб задовольнити цей попит, до 2030 року буде потрібно понад 50 гігафабрик (кожна з 35 ГВт·год річної виробничої потужності) на додаток до сьогоднішньої потужності виробництва акумуляторів. Це збільшується майже до 65 нових гігафабрик, щоб задовольнити попит до 2030 року. За даними Benchmark Mineral Intelligence (станом на березень 2023 року), оголошена потужність виробництва акумуляторів приватними компаніями для електромобілів у 2030 році становитиме 6.8 ТВт·год, що цілком достатньо для задоволення

попиту. У новозеландському сценарії попит на батареї сягає понад 5.5 ТВт·год у 2030 році. Якщо припустити, що середній рівень використання потужностей з виробництва акумуляторів становить 85%,⁶ оголошена потужність у 2030 році майже відповідає потребам у новозеландському сценарії. Очікується, що Китай буде домінувати в попиті на батареї для електромобілів до 2025 року. Проте частка Китаю в попиті на акумулятори для електромобілів знизиться приблизно до 35% у 2030 році з понад 55% у 2022 році через значне зростання продажів електромобілів у США, Європі та на інших ринках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rajper S.Z. Prospects of Electric Vehicles in the Developing Countries: A Literature Review / S.Z. Rajper, J. Albrecht // Sustainability. – 2020. – Vol. 12. – pp. 1 – 20. doi:10.3390/su12051906.
2. Сайт IEA [Електронний ресурс]. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/prospects-for-electric-vehicle-deployment> (дата 06.04.2025р.)

УДК 004.9:681.51

Залужний М.Ю.¹, Підопригора К.О.², Семиліт Д.Г.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-312сп НУ «Запорізька політехніка»

THINGSBOARD В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

У період цифрової трансформації Інтернет речей (IoT) Internet of Things стає невід'ємною частиною різних галузей - від промисловості до розумного будинку. Одним із ключових завдань у сфері IoT є збір, обробка та візуалізація даних. ThingsBoard - це потужна платформа з відкритим вихідним кодом, призначена для управління IoT-пристроями, обробки даних у реальному часі та побудови графіків та дашбордів.

ThingsBoard - це масштабована платформа IoT, що забезпечує:

- Підключення та керування пристроями через різні протоколи (MQTT, CoAP, HTTP);
- Збір та обробку даних з використанням правил обробки подій;
- Візуалізацію даних за допомогою гнучких дашбордів;
- Повідомлення та інтеграції із зовнішніми сервісами;
- Масштабованість та безпека завдяки підтримці кластеризації та ролей користувачів.

Ця платформа підтримує як локальні, так і хмарні розгортання, що робить її зручною для використання у навчанні та створенні дистанційних стендах.

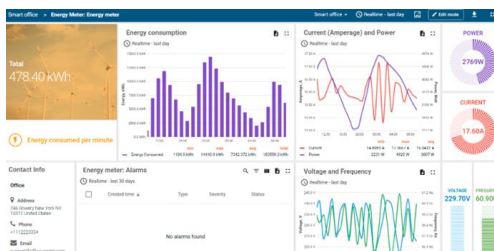


Рисунок 1 – Приклад дашбоарта ThingsBoard.

Підключення стендів до ThingsBoard може бути стандартні протоколи, такі як:

- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport);
- CoAP (Constrained Application Protocol);
- HTTP. Ці протоколи дозволяють легко інтегрувати пристрої та передавати дані у платформу.

ThingsBoard пропонує зручний інтерфейс для створення налаштованих дашбордів з:

- Графіками та діаграмами;
- Таблицями;
- географічними картами;
- SCADA;
- Гнучкими налаштуваннями віджетів.

ThingsBoard підтримує багаторівневу систему доступу, що дозволяє:

- Призначати права різним;
- Організовувати розраховану на багато користувачів роботу;
- Гарантувати безпеку даних.

Переваги ThingsBoard:

- безкоштовність: Базова версія ThingsBoard з відкритим кодом доступна безкоштовно;
- простота використання: Інтуїтивний інтерфейс та докладна документація спрощують роботу з платформою;
- кросплатформенність;
- активна спільнота: Розробники та користувачі активно підтримують проект, пропонуючи нові ідеї та вирішення проблем.

Недоліки ThingsBoard:

- незважаючи на безліч переваг, ThingsBoard має деякі обмеження;
- складність налаштування. Для користувачів-початківців може бути складно розгорнути платформу і налаштувати її під свої потреби.

ThingsBoard це потужне рішення для навчання студентів побудови IoT-проектів з відкритим вихідним кодом, SCADA систем та створенню дистанційних стендів. Гнучкість, інтеграція з популярними протоколами та

зручна візуалізація роблять його чудовим вибором для викладачів та студентів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://thingsboard.io/docs/> (дата звернення: 05.04.2025).
2. Ландяк А. П. Розробка автоматизованої системи аналізу та візуалізацію даних з використанням технології IOT, Java та JavaScript на замовлення агрохолдингу: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю „121 - інженерія програмного забезпечення“ / А. П. Ландяк . - Тернопіль: ТНТУ, 2023. - 63 с.
3. Palmer D. The Internet of Things? It's really a giant robot and we don't know how to fix it / Danny Palmer // ZDNet. [Electronic resource] - 2017. - Mode of access: <https://www.zdnet.com/article/the-internet-of-things-its-really-a-giant-robot-and-wedont-know-how-to-fix-it/>.

УДК 621.3.078.3

Більчич В.В.¹, Крисан Ю.О.²

¹ студ. гр. Е-713м НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

СИНТЕЗ КАНАЛУ КЕРУВАННЯ ЗБУДЖЕННЯМ В ДВОЗОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Сучасне виробництво характеризується високою інтенсифікацією технологічних процесів і зростаючими вимогами до якості продукції, що змушує застосовувати все більш досконале механічне та електротехнічне обладнання для промислових установок і агрегатів. Велику роль у вирішенні завдань комплексної автоматизації виробництва грає регульований електропривод постійного і змінного струму, що найбільш повно відповідає вимогам, що висуваються, при порівняно невисокій вартості електрообладнання.

Електропривод постійного струму здатний дати всі необхідні характеристики, але двигуни мають комутаційні обмеження максимальної частоти обертання, залежної від потужності і живляться від мережі через тиристорні перетворювачі. Крім того, цей електропривод споживає з мережі реактивну потужність, що псує мережу і викликає спотворення синусоїдальної форми напруги системи електропостачання. Тому ці фактори починають стримувати розвиток таких електроприводів.

Особливе місце в електроприводах постійного струму займають електроприводи із двозонним регулюванням швидкості. Двохзонні електроприводи застосовуються в промислових установках, де потрібне

регулювання швидкості як вниз, так і вгору від основної швидкості. У системах двозонного регулювання використовуються два канали впливу на електродвигун – по ланцюгу якоря і з ланцюга збудження. Тобто регулювання швидкості електроприводу здійснюється як зміною напруги на якорі, так і зміною магнітного потоку. За рахунок цього забезпечується економічне регулювання швидкості. Для забезпечення гарних енергетичних показників електроприводу регулювання швидкості в межах від нуля до основної проводиться при номінальному потоці збудження тільки за рахунок зміни напруги на якорі, а в діапазоні зміни швидкості вище основної регулювання здійснюється зміною струму збудження при номінальній напрузі або ЕРС якоря.

Двохзонні електроприводи традиційно широко застосовувалися і застосовуються в прокатному виробництві для обертання валків станів і моталок, а також у станкобудуванні для головного руху металорізальних верстатів. Рішення питання автоматизації та удосконалення названих виробничих процесів невід’ємно пов’язано з розвитком і постійним удосконаленням таких електроприводів. Ускладнення задач, що стоять перед автоматизованим виробництвом, підвищує вимоги до динамічних властивостей двозонних електроприводів, що надає великого значення вибору їх раціональних структур, розрахунку параметрів та налаштувань регуляторів.

Динамічні процеси у нелінійній системі описуються нелінійними диференціальними рівняннями. Цей клас систем ширший, і лінійні системи можна розглядати як окремий випадок нелінійних систем. Тому і динамічні властивості нелінійних систем значно різноманітніші. У них можливі незгасаючі коливання, так звані автоколивання, а стійкість руху і його характер залежать від початкових умов і зовнішніх впливів.

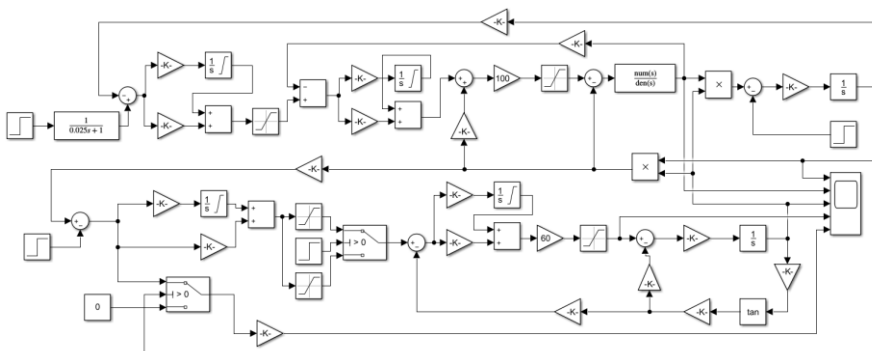


Рисунок 1 – Схема моделі двозонного електроприводу в MALAB simulink

Застосування лінеаризації нелінійних функцій, що входять до математичного опису динаміки системи автоматичного керування в “малому” та використання у зв'язку з цим лінійних методів дослідження у багатьох практичних завданнях не призвело до бажаних результатів через те, що нелінійні функції не були “гладкими”, а діапазон зміни залежних змінних був дуже великий.

Дослідження нелінійних систем має такі цілі: аналіз стійкості, визначення можливості автоколивань, їх частоти та амплітуди, визначення показників якості, синтез пристроїв керування.

При дослідженні роботи електроприводу на нелінійній моделі (рис.1) було поставлено завдання перевірки запропонованої методики синтезу каналу керування збудженням, а також оцінки впливу обмежень на виході перетворювачів та регуляторів, операцій перемноження та кривої намагнічування на точність регулювання ЕРС.

УДК 621.3.078.3

Крисан Ю.О.¹, Сергієнко І.В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-714м НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МАЛИХ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК В УКРАЇНІ

Потреби населення та промисловості України в електричній енергії обмежені запасами нафти та газу, що призводить до необхідності використання поновлюваних джерел енергії. В даний час одним із найважливіших завдань електроенергетики є забезпечення надійного, безперебійного електропостачання всіх промислових та побутових об'єктів.

Розвиток малих сонячних фотоелектричних установок, що працюють паралельно з мережею і в автономному режимі, покращить електропостачання побутових споживачів ефективніше та швидше, ніж розвиток великої енергосистеми.

Перетворення сонячного випромінювання в електроенергію може здійснюватися двома основними способами: фототермічним (перетворення світлової енергії на теплову, а потім, при необхідності, на електричну) і фотоелектричним (пряме перетворення світлової енергії на електричну) [1]. За прогнозами європейської асоціації фотоелектричної промисловості (EPIA), сонячна енергетика в майбутньому витіснить нафту і атомну енергетику. Сьогодні у Європі інтенсивно використовують сонячні фотоелектричні установки. За 2024 рік сумарна потужність геліоенергетичних установок, що діють у всьому світі, зросла на 31 ГВт, та перейшла рубіж в 100 ГВт. Нині

вони виробляють стільки ж електрики, скільки 16 великих вугільних чи атомних електростанцій. Встановлена потужність сонячної енергетики в 2024 році показана на рис.1.

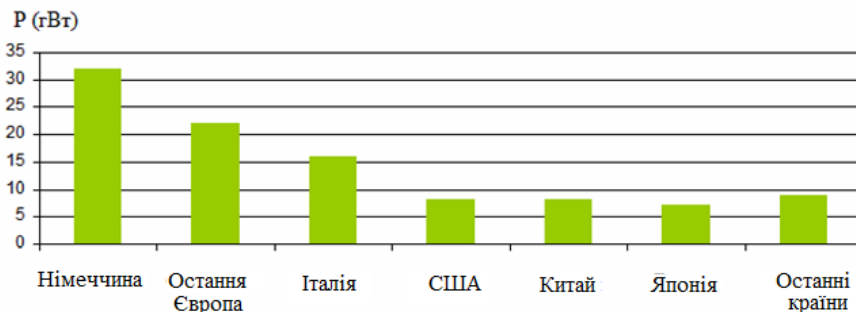


Рисунок 1 - Встановлена потужність геліоенергетики у 2024 році

Сумарна потужність сонячних батарей в країнах Європейського Союзу сягнула 70 ГВт (рис.1). В Італії сонячні панелі забезпечують близько 7% споживаної електроенергії, у Німеччині – 6%, у Греції – 4%, а в Болгарії, Бельгії, Іспанії та Чехії – по 3%. У 2024 році в ЄС було встановлено нові фотоелектричні перетворювачі загальною потужністю 17 ГВт, з яких більше половини – 8 ГВт – забезпечила Німеччина. Для порівняння, потужність європейської вітрової енергетики за той же період зросла на 12 ГВт, а газових електричних станцій – на 5 ГВт. В той самий час з експлуатації виводяться електричні станції, які працюють на нафті (3 ГВт) та АЕС (1 ГВт) [2]. Це говорить про те, що останніми роками у країнах ЄС інтенсивно використовується сонячна енергетика.

Можливість використання альтернативної енергії для вирішення проблем нестачі електроенергії в країнах показує, що сонячна енергетика в перспективі може відіграти велику роль у паливно-енергетичному комплексі України. Її географічне положення, з одного боку, та світовий розвиток технологій у сфері сонячної енергетики, з іншого боку, створюють можливість для досить повного та швидкого вирішення проблеми недостатнього енергопостачання в країні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інститут альтернативної енергетики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.altenergo-nii.com>.
2. Геро Рютер, Андрій Турков. Світова сонячна енергетика: переломний рік [Електронний ресурс] / Геро Рютер, Андрій Турков.економіка. - 2013.

УДК 621.3.078.3

Крайник О.В.¹, Крисан С.О.², Васильєва Є.В.³

¹ студ. гр. Е-713м НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-314м НУ «Запорізька політехніка»

³ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

СИСТЕМА ІНДИКАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ МОТАЛОК

Як стратегічні завдання розвитку вітчизняної чорної металургії України вказуються: розширення сортаменту продукції, забезпечення постійно зростаючих вимог до її якості, забезпечення конкурентоспроможності на зовнішніх і внутрішніх ринках країни, розширення імпортозаміщення, збільшення обсягу випуску продукції з високою додатковою вартістю. При цьому доля листового прокату повинна збільшитись на 40-50%. Щоб вирішити ці завдання необхідно розвивати (удосконалювати) діючі та, можливо, створювати нові технологічні системи, безліч яких у взаємодії між собою та утворює металургійний комплекс країни.

Технологія виробництва листового прокату (ТВЛП) є складовою листопрокатної технологічної системи (ЛПТС) і саме результативність ТВЛП значною мірою визначає ефективність функціонування ЛПТС. Отже, створення (розробка) технологій, що забезпечують високу ресурсоефективність виробництва, розширення сортаменту та високі якісні показники як нових, так і видів листового прокату, що вже випускаються, є одним з напрямків удосконалення (покращення, прогресивного розвитку) ЛПТС.

Розробка технології – прикладна задача, яка вирішується розглядом безлічі допустимих варіантів та вибором з них такого, який найбільшою мірою відповідає заздалегідь заданому критерію. Звідки випливає, що процес пошуку рішення зі створення технології подібний до процесу проєктування, де, незалежно від рівня декомпозиції об'єкта, що розглядається, дії виконуються по тому самому алгоритму, який включає в себе процедури аналізу та синтезу. Поточні умови диктують необхідність скорочення термінів пошуку та впровадження у практику нових ефективних розробок. У такому контексті актуальними є дослідження, спрямовані на вибір відомих та розробку нових методів для аналізу та синтезу способів, процесів, технологій листопрокатного виробництва, які скоротять час пошуку раціональних рішень, забезпечивши при цьому задовільно високий рівень їх достовірності та обґрунтованості.

Система індикації положення механізмів моталок №1-3 призначена для контролю та візуалізації положення механізмів моталок шляхом індикації поточних зазорів формуючих роликів моталок №1-3; тягнучих роликів

моталок №1-3; зазорів механічних лінійок 1,2 перед моталками; зазорів пневмомеханічних лінійок перед моталками №1, №2, №3.

