

СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРИЧНІ І ЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ»

УДК 621.355.9

Petro Andrienko¹

Ivan Zhezhera²

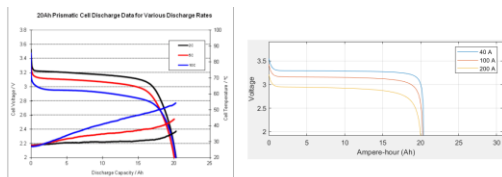
¹ Doctor of Technical Science, professor NU «Zaporizhzhia polytechnic»

² PhD student NU «Zaporizhzhia polytechnic»

GENERAL LI-ION BATTERY MODEL WITH OVERCHARGE PROTECTION

Nowadays lithium-ion batteries are considered as the most advanced batteries technology. These batteries can be designed for high energy or high power storage system. However, it is impossible to manufacture identical battery cells due to fabrication process. If not to take some preventive measures, it would cause a big difference between cells, which in its turn, to less lifecycle of battery or completely fail the battery. Without an appropriate battery management system, it is impossible to make a variation between cells as small as possible [1].

In the first step of battery management system (BMS) development the general battery model is needed. Matlab subsystem Simulink provides us with the general battery model [2]. This model represents general dynamic model of the most popular battery types: Lead-acid, Ni-MH, Ni-Ca and Li-ion. It may be useful for checking the general discharge characteristic and aging or / and temperature depended discharge characteristics. To validate this model the real data of Li-ion battery cell LiFePo₄ A123 System AMP20m1HD-A was insert [3]. As a result, we received the discharge characteristics that are almost the same with real ones, despite the fact that real one use temperature dependent model. (Fig. 2). The figures shows us discharging characteristics at 2C, 5C, 10C discharge. According to them AMP20m1HD-A battery has good performance, the power drops are at acceptable level and the power will be almost constant until 90% discharge even at high current.



a – real discharge characteristics; b – simulated discharge characteristics

Figure 1 – LiFePo₄ discharge characteristics

But, how to check the charging characteristic? It is needed to implement equivalent circuit model (figure 2). This circuit represents general battery model, the ideal energy source for charging battery cell, wires resistance and overcharge protection. The charging characteristics is shown of the figure 3.

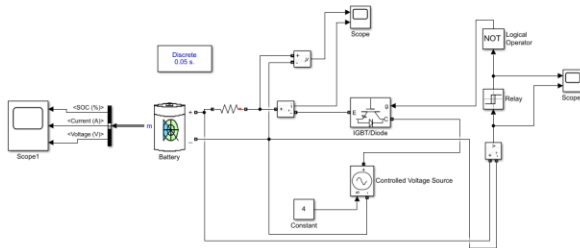


Figure 2 – Equivalent circuit model for battery cell charging

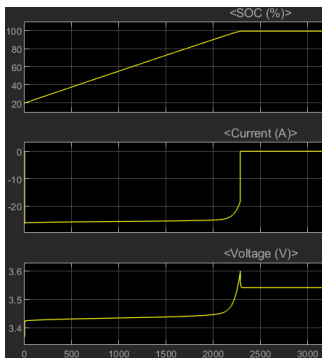


Figure 3 – Charging characteristics

The charging characteristics show us exponential voltage increase when a battery is charging and if compare it with discharging characteristic – they are reversal. Moreover, these characteristics shows us correct operation of overcharging protection. The charging process stopped at 100% state of charge. If it would not stop, the battery cell voltage will grow to the power source level, but in real life, it will damage the cell or cause overheating and self-firing.

The proposed equivalent circuit for battery cell charging with protection device may be used as a part of battery cell pack and battery managements system.

LIST OF REFERENCES

1. Mohamed Daowd, Mailier Antoine, Noshin Omar., Battery Management System—Balancing Modularization Based on a Single Switched Capacitor and Bi-Directional DC/DC Converter with the Auxiliary Battery / Daowd M., Mailier A. , Noshin O. // Energies – 2014, No.7, – 289 – 2937p.
- 2.Mathworks. Generic battery model [internet source]. – access: <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html>
3. A123 Energy Solution., Battery pack design, validation, and assembly guide using A123 Systems AMP20m1HD-A Nanophosphate® Cell, 2014.

УДК 371.3

Поляков М.О.

канд. техн. наук, проф. НУ "Запорізька політехніка"

ОСВІТА В НСТ (ОАЕ)

Вищі коледжі технологій (НСТ) в Об'єднаних Арабських Еміратах (ОАЕ) представляють собою різновид університетів, і навчають студентів за програмами бакалаврів і магістрів. Потреби країни в технічних спеціалістах обумовлені, в тому числі, необхідністю експлуатації підприємств добувної промисловості, складною інфраструктурою міст і транспортних систем. Мета роботи - поширення досвіду організації освіти в НСТ.