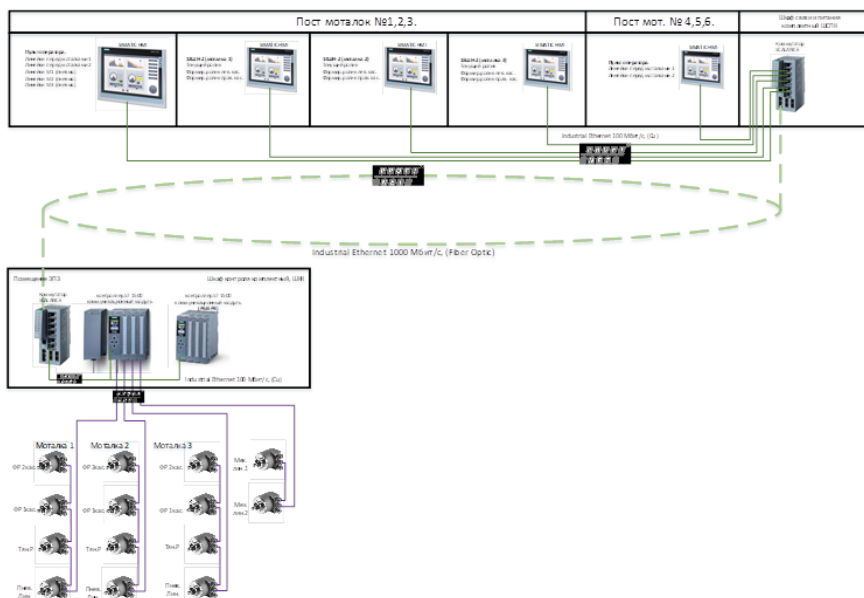


Рисунок 1 - Склад обладнання, структурна схема

Система індикації положення механізмів (тянучого ролика, формуючого роликів, лінійок) моталок 1-3 виконує збір інформації з датчиків (енкодерів), встановлених безпосередньо на контрольованих механізмах, обробку отриманих даних, передачу на робоче місце оператора моталок, відображення інформації в зручному для оператора форматі. Має можливість (скидання) передустановки, що виводяться на панелі оператора, значень та передачі даних у системи візуалізації та діагностики стану.

Завдяки впровадженню сучасних сенсорних технологій, таких як енкомери типу PVM58N, та інтеграції з панелями візуалізації Siemens HMI TP700 Comfort та TP900 Comfort, вдалося досягти високих стандартів контролю за положеннями механізмів. Наведена система забезпечує збирання, обробку та візуалізацію даних, що дозволяє операторам своєчасно реагувати на зміни в технологічному процесі, що, в свою чергу, позитивно вплине на якість продукції та зменшить виробничі витрати.

Подальше інтегрування системи в загальну систему керування моталками відкриває перспективи для розвитку та вдосконалення технологічних рішень у галузі, що відповідає сучасним вимогам щодо

ресурсозбереження та екологічної чистоти виробництв. Розроблена система індикації має потенціал стати важливим елементом у оптимізації процесів чорної металургії, забезпечуючи високий рівень контролю та ефективності виробничих процесів.

УДК 681.5

Казурова А.Є.¹, Чуйко А.Г.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-712 НУ «Запорізька політехніка»

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЛЯ НАГРІВАЧА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ РЕВЕРСИВНОГО ЗСУВУ

Сьогодні практично у всіх галузях промисловості існує необхідність у контрольованому нагріванні та точній підтримці температури. Обігрів приміщень, виплавка і термообробка металів на металургійних виробництвах, підтримання постійної температури реакцій на хімічних виробництвах, ректифікація та дистиляція в лабораторіях та домашньому господарстві – ось лише мала частина процесів, що потребують систем контролю температури. Такі системи повинні відповідати списку вимог, що включає в себе точне вимірювання поточної температури об'єкта, що нагрівається, правильне обчислення необхідного впливу на нього і можливість регулювання потужності, що подається в нагрівач і може складати від одиниць Вт до сотень кВт. При цьому усі перераховані вище дії повинні виконуватись системою регулювання досить швидко для того, щоб встигати реагувати на зміну температури системи, що викликана втратами у зовнішнє середовище, внесенням додаткової порції матеріалу з відмінною температурою, зниженням напруги живлення (для електричних нагрівачів) тощо. У ряді випадків додаткова складність обумовлюється тим, що між нагрівальним елементом і тілом, що нагрівається, присутнє середовище, яке чинить опір нагріву, або проміжний теплоносіє. В такому випадку температура нагрівального елемента в момент часу може значно відрізнятись від температури об'єкта, який нагрівається, що в ряді випадків може призвести до негативних наслідків, таким як, наприклад, перегрів нагрівального елемента і вихід його з ладу.

Метою даної роботи є дослідження режиму роботи нагрівача прес-форми для обробки металів методом реверсивного зсуву і створення для нього системи керування, що враховує особливості об'єкта.

Специфіка даної системи полягає в тому, що кінцевою метою нагрівання є металевий зразок, який поміщено в середину масивної сталевий

прес-форми, що закріплена на станині гідравлічного преса. При цьому нагрівання всієї описаної вище системи здійснюється керамічною нагрівальною манжетою з граничною припустимою температурою 500°C. Манжета обертає прес-форму зовні і для нагрівання зразка до заданої температури повинна, в тому числі, прогрівати метал прес-форми, а також кріплення матриці, що притягують її до станини. З метою зменшення втрат матриця встановлюється на станину через спеціальні теплоізолюючі прокладки, а також вся система з матриці нагрівача та кріплення максимально теплоізолюються спеціальними високотемпературними утеплювачами на основі мінеральної вати. Але, не дивлячись на всі ці заходи для прогріву всієї теплової маси, нагрівач повинен мати значний запас потужності. Також варто відзначити, що температура, до якої необхідно нагрівати зразки, становить, в залежності від конкретного матеріалу, до понад 350°C, що наближається до максимально припустимих для нагрівача 500°C. Сукупність цих умов і потужність нагрівача створюють умови, при яких, якщо на нагрівач протягом тривалого часу буде подаватися сто відсотків потужності, його температура гарантовано перевищить максимально припустимі для нього 500°C. Це призведе до значного зниження терміну експлуатації нагрівача, а потім і до виходу його з ладу. Розроблювана система керування повинна мати можливість передавати ключові параметри процесу на персональний комп'ютер у цифровому вигляді і дозволяти тонко налаштовувати свою роботу на основі аналізу переданих даних, а також можливість незалежного вимірювання температури як об'єкта, що нагрівається, так і безпосередньо спіралі нагрівача, обчислення потужності, що подається на нагрівач, з урахуванням перебування останнього в безпечних для нього рамках під час роботи.

Для вирішення даних завдань було запропоновано використовувати двокаскадний ПІД-регулятор, що складається з ведучого (master) та веденого (slave) регуляторів. Ведений регулятор на виході обчислює безпосередньо значення потужності, що подається на нагрівач у кожний момент часу, а вхідним параметром (уставкою) і сигналом зворотного зв'язку є температура нагрівального елемента. Ведучий регулятор в якості вхідного значення має задану температуру зразка, що нагрівається, а в якості сигналу зворотного зв'язку – поточні показання датчика температури зі зразка. На виході ведучий регулятор видає значення температури нагрівального елемента, яке служить уставкою для веденого регулятора. При цьому максимальне значення на виході master-регулятора обмежено безпечною для нагрівального елемента температурою в 480°C. Таким чином, при правильному підборі коефіцієнтів, при яких відсутнє перерегулювання у веденому регуляторі, і штатній роботі регуляторів повністю виключається ситуація, коли нагрівач може вийти з ладу через перегрівання.

УДК 621.317

Деев С.Г.¹, Куделя К.В.²¹ ст. викл. НУ «Запорізька політехніка»² студ. гр. Е-614 НУ «Запорізька політехніка»

ЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У СУЧАСНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ

Електротехнічні системи відіграють ключову роль у роботі сучасної авіаційної техніки. Вони забезпечують функціонування основних і допоміжних систем для літальних апаратів що включають системи керування, навігації, зв'язку, освітлення та аварійного живлення. Додатково з діючими нормами такі компоненти як резервні пілотажні прилади та аварійне освітлення літака повинні мати власні резервні джерела живлення. Надійність та енергоефективність електротехнічних систем впливають на технічні та експлуатаційні характеристики літальних апаратів. Зростаюча електрифікація авіації — зокрема в концепції More Electric Aircraft (MEA) - передбачає заміну гідравлічних і пневматичних систем електричними, що дозволяє знизити масу, підвищити ефективність і спростити технічне обслуговування. Усі електричні системи літальних апаратів (за винятком найпростіших) містять компоненти, які здатні генерувати електроенергію, зокрема генератори, які приводяться в дію від основного або допоміжного двигуна. Електротехнічні системи забезпечують електроживлення для критично важливих функцій, таких як навігація, керування, освітлення, зв'язок та системи безпеки. Ці системи формують основу авіаційної інфраструктури борту і відіграють ключову роль у забезпеченні безперервного контролю за літальним апаратом під час усього польоту. Надійність джерел живлення та ефективне розподілення енергії мають безпосередній вплив на льотну придатність авіаційної техніки та безпеки.

Виконання польоту ґрунтується на використанні великої кількості різних систем, наявних на борту ПК, і їх справність є необхідною вимогою. Регулюванням забезпечення виконання польотів на міжнародному рівні займаються такі організації, як ICAO, Eurocontrol, EASA, FAA, ECAC та ін. Крім того, кожна з країн на національному рівні затверджує свої регульовальні документи у сфері забезпечення польотів. Зазвичай регульовальні документи на національному рівні мають відповідати певним міжнародним вимогам. Вимоги цих нормативних документів безпосередньо стосуються складу авіоніки, функціональних можливостей та її розміщення на борту ПК. Основними національними документами, що регламентують функціонування та наявність певних систем авіоніки на борту ПК, є Авіаційні правила України та Норми льотної придатності. Деякі вимоги до обладнання авіоніки випливають з інших нормативних документів, що

стандартизують технічні аспекти функціонування модулів (габаритні розміри, електричні з'єднання, стандарти на DDB та багато інших). Однією з основних організацій розробників подібних стандартів є ARINC. Розроблення систем авіоніки теж нерозривно пов'язано з дотриманням великої кількості вимог, що накладаються певними специфікаціями та регульовальними документами. Основними розробниками нормативної документації з розроблення та проектування систем авіоніки є:

- Асоціація повітряного транспорту (Air Transport Association –ATA);
- Федеральна авіаційна адміністрація (США) (Federal Aviation Authority – FAA) ;
- Європейська організація авіаційної безпеки (European Aviation Safety Agency – EASA);
- Радіотехнічна комісія з питань аеронавтики (Radio Technical Commission for Aeronautics – RTCA);
- Асоціація конструкторів рухомих машин (Society of Automotive Engineers – SAE).

Основною вимогою до електротехнічних систем літальних апаратів є забезпечення безпеки. Це включає в себе не лише високу надійність самих електричних компонентів, але й правильне обслуговування та експлуатацію цих систем згідно з міжнародними стандартами та чинними нормативами. Чітке виконання процедур технічного обслуговування, регулярні перевірки та діагностика систем є критично важливими для запобігання відмовам і забезпечення безпеки польотів. Системи повинні бути спроектовані таким чином, щоб у разі несправності однієї з них, інші могли компенсувати її функції, забезпечуючи безперервність роботи та захист пілотів і пасажирів.

Розвиток технологій сприяє створенню енергоефективніших та легших електротехнічних систем для літальних апаратів. Завдяки використанню новітніх матеріалів і інноваційних підходів у проектуванні, досягається зниження маси компонентів, що сприяє покращенню загальної ефективності систем. Такі технологічні досягнення дозволяють зменшити енергоспоживання, одночасно підвищуючи надійність і продуктивність бортових систем, що є важливими аспектами для забезпечення безпеки і економічності авіаційної техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Moir, I., & Seabridge, A. (2011). Aircraft Systems: Mechanical, Electrical and Avionics Subsystems Integration (3rd ed.). Wiley.
2. FAA Advisory Circular 23.1309-1E (System Safety Analysis and Assessment for Part 23 Airplanes
3. ДСТУ ISO 7137:2018 Авіація. Умови навколишнього середовища та процедури випробування бортового обладнання (ISO 7137:1995, IDT)

4. Харченко В.П. Авіоніка/ В.П. Харченко, І.В. Остроумов – К. : НАУ, 2013. – 272 с.

УДК 681.5

Мелешко І.А.¹, Івлєв Д.І.², Оленець С.М.², Бондар Н.С.²

¹ викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-714 НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ PLC-КОНТРОЛЕРІВ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

У дослідженні розглядаються переваги використання програмованих логічних контролерів (PLC) нового покоління в автоматизованих системах керування (АСК). Проаналізовано сучасні технічні рішення, функціональні можливості та їх вплив на продуктивність і надійність промислових процесів. Проведено порівняльний аналіз між класичними контролерами та сучасними PLC, що дозволяє зробити висновки щодо доцільності їх впровадження на підприємствах різних галузей.

Інтенсивний розвиток промисловості та перехід до концепції Industry 4.0 зумовлює потребу у впровадженні інтелектуальних та гнучких засобів автоматизації. Програмовані логічні контролери (PLC) залишаються ключовим елементом автоматизованих систем керування, однак з появою нового покоління контролерів відкриваються нові можливості для підвищення ефективності, стабільності та безпеки виробництва.

PLC — це програмовані пристрої, які виконують логічні операції та керують процесами на основі даних із датчиків і виконавчих механізмів. PLC нового покоління (наприклад, Siemens S7-1500, Rockwell CompactLogix, Omron NX1P2, WAGO PFC200) характеризуються високою швидкістю, розширеною підтримкою протоколів зв'язку (Ethernet/IP, PROFINET, OPC UA), вбудованими засобами кібербезпеки, покращеною діагностикою та гнучкістю інтеграції з SCADA та MES-системами. Вони здатні виконувати розподілене керування, взаємодіяти з хмарними сервісами та підтримують цифрові двійники.

Результати порівняльного аналізу із класичними рішеннями засвідчили:

- зменшення часу обробки сигналів на 25–40%;
- покращення точності регулювання технологічних параметрів;
- зниження кількості відмов і спрацювань аварійної сигналізації;
- збільшення гнучкості при модифікації або масштабуванні системи.

Крім технічних переваг, було проаналізовано економічну доцільність впровадження: зменшення витрат на технічне обслуговування, зниження часу

простоїв, а також підвищення загального рівня цифрової зрілості підприємства. Дослідження розкриває практичні переваги використання новітніх PLC у системах промислової автоматизації, акцентуючи увагу не лише на апаратному забезпеченні, а й на програмних інструментах, здатних забезпечити повноцінну інтеграцію в цифрову інфраструктуру підприємства.

Таким чином, використання PLC-контролерів нового покоління є важливим напрямом у розвитку сучасних автоматизованих виробництв. Їх впровадження забезпечує стабільність, адаптивність і ефективність систем керування, що особливо актуально в умовах глобальної цифрової трансформації промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Petruzella F.D. Programmable Logic Controllers. – McGraw-Hill, 2020.
2. Siemens AG. SIMATIC S7-1500 – Automation System Manual, 2022.
3. Rockwell Automation. CompactLogix Controllers Overview, 2023.
4. Erickson K.T., Simms G.R. Programmable Controllers: Theory and Implementation, 2019

УДК 621.39

Мелешко І.А.¹, Гордієнко І.С.², Вовк Є.А.², Довбня Д.Ю.²

¹ викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-714 НУ «Запорізька політехніка»

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (ІОТ) У СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОЇ АВТОМАТИКИ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ

У сучасному світі промисловість переживає етапи значних змін завдяки цифровій трансформації та впровадженню новітніх технологій. Однією з найперспективніших інновацій є Інтернет речей (ІоТ), який все більше інтегрується в системи промислової автоматики. ІоТ забезпечує можливості для віддаленого моніторингу та діагностики обладнання, що дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів, зменшити витрати та оптимізувати управління.

Інтернет речей у промисловості передбачає впровадження мережі сенсорів, пристроїв і систем, які забезпечують постійний збір, обробку та передавання даних у реальному часі. Ці дані допомагають здійснювати моніторинг стану обладнання, контролювати параметри виробничих процесів та ефективно керувати ресурсами.

Однією з основних переваг інтеграції ІоТ у промислову автоматику є можливість віддаленого моніторингу. Завдяки підключенню до мережі

інтернету, операторам та технічному персоналу надається доступ до даних про стан обладнання та процесів в режимі реального часу. Це дозволяє оперативно виявляти несправності та відхилення від норм, навіть якщо об'єкти знаходяться на великій відстані, що значно знижує необхідність у фізичній присутності на місці.

Інтеграція IoT у промислові системи автоматизації відкриває можливості для предиктивного обслуговування. Збір і аналіз даних з сенсорів дає змогу прогнозувати можливі відмови обладнання та проводити технічне обслуговування до виникнення несправностей. Це дозволяє значно зменшити витрати на ремонти, знизити ризики простоїв та покращити безперервність виробничих процесів.

Одним із прикладів успішного використання IoT-технологій у промисловості є застосування системи віддаленого моніторингу на підприємствах, що виробляють бетон. Інтеграція IoT-рішень для моніторингу роботи бетонних розпилювачів дозволила значно знизити витрати на обслуговування, підвищити точність виробничих процесів та зменшити кількість технічних збоїв. Іншим прикладом є впровадження FieldIntell IoT-рішення в галузі водопостачання, яке дозволяє здійснювати віддалений моніторинг та автоматизоване управління насосним обладнанням. Це рішення забезпечує ефективне управління ресурсами, знижуючи експлуатаційні витрати та покращуючи керування процесами.

Інтеграція технологій Інтернету речей (IoT) у системи промислової автоматики забезпечує нові можливості для віддаленого моніторингу, діагностики та технічного обслуговування. Це дозволяє значно знизити витрати на обслуговування обладнання, зменшити ризики несанкціонованих зупинок, покращити безпеку та підвищити ефективність виробничих процесів. Окрім того, використання IoT відкриває перспективи для створення цілісних систем автоматизації в умовах Індустрії 4.0.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tomić, M., & Milinković, D. (2019). *Industrial Internet of Things: Concept and Applications*. Springer International Publishing.
2. Predictive Maintenance in Industrial IoT Systems: A Case Study Approach. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(4), 3274-3283.
3. Patel, S., & Patel, H. (2021). A Survey on IoT-Based Industrial Automation Systems for Remote Monitoring and Diagnostics. *Procedia Computer Science*

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНІ І ЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ»

УДК 621.316

Щусь В. М.¹, Жорняк Л. Б.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

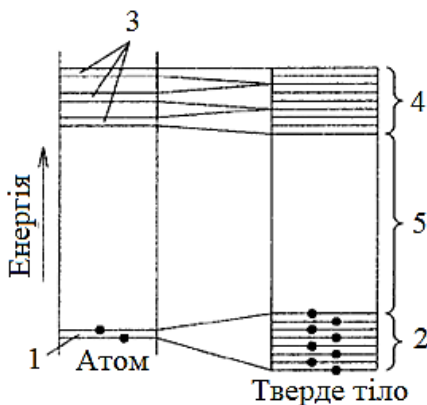
² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ У ВИСОКОВОЛЬТНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Відомо, що механізми електропровідності твердих діелектриків базуються на зонній теорії, яка описує переміщення електронів у структурі металів, діелектриків та напівпровідників. Згідно з нею структура енергетичних рівнів діелектрика показана на рис. 1. Під впливом електричного поля вільні електрони з кристалічної решітки переходять у тіло внутрішньої ізоляційної конструкції (ВІК) на вільні енергетичні рівні, що підвищує його електропровідність. У твердому діелектрику вільні енергетичні зони розділені забороненими зонами, які і визначають ізоляційні властивості ВІК.

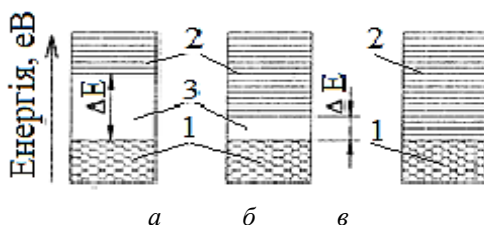
З точки зору зонної теорії відмінність в електричних властивостях різних типів твердих тіл пояснюється обсягом валентних електронів у дозволених енергетичних зонах та шириною заборонених енергетичних зон, як це показано на рис. 2. Як відомо, необхідною умовою провідності твердого діелектрику є наявність вільних енергетичних рівнів (зон), на які електричне поле могло б перевести електрони. Якщо валентні (колективізовані) електрони утворюють валентну зону кристалу, що заповнена не повністю, то електрони, що розміщені в цій зоні кристалу, під впливом електричного поля будуть переходити на верхні вільні енергетичні рівні, що знаходяться у валентній зоні, і таке тіло буде провідником електричного струму (див. рис. 2 в) [1, 2]. Тому діелектриком може бути таке тіло, у якого заборонена зона настільки велика, що електронної електропровідності у звичайних умовах немає. Напівпровідниками будуть речовини з вузькою забороненою зоною (від 0,1 еВ до 5 еВ), яка може бути подолана за рахунок зовнішніх енергетичних впливів.

Отже, вирівнювати електричне поле в ізоляційному проміжку можливо не тільки розподіленням провідності по визначеному закону в залежності від електрофізичних властивостей та геометричних параметрів конструкції (більш кращий спосіб, оскільки знижуються активні витрати і, відповідно, нагрів діелектрику), але й зростанням провідності всієї поверхні діелектрика (є найбільш простим способом).



1 – нормальний енергетичний рівень атома; 2 – заповнена електронами зона; 3 – рівні збудженого стану атома; 4 – вільна зона; 5 – заборонена зона.

Рисунок 1 – Схема розташування енергетичних рівнів відокремленого атома та неметалевого твердого тіла [1]



1 – заповнена електронами зона; 2 – зона вільних енергетичних рівнів; 3 – заборонена зона шириною ΔE [1].

Рисунок 2 – Енергетична відмінність діелектриків (а) від напівпровідників (б) та металевих провідників (в)

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Борисов, О. В. Основи твердотільної електроніки: навч. посіб. [Текст] / О. В. Борисов; за ред. Ю. І. Якименка. – К.: Освіта України, 2011. – 462 с.
2. Щусь, В. М. Діелектричне екранування як метод підвищення роботоздатності високовольтних вимірювальних трансформаторів [Текст] / В.М. Щусь, Л.Б. Жорняк, Є.М. Гавріков, Р.В. Лежньов // Тиждень науки-2024. Електротехнічний факультет. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 15–19 квітня 2024 р. [Електронний ресурс] / Редкол.: Вадим ШАЛОМЄЄВ (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. – С. 196-198.

УДК 621.311

Бахметєв В.В.¹, Жорняк Л.Б.²¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»² канд. техн. наук, доц НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНИХ ПУНКТІВ СЕКЦІОНУВАННЯ У РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ УКРАЇНИ

Автоматичні пункти секціонування (АПС) – це пристрої, які забезпечують повторне замикання електричного кола після його аварійного роз'єднання. В Україні наразі є низка факторів, серед яких старіння електромереж, активне впровадження відновлюваної енергетики, потреба в автоматизації розподільчих систем та військові ризики, що призводять до руйнування енергетичних об'єктів. У таких умовах запровадження АПС може відіграти важливу роль у підвищенні надійності електромереж, особливо в умовах зростаючих навантажень, інтеграції розподіленої генерації та модернізації енергетичної інфраструктури.

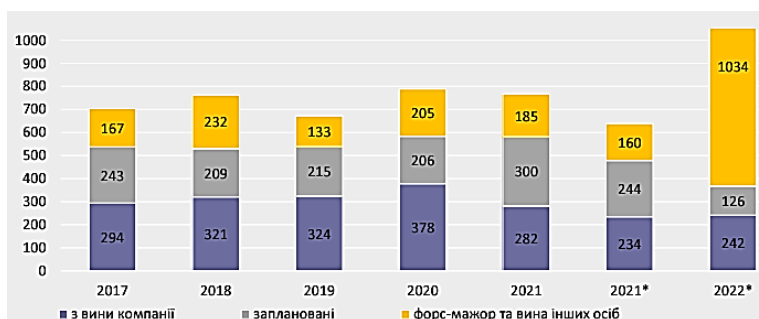


Рисунок 1 – Середня тривалість перерв в електропостачанні в системі впродовж I півріччя 2017-2022 років, хв [1]

АПС працюють за принципом автоматичного виявлення аварійної ситуації, після чого вони відключають пошкоджену ділянку мережі, а через певний проміжок часу пробують її знову підключити. Якщо несправність була тимчасовою, мережа повертається до нормального режиму роботи. Якщо ж пошкодження зберігається, Система здійснює кілька повторних спроб включення, після чого остаточно відключає проблемну ділянку. Такий механізм дозволяє швидко відновлювати електропостачання у разі короткочасних збоїв і значно зменшує потребу в ручному втручанні персоналу. Завдяки цьому скорочується тривалість відключень, мінімізуються витрати на експлуатацію та підвищується загальна надійність мережі.

Особливо важливою є роль АПС у мережах, що інтегрують розподілену генерацію, зокрема відновлювані джерела енергії, такі як сонячні та вітрові електростанції. Такі системи створюють двосторонній потік електроенергії, що може змінювати стандартні режими роботи мережі та ускладнювати функціонування традиційних захисних пристроїв. АПС забезпечують автоматичну адаптацію до змін у генерації, допомагають підтримувати стабільність напруги та ізолювати несправності без необхідності відключення всіх генераторів мережі. Вони також сприяють розвитку мікромереж, що дає змогу забезпечувати локальне енергопостачання навіть у разі масштабних аварій або атак на централізовану систему. В Україні АПС інколи впроваджуються у віддалених сільських місцевостях, де аварії на лініях можуть тривати годинами або навіть днями [2]. Крім того, їх використання стало перспективним за потреб відновлення енергопостачання після ракетних ударів і пошкоджень інфраструктури внаслідок бойових дій. Однак широкомасштабне використання цих пристроїв стикається з певними викликами, серед яких висока вартість обладнання, необхідність модернізації застарілих електромереж і точне налаштування системи захисту для уникнення помилкових спрацьовувань.

Подальша автоматизація електромереж та інтеграція АПС у інтелектуальні системи керування може суттєво підвищити надійність енергопостачання. Також важливим напрямком розвитку є їхня взаємодія з відновлюваними джерелами енергії, що сприятиме децентралізації електропостачання та підвищенню енергетичної незалежності країни [3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бахметьев В. В. Підвищення ефективності роботи розподільчих мереж ліній 10 – 35 кВ за рахунок автоматичних пунктів секціонування [Електронний ресурс] / В. В. Бахметьев, О. П. Левченко, Л. Б. Жорняк // Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК : міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р.: тези доп. - Харків: Держ. біотехнологічний ун-т, 2024. – С. 16-17.
2. Левченко О. П. Дослідження шляхів підвищення надійності роботи електромережевого господарства АПК України у сучасних умовах життя [Електронний ресурс] / О. П. Левченко, Ю. О. Семчишина // Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК : міжнар. наук.-практ. конф., 9 листопада 2023 р.: тези доп. - Харків: Держ. біотехнологічний ун-т, 2023. – С. 21-22
3. Козирський В. Підхід щодо розміщення реклоузерів в розподільних мережах [Текст] / В. В. Козирський, О. В. Гай // Енергетика і автоматика. – 2020. – №4. – С. 5-18.

UDC 621.313.333

Lukash Dmytro

PhD stud., National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

FEATURES OF MATHEMATICAL MODELING OF AC ELECTROMECHANICAL CONVERTERS

Three-phase asynchronous electric motor drives hold a dominant position across all sectors of industrial activity. Initially, asynchronous motors were primarily used in non-regulated drives. However, with the development and mass production of highly efficient systems for controlling the electromagnetic torque and rotational speed of the motor shaft – by adjusting the amplitude and frequency or only the amplitude of the supply voltage (current)—these electric machines are now actively replacing DC machines, even in their traditionally dominant application: regulated electric drives. This shift is due to the significantly superior technical, economic, energy efficiency, and operational characteristics of both asynchronous machines themselves and the drive systems based on them, compared to other types of electric drives.

The implementation of controlled asynchronous electric drives is also taking place in areas where traditionally non-regulated or parameterically regulated drives were used (such as in water supply systems, sewage, heating, ventilation, transportation, crane drives, etc.). This allows for elevating several technological processes to a qualitatively new level. Thus, the three-phase asynchronous electric motor is one of the primary types of electromechanical energy converters, and the controlled drives based on it are one of the main types of industrial drives.

Current research is focused on: improving the control systems of asynchronous motors to facilitate their integration into specific technological processes; optimizing the parameters of control systems and operating modes of asynchronous motors according to various criteria, taking into account the features of particular technological processes; eliminating the impact of parameter changes and measurement errors of controlled variables on control quality; reducing the number of sensors for controlled variables by developing devices for their indirect measurement, etc. Research is also continuing in the area of improving the structure of control systems for asynchronous motors, considering their design features and the characteristics of semiconductor converters. All of these studies aim to enhance the efficiency of asynchronous motor control systems and, ultimately, to reduce energy consumption per unit of product.

The foundation of modern control systems for asynchronous electric drives and all the aforementioned research relies on mathematical models of the asynchronous motor, in which three-phase variables are represented by Cartesian coordinates of resulting vectors. The Cartesian coordinate system is not the only possible form for representing resulting vectors. As is known, a vector in three-

dimensional space can be characterized, for example, by cylindrical coordinates, and a vector in a plane can be represented using polar coordinates.

Mathematical models of asynchronous machines using polar coordinates of resulting vectors as state variables are not widely discussed in the literature, and the properties of such models have been insufficiently studied. At the same time, there are examples of the successful application of fragments of these models for investigating processes and designing control systems for asynchronous motors. Mathematical models in polar coordinates not only expand the possibilities for studying processes in asynchronous machines but also, due to the different set of state variables compared to Cartesian coordinate models, provide the opportunity to create new structures for automatic control systems for asynchronous electric drives.

Thus, there is a scientific and technical task aimed at the development, research, and application of mathematical models of the asynchronous motor as a component of the electric drive in polar coordinates.

UDC 621.313.333

Hizenko Mykola

PhD stud., National University "Zaporizhzhia Polytechnic"

FEATURES OF RESEARCH ON ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN ELECTROMECHANICAL CONVERTERS WITH A COMMON SHAFT

The labor intensity of testing electrical machines can reach up to 13% of the labor intensity of their manufacturing, and the energy consumption for testing powerful asynchronous machines can amount to hundreds of thousands of kWh. Therefore, researching energy-saving methods for testing asynchronous machines is highly relevant. The energy-efficient method of machine testing using mutual load with energy recuperation into the grid involves operating electrical machines with connected shafts, where one asynchronous machine operates as a motor and the other, connected to the first by a common shaft, operates as a generator. The motor is powered by a high-frequency source, such as a frequency converter, while the generator, connected to the motor by a common shaft, feeds energy back into a lower-frequency grid. Both machines are tested simultaneously. The energy drawn from the grid is returned to it, minus the losses in the electromechanical converters themselves. Currently, there are only a few existing test setups for powerful asynchronous motors with energy recuperation into the grid. This is partly due to insufficient research on methods for predicting electromechanical processes in asynchronous machines with a common shaft.

The operation of multiple asynchronous motors on a common shaft—sharing a mechanical load—can be applied in various systems, such as belt conveyors and

rolling mills. In powerful marine electric propulsion systems, a dual-motor unit (dual-motor configuration) with a single common shaft is used. This approach enhances the reliability of the installation: if one of the motors fails, the other continues to carry the mechanical load, albeit at a reduced capacity. This setup reduces the required emergency power reserve of the motors and allows for energy savings under low mechanical loads by deactivating some of the electromechanical converters. It also provides other well-known benefits of parallel operation. In transport systems, particularly in hybrid electromechanical transmissions, the use of multiple traction asynchronous machines is a promising approach. In electromechanical vehicle transmissions, asynchronous in-wheel motors each carry their share of the mechanical load. Under certain conditions, some of the motors operating in parallel on a common shaft may experience overload, while others may transition into generator mode or function as an electromagnetic brake.

It can be assumed that in electromechanical converters with a common shaft, electromechanical processes are interconnected, as the torques of the machines on the shaft are interdependent. Currently, modeling of electromechanical converters with a common shaft is carried out using standard but unconnected equivalent circuit models of electrical machines. These models do not account for mutual electromechanical interactions, magnetic saturation, variations in machine winding parameters depending on operating conditions, or the non-sinusoidal nature of the supply voltage from a frequency converter. The error in determining electromagnetic parameters in dynamic operating modes of asynchronous machines with a common shaft can reach several tens of percent when using simplified models. Thus, accurate and interconnected modeling of electromechanical processes in asynchronous machines with a common shaft has not yet been sufficiently developed.