НСТ об'єднують кілька чоловічих і жіночих коледжів розташованих в різних містах країни. Коледжі мають документ визначає стратегію їх діяльності на кілька років. Зокрема, актуальними цілями проголошені надання студентам і НСТ - спільноті інтелігентного навчання і цифрових систем можливих «anytime / anywhere / on demand learning», що передбачає очне та гібридне (частково дистанційне) навчання.

Спеціальності коледжів сертифіковані міжнародними організаціями. Навчання за кожною спеціальністю ведеться синхронно по всій країні. Студенти в інших містах слухають і дивляться лекцію в спеціально обладнаних для відео конференцій аудиторіях. Існує окрема професія «постановник курсу». І це не обов'язково лектор. У лабораторіях використовується обладнання від спеціалізованих виробників. Склад обладнання у всіх коледжах, які ведуть навчання за даною спеціальністю, однаковий.

Міжнародна науково-технічна конференція НСТ Advances in Science & Engineering Technology ASET 2020 Innovations in Engineering Education International Conference April 09, 2020 в умовах пандемії проводилась в режимі відео конференції з використанням програмного засобу ZOOM. Спільна доповідь викладачів НУ «Запорізька політехніка» та НСТ була присвячена стану, перспектив розвитку та застосування віддалених лабораторій в інженерній освіті. Такий формат конференції, який було погоджено з організацією IEEE і показав свою ефективність і корисність.

УДК 004.382

Mykhajlo Poliakov

PhD, professor NU «Zaporizhzhia polytechnic»

APPLICATION OF PERIPHERAL DEVICES SIMULATORS

Laboratory courses for the study of microcontrollers (МК) until recently used available simulators that display only the status of the resources (registers, memory) of the МК. This causes difficulties when debugging interaction programs with the control object and the operator, which require simulation of electro mechanics

and indication devices. Objective - to describe the experience of studying MK using integrated simulators of MK and peripheral devices.

In 2020, in the training laboratory courses on the use of microcontrollers in the departments of electrical and electronic devices and radio engineering and telecommunications, freely distributed simulators UnoArduSim and EdSim51DI were used. The screens of these simulators contain configuration elements of peripheral devices and dynamic circuits for their connection to the microcontroller. The Peripherals for EdSim51DI are ADC, Comparator, Four 7-segment LED Displays, LCD Module, UART, Keypad, LED Bank, Bi-directional Motor, Switch Bank, DAC (output displayed on oscilloscope). UnoArduSim I/O Devices are Serial Monitor, Software Serial, SD Disk Drive, Shift Register Slave, Configurable SPI Slave, Two-Wire I2C Slave, '1-Wire' Slave, One-Shot, Programmable 'I/O' Device, TFT Display, Digital Pulser, Analog Function Generator, Stepper Motor, DC Motor, Servo Motor, Piezo Speaker, Slide Resistor, Push Button, Coloured LED, 4-LED Row, 7-Segment LED Digit, Analog Slider, Pin Jumper.

The topics of the laboratory work were the study of the simulator interface, program structure, commands, procedures and functions of the programming language, the simplest techniques for configuring and controlling sensors, actuators, and indicating devices. The display of programming results in animation by the actuator on the simulator screens increases students' interest in the topic under study and stimulates independent experiments on programming microcontroller systems.

УДК 67.03

Василевський В.В.¹, Шило С.І.², Каплієнко О.О.²

¹ канд. техн. наук, старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

² старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

ЗАСТОСУВАННЯ 3D ДРУКУ ДЛЯ ПРОТОТИПУВАННЯ ТА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Однією з найбільш розповсюджених технологій 3D друку є технологія пошарового накладання розплавленого пластику (FDM, Fused Deposition Modeling). До переваг використання FDM можна віднести відносну доступність 3D принтерів, що працюють за цією технологією, а також різноманітність матеріалів для друку. З точки зору вирішення задачі прототипування та виробництва деталей електротехнічних пристроїв вимоги до цих матеріалів аналогічні вимогам до електротехнічних пластмас. Необхідними є:

- забезпечення високих електроізоляційних властивостей;
- достатньо високі механічні властивості;
- висока стійкість до корозії та висока хімічна стійкість;
- низька гігроскопічність.

Широко використовуються для FDM друку ABS пластики та композиційні полімерні матеріали на їх основі (ABS+, ABS Flex, ABS PRO та інші.). Електрична міцність ABS пластику складає 12 – 15 МВ/м, діелектрична проникність ϵ' при 10^6 Гц дорівнює 2,4 – 2,5, значення $\text{tg}\delta = 0,008 – 0,02$ (в порівнянні, електрична міцність полістиролу ПС 20 – 23 МВ/м, $\epsilon' = 2,4 – 2,8$, $\text{tg}\delta = 0,0002 – 0,0009$), температура розм'якшення 90 - 105°C. Водопоглинання 1% за 24 години при 23°C [1]. Доцільним є застосування ABS пластиків для виготовлення конструкційних деталей електротехнічних пристроїв.