Refined modeling of electromechanical processes in asynchronous machines with a common shaft is challenging due to the complexity of simultaneously describing all electromechanical converters mathematically. This complexity arises from factors such as varying levels of magnetic circuit saturation in different machines, the presence of torque interdependence equations, the need to account for changes in winding parameters as operating modes shift, and the possibility of one machine being powered by a frequency converter while the other operates on the grid. It is essential to develop accurate methods for analyzing electromechanical processes during startup, testing, and loading of asynchronous machines with a common shaft, as well as for predicting hazardous operating conditions. These conditions may include the transition of some machines into electromagnetic braking mode, inrush currents during startup, and potential issues associated with high-power machines. Therefore, the development of precise methodologies for studying asynchronous machines with a common shaft is a relevant scientific and technical challenge.

УДК 621.314

Афанасьєв О. І.¹, Арсланов А.С.², Барінов Д.Ю.², Зарубін М.С.²¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»² студ. гр. Е-414м НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЙМОВІРНІСНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Подальше зростання вимог відносно експлуатаційної надійності електрообладнання підстанцій високої напруги та їх розподільних пристроїв (РП) значною мірою залежить від їх електричних апаратів, що складають їх головні кола. Аналіз головних параметрів та умов експлуатації апаратної частини підстанцій показав, що значного ефекту внаслідок вдосконалення експлуатаційних характеристик електрообладнання, наприклад окремих складових ізоляційної конструкції (ІК), можливо отримати за двома головними напрямками. По-перше, це за рахунок покращення системи захисту від перенапруг як комутаційного, так і атмосферного походження, а по-друге, за рахунок впровадження засобів для більш рівномірного розподілення напруженості електричного поля в зонах максимального навантаження. Крім того, підвищення експлуатаційної надійності можливо отримати за рахунок вдосконалення системи резервування.

Сучасні тенденції щодо підвищення вимог відносно нормування та прогнозування показників експлуатаційної надійності ІК та її складових створюють необхідність вирішення задачі оцінювання та аналізу показників надійності в конкретних умовах експлуатації. При цьому слід більш точно враховувати структурні особливості ІК та специфіку фізичних процесів, що впливають на роботу електрообладнання у структурі РП високої напруги. Опит експлуатації показує, що рівень працездатності більшості електроапаратного обладнання визначається двома головними чинниками, це умовами теплового стану електричних апаратів та режимом електричного навантаження їх ІК. Якщо перший чинник відрізняється відносною стабільністю впродовж процесу експлуатації, то другий чинник має суттєву залежність від умов експлуатації та конкретних конструктивних рішень, наприклад особливостей системи екранування ІК.

У сучасному високовольтному апаратобудуванні при виготовленні ІК все більш широке застосування отримують полімерні ізоляційні матеріали. Їх високу трекінго-ерозійну та дугову стійкість, а також вологостійкісні характеристики забезпечуються використанням спеціального ребристого покриття на основі силіконової або етиленпропіленової електротехнічної гуми. Аналіз головних характеристик вище позначених елементів показав, що важливим чинником, який має вплив на показники експлуатаційної

надійності полімерних ІК слід вважати напруженість електричного поля. В структурі ІК таких електричних апаратів, що використовують для комплектації РП, як вимірювальні трансформатори, обмежувачі перенапруг, шинні опори, тощо має місце різко нерівномірне розподілення напруженості поля уздовж висоти або довжини ІК. Таки умови електричного навантаження можуть оказувати суттєвий вплив на тривалість експлуатації та, як наслідок цього, на показники експлуатаційної надійності. Все це створює необхідність оцінювати вплив напруженості поля на термін експлуатації та відповідно на показники експлуатаційної надійності ІК.

Більш того, на окремі складові РП суттєвий вплив оказує структура системи резервування головних кіл в умовах обрання тих чи інших схемних рішень. Як правило підвищення глибини резервування приводить до покращення показників надійності, але при цьому можуть погіршуватися економічні показники, наприклад зростання капіталовкладень у будівництво. В цьому випадку гостро виникає необхідність проведення низки досліджень щодо вибору оптимальних співвідношень між такими складовими процесу проектування, як технічні рішення, рівень підвищення надійності та додаткові економічні витрати, що потрібні для цього.

Вирішення цієї задачі зручно реалізувати шляхом ймовірнісного моделювання, для чого розроблено алгоритм та необхідне програмне забезпечення для визначення розподілення напруженості поля уздовж опорної ІК для вище означених видів електричних апаратів. Використання цього комплексу дозволяє оцінювати такі показники надійності, як ймовірність безвідмовної праці, математичне очікування середнього напрацювання до відмови та густину розподілу в умовах застосування нормального закону розподілу часу напрацювання до відмови. Розроблено логічну розрахункову модель та необхідний для її реалізації математичний апарат для оцінки головних показників надійності складних резервованих схем РП в умовах використання в якості теоретичного експоненціального закону розподілу випадкової величини.

УДК 621.316

Жорняк Л. Б.¹, Наріжний Р. І.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-814м НУ «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ПРИСТРОЮ РПН НА ЕТАПІ МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ

Нині показники якості напруги споживачів електроенергії часто не відповідають встановленим нормам. Це властиво як виробничих, так міських

мереж. Проблема якості електроенергії тісно пов'язана з надійністю та ресурсом роботи різноманітних споживачів [1]. Більш того, особливо вимогливі споживачі можуть функціонувати тільки при високій якості напруги [1, 2]. Найважливішим параметром якості електроенергії є рівень напруги. Для найбільш економічної та безаварійної роботи споживача необхідно, щоб відхилення фактичної величини напруги, при якому він отримує електроенергію, від свого номінального значення не перевищувало встановленої нормами допустимої величини. При цьому бажано, щоб відхилення напруги взагалі були мінімальними. Вимоги до точності підтримки напруги різні для різних видів навантажень. Особливо небажано відхилення напруги у бік його зменшення, яке завдає збитків у всіх галузях промисловості. Також зниження напруги підвищує втрати потужності в електромережах [1, 2]. Оскільки коливання напруги є принципово неминучими (через зміни режимів роботи мереж і споживачів), то забезпечення необхідних рівнів напруги потрібно його регулювання.

Практично у всіх енергосистемах застосовується велика кількість пристроїв, які забезпечують підтримку необхідного рівня напруги. Це, перш за все, трансформатори з регулюванням під навантаженням коефіцієнтом трансформації, конденсаторні батареї, реактори, синхронні компенсатори, генератори електростанцій тощо [1, 2]. Основними засобами регулювання напруги електричних мережах є силові трансформатори з пристроями регулювання під навантаженням (РПН). Існують три основні напрями підвищення якості електроенергії. Насамперед, це – раціоналізація засобів електропостачання. До цього напрямку відносять підвищення потужності мережі, живлення нелінійних споживачів підвищеною напругою та ін. енергії або пов'язаних із ними параметрів споживаної потужності [2].

Найбільш економічно кращим в даний час є третій напрямок, оскільки зміна структури мережі або оновлення всіх споживачів вимагає значних витрат. Для забезпечення надійної роботи існуючого обладнання необхідно застосовувати методи та засоби регулювання якості електричної енергії.

Автоматичне регулювання напруги на шинах електростанцій і районних підстанцій переважно здійснюється у вигляді зустрічного регулювання, при якому в період найбільших навантажень напруга встановлюється вище номінальної напруги мережі (з метою компенсації втрат напруги у споживачів). У період найменших навантажень напруга автоматично знижується. В умовах експлуатації прагнуть, по можливості, зменшити кількість перемикачів відгалужень трансформатора, свідомо йдучи на певне зниження якості регулювання, але досягаючи підвищення надійності систем електропостачання. Для цього задають закон регулювання, який нечутливий до короточасних коливань напруги, але реагує на відхилення більші, ніж зона нечутливості. Для підвищення стабільності регулювання в роботі [2] запропоновано модель, яка дозволяє врахувати знак похідної, що огинає

регульовану напругу. Це дозволяє не робити додатковий перемикач РПН, якщо регулюючий параметр знаходиться поза зоною нечутливості, але під впливом зовнішніх факторів переміщується в цю зону.

Моделювання напруги керування в програмному забезпеченні MATLAB (Simulink 4) дозволяє істотно підвищити не тільки якість енергії, що постачається в енергогенеруючих галузях, але й ефективність виробництва. Результати, отримані під час моделювання та відповідні розрахунки, дозволяють швидко синтезувати при автоматичному регулюванні напруги в перемикачі РПН силового трансформатора ступінчасту обмотку демпфованих перехідних процесів. Прогноз кількості і швидкості перемикачання обмоток силового трансформатора дозволить оптимізувати не тільки регулювання споживаної потужності, але і в кінцевому підсумку забезпечити необхідний технологічний процес.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьєв, О.І. Електричні апарати високої напруги [Текст] / О. І. Афанасьєв, Л. Б. Жорняк, В. М. Щусь. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 356 с.

2. Грабко, В.В. Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН. Монографія Електричні апарати високої напруги [Текст] / В. В. Грабко. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 109 с.

УДК 621.316

Жорняк Л. Б.¹, Андрусишин М. В.², Ждан В. В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-814м НУ «Запорізька політехніка»

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРОВАНОВОГО ПІДМАГНІЧУВАННЯМ ШУНТУЮЧОГО РЕАКТОРА

В даний час в Україні та за кордоном існує безліч різних програм для розрахунку електромагнітних перехідних процесів (ЕМПП) у схемах різної складності. До основних програм таких розрахунків можна віднести MathLab з можливістю моделювання в середовищі Simulink та програмний комплекс ЕМТР/АТР, які науковцями західних країн вважаються основними інструментами для розрахунку перехідних процесів [1, 2]. Розрахунки ЕМПП у вибраному сучасному програмному комплексі ґрунтуються на імітаційному моделюванні магнітозв'язаного кола, який є методом математичного моделювання, при якому запис та розв'язання системи рівнянь, що описують електромагнітну систему, здійснюється з використанням стандартних

елементів (блоків). Застосування методу імітаційного моделювання дозволяє розраховувати перехідні процеси в магнітозв'язаних електричних колах з урахуванням реальної конфігурації електричної та магнітної систем пристрою, що моделюється. Він вважається більше простим і наочним порівняно з методами, заснованими на чисельному розв'язанні систем рівнянь, що описують перехідні процеси в електромагнітній системі. Застосування імітаційного моделювання виключає необхідність запису системи рівнянь великої розмірності для розрахункових перехідних процесів у розгалужених магнітозв'язаних електричних колах [1].

Розробка способів та алгоритмів більш ефективного використання керованих шунтувальних реакторів (КШР) в електричній мережі на основі математичного моделювання керованого підмагнічуванням шунтуючого реактора для дослідження комутаційних та динамічних режимів роботи КШР в складі електроенергетичної системи є важливою темою, також математичні моделі КШР у середовищі Simulink, які використовуються для аналізу комутаційних та динамічних процесів у реакторі при його роботі в енергосистемі дозволяють запобігти аварійним режимам всієї мережі. Проведення відповідних розрахунків фахівцями проєктних організацій затруднено без детального знання особливостей конструкції КШР, алгоритмів його роботи та наявності моделі реактора. Крім того, слід зазначити, що не тільки неправильна оцінка співвідношення параметрів лінії і параметрів керованого реактора, але і неправильна розробка алгоритмів керування КШР може призвести до небажаних наслідків, до яких можна віднести не тільки неуспішне автоматичне повторне включення (АПВ) високовольтних ліній з УШР, але і пошкодження [2].

У силу того, що керований підмагнічуванням реактор є складним електротехнічним пристроєм, який характеризується нелінійними властивостями електротехнічної сталі, то облік усіх фізичних явищ, що відбуваються в магнітній системі реактора, неминуче призведе до погіршення чисельного розрахунку моделі, що викличе неприпустимо велику тривалість обчислень [1].

Дуже важливо на початковому етапі створення моделі визначити низку основних припущень, які з одного боку призведуть до зниження часу розрахунку, з другого – не призведуть до спотворення результатів розрахунку. Серед яких є наступні:

- ярма магнітопроводу, які служать для замикання магнітного струму обмоток і як наслідок запобігання його виходу за межі магнітопроводу, не насичуються, у всіх аналізованих режимах їх магнітна проникність нескінченна ($\mu=0$);

- магнітна індукція у всіх точках стрижня до його насичення однакова, тобто весь стрижень насичується одночасно;

- плоскі поверхні широких ненасичених ярем прилягають до торців стрижня та концентричних рівномірних рівновисоких обмоток;
- обмотки тонкі;
- не враховуються втрати у сталі від вихрових струмів та явище гістерезу;
- довжина шляху потоків розсіювання обмоток приймається рівною висоті вікна магнітної системи автотрансформатора (довжині стрижня).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьєв, О.І. Електроапаратне обладнання систем електропостачання енергоємних виробництв [Текст] / О. І. Афанасьєв, Л. Б. Жорняк, О. В. Немикіна, В. М. Щусь; за заг. ред. П. Д. Андрієнко. – Запоріжжя : НУ Запорізька політехніка, 2023. – 432 с.
2. Афанасьєв, О.І. Електричні апарати високої напруги [Текст] / О. І. Афанасьєв, Л. Б. Жорняк, В. М. Щусь. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 356 с.

УДК 621.3.048.1

Василевський В.В.¹, Скрупська Л.С.², Каплієнко О.О.², Шило С.І.², Голубцова В.Р.³

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-414а НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМИ НЕПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

Системи неперервного контролю силових трансформаторів забезпечують безперервний збір експлуатаційних даних з первинних датчиків, що дозволяє формувати значні обсяги інформації про стан трансформаторного обладнання. Накопичення таких даних створює основу для впровадження інтелектуальних підходів до їх обробки й аналізу. Штучний інтелект (ШІ) виступає ефективним інструментом для виявлення аномалій, трендів, прогнозування відмов і підтримки прийняття рішень у реальному часі. Застосування ШІ дозволяє не лише підвищити точність діагностики, а й забезпечити перехід до обслуговування трансформаторного обладнання за станом, оптимізації роботи трансформаторів і зменшення ризику аварій під час експлуатації.

Штучний інтелект як інструмент інтелектуального аналізу даних.

Силові трансформатори оснащуються численними сенсорами, які забезпечують безперервний моніторинг параметрів їх роботи: температури

обмоток, рівня масла, часткових розрядів, вібрацій, напруги та струму. Проте зростання обсягів даних призводить до ускладнення їх інтерпретації традиційними методами. Засоби ШІ, зокрема алгоритми машинного навчання (ML), дають змогу ефективно обробляти ці дані, здійснювати їх фільтрацію, попередню обробку, виявлення аномалій і трендів, що є передумовою для побудови систем раннього попередження про несправності.

Використання нейронних мереж для прогнозування технічного стану.

Глибинні нейронні мережі (Deep Neural Networks, DNN), рекурентні мережі (LSTM) та згорткові мережі (CNN) застосовуються для прогнозування технічного стану трансформатора на основі аналізу часових рядів та сигналів із датчиків. Такі моделі можуть «навчатися» на даних про експлуатацію трансформатора протягом певного часу та створювати предиктивні моделі, які з високою точністю передбачають розвиток деградаційних процесів в ізоляції, появу часткових розрядів або зниження ефективності охолодження. Це дає змогу обґрунтовано планувати технічне обслуговування.

Роль ШІ у прийнятті рішень у режимі реального часу.

Однією з ключових переваг впровадження ШІ є здатність приймати інтелектуальні рішення в режимі реального часу. Інтеграція ШІ з системами керування трансформатором дозволяє автоматично реагувати на критичні відхилення параметрів – зокрема, ініціювати аварійне відключення, перевести трансформатор у режим пониженої потужності або запустити процедуру глибокої діагностики. Це особливо актуально для цифрових підстанцій нового покоління.

Підвищення ефективності обслуговування через предиктивну аналітику.

Замість традиційного планово-профілактичного обслуговування, яке не враховує реальний технічний стан трансформатора, застосування ШІ забезпечує можливість впровадження систем предиктивного обслуговування (predictive maintenance). ШІ аналізує поточні та історичні дані, виявляє закономірності, що передують несправностям, та видає рекомендації щодо доцільності обслуговування або заміни конкретного вузла. Це знижує експлуатаційні витрати та підвищує коефіцієнт технічної готовності.

Використання кластерного аналізу та класифікації.

Методи кластеризації (наприклад, алгоритми K-means, DBSCAN, агломеративна кластеризація) можуть бути застосовані для групування трансформаторів за схожими технічними характеристиками або рівнем ризику. Окрім цього, класифікаційні моделі (SVM, дерева рішень, Random Forest) здатні на основі вхідних параметрів визначити ймовірність належності трансформатора до тієї чи іншої категорії технічного стану: «нормальний», «ризикований», «аварійний».

Перспективи цифрових двійників.

Цифровий двійник (Digital Twin) трансформатора — це віртуальна модель, яка відображає реальний стан фізичного об'єкта на основі даних з

сенсорів у режимі реального часу. ШІ забезпечує інтелектуальну поведінку цифрового двійника: аналізує поточні умови, прогнозує розвиток подій та моделює різні сценарії експлуатації, що є надзвичайно корисним для тестування рішень без ризику для реального обладнання. Це відкриває шлях до глибокої інтеграції трансформаторів у систему Smart Grid.

Системи навчання з підкріпленням для оптимізації роботи мережі.

Навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL) дозволяє будувати адаптивні політики керування, які змінюються залежно від поточних умов. У випадку трансформаторів це може бути, наприклад, вибір оптимального режиму роботи з урахуванням погодних умов, навантаження, резервних потужностей і навіть прогнозу попиту. Алгоритми RL здатні оптимізувати роботу енергосистеми в динамічну середовищі з великою кількістю невизначеностей.

Таким чином, можна зробити висновок що інструменти ШІ дозволяють глибоко аналізувати великі масиви даних, прогнозувати розвиток несправностей, приймати обґрунтовані рішення в режимі реального часу та впроваджувати обслуговування трансформаторного обладнання за станом.

УДК 637.5.02

Антонова М.В.¹, Налігацький А.О.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-411 НУ «Запорізька політехніка»

ТРИФАЗНИЙ НЕКЕРОВАНИЙ ВИПРЯМЛЯЧ

Для швидкодіючих регульованих електроприводів з широким діапазоном регулювання, високою точністю і хорошими енергетичними показниками дуже важливо, щоб перетворювач, живильний двигун постійного струму, володів малою інерційністю, двосторонньою провідністю і малим внутрішнім опором. Використання транзисторних перетворювачів з широтно-імпульсною модуляцією дозволяє значно покращити характеристики комплектних електроприводів постійного струму з високомоментними електродвигунами.

Як функціональна схема перетворювача вибираємо трифазну мостову схему перетворювача.

У мостовому випрямлячі від однієї вторинної обмотки трансформатора живляться дві трифазні групи вентилів.

На відміну від трифазного випрямляча з нульовим виведенням струм вторинної обмотки в мостовому випрямлячі, навантаження відрізняються незначно, тому при аналізі випрямляча його струм вважають ідеально згладженим.

Комутація струму з одного вентиля на наступний (черговий в даній групі) відбувається в моменти перетину синусоїд фазної напруги вторинної обмотки трансформатора, тобто проходження через нуль лінійної напруги синусоїди. Кожен вентиль проводить струм протягом третини періоду.

Трифазна мостова схема випрямлення широко використовується у багатьох галузях техніки. Це її хорошими техніко-економічними показниками: ефективним використанням трансформатора, малою величиною зворотного напруги на вентилях, порівняно малим коефіцієнтом пульсацій, високим ККД та інших. Трифазна мостова схема випрямлення використовується так само, як елемент складніших комбінованих схем випрямлення.

На рис. 1 зображено трифазний мостовий випрямляч, а також діаграми, що пояснюють його роботу.

Розглянуто та спроектовано систему ШПД-ДПТ, до якої входить 3-х фазний мостовий випрямляч на некерованих випрямлячах, розраховано трансформатор, необхідний для узгодження напруги мережі живлення та напруги двигуна постійного струму. Розглянуто та проаналізовано різні способи управління ШПД. Вибрано почерговий спосіб керування ШПД.

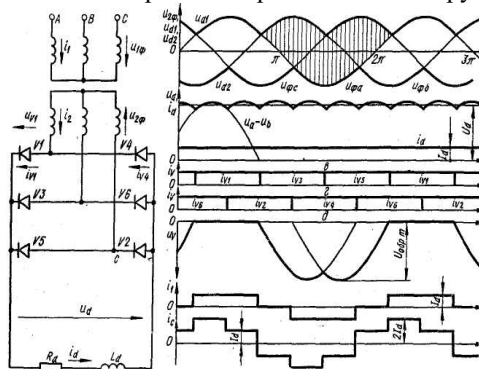


Рисунок 1 – Трифазний випрямляч і діаграми його роботи

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: Навчальний посібник [Текст] / М.М. Казачковський. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 197 с.
2. Силлові напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії: навч. посіб. [Текст] / К.К. Победаш, В.А. Святненко – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 244 с.

УДК 621.3.08

Сахно О.А.¹, Скрупська Л.С.², Шило С.І.², Кривченко О.В.³

¹ канд. техн. наук, доц. «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-414м НУ «Запорізька політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТИРИСТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ ЗБУДЖЕННЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА 2000 А, 350 В

Силова напівпровідникова техніка стає основою технічного прогресу в електромашинобудуванні, а потреба в напівпровідникових випрямних агрегатах щорічно зростає. Їх застосуванню також сприяють основні переваги тиристорних перетворювачів, такі як покращення енергетичних показників (ККД та коефіцієнта потужності), зменшення вагових і габаритних характеристик та експлуатаційних витрат, покращення динамічних характеристик, скорочення часу монтажу та налагодження, підвищення надійності та довговічності обладнання.

Розробка на уніфікованих елементах силових блоків, перетворювальних секцій, мікроконтролерних систем керування та регулювання дозволяє створювати перетворювальні пристрої різного призначення з різними вихідними параметрами струму і напруги, значно скоротити їх номенклатуру та спеціалізувати підприємства.

На сьогодні електроенергетичне та електромеханічне обладнання теплових і гідроелектростанцій суттєво застаріло як за технічними, так і за економічними показниками. Оскільки повна заміна всього парку обладнання в найближчий час неможлива, доцільним є проведення модернізації окремих його частин. У цій роботі електромашинна система збудження турбогенератора замінюється вентильною системою збудження.

Системи збудження повинні відповідати таким загальним вимогам:

- забезпечувати надійне живлення обмотки збудження синхронного генератора в нормальних і аварійних режимах;
- допускати регулювання напруги збудження в заданих межах;
- забезпечувати швидкодіюче автоматичне регулювання збудження з високими кратностями форсування в аварійних режимах;
- здійснювати швидке роззбудження і, за необхідності, забезпечувати гасіння поля в аварійних режимах.

Таким чином, розробка тиристорного перетворювача системи збудження турбогенератора є актуальним завданням.

Мета дослідження – покращення динамічних характеристик при запуску тиристорного перетворювача під час роботи на навантаження з великою індуктивністю, підвищення енергетичних показників (ККД та коефіцієнта потужності), зменшення вагових і габаритних характеристик, зниження

вартості та експлуатаційних витрат, підвищення надійності та довговічності обладнання.

Наукова новизна полягає у дослідженні електромагнітних процесів при запуску тиристорного перетворювача, що працює на коло збудження синхронного генератора, за допомогою комп'ютерного моделювання з урахуванням динамічних параметрів конкретного тиристора, а також у визначенні умов запуску перетворювача для розробки схемного рішення проблеми надійного та економічного пуску.

У цій роботі розраховано параметри та обране обладнання тиристорного перетворювача 2000 А, 350 В для живлення обмотки збудження турбогенератора. Досліджено електромагнітні процеси під час запуску перетворювача та надано рекомендації щодо схемного вирішення проблеми запуску.

У цих системах використовується принцип випрямлення трифазного змінного струму підвищеної або промислової частоти збудників чи напруги збуджуваної машини.

Електромашинні системи збудження, що випускалися заводами понад 30 років тому і досі перебувають в експлуатації, можуть бути замінені сучасними напівпровідниковими статичними системами з будь-яким набором заданих функцій.

Системи збудження забезпечують такі режими роботи синхронних машин:

1. Початкове збудження.
2. Холостий хід.
3. Увімкнення в мережу методом точної синхронізації або самосинхронізації.
4. Роботу в енергосистемі з допустимими навантаженнями та перевантаженнями.
5. Форсування збудження за напругою та струмом із заданою кратністю.
6. Розвантаження за реактивною потужністю та роззбудження при порушеннях в енергосистемах.
7. Гасіння поля генератора в аварійних режимах і при нормальній зупинці.
8. Електричне гальмування агрегату.

При дослідженні тиристорного перетворювача для збудження турбогенератора за результатами розрахунків отримано такі показники:

– чотири тиристори Т 253-800, з'єднані паралельно у базовому виробі, замінені одним тиристором Т 173-2000, загальна кількість тиристорів у силовому блоці становить 12 замість 48;

– запобіжники у плечах базового виробу (ПП57 на струм плавкої вставки 630 А) замінені запобіжниками у фазах (ПП63 на струм плавкої

вставки 1600 А); у КТЕ 2000/600 було 48 запобіжників, у розробленому перетворювачі 2000 А, 350 В – 6 запобіжників;

- спіральні охолоджувачі замінені охолоджувачами з профілю БК-225;

- за допомогою комп'ютерного моделювання електричних процесів у колі тиристорного збудження турбогенератора вирішено проблему запуску перетворювача без додаткових витрат енергії;

- габарити силової шафи базового виробу – $1200 \times 880 \times 2270$ мм, проєктованого – $1000 \times 800 \times 2270$ мм;

- габарити базового виробу – $7320 \times 1000 \times 2880$ мм, проєктованого виробу – $6520 \times 1000 \times 2880$ мм;

- маса базового виробу – 10335 кг, проєктованого виробу – 10055 кг.

Прийняті зміни в конструкції проєктованого перетворювача призводять до підвищення ККД до 0,97, зниження собівартості виробу завдяки зменшенню витрат чорних і кольорових металів, а також до скорочення трудомісткості виготовлення.

УДК 621.311.4

Антонова М.В.¹, Скороход М.О.²

¹ старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-411 НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСФОРМАТОРУ СТРУМУ ДЛЯ НАВАНТАЖЕННЯ 2 КА

Трансформатори струму з масляною ізоляцією на напругу 150 кВ призначений для передачі сигналу вимірювальної інформації приладів вимірювання, захисту, автоматики, сигналізації та управління в електричних ланцюгах змінного струму частоти 50 Гц або 60 Гц.

Він являє собою активну частину, що складається з первинної обмотки й комплекту вторинних обмоток, розміщених в підставку. Активна частина розташована в металевому корпусі, що опирається на полімерну покришку й підставу.

Трансформатор має три захисних вторинних обмоток й одну вимірювальну.

Елегаз – це шестифторкова сірка – інертний газ, негорючий, з високими ізоляційними властивостями, які починають руйнуватися при температурі вище 800°C, має густину 6.08 г/дм³.

Переваги елегаза над трансформаторним маслом:

- його електрична міцність у 2,5 рази вища;

- питома об'ємна теплоємність приблизно в чотири рази вища;

– хімічно чистий елегаз є інертним і до температури 180°C не реагує з будь-якими матеріалами.

Недоліком елегаза є висока температура зрідження та відносно висока вартість.

При тиску близькому до 0,2 МПа електрична міцність елегаза наближується до міцності трансформаторного масла.

Переваги полімерної покритишки над фарфоровою:

- витримує підвищений внутрішній тиск без пошкоджень;
- значно легший за фарфор.

Контактні виводи первинної обмотки мають маркування Л1 і Л2.

Враховуючи те, що елегаз стискується, трансформатор оснащений мембраною, яка спрацьовує при надлишковому тиску 0,7 МПа в разі внутрішнього пошкодження трансформатора, направивши викид вгору, що забезпечить безпеку від пошкодження обладнання, яке знаходиться поруч і є безпечним для обслуговуючого персоналу, на відміну від масляної ізоляції, яка є вибухонебезпечною.

Ізоляційна покритишка виконана у вигляді комбінованого ізолятора із синтетичного матеріала армованого скловолокном з наплавленими силіконовими ребрами, які легко можна відновити в разі їх механічного пошкодження.

Зовнішній вигляд трансформатора представлений на рис. 1.



Рисунок 1 – Трансформатор струму з елегазовою ізоляцією на напругу 150кВ

При розрахунку електродинамічної стійкості, визначають напругу згинання первинної обмотки ТС, яка не перевищує допустимого значення – розраховується первинна обмотка на електродинамічну стійкість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бржезицький, В.О., Зелінський, В.Ц., Лежнюк, П.Д., Рубаненко, О.Є. Електричні апарати: підручник [Текст] / В.О. Бржезицький, В.Ц. Зелінський, П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 602с.

2. Зелінський, В. Ц. Фізичні основи електричних апаратів: навчальний посібник [Текст] / В. Ц Зелінський. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 134 с.

3. Лесько, В.О Електричні апарати: Навчальний посібник [Текст] / В.О. Лесько, С.В. Кравчук, О.В. Сікорська – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 145 с.

УДК 621.3.08

Сахно О.А.¹, Скрупська Л.С.², Каплієнко О.О.², Михайленко А.О.³

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² старш. викл. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. Е-414м НУ «Запорізька політехніка»

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ВІДКРИТОГО РОЗПОДІЛЬНОГО ПРИБОРУ ТА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРУ ТРДЦН-80000/110

Під час проектування та експлуатації трансформаторів інженер стикається з необхідністю вирішення численних проблем, серед яких однією з найважливіших є проблема нагріву та охолодження. Вона відіграє ключову роль у створенні економічно вигідної та надійної конструкції трансформатора.

Оскільки навантаження більшості трансформаторів змінюється не тільки протягом доби та року, але й протягом усього терміну експлуатації, створення економічно та технічно оптимальної конструкції трансформатора та його системи охолодження є надзвичайно складним завданням. При цьому номінальні умови охолоджувального середовища визначають лише розрахункові температурні значення, необхідні для визначення його параметрів у номінальному режимі. Насправді ж трансформатор працює в умовах постійно змінюваних атмосферних впливів, що значно ускладнює складання коректних вихідних даних для теплотехнічного розрахунку системи охолодження трансформатора, який працює протягом усього терміну експлуатації в перехідних теплових режимах, що практично неможливо передбачити.

Отже, забезпечення роботи трансформатора в умовах, наближених до номінальних за температурним режимом та рівнем зношування ізоляції, є найважливішим технічним і економічним завданням. Однією з ключових умов тривалої та надійної експлуатації трансформатора є правильно розрахована система охолодження та відповідним чином розроблений алгоритм роботи шафи керування.

Автоматична шафа керування охолодженням трансформатора призначена для автоматичного та ручного керування електродвигунами вентиляторів системи охолодження трансформатора.

Функціональні можливості шафи керування:

- індивідуальний захист вентиляторів від коротких замикань, перевантажень, неповнофазних режимів;
- можливість автоматичного або ручного вибору джерела живлення силових ланцюгів;
- застосування локальних (у вигляді сигнальних ламп у шафі керування) та дистанційних ("сухі" контакти) засобів індикації;
- керування системою охолодження в автоматичному режимі (відповідно до ДСТУ 11677-85 або за алгоритмом, погодженим із замовником) і в ручному режимі;
- можливість автоматичного підтримання сприятливого мікроклімату в шафі;
- локальна та дистанційна сигналізація про стан елементів системи охолодження;
- керування електродвигунами вентиляторів за заданим алгоритмом залежно від навантаження, температури масла та обмоток трансформатора.

Потужність трансформаторів та їхні експлуатаційні характеристики в енергетичних системах визначаються з урахуванням необхідності забезпечення електропостачання навіть у разі виходу з ладу одного трансформатора під час пікових навантажень. Тому підвищення допустимих меж тимчасового перевантаження може дозволити відкласти розширення або встановлення нового трансформатора.

У минулому межі перевантаження встановлювалися таким чином, щоб не спричинити надмірного зносу конструкційних матеріалів та елементів. Було проведено аналіз цих меж перевантаження, враховуючи експлуатаційний досвід і статистику аварійності, що дозволило підвищити їх до максимально можливих значень для оптимізації використання активів підстанції. Аналіз проводився з урахуванням фактичних характеристик обладнання, яке не регулюється жодними електротехнічними стандартами, тому вся відповідальність покладалася на споживача.