PLA (полілактид) інший популярний матеріал для друку, має низьку температуру розм'якшення 50°C, вологопоглинання становить 0,7% за 24 години при 23°C [2]. Це в купі з низькою механічною міцністю робить PLA непридатним для друку електротехнічних виробів, але не обмежує його застосування для вирішення задач швидкого прототипування окремих деталей та вузлів.

ABS та PLA відносяться до так званих стандартних (простих) пластиків. Крім них вітчизняні та зарубіжні виробники пропонують інженерні пластики, які відрізняються покращеними експлуатаційними властивостями.

Так ПЕТ (поліетилентерефталат) пластики мають електричну міцність 140 – 180 МВ/м, температуру розм'якшення 245 – 248°C та водопоглинання 0,3%. Високі механічні властивості досягаються шляхом кристалізації виробів з ПЕТ після друку. Крім того, друк із застосуванням ПЕТ передбачає достатньо високу температуру екструдера 3D принтера в діапазоні 260 – 270°C.

Поліефірефіркетон або РЕЕК пластик характеризується високими електротехнічними, фізико-механічними та теплофізичними властивостями. Температура деформації РЕЕК складає 150°C а температура експлуатації виробів – 250°C. Електрична міцність 20 кВ/мм. Застосування РЕЕК пластиків обмежується їх високою вартістю та необхідністю забезпечення високої температури екструдера 3D принтера (близько 400°C).

Можна зробити наступні висновки.

1. Широкий вибір матеріалів дає можливість використовувати технологію FDM 3D друку для дрібносерійного виробництва конструкційних, а також прототипування електроізоляційних деталей і вузлів електротехнічних пристроїв.

2. Фізико-механічні, теплофізичні та електричні властивості пластиків для 3D друку можуть значно варіюватися в залежності від виробника та модифікації конкретного матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Натуральный АБС пластик для 3D принтера FDM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://monofilament.com.ua/products/standartnye-materialy/abs/abs-plastic>.

2. PLA черный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://monofilament.com.ua/products/standartnye-materialy/pla/pla-chernyj>.

УДК 621.515

Антонова М.В.

старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОМПРИМУВАННЯ

Робота присвячена аналізу газоперекачуючих агрегатів (ГПА) як об'єктів технологій газотранспортної системи України для виявлення структури класу і відношень між його елементами. На основі цього була побудована об'єктна модель.

Проведено поглиблений аналіз з побудовою відповідних систем компримування. Найпоширенішим типом ГПА являються ГПА з газотурбінним двигуном та відцентровим нагнітачем, але авторами розглядається відцентровий нагнітач з електричним приводом, що відповідно обіймає всього 20 % систем компримування.

Розглянуто систему антипомпажного регулювання як одну з ключових систем захисту нагнітача і забезпечення безаварійного функціонування ГПА. Вказані основні принципи побудови таких систем з їх перевагами і недоліками. На основі цього запропонована методика оцінки можливої виконання ГПА з антипомпажним захистом (АПЗ).

Серед існуючих методик визначення моменту настання помпажу найбільш характерними є статичний і динамічний методи. В роботі більше детально розглянуто динамічний метод, що дозволяє враховувати миттєві діючі значення витрат через компресор та тиску в системі.

Статичний метод базується на статичному положенні лінії контролю помпажа, яка визначається з певною періодичністю, і визначає положення робочої точки нагнітача в координатах ступінь стиснення - витрата (напірна характеристика), або потужність - витрата. Тому системи, засновані на статичному методі регулювання, представляють собою не що інше, як регулятори продуктивності (витрати) нагнітача, що істотно звужують діапазон роботи нагнітача в стійкій зоні і приводять до перевитрати енергоресурсів.

Динамічний метод визначення моментів настання помпажних явищ заснований на аналізі змін в потоці газу через нагнітач. Помпаж – коливальний процес, який обумовлений зривом потоку газу на лопатках робочого колеса нагнітача. Як будь-який коливальний процес він має свої параметри і критерії оцінки. Для їх аналізу використовуються частотний, спектральний і інші методи. Коливальні процеси в потоці газу несуть в собі інформацію про стій-

кість потоку і його турбулентність. При нормальних умовах роботи нагнітача розподіл параметрів газу близько до нормальному закону ("білий шум"). При зародженні зривних явищ на лопатках, турбулентність потоку газу зростає. Так як газ є середовищем, що стискається, то розповсюдження зривних явищ обмежується малим об'ємом (міжлопасним). У міру розповсюдження зривних явищ коливання (турбулентність) охоплюють об'єм між лопатками, достатній для їх виявлення і досягають конфузора нагнітача. Для аналізу змін стану системи достатньо параметра перепаду тиску газу на роторній компресорній машині.