Зокрема, трансформатори є одним із найкритичніших елементів під час тимчасового перевантаження підстанції. Також було досліджено можливі побічні ефекти підвищення допустимих меж перевантаження для інших елементів системи, які раніше не викликали проблем.

Для оцінки перевантажувальної здатності обладнання підстанції необхідно розглядати його як єдину систему. Було проведено дослідження методів моніторингу роботи обладнання в режимі перевантаження, а також способів його перевірки та ремонту до і після перевантаження. Окрім цього, були розроблені стратегії мінімізації ризиків, пов'язаних із експлуатацією у режимі перевантаження.

На основі досліджень навантажувальних режимів та даних про температуру верхніх шарів масла, навколишнього середовища, астрономічного часу та навантаження, а також використовуючи алгоритм

моделювання температури масла та обмоток трансформатора, автор запропонував схему модернізованої шафи керування, яка має такі переваги:

- оптимальний вибір кількості вентиляторів і насосів;
- згладжування пікових температурних значень у найбільш нагрітому місці обмотки, що зменшує фактичне старіння ізоляції та дозволяє прогнозувати навантажувальну здатність трансформатора;
- відсутність необхідності у використанні дорогих індикаторів температури обмоток;
- відсутність потреби у встановленні окремих вбудованих вимірювальних трансформаторів струму;
- зниження зносу елементів системи охолодження (орієнтовно до 10 %, залежно від характеру навантаження);
- зниження зносу ізоляції трансформатора (орієнтовно до 5 %).

Одним із результатів цього дослідження стало те, що існуючий ліміт перевантаження в 100 % може бути підвищений до 110 %, що дозволить відкласти встановлення або розширення підстанції розподілу на 4–5 років. Аналогічно, для первинних високовольтних та великогабаритних підстанцій було встановлено, що експлуатаційні межі можуть бути збільшені приблизно на 10%. Це дозволить відкласти встановлення або розширення первинних підстанцій на термін від 1 до 5 років, що сприятиме більш ефективному використанню обладнання підстанцій.

УДК 628.9

Шевченко М.О.¹, Ануліч А.А.¹, Немикіна О.В.²

¹ студ. гр. Е-414м НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ОЦІНКА ЗАОЩАДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ОСВІТЛЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПРИМІЩЕННЯ

Значну кількість підприємств в Україні використовують для освітлення ртутні лампи: типу ДРЛ або ДРІ, що має відносні низькі капіталовкладення, але має високу енергоємність і має термін служби 7000-12000 годин. Вивчення фахівців та вчених показує необхідність проблеми модернізації системи освітлення. Світлодіодні лампи (LED) дозволяють заощадити значну кількість електроенергії, їх середній термін служби становить до 50000 годин, але використання світлодіодних ламп вимагає значних капітальних витрат. Проектування нової або модернізація існуючої системи освітлення є багатоваріантним завданням виключає пошук не тільки кращих технічних рішень, а й найбільш вигідних з економічних поглядів варіантів. Розрахунок

системи освітлення для промислового приміщення зроблений за допомогою програмного пакета DIALux evo для ДРЛ ламп і LED ламп.

Таблиця 1 – Розрахункові характеристики системи освітлення цеху

Розрахункові характеристики	ДРЛ	LED
Джерело світла	Газорозрядна	Світлодіодна
Тип світильника	РСП05-700-002	H-Pro – RIF S 240W D REGOLABILE 010 6K
Номінальний початковий потік лампи, Лм	41000	40005
Світловіддача світильника, Лм/Вт	42,6	162,6
Потужність лампи, Рл, Вт	700	246
Кількість ламп N, шт	40	32
Активна потужність освітлення (ном), кВт ($P_{НОМ}^{OCB} = N \cdot P_{л} = N$)	$40 \times 700 = 28000 \text{ Вт} = 28 \text{ кВт}$	$32 \times 246 = 7872 \text{ Вт} = 7,872 \text{ кВт}$
Середня освітленість в приміщенні E на висоті робочої поверхні, лк	309	323
Коефіцієнт потужності cosφ	0,85	0,95
Коефіцієнт ПРА, K _{ПРА}	1,1	1
Коефіцієнт попиту, K _П	0,9	0,9
Активна розрахункова потужність освітлення, кВт	27,72	7,085
Реактивна розрахункова потужність освітлення, кВАр	17,2	2,3
Повна потужність освітлення (S_p^{ocb}), кВА	32,61	7,46
Потужність трансформатору цеху 10/0,4кВ ($S_{ном \tau}$), кВА	630	630
$\frac{S_p^{ocb}}{S_{ном \tau}}$	5,18	1,13

Для промислового приміщення (цех підприємства): нормована освітленість $E_n = 300 \text{ Лк}$; довжина $A = 72 \text{ м}$; ширина $B = 48 \text{ м}$; площа $S = 3456 \text{ м}^2$; висота = 8 м. В табл. 1 наведено розрахункові характеристики системи освітлення цеху.

Отже, активна розрахункова потужність освітлення при використанні ДРЛ ламп = 27,72 кВт, при використанні LED ламп = 7,085 кВт. При використанні LED ламп активна потужність зменшується на 71,89 %.

В процентному відношенні повна розрахункова потужність освітлення системи освітлення приміщення цеху від потужності трансформатора цеху.

Для ДРЛ ламп:

$$\frac{S_p^{осв}}{S_{ном \cdot \tau}} \cdot 100\% = \frac{32,61}{630} \cdot 100\% = 5,18\%$$

Для LED ламп:

$$\frac{S_p^{осв}}{S_{ном \cdot \tau}} \cdot 100\% = \frac{7,085}{630} \cdot 100\% = 1,13\%$$

Піри переобладнанні системи освітлення цеху підприємства можна досягти зменшення потужності освітлення з 5,18 % (використання ДРЛ ламп) до 1,13 % (при використанні LED ламп) від потужності трансформатора цеху.

УДК 621.316

Биков Б. В.¹, Шкреба В.І.², Юртаєв Д.С.¹

¹ студ. гр. Е-414м НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. Е-814м НУ «Запорізька політехніка»

КОМПЛЕКТНІ ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ З КОНЦЕНТРОВАНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Відомо, що для зменшення втрат потужності та електроенергії підстанції рекомендується встановлювати безпосередньо поблизу великих споживачів. Підстанції приймають електроенергію високої напруги (6-35 кВ) і знижують її до тієї, яка потрібна споживачам (0.4 кВ або 6-10 кВ) [1].

Трансформаторна підстанція – найважливіший елемент мережі електроживлення міста, заводу та інших об'єктів, але назвати її головним, звісно, не можна. Така підстанція є сукупністю різних окремих пристроїв, зокрема трансформаторів, діодів, випрямлячів та інших. Трансформаторна підстанція виконує три основні завдання – приймати електроенергію, перетворювати її та передавати на її подальший розподіл серед клієнтів. Підстанції, як правило, мають: силовий трансформатор; ПВН – пристрій вводу з боку високої напруги; РПНН – розподільний пристрій з боку низької напруги, СПНН – сполучний пристрій з боку низької напруги, СПВН – сполучний пристрій з боку вищої напруги, шинопроводи, АВР – автоматичне

введення резерву, ТАВР – тиристорний пристрій автоматичного вводу резерву, шафи керування трансформаторами [2].



Рисунок 1 – Комплектні трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ [1].

Підстанція для глибокого введення може отримувати енергію чи то від центрального розподільчого пункту підприємства, чи то безпосередньо від енергетичної системи району. Ця підстанція потрібна головним чином для того, щоб здійснювати подачу електрики до певних зон підприємства, або кілька згрупованих установок, що працюють на електриці. Такі підстанції на території промислових підприємств повинні знаходитись неподалік таких об'єктів, які потребують більшої кількості електроенергії [1]. Підстанції глибоких вводів розташовуються поблизу найбільших енергоємних виробництв і корпусів з концентрованим навантаженням, наприклад, прокатні та електросталеплавильні цехи, сталедротяні та кріпильно-калібрувальні блоки метизних заводів, збагачувальні фабрики та ряд інших виробництв. Як одна з головних складових ланок у системі електрифікації будь-якого великого виробничого підприємства, трансформаторна підстанція вимагає особливо ретельного підходу до формування найбільш раціональним способом схеми розподілу електроенергії. Місце встановлення підстанції підбирається так, щоб розподільна та трансформаторна підстанції всіх необхідних параметрів були б розташовані якомога ближче до центру навантажень, що ними забезпечуються. Якщо від цієї стратегії відступити, то зростуть втрати, збільшиться витрата кабелів, дротів тощо.

Оскільки внутрішньоцехові підстанції, які знаходяться всередині цехів, тобто електрообладнання розміщується безпосередньо в робочому приміщенні або в закритому приміщенні з викочуванням обладнання підстанції в цехи, тому промислові мережі з напругою від 6 кВ до 10 кВ, з метою їх наближення до електроприймачів, рекомендується оснащувати внутрішніми, вбудованими в будівлі або прибудованими до них підстанціями. До того ж для великих багатопрогнозових цехів значної ширини найбільш підходящими є внутрішньоцехові трансформаторні підстанції, наприклад для виробництв, пов'язаних з деревообробкою, з металообробкою,

і для інших виробництв, для установки в котельних, насосних, компресорних станціях [2].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьєв О.І. Електроапаратне обладнання систем електропостачання енергоємних виробництв [Текст] / О. І. Афанасьєв, Л. Б. Жорняк, О. В. Немикіна, В. М. Щусь; за заг. ред. П. Д. Андрієнко. – Запоріжжя : НУ Запорізька політехніка, 2023. – 432 с.
2. Афанасьєв, О. І. Електричні апарати високої напруги [Текст] / О. І. Афанасьєв, Л. Б. Жорняк, В. М. Щусь. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 356 с.

СЕКЦІЯ «ФІЗИКА»

УДК 378.091.33

Лозовенко О.А.

канд. пед. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ТРЕНУВАННЯ НАВИЧОК КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ ЧЕРЕЗ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОМИЛОК В КОМП'ЮТЕРНИХ СИМУЛЯЦІЯХ

Такий напрямок дидактичних досліджень як формування навичок критичного мислення має багаторічну історію, але досі бракує конкретних матеріалів для викладачів, які б вони могли використовувати в навчальному процесі. Метою цієї публікації є презентація результатів одного з пілотних педагогічних експериментів, який було проведено серед студентів 1-2 курсів технічних спеціальностей в НУ «Запорізька політехніка» в 2024/25 навч. році.

За допомогою програмного забезпечення MATLAB® було розроблене декілька завдань для перевірки вміння студентів розпізнавати помилки у комп'ютерних симуляціях руху вільного твердого тіла [1]. Одне з таких завдань було запропоновано студентам на першому етапі Всеукраїнської студентської онлайн-олімпіади з дисципліни «Фізика».

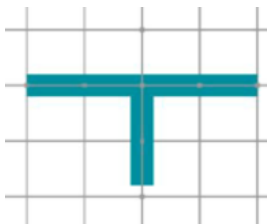


Рисунок 1 – Т-подібне тіло.

Двоє студентів змоделювали вільний рух однорідного Т-подібного тіла. Студентські варіанти моделювання представлені на відео <https://youtu.be/2E9ePqfV0Gg>. Яка версія (ліва чи права) точно неправильна? В чому помилка?

Для отримання правильної відповіді слід було звернути увагу на поведінку центра мас тіла. У вільного твердого тіла він повинен або перебувати у стані спокою, або рухатися рівномірно прямолінійно. На відео можна помітити, що в одному з варіантів (зліва) нерухома точка не є центром мас тіла.

Майже половина студентів (23 з 50) не надали жодної відповіді на це завдання, а повний бал отримали лише три учасники. Деякі студенти (11 з 50) правильно зазначали, що центр маси об'єкта в описаній ситуації повинен

бути в стані спокою, але їхні припущення щодо положення центру мас були помилковими.

Це переконливо свідчать про те, що студентам було важко відрізнити правильне моделювання від моделювання з грубими помилками, не дивлячись на те, що відповідний навчальний матеріал розглядався на лекціях, а надання правильної відповіді не потребує жодних розрахунків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lozovenko O. Critical Thinking Skills and Computer Simulations of Free Rigid Body Motion / O. Lozovenko, Y. Minaiev, I. Datsenko // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2025. – Vol. 1261. – P. 219–228. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85649-5_22

УДК 621.791.3

Борковських А.В.¹, Луцин С.П.²

¹асп. НУ «Запорізька політехніка»

²канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАМІНИ ЕКРАНУЮЧОЇ МІДНОЇ ФОЛЬГИ В СИЛОВИХ КАБЕЛЯХ 10...40 КВ НА АЛҮМІНІЙ- ЦИРКОНІЄВИЙ ЕКРАН

Розвиток матеріалів для електротехнічної промисловості призвів до того, що деякі експлуатаційні властивості алюмінієвих сплавів стали співставними з експлуатаційними властивостями міді. Так, підвищена термостійкість алюмінієво-цирконієвих сплавів є співставною з термостійкістю міді. Це дає можливість використовувати алюмінієві сплави для екранування високовольтних кабелів.

На ринку України широко представлені різні марки вторинного алюмінію. Проведені експериментальні дослідження показують, що використання вторинного алюмінію для виробництва термостійкого алюмінієвого сплаву не впливає на кінцеві електротехнічні та електромеханічні характеристики [1-3].

У цій роботі обґрунтовується можливість заміни мідного кабельного екрана в силовому кабелі на екран із термостійкого алюмінієво-цирконієвого сплаву з метою економії міді та зменшення собівартості виготовлення силового кабелю. Розрахунки підтвердили, що приведена товщина екрана з алюмінієвого сплаву наближена до товщини традиційного мідного екрана. Це дозволяє зберегти масо-габаритні характеристики силових кабелів при заміні мідного екрана на екран з алюмінієвого сплаву.

Такі високовольтні силові кабелі були виготовлені та випробувані на відповідність вимогам згідно з ПУЕ на ТОВ «Крок-ГТ». Випробування показали, що характеристики отриманого кабелю є ідентичними характеристикам традиційного кабелю.

Водночас собівартість кабелю з екраном із термостійкого алюмінієво-цирконієвого сплаву знижується на 20% завдяки використанню дешевшого матеріалу.

У високовольтних силових кабелів із таким виконанням виникає складність при комутації алюмінію з міддю. Однак використання спеціальних кабельних наконечників дозволяє розмістити корозійно-небезпечне з'єднання алюмінію з міддю під ізоляцією. Це рішення вимагає вищого рівня кваліфікації монтажників або замовлення кабелю необхідної довжини з уже встановленими кабельними наконечниками. При цьому останній варіант не вплине на вартість монтажних робіт.

На нашу думку, в нинішніх умовах використання таких кабелів є вельми актуальним для відновлення енергетичної системи України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Луцин С.П. Аналіз електротехнічних властивостей інноваційних високотемпературних проводів для повітряних ліній електропередач / С.П. Луцин, А.В. Боровських, М.В. Боровських // Електротехніка та електроенергетика. – 2018. – № 2. – С. 37–44. DOI 10.15588/1607-6761-2018-2-4
2. Циганенко Б.В. Ефективність роботи розподільних електричних мереж при підвищенні їх класу напруги: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.14.02; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ, 2017. – 271 с.
3. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – К.: Енергетика, 2018.

УДК 621.793.7

Єршов А.В.¹, Савонов Ю.М.², Павлюк Є.О.³

¹ д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. ІФ-313 НУ «Запорізька політехніка»

СКЛАДОВІ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ПРИ НАГРІВАННІ ТА РОЗПИЛЮВАННІ ДРОТУ – АНОДА ПЛАЗМОТРОНА

Плазмовий спосіб нанесення покриттів використовує електричний розряд для нагрівання напилюваного матеріалу до рідкого стану і перенесення його на оброблювану поверхню за допомогою потоку плазми.

Існує два способи подачі матеріалу покриття в плазмовий струмінь: подача порошку і подача та розпорошення суцільного або порошкового дроту. При подачі дроту його використовують як анод плазмотрона, що в кілька разів підвищує ефективність нагріву металу.

Стабільність процесу розпилення залежить саме від вибору оптимальної швидкості подачі дроту, при якій швидкість його нагріву та розпилювання співпадає із швидкістю подачі [1]. Характеристики нагріву дроту найбільш важливі у зоні густин струму $(50 \dots 100) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$, яка досліджена недостатньо. Тому розвиток методу теплового балансу для дослідження взаємодії плазми з електродом є актуальним.

Метою роботи є розробка методу визначення складових теплового потоку при нагріванні та розпилюванні дроту – анода плазмотрона.

Густина теплового потоку на поверхні дроту знаходиться з урахуванням теплоти плавлення r та теплоти нагріву рідкої плівки на поверхні дроту, яка залежить від різниці температур між поверхнею плівки t_w та твердою поверхнею t_n : $\Delta t_n = t_w - t_n$:

$$q_0 = -\lambda \frac{dt}{dx} = \rho V(ct_n + r) + (q_w - q_n). \quad (1)$$

Загальна теплова потужність нагріву дроту визначиться

$$Q = G(ct_n + r) + Q_p, \quad (2)$$

де $G = \rho VS = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$ витрати металу дроту; ρ, V, S – густина, швидкість подачі та площа поперечного перерізу дроту; $Q_n = G(ct_n + r)$ – потужність, що йде на нагрів і плавлення дроту; Q_p – потужність нагріву рідкої плівки на поверхні дроту, яка визначиться з урахуванням перегріву плівки над температурою плавлення, у вигляді

$$Q_p = Gc \frac{2}{3} (t_w - t_n), \quad (3)$$

де $\frac{2}{3} (t_w - t_n)$ – надлишкова середньомасова температура у плівці.

Температура плівки змінюється від температури плавлення t_n до температури поверхні t_w . Результати розрахунку складових теплового потоку і температури поверхні рідкого металу на торці електрода, з урахуванням зниження теплопровідності при плавленні металу, наведені в табл.1.

Показано величину загальної потужності нагріву дроту Q , яка складається з $Q_T = Gct_n$ – потужності, що йде на нагрів металу у твердій фазі, $Q_n = Gr$ – потужності плавлення дроту та Q_p – потужності нагріву рідкої плівки на поверхні дроту.

Таблиця 1 – Результати розрахунку складових теплового потоку і перегріву рідкого алюмінію на торці дроту діаметром 1,6 мм

Q , Вт	Q_t , Вт	Q_n , Вт	Q_p , Вт	$t_w - t_n$, °C
1508	626	421	461	729

При виміряній на мікрошліфі зразка плівки металу товщиною $\delta=0,1$ мм, зміна температури по товщині плівки становить $(t_w - t_n) = 729$ К. Температура поверхні плівки значно нижче температури кипіння алюмінію, що дозволяє не враховувати теплоту випаровування в балансі енергії. Показано, що 30% енергії витрачається на перегрів рідкої плівки до середньомасової температури потоку рідкого металу, яка складає 486 градусів вище температури плавлення. Густина теплового потоку з плазми становить $q_0 = 6,50 \cdot 10^8$ Вт/м². Густина струму на площині розплаву, дорівнює $j=0,732 \cdot 10^8$ А/м². Отримані характеристики теплоперенесення можуть бути використані для діагностики дугової плазми у прианодній зоні розряду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kharlamov M.YU. Nahrivannya i plavlennya provoloky – anoda pry plazmenno-duhovom napyleni / M.YU. Kharlamov, Y.V. Kryvtun, V.N.Korzhuk, S.V. Petrov // Avtomaticheskaya svarka. – 2011. – №5 –S. 5 – 11.

УДК 537.8

Курбацький В.П.¹, Малахов Є.К.²

¹ канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. БК-814 НУ «Запорізька політехніка»

ВИМІРЮВАННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ: ПАРАДОКС ІНДУКТИВНО ПОВ'ЯЗАНИХ КОНТУРІВ

У лабораторному практикумі кафедри фізики важливе місце належить роботі № 24 «Вивчення магнітного поля на осі колового струму». Схема проведення вимірювань магнітного поля ілюструється рис. 1. Котушка 1 приєднана до генератора синусоїдальної напруги u_g . В невеликій індикаторній котушці 2 спостерігається сигнал, пропорційний усередненій по її перетину індукції магнітного поля, утвореного струмом I_1 .

У первісному варіанті роботи вимірювалось падіння напруги на індикаторній котушці з використанням осцилографа. Потім, очевидно з метою спрощення і підвищення точності вимірювань, почали вимірювати

індукційний струм I_2 за допомогою міліамперметра. Але така заміна призвела до неочікуваного результату: значно погіршилось узгодження експериментальних значень поля з теоретичними, розрахованими за формулою Біо-Савара-Лапласа (рис. 2). Зауважимо, що цей факт залишався довгий час непоміченим з тої причини, що в роботі використовувалась ліанеризація залежності індукції магнітного поля від відстані до генеруючої котушки, яка не дозволила правильно оцінити ступінь відхилення експериментальних результатів від теорії.

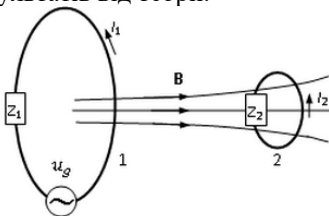
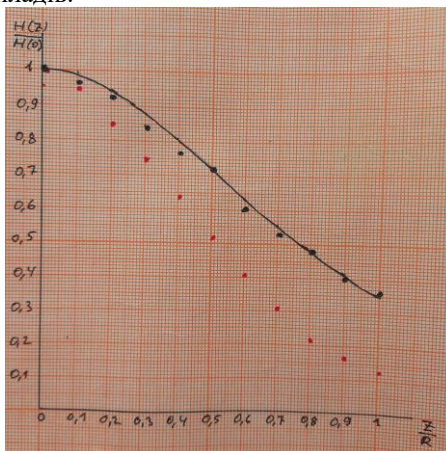


Рисунок 1 – Вимірювання магнітного поля індукційним методом.

Метою роботи є дати пояснення парадоксального результату заміни вимірювальних приладів.



суцільна лінія – розрахунок за формулою $\frac{H(z)}{H(0)} = \frac{1}{\left(\frac{z^2}{R^2} + 1\right)^{3/2}}$; чорні точки –

експериментальні результати при використанні осцилографа; червоні точки – результати вимірювань міліамперметром.

Рисунок 2 – Залежність індукції магнітного поля від відстані до котушки.

Струми в індуктивно пов'язаних контурах визначаються рівняннями

$$-M \frac{dI_1}{dt} - L_2 \frac{dI_2}{dt} = Z_2 I_2, \quad (1)$$

$$-M \frac{dI_2}{dt} - L_1 \frac{dI_1}{dt} = Z_1 I_1 + u_g, \quad (2)$$

де Z_1, Z_2 – імпеданси котушок 1 і 2; L_1, L_2 – їх індуктивності; M – коефіцієнт взаємної індукції. Представляючи залежність від часу множником $e^{i\omega t}$, перетворюємо рівняння (1) і (2) до вигляду

$$i\omega M I_1 + (Z_2 + i\omega L_2) I_2 = 0, \quad (3)$$

$$(Z_1 + i\omega L_1) I_1 + i\omega M I_2 = -u_g. \quad (4)$$

Вимірюваний сигнал в індикаторній котушці створюється зміною магнітного потоку $\Phi = M I_1$, але значення I_1 різне в присутності індикаторної котушки і без неї. Індикаторна котушка не викривляє результати виміру поля, коли струм I_2 настільки малий, що ним можна знехтувати (див. рівняння (4)). З рівняння (3) отримуємо:

$$I_2 = \frac{-i\omega \Phi}{Z_2 + i\omega L_2}. \quad (5)$$

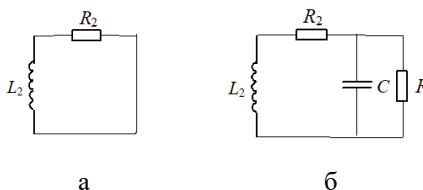
Для частоти генератора $\nu = 1,5$ кГц, яка використовується в роботі, на рис. 3 наведені еквівалентні схеми котушки 2 при вимірюванні міліамперметром (а) і при використанні осцилографа (б). На рисунку позначено: R_2 – омичний опір котушки, C, R – вхідна ємність і вхідний опір осцилографа. Опір міліамперметра вважається набагато меншим за опір котушки і тому в схемі а не врахований.

Імпеданс схеми а дорівнює

$$Z_{2a} = R_2 + i\omega L_2, \quad (6)$$

імпеданс схеми б

$$Z_{2b} = R_2 + i\omega L_2 + \frac{R(1-i\omega RC)}{1+\omega^2 R^2 C^2}. \quad (7)$$



а – міліамперметр; б – осцилограф.

Рисунок 3 – Еквівалентні схеми індикаторної котушки при підключенні міліамперметра і осцилографа.

У роботі використовується осцилограф С1-73, вхід У якого має характеристики $C = 35 \text{ пФ}$, $R = 1 \text{ МОм}$. Для оцінки внеску осцилографа в імпеданс зробимо розрахунки:

$$\omega RC = 2\pi \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \cdot 35 \cdot 10^{-12} = 0,33, \quad \omega^2 R^2 C^2 = 0,11. \quad (8)$$

Бачимо, що осцилограф додає до активної і реактивної частини імпедансу індикаторної котушки величини порядку R . Оскільки $R \gg R_2$, $R \gg \omega L_2$, з формули (5) випливає, що амплітудне значення струму I_2 набагато менше при використанні осцилографа, ніж при вимірюваннях міліамперметром. Зважаючи на згаданий вище вплив струму в індикаторній котушці на якість вимірювання поля, приходимо до висновку, що при використанні міліамперметра узгодження результатів вимірювань з розрахунками за формулою Біо-Савара-Лапласа гірше, що і демонструє рис. 2.

УДК 537

Правда М.І.¹, Сапронов І.І.²

¹ канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ “Запорізька політехніка”

² студ. гр. КНТ-523 НУ “Запорізька політехніка”

ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЛОВИХ МЕТОДІВ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ “КОЛИВАННЯ ОБРУЧА”

Лабораторний фізичний практикум є невід’ємною частиною технічної освіти, оскільки при виконанні тієї чи іншої лабораторної роботи студент на власному досвіді впевнюється у справедливості законів фізики.

Для студентів комп’ютерних спеціальностей окрім експериментальної перевірки фізичних законів при виконанні лабораторних робіт може бути корисним використання числових методів моделювання фізичних процесів, за допомогою програмних застосунків створених власноруч. Розглянемо із цієї точки зору лабораторну роботу “Коливання обруча” [1].

Схеми пристрою для виконання цієї роботи представлені на рисунку 1. Пристрій складається із власне обруча 1 – масивного металевого тіла; опорної призми 2, яка має можливість пересуватись і фіксуватись у довільній точці допоміжної направляючої 3, закріпленої на обручі уздовж його діаметра. Маси опорної призми 2 та допоміжної направляючої 3 набагато менші за масу самого обруча, так що при розрахунках ними можна знехтувати.

Період коливань обруча визначається формулою:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{R^2}{a} + a}, \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння; R - радіус обруча; a – відстань від осі обертання до центру мас.

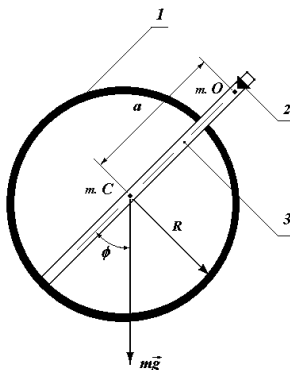


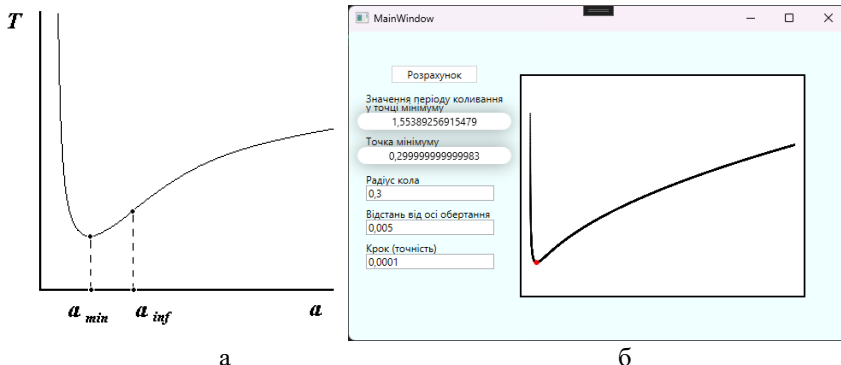
Рисунок 1 – Схема пристрою для виконання роботи “Коливання обруча”.

В роботі пропонується дослідити експериментально та теоретично формулу (1) та порівняти теорію з експериментом. Аналіз показує, що ця функція має дві особливі точки: точку мінімуму та точку перегину. Координата мінімуму знаходиться за відомою умовою екстремуму функції: $dT/da = 0$. Виявляється, що функція сягає мінімуму при $a_{\min} = R$, а координата точки перегину $a_{\inf}$ знаходиться із умови: $d^2T/da^2 = 0$.

Таким чином теоретичний графік залежності $T = f(a)$ для обруча, а також і для будь-якого фізичного маятника, при довільних значеннях параметру a буде мати вигляд, представлений на рис. 2а.

Викладені вище теоретичні положення можна перевірити числовими методами комп'ютерного моделювання. Для зручності розрахунків, було створено програмний застосунок, який будує графік з вказаних значень радіусу обруча, відстані від осі обертання до центру мас та кроку (точності). Застосунок створений на платформі Windows Presentation Foundation (WPF) з використанням мови програмування C#, та мови розмітки XALM.

На рис. 2б представлений результат числових розрахунків згідно формули (1). Розрахунковий графік залежності $T = f(a)$ цілком співпадає із теоретичним.



а – теоретичний; б – розрахунковий, отриманий числовими методами.

Рисунок 2 – Графік залежності $T = f(a)$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правда М.І. Методичні особливості лабораторної роботи “Коливання обруча” / М.І. Правда // Наукові записки. Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – 2013. – Вип. 4. – С. 215–217.

УДК 621.313.3

Пахар Д.П.¹, Луцин С.П.²

¹студ. гр. Е-254сп НУ «Запорізька політехніка»

²канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Асинхронні двигуни дуже розповсюджені й використовуються у багатьох електроустановках. Завдяки своїй універсальності, простоті в обслуговуванні, дешевизні та легкості в керуванні вони набули найбільшого поширення в промисловості.

Для задоволення різних виробничих потреб вони модифікуються та змінюються конструктивно, мають різноманіття за потужністю, напругою, кількістю фаз. Найбільш розповсюдженими є асинхронні двигуни, що живляться від напруги 220/380 В з частотою мережі 50 Гц.

Автоматизація керування електродвигуном є важливим кроком у розвитку сучасної техніки. Вона має багато переваг, які роблять її необхідною в різних галузях промисловості та повсякденному житті.

Основні причини для використання автоматизації керування двигуном:

1) підвищення ефективності (дозволяє оптимізувати роботу електроприводів, зменшуючи споживання енергії та підвищуючи продуктивність);

2) покращення точності керування та швидкості (забезпечує точне та швидке керування параметрами двигуна);

3) можливість дистанційного керування (дозволяє керувати двигунами та дізнаватися про стан роботи на відстані).

Частотні перетворювачі використовуються для керування швидкістю обертання електродвигунів змінного струму. Їх застосовують у багатьох сферах, де потрібне регулювання швидкості обертання механізмів. До переваги використання частотних перетворювачів можна віднести економію енергії, завдяки оптимізації роботи електродвигуна, плавне регулювання швидкості, забезпечує точне керування технологічним процесом. Зменшення зносу обладнання завдяки плавному пуску та зупинці двигуна. Захист двигуна від перевантажень та коротких замикань.

Зараз дуже розповсюджені частотні перетворювачі для керування електродвигунів через їх високу економічність та легкість комп'ютерної автоматизації. До мінусів можна віднести їх відносно високу вартість, але вона може окупитись за час використання та складність ремонту.

Вибір частотного перетворювача, який відповідає вимогам двигуна, є важливою задачею, при цьому потрібно враховувати потужність електродвигуна, напругу живлення, діапазон керування частоти. Також потрібно врахувати характеристики окремих силових компонентів і перевірити їх надійність.

Спочатку потрібно обрати електродвигун, який відповідає необхідним вимогам до потужності і типу. Розрахунок інвертору та випрямляча проводиться по максимальному струму та напрузі. Вони потрібні для того, щоб частотний перетворювач спочатку випрямив напругу змінного струму за допомогою випрямляча, а потім знову перетворив її інвертором на змінну, але вже з іншою необхідною частотою. Змінюючи частоту змінного струму, що подається на електродвигун, можна регулювати швидкість його обертання.