В загальному робота представляє собою систематизований аналіз всіх існуючих систем компримування, з узагальненими даними про системи аналізу та керування ГПА.

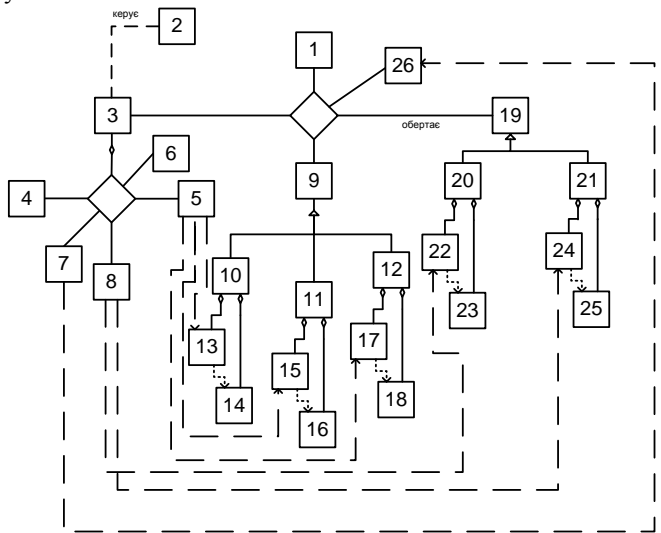


Рисунок 1 – Структурна схема існуючих ГПА

До вище приведених недоліків можна додати те що не враховується теплопровідність систем стиснення та хімічні властивості стисненого газу, адже від цього залежить вибір систем компримування, пожежна безпека відповідного ГПА.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Юкин Г.А. Диагностирование энергоэффективности газотурбинных устано-вок компрессорных станций [Текст] / Г.А. Юкин // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2002. – №11-12. – С. 29 – 32.
2. Швец В.С. Основи системного підходу: Навчальний посібник для вnz [Текст] / В.С. Швец. – Суми:СумДУ, 2004. – 91 с.

3. Буч Г. Объектно-ориентированное программирование с примерами применения: Пер. с англ [Текст] / Г. Буч. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.

УДК 621.316.71

Животченко О.В.¹, Коцур М.І.²

¹ студ. гр. Е-819м НУ "Запорізька політехніка"

² канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В УМОВАХ ТРИВАЛОГО РЕЖИМУ РОБОТИ МЕХАНІЗМУ

Розвиток безконтактних систем регулювання асинхронних двигунів привело до зниження капітальних витрат на продукцію і підвищення енергоефективності виробничих механізмів. Застосування існуючих систем регулювання дозволяє досягти плавності регулювання приводних двигунів, підтримувати постійний момент в підсинхронному діапазоні частоти обертання ротора, зберігаючи на високому рівні коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності електроприводу. Однак, для таких систем електроприводу не досліджено питання про визначення оптимального значення частоти комутації силових ключів перетворювача, що забезпечує мінімальний рівень втрат в системі двигун-перетворювач.

В результаті проведеного дослідження розроблено підсистеми моделей асинхронного двигуна, перетворювача та системи керування та розрахункову модель втрат в елементах перетворювача. Створено імітаційну модель асинхронного приводу для комплексного дослідження електромагнітних та енергетичних процесів "двигун-перетворювач", яка дозволяє враховувати постійні та змінні втрати в асинхронному двигуні, втрати в напівпровідникових елементах перетворювача та енергії ковзання ротора, що інвертується у мережу, в залежності від частоти комутації напівпровідникових елементів перетворювача.

Проведено дослідження та запропоновано підхід щодо визначення оптимальної частоти комутації силових ключів перетворювача, який полягає в формуванні цільової функції залежності сумарних втрат в електроприводі від частоти комутації силових ключів перетворювача. Для АД потужністю $P_n = 480$ кВт оптимальна частота комутації розрахована за допомогою аналітично-го виразу становить $f_k^{onm} = 0,626$ кГц, за допомогою імітаційного моделювання – $f_k^{onm} = 0,621$ кГц. Таким чином похибка розрахунку не перевищує 3,5%.

Запропонований підхід визначення оптимальної частоти комутації силового ключа може бути застосовано при інженерному проектуванні, а також при налагоджувальних роботах перетворювачів в залежності від класу і способу роботи електроприводу.

УДК 621.316.71

Зацерковний Д.Р.¹, Коцур М.І.²

¹ студ. гр. Е-419м "Запорізька політехніка"

² канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В УМОВАХ ЗМІННОЇ ТРИВАЛОСТІ ЦИКЛУ МЕХАНІЗМУ

Реальний експлуатаційний режим асинхронного електроприводу істотно відрізняється від умовних стандартизованих повторно – короткочасних режимів з тривалістю циклу 10 хв. (6 включень в годину). Висока частота включень чинить істотний вплив на тепловий стан і експлуатаційну надійність АД. При цьому, при заданій діаграмі навантажень найбільший вплив на тепловий стан надають тривалість включення (ПВ) і тривалість циклу ($t_{\text{ц}}$). Крім того, з одного боку, необхідно забезпечити повне використання двигуна по тепловим режимам, а з іншого захистити двигун від перевантаження. У зв'язку з цим, не досліджено питання щодо впливу тривалості циклу і тривалості включення на тепловий стан АД при роботі його на істотній та штучній характеристиці, що істотно впливає на експлуатаційну надійність керованого АД.

В результаті проведеного дослідження удосконалено динамічну теплову модель, у вигляді системи диференціальних рівнянь першого порядку, яка описує теплову схему заміщення з багатокомпонентними елементами конструкції асинхронного двигуна з фазним ротором, що враховує складну конфігурацію поверхні охолодження й змінні коефіцієнти тепловіддачі, різноманіття питомих теплових характеристик ізоляційних й активних матеріалів. Виконана оцінка теплового стану при тривалості циклу роботи асинхронного двигуна з фазним ротором. Доведено, що збільшення тривалості циклу і ковзання при роботі АД на істотній та штучній характеристиці в повторно-короткочасному режимі роботи S3 призводить до суттєвого зростання температури АД. Отримані залежності максимальної температури у АД від тривалості циклу і ковзання АД.

З метою підвищення експлуатаційної надійності і підтримки номінальної температури АД визначені коефіцієнти корекції струмового навантаження АД МТН – 411 – 6, що працює в повторно-короткочасному режимі S3 для стандартних ПВ в широкому діапазоні зміни тривалості циклу механізму.

УДК 621.316.71

Сіпко О.В.¹, Коцур М.І.²

¹ студ. гр. Е-419м НУ "Запорізька політехніка"

² канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ АСИНХРОННОГО ДВИГУ НА НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ

На основі електромагнітного розрахунку може бути визначений цілий ряд електромагнітних і силових параметрів і процесів електричних машин. Для підвищення точності аналітичних розрахунків електромеханічних пристроїв доцільно доповнювати результатами моделювання електромагнітних полів для елементів моделей, що дасть змогу враховувати різноманіття ефектів і явищ. Застосування такого підходу, дозволить поєднати переваги сучасних методів розрахунку, простоту і швидкодію методу, та високу їх точність.

В результаті проведеного дослідження розроблено підсистеми моделей асинхронного двигуна, перетворювача та системи керування та розрахункову модель втрат в елементах перетворювача. Створено імітаційну модель асинхронного приводу для комплексного дослідження електромагнітних та енергетичних процесів "двигун-перетворювач", яка дозволяє враховувати постійні та змінні втрати в асинхронному двигуні, втрати в напівпровідникових елементах перетворювача та енергії ковзання ротора, що інвертується у мережу, в залежності від частоти комутації напівпровідникових елементів перетворювача.

Проведено дослідження електромагнітного процесу в АД. Завдяки чисельній реалізації розподілу електромагнітного поля удосконалено підхід щодо визначення додаткових та поверхневих втрат в елементах розрахункової області АД, що дозволяє більш точно визначити механічну потужність АД як для стаціонарного та і від часозалежного розрахунку.

УДК 621.316.71

Хоменко Д.Б.¹, Коцур М.І.²

¹ студ. гр. Е-419м НУ "Запорізька політехніка"

² канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ В УМОВАХ ЧАСТИХ ПУСКІВ

Під час експлуатації кранових асинхронних двигунів (АД) з фазним ротором зі значними періодичними короткочасними навантаженнями мають місце піки температури, які є небезпечними для ізоляції обмоток не керованого АД і можуть привести до її руйнування. Через велику інерційність системи приводів важких швидкохідних мостів, тепловий режим АД протягом декількох пусків може виявитися вище допустимого, навіть, якщо в середньому за тривалий період, частота пусків не перевищує допустимого значення. В даний час застосовується ряд сучасних систем регулювання АД, що забезпечують не тільки підвищення енергетичних показників, але і плавність перехідних процесів, за рахунок яких досягається зниження пікового (удар-

ного) теплового впливу на активні елементи конструкції АД під час його пуску. На даний час недостатньо вивчене питання щодо визначення оптимальної швидкості зміни γ в процесі розгону АД з класичною системою імпульсного регулювання, при якій величина ударної складової інтенсивності тепловиділення має найменше значення.