Для того, щоб компоненти під час роботи не перегрівалися і не виходили з ладу, використовують охолодження, наприклад алюмінієві радіатори з вентилятором чи без нього. Активне охолодження дозволяє брати менший за розмірами радіатор, бо він обдувається потоком повітря, що знижує його температуру. Для розрахунку охолодження беруть теплову потужність, яку виробляють компоненти і розраховують робочу температуру так, щоб вона не виходила за критичну.

SemiSel Simulation – це потужний інструмент моделювання від Semikron Danfoss, розроблений для розрахунку втрат енергії та температур силових напівпровідників. Цей інструмент допомагає розрахувати і вибрати

оптимальні силові напівпровідники для своїх конкретних вимог, враховуючи різні умови експлуатації та параметри компонентів.

Агломераційне виробництво відзначається важкими умовами роботи. Більшість вузлів і агрегатів приводів під час експлуатації зазнають значних механічних навантажень, високих температур, а також контактують з абразивними матеріалами та хімічно активними середовищами. Тому двигун повинен бути надійно захищений від пилу та абразивних часток і здатний витримувати високі температури.

Після розрахунків був обраний частотний перетворювач G120X 380-400 VAC на 55 кВт. Він повністю задовольняє потребам двох асинхронних двигунів AIP160M8–У1.

Отже, виходячи з вищенаведених фактів, можна зробити висновок про низку переваг і перспектив використання частотного перетворювача для підвищення ефективності роботи асинхронного двигуна.

УДК 621.3

Ганчев Д.І.¹, Лушин С.П.²

¹студ. гр. Е-214сп НУ «Запорізька політехніка»

²канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Двигуни постійного струму (ДПС) широко використовуються в різних галузях промисловості, робототехніці, транспорті та побутових пристроях. Частка використання ДПС у світі складає 32%. Вони працюють за принципом перетворення електричної енергії постійного струму в механічну обертальну енергію. Їхня популярність зумовлена простотою керування, високою ефективністю та можливістю роботи при низькій напрузі.

За типом збудження ДПС поділяють на двигуни незалежного збудження – обмотка збудження отримує живлення від окремого джерела; двигуни паралельного збудження – обмотка збудження з'єднана паралельно з обмоткою якоря; двигуни послідовного збудження – обмотка збудження підключена послідовно з якорем, що забезпечує високий пусковий момент; змішані двигуни – поєднують властивості двигунів паралельного та послідовного збудження [1, 2].

Двигуни постійного струму мають ряд переваг. Простота керування реалізується зміною швидкості та напрямку обертання шляхом регулювання напруги або струму. Високий пусковий момент дозволяє використовувати такі двигуни у транспортних засобах та підйомних механізмах. Точне регулювання швидкості забезпечується шляхом зміни напруги на якорі або

зміни збудження. Швидка реакція на зміну навантаження відбувається завдяки особливостям конструкції та роботи двигуна. Можливість роботи при низькій напрузі робить їх ідеальними для портативних пристроїв та акумуляторних систем.

Але двигуни постійного струму мають недоліки. Знос щіток і колектора відбувається через постійний контакт щіток із колектором, в результаті вони поступово стираються, що вимагає періодичного технічного обслуговування. У порівнянні з безщітковими або асинхронними двигунами вони мають обмежений термін служби. Підвищене іскріння може призводити до електромагнітних завад і швидкого виходу з ладу двигуна. Для потужних двигунів застосування ДПС менш вигідне через втрати на щітках і колекторі. Необхідність регулярної заміни щіток і очищення колектора збільшує експлуатаційні витрати.

Сьогодні спостерігається перехід до безщіткових двигунів постійного струму (BLDC), які усувають основні проблеми традиційних ДПС. Вони мають більший ККД, менший рівень зносу та не створюють іскріння. Завдяки розвитку напівпровідникової електроніки можливе гнучке керування такими двигунами. Високий крутний момент безщіткових двигунів постійного струму дає можливість використання їх у верстатах з ЧПУ, для робототехніки та в іншому промисловому обладнанні на виробничих і складальних лініях. Іншим перспективним напрямком є використання двигунів BLDC в електромобілях, велосипедах, скутерах, де вони дозволяють досягти високої енергоефективності та динамічних характеристик.

Двигуни постійного струму серій 4ПО, 4ПБ часто використовуються у промислових механізмах, наприклад, у приводах конвеєрних стрічок, насосах, підйомниках та вентиляторних установках. Вони забезпечують стабільний обертальний момент і точне регулювання швидкості, що важливо для безперервного виробничого процесу.

Наприклад, двигун ПО100S2(УХЛ4) потужністю 2.2 кВт використовується у системах подачі матеріалів на виробничих лініях. Завдяки високому пусковому моменту двигун може легко запускати конвеєрну стрічку навіть під великим навантаженням. Крім того, можливість регулювання швидкості дозволяє налаштовувати швидкість подачі залежно від етапу виробничого циклу. Це підвищує ефективність та гнучкість виробничого процесу. Визначені повні втрати двигуна, які дорівнюють 603 Вт, а також розраховано ККД – 78,5 %.

Аналіз наведених даних показує, що двигуни постійного струму мають свої переваги та недоліки, що визначають їхнє використання у певних сферах. Наприклад, вони є незамінними у транспорті, автоматизації та малопотужних пристроях. Таким чином, двигуни постійного струму залишаються важливими у сучасному світі. Використання безщіткових двигунів (BLDC) частково вирішує основні проблеми ДПС, роблячи їх ще

більш ефективними та довговічними. З огляду на технологічний прогрес, можна очікувати подальше вдосконалення ДПС, що дозволить їхнє ще ширше застосування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектування електричних машин: навч. посіб. / Д.В. Циценков, О.Б Іванов, О.В. Бобров та ін. – Д.: НТУ «ДП», 2020. – 408 с.

UDC 006.3:005.1

Shalkov Andrii ¹, Lushchin Sergiy ²

¹ student of group E-414a NU “Zaporizhzhia Polytechnic”

² PhD (Phys.-math. sciences), associate professor NU “Zaporizhzhia Polytechnic”

THE SIGNIFICANCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROGRAMMING

Artificial Intelligence (AI) is one of the most transformative technologies of the 21st century, revolutionizing industries worldwide – including programming. Its influence on software development, coding practices, and problem-solving approaches is profound. This report examines the significance of AI in programming, its applications, benefits, challenges, future prospects, and a comparative analysis of different AI tools and their uses.

Programming is the foundation of modern technology, enabling the creation of software, applications, and systems that power everyday life. The advent of AI has shifted programming from a solely human-driven task to a collaborative process between humans and machines. Today, AI is an indispensable tool for developers, enhancing productivity, efficiency, and innovation.

AI-powered tools like GitHub Copilot, based on OpenAI's Codex, assist developers by generating code snippets, autocompleting lines of code, and even writing entire functions. These tools use machine learning models trained on extensive codebases, allowing them to understand context and provide accurate suggestions. AI algorithms can analyze code to identify bugs, vulnerabilities, and inefficiencies [1]. Tools like DeepCode and Amazon CodeGuru use AI to review code and suggest improvements, reducing debugging time and enhancing code quality.

AI-driven testing frameworks, such as Testim and Appliflow, automate the creation and execution of test cases. These tools adapt to codebase changes using machine learning, ensuring comprehensive test coverage and faster release cycles. AI enables developers to write code using natural language. For instance, OpenAI's GPT models allow users to describe their requirements in plain English, and the AI generates the corresponding code. This innovation lowers the barrier to entry for

non-programmers and speeds up development. AI can analyze software performance and suggest optimizations. It identifies bottlenecks and recommends efficient data structures or algorithms, resulting in faster and more resource-efficient applications.

AI automates repetitive tasks, such as writing boilerplate code or fixing syntax errors, enabling developers to focus on more complex and creative aspects of programming. AI tools maintain coding standards, detect errors early, and suggest best practices, leading to cleaner, more reliable code. AI-assisted tools accelerate the software development lifecycle by streamlining the writing, testing, and deployment of code. AI makes programming more accessible by enabling natural language coding and offering intelligent guidance, allowing more people to participate in software development.

While AI provides significant benefits, it also presents challenges. Developers may become dependent on AI tools, diminishing their ability to think critically and solve problems independently. AI may produce code that is syntactically correct but logically flawed, requiring human oversight. The use of AI raises questions about intellectual property since AI models are often trained on publicly available code.

The integration of AI in programming is still evolving, with vast potential for future advancements. AI may assist in designing complete software systems, from architecture to implementation. Future AI tools could adapt to individual developers coding styles and preferences. AI could foster better collaboration between human developers and machines, leading to more innovative solutions [2].

A comparative analysis of different AI tools and their uses reveals varying strengths and applications. GitHub Copilot, based on OpenAI's Codex, excels in code generation and autocompletion, making it a powerful assistant for developers seeking to streamline their workflows. DeepCode and Amazon CodeGuru specialize in code review and bug detection, offering advanced static analysis to improve code quality. Testim and Applitools focus on automated testing, leveraging AI to create and maintain robust test cases that adapt to code changes. OpenAI's GPT models stand out for natural language processing capabilities, enabling users to convert plain English instructions into working code. Each AI tool addresses specific aspects of the software development lifecycle, allowing developers to choose the most suitable solution based on their needs.

Artificial Intelligence is transforming programming, making it faster, more efficient, and more accessible. Although challenges remain, the benefits far outweigh the limitations. As AI continues to evolve, it will play an even greater role in software development, empowering developers to create smarter, more sophisticated applications.

REFERENCES

1. AI in software development: Internet source / Matthew Finio, Amanda Downie. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/think/topics/ai-in-software->

development#:~:text=AI%2Dpowered%20tools%20can%20assist,generation%2C%20bug%20detection%20and%20testing

2. The Importance of Learning Coding in Developing Artificial Intelligence: Internet source / Abhishek Rawat. – Режим доступу: <https://medium.com/@Abhishek77/the-importance-of-learning-coding-in-developing-artificial-intelligence-6866af54c705>

UDC 612.313

Kovtun Hryhorii¹, Lushchin Sergiy²

¹student of group E-414a NU «Zaporizhzhia Polytechnic»

² PhD (Phys.-math. sciences), associate professor NU «Zaporizhzhia Polytechnic»

STATIC ELECTRICITY: FROM FUNDAMENTAL PRINCIPLES TO MODERN APPLICATIONS

Static electricity arises as a result of the accumulation of electric charges on the surface of dielectrics or conductors isolated from the ground. This phenomenon is caused by an imbalance between positive and negative charges due to processes such as friction, contact, or induction. It is widely used in engineering: touch screens, air purification systems, photocopiers, microelectronics, aerospace industry and medicine.

One promising idea is the use of static electricity for energy generation in micro- and nanodevices. In recent years, triboelectric nanogenerators (TENGs) have been actively developed to convert mechanical friction energy into electrical energy. Such devices can power wearable electronics, sensors and even medical implants. The working principle of TENGs is based on the combination of the triboelectric effect and electrostatic induction. For example, when a polymer film rubs against a metal surface, a potential difference of hundreds of volts can arise [1]. This paves the way for autonomous power sources independent of external batteries.

The phenomenon of static electricity has long been of interest to the scientific community, yet it also poses significant practical challenges. In the field of electronics, electrostatic discharge (ESD) has the potential to compromise the integrity of sensitive components, such as semiconductor chips. Contemporary research has proposed the utilisation of metamaterials (composites) with regulated dielectric properties for the purpose of suppressing undesirable charges.

Metamaterials consist of periodically arranged elements (e.g., micro- or nanostructures) whose dimensions are smaller than the wavelength of the interacting electromagnetic radiation. In the context of static electricity, metamaterials are notable for their ability to control dielectric properties, such as

permittivity ε and conductivity σ , enabling the management of charge distribution and accumulation [2].

The employment of metamaterials facilitates an augmentation in system capacitance due to their high permittivity, thereby diminishing the potential at a given charge. This has the effect of minimising the risk of breakdown.

Metamaterials with conductive inclusions or gradient conductivity have been shown to be capable of directing charges to the ground through low-resistance paths. For instance, metamaterial structures comprising carbon nanotubes within a dielectric matrix facilitate "soft" charge dissipation, thereby preventing sudden discharges. Hybrid coatings with graphene inclusions represent a class of composite materials, wherein graphene (a single atomic layer of carbon with a hexagonal lattice) is integrated into a dielectric matrix, thereby combining high permittivity with controlled conductivity [3].

The dielectric matrix provides high permittivity, denoted by ε . The matrix materials that are most commonly utilised include polymers such as polyvinylidene fluoride (PVDF) or polymethyl methacrylate (PMMA), with permittivity values ε ranging from 5 to 50, and ceramic materials such as aluminium oxide (Al_2O_3 , $\varepsilon = 10$) or barium titanate (BaTiO_3 , $\varepsilon = 1000$ and higher).

Graphene exhibits unique properties. It is an excellent conductor due to its high electron mobility ($\sim 200,000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$). Its structure makes graphene incredibly strong and flexible. Graphene is resistant to corrosion and oxidation. A single graphene layer is $\sim 0.34 \text{ nm}$ thick, enabling ultra-thin coatings.

In hybrid coatings, graphene is typically used as nanoplatelets, nanotubes, or graphene oxide dispersed in a dielectric matrix (e.g., polymers, ceramics, or epoxy resins). This structure combines graphene's conductive properties with the matrix's insulating characteristics. For example, PVDF-based coatings with 1% graphene achieve $\varepsilon \approx 50$ and conductivity $\sim 10^{-6} \text{ S/m}$ [3].

The presence of graphene inclusions generates pathways that exhibit moderate conductivity, thereby facilitating the safe dissipation of charges into the grounding system. This prevents the occurrence of abrupt discharges, which have the potential to cause damage to electronic devices or ignition. The presence of graphene nanoplatelets has been shown to mitigate local electric fields, thereby preventing the accumulation of charge at specific locations.

To evaluate hybrid coating parameters, consider a flat surface with area $S = 0.01 \text{ m}^2$ accumulating charge $Q = 10^{-7} \text{ C}$. Without coating ($\varepsilon = 1$, distance to ground $d = 0.001 \text{ m}$), capacitance and potential are:

$$C_0 = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d} = 8,85 \cdot 10^{-11} \text{ F}. \quad V_0 = \frac{Q}{C_0} = 1129 \text{ V}. \quad (1)$$

Applying a hybrid coating with $\varepsilon = 200$ (achieved via graphene inclusions in a polymer matrix) yields new capacitance $C_1 = 4.45 \times 10^{-9}$ F and potential $V_1 = 22.6$ V.

The coating's resistivity is $\rho = 10^6 \Omega \cdot \text{m}$. The effective resistance for charge dissipation through a coating of thickness $d = 0.001$ m is:

$$R = \rho \frac{d}{S} = 10^5 \Omega. \quad (2)$$

The charge dissipation time can be determined by measuring the relaxation time, $\tau = RC_1 = 1.77$ ms. It can thus be concluded that the coating reduces potential by 200 times and ensures safe charge dissipation within milliseconds, thereby preventing sparking.

Static electricity is not merely a curious physical effect; rather, it is a field in which fundamental science intersects with innovative technologies. Innovative ideas, such as triboelectric generators, and precise calculations pave the way for effective solutions – from autonomous energy sources to the protection of high-tech equipment.

REFERENCES

1. Wang Z.L. Triboelectric Nanogenerators: Principles and Applications / Z.L. Wang // Nano Energy. – 2016. – Vol. 22. – P. 1–21. DOI: 10.1016/j.nanoen.2016.02.016
2. Cui T.J. Metamaterials: Theory, Design, and Applications / T.J. Cui, D.R. Smith, R. Liu. – New York: Springer, 2009. – 367 p.
3. Dang Z.-M. Graphene-Based Polymer Nanocomposites with High Dielectric Constant / Z.-M. Dang, J.-K. Yuan, J.-W. Zha // Advanced Materials. – 2013. – Vol. 25, № 4. – P. 633–648. DOI: 10.1002/adma.201203192

Наукове електронне видання
Можна використовувати в локальному та
мережному режимах

ТИЖДЕНЬ НАУКИ-2025

Електротехнічний факультет

Збірник тез доповідей щорічної
науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців,
молодих учених і аспірантів

14–18 квітня 2025 року

Один електронний оптичний диск (DVD-ROM); супровідна документація.
Тираж 100 прим. Зам. № 461

Видавець і виготовлювач
Національний університет «Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Університетська, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.