В результаті дослідження було розглянуто та створено імітаційну модель асинхронного приводу для комплексного дослідження електромагнітних і теплових процесів в АД, яка дозволяє в залежності від швидкості зміни щільності керуючого сигналу на силовий ключ визначити похідні максимальних значень температур в процесі пуску та розгону асинхронного двигуна.

Дослідження показало, що застосування імпульсного регулювання АД при імпульсному регулюванні дозволить знизити швидкість наростання температури обмотки статора до 12 разів у порівнянні зі швидкістю наростання температури при його прямому пуску.

Оптимальний тепловий режим для АД при імпульсному регулюванні в режимі пуску забезпечується при швидкості зміни щільності імпульсу, рівного 0,16 о.е /сек. При цьому тривалість розгону АД в 6 разів повинна перевищувати тривалість його розгону при прямому пуску.

Отримані результати дослідження можуть бути використані для оптимального проектування систем регулювання, теплового захисту АД при імпульсному регулюванні, призначеного для важкого режиму роботи, де частота пусків досягає 3000 включень в годину.

УДК 621.3.048.1

Андриенко П.Д.¹, Скрупская Л.С.², Санников М.Р.³

¹ д-р техн. наук, професор НУ "Запорозжская политехника"

² ст. преп. НУ "Запорозжская политехника"

³ студ. гр. Эз-419м НУ "Запорозжская политехника"

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ИЗОЛЯЦИИ ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА

Локализация частичных разрядов в высоковольтных шунтирующих реакторах потребляет много ресурсов и ее точность невелика. В работе была предложена новая технология локализации частичных разрядов на основе компьютерного моделирования для улучшения локализации дефектов.

Актуальность настоящей работы состоит в повышении точности измерения частичного разряда путем учета его затухания при прохождении через устройство намотки. Последнее реализуется путем моделирования реактора обмотки и частичного разряда по многоэлементной схеме. Из-за большого количества стохастических эффектов, влияющих на формирование феномена разряда, невозможно создать чисто детерминированную модель формирова-

ния разряда в изоляции. Тем не менее, в данной работе была рассмотрена модель дефектов. Модель шунтирующего реактора связана с моделью дефектов и изучен переходный процесс разрядного импульса. Это дает возможность понимания точного местоположения разряда в изоляции высоковольтного оборудования на основе измеренного сигнала.

Частичные разряды являются одними из ведущих методов диагностики и ценными инструментами выявления скрытых дефектов в изоляции трансформаторного оборудования высокого напряжения. Из-за влияния высокочастотных помех на месте и даже при лабораторных наблюдениях и измерение частичных разрядов является трудной и ресурсоемкой задачей, которая требует дорогостоящее оборудование и экспертные знания. Для определения текущего состояния изоляции требуется выполнять сложные задачи, для которой необходимо сделать замеры активной части. Чтобы уменьшить эксплуатацию и производственные затраты высоковольтных шунтирующих реакторов был предложен новый метод локализации дефектов, который основан на моделировании реактора обмотки, изоляции системы, схемы измерения частичного разряда в изоляции. Метод позволяет определить точное место расположения дефекта в общей изоляции шунтирующего реактора.

Для применения предложенного решения требуются расчетные параметры реакторной активной части. Разработанная компьютерная программа вычисляет параметры эквивалентной схемы импульсной передачи разряда и выполняет моделирование импульсного переходного процесса в обмотке. Результаты представлены в качестве измеренного напряжения при помощи осциллограммы, которая может использоваться, чтобы сформировать уникальный односторонний амплитудный спектр для определенного шунтирующего реактора и расположения дефекта. Сформированные характеристики применены к исследованию реальных аппаратных осциллограмм для заключения о состоянии его изоляции.

Предложенный метод протестирован на экземпляре шунтирующего реактора 12 МВАр, 110 кВ. Осциллограммы частичных разрядов показывают постоянную задержку времени приблизительно на $0.5 \mu\text{s}$ с момента инициирования частичных разрядов к моменту перепада напряжения в измерительном приборе. Это может быть объяснено ограниченностью волновой скорости распространения. У частичного импульса разряда есть резкая волна продолжительности почти $0.06 - 0.08 \mu\text{s}$, которая независима от времени. Таким образом, изученный частичный разряд в газовых порах с диаметром $500 \mu\text{m}$ производит осциллирующий компонент со звуковым затуханием тока. Расчетный нулевой коэффициент пересечения и амплитудные спектры являются уникальными характеристиками для каждого аппарата.

Было обнаружено, что для выбранного реактора большая часть из измеряемых компонентов напряжения имеет частоту 150 кГц. С другой стороны,

частотная характеристика выбранного анализатора частичных разрядов имеет полосу пропускания 1.1–13,4 МГц. Таким образом, было доказано, что рассматриваемый тип частичного разряда анализатора не может быть применен для рассматриваемого типа реактора.

Предложенный метод ограничен техническими характеристиками реактора. Осциллограммы частичных разрядов изучались для выбранного типа реактора. Точность локализации дефектов увеличивается на 5–10%.

УДК 621.314

Афанасьев О.І.¹, Ивахненко І.В.², Соловйов В.М.², Фурса С.В.²,
Гончаренко Д.В.³

¹ канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

² студ. гр. Е-416 НУ "Запорізька політехніка"

³ студ. гр. Е-426а НУ "Запорізька політехніка"

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ НА РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ОБЛАДНАННІ ВРП 330-750 КВ

Підстанції та електричні мережі з класом номінальної напруги 750 кВ є базовими системоутворюючими елементами Єдиної Енергетичної системи України. Тому підвищення вимог до експлуатаційної надійності електричної частини цих елементів, наприклад ізоляційних конструкцій, є головною метою як виробників високовольтного обладнання, так і оперативних служб по експлуатації підстанцій. Аналіз обладнання розподільних пристроїв показав, що вагомим способом підтримання високого рівня експлуатаційної надійності ізоляційних конструкцій є удосконалення окремих конструктивних рішень як самої ізоляційної конструкції, так і системи екранування для вирівнювання розподілу напруги та напруженості поля уздовж ізоляції.

Підвищення вимог щодо експлуатаційної надійності ізоляційних конструкцій, у свою чергу, створюють необхідність рішення задачі розрахунку та аналізу показників надійності в залежності від структури окремих її елементів. При цьому суттєвий вплив на результати, що будуть отримані мають як особливості структури так і особливостей фізичних процесів, що діють на окремі складові елементи. Як показує аналіз. Термін експлуатації ізоляційної конструкції будь-якого призначення визначається двома чинниками, це особливостями праці обладнання, що ця конструкція підтримує, та режимом електричного навантаження самої ізоляційної конструкції. Якщо перший чинник достатньо стабільний у процесі експлуатації, то другий – суттєво залежить від умов експлуатації та конструктивних особливостей, наприклад системи екранування.

Одним з важливих способів покращення умов праці та підвищення експлуатаційних характеристик ізоляції в процесі експлуатації є полегшення

умов праці ізоляції шляхом зниження електричного навантаження. Електрична міцність опорних ізоляційних конструкцій визначається характером електричного поля, сформованого на високовольтному і заземленим кінцях високовольтної конструкції [1, 3]. В умовах різко неоднорідного електричного поля ділянки ізоляційної конструкції, що наближені до електрода з високим потенціалом, несуть підвищене електричне навантаження. Це веде до того, що на них буде діяти підвищена напруженість поля, що сприяє достатньо швидкій руйнації ізоляційних матеріалів. Досягнути зниження напруженості поля поблизу високовольтного електрода можливо встановленням відповідних екранів, або системи екранів [1 – 3]. Тому, від екранів суттєво залежить ефективність використання ізоляції та надійність її праці.

У сучасних системах примусового вирівнювання напруженості поля найбільш широке використання отримали тороїдальні екрани, які встановлюються поблизу електрода з високим потенціалом [1, 2, 4]. В умовах зверх високих напруг, наприклад у ВРП-750 кВ, де необхідно більш глибоке обмеження максимальної напруженості поля, використовують комбінації двох та більше тороїдів, які розташовані на різних рівнях по висоті відносно електрода з ВН [4].

У цьому зв'язку виникає необхідність проведення ряду досліджень по впливу структури окремих елементів системи екранування на розподіл напруженості уздовж ізоляційної конструкції. Для оцінки ефективності використання системи екранування розроблена методика та алгоритм оцінки розподілу напруженості уздовж опорної ізоляційної конструкції на прикладі ізоляційної колони. На основі даної методики розроблено програмне забезпечення SCR.OPT4, за допомогою якого проведено дослідження впливу конструктивних чинників та параметрів навантаження на ефективність вирівнювання напруженості поля за допомогою систем екранування з різними структурами (одиночні екрани, просторові екрани та екрани з різними потенціалами). На основі отриманих результатів сформульовані рекомендації по удосконаленню системи екранування з урахуванням окремих конструктивних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Александров Г.Н. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения [текст] / Г.Н. Александров, В.Л. Иванов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.
2. Александров В.Н. Электрические аппараты высокого напряжения [текст] / Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев, В.В. Борисов и др. Под ред. Г.Н. Александрова. – СПбГТУ, 2000. – 503 с.
- 3 Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции [текст] / В.С. Дмитриевский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 392 с.

4 Александров Г.Н. Проектирование электрических аппаратов [текст] / Г.Н.Александров, В.В.Борисов, Г.С.Каплан и др. Под ред. Г.Н.Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 448 с.

УДК 621.314

Афанасьев О.І., Ворониця І.В.², Ждан В.В.³, Юртаев Д.С.³, Бубновець М.В.⁴

¹ канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

² студ. гр. Е-416 НУ "Запорізька політехніка"

³ студ. гр. Е-427сп НУ "Запорізька політехніка"

⁴ студ. гр. Е-816сп НУ "Запорізька політехніка"

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

При передачі електроенергії з шин живлячих підстанцій до споживачів частина електроенергії витрачається на нагрів провідників, створення електромагнітних полів та інші ефекти. Ці витрати мають назву втрати електроенергії. Величина цих втрат суттєво залежить від характеру навантаження та його зміни у межах часу, що розглядається, а також від якості електроенергії та засобів її забезпечення. Якість електроенергії характеризується показниками, які визначають міру відповідності напруги нормованим значенням при номінальних величинах таких головних показників, як частота мережі живлення, напруга та струм навантаження.

У загальному випадку проблема якості електроенергії складається у підтримці рівнів напруги та частоти мережі, що наближені до номінальних значень. В умовах енергоємних виробництв використовують цілий ряд електроспоживачів (прокатні стани, дугові сталеплавильні печі, випрямляючі пристрої, системи електролізу та ін.) з різко змінними навантаженнями, або нерівномірністю їх розподілу за фазами і наявністю струмів та напруг, форма яких суттєво відхиляється від синусоїдальної. Ці види споживачів ведуть до порушення якості електроенергії, головними показниками якої є відхилення напруги, розкид змінення напруги, коефіцієнт несинусоїдальності кривої напруги, коефіцієнт зворотній послідовності напруг, відхилення частоти та ін.

Вплив низької якості електроенергії на роботу мереж та електрообладнання проявляється у підвищенні втрат електроенергії, скороченні термінів експлуатації обладнання, технологічних втратах, які виражаються у зниженні виробничих можливостей та погіршенні якості продукції, що виробляється.

Таким чином, найбільш ефективно зниження втрат потужності можливо досягнути шляхом регулювання напруги, яке, у свою чергу, залежить від величини втрат напруги у мережі, які визначаються її опором. У розподільчих мережах активний опір більше реактивного. Таким чином його регулювання найбільш ефективно здійснити зменшенням площі зрізу ліній електропередачі. У живлячих мережах навпаки – реактивний опір більше активного,

тому втрати напруги у значній мірі визначаються реактивним опором ліній, який мало залежить від площі зрізу. Найбільш часто змінення реактивного опору використовують для регулювання напруги шляхом включення у лінію конденсаторних батарей за схемами прокольного або поперечного регулювання.

Активну потужність живлячих мереж не можливо використовувати для оперативного регулювання напруги, тому найбільш ефективним засобом залишається реактивна потужність. Для змінення реактивної потужності використовують різноманітні регулюючі пристрої, серед яких найбільш широке використання отримали пристрої наступних видів: батареї статичних конденсаторів, синхронні компенсатори, статичні джерела реактивної потужності та ін.

Для дослідження втрат потужності в електричних мережах розроблені алгоритми розрахунку необхідних параметрів та головних показників якості електроенергії з урахуванням конкретних особливостей мережі та специфіки споживачів енергії та схеми їх підключення. Для цього розроблена комп'ютерна модель для моделювання процесів протікання струмів та розподілу потужностей на прикладі схеми розподільчого пристрою для живлення індукційних печей плавильного виробництва. На основі цієї моделі розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє оцінити головні показники якості електроенергії та провести оптимізацію процесу регулювання та оцінку ефективності тих, чи інших його засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети [текст] / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592с.
2. Справочник электроэнергетика предприятий цветной металлургии [текст] / Под ред. Басальгина М.Я., Копырина В.С. – Металлургия, 1991. – 384с.

УДК 621.314

Афанасьев О.І.¹, Биков Б.В.², Башликов В.В.³, Дряпак О.А.³, Волков В.В.⁴

¹ канд. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

² студ. гр. Е-427сп НУ "Запорізька політехніка"

³ студ. гр. Е-416 НУ "Запорізька політехніка"

⁴ студ. гр. Е-827сп НУ "Запорізька політехніка"

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ВОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА КЛАСИ НАПРУГИ 10-35 КВ

Ізоляційні конструкції (опорні та прохідні ізолятори) отримали найбільш широке використання в електричних мережах та трансформаторних підстанціях з класом номінальної напруги (10-35) кВ, як головні елементи

комплектуючих електричних апаратів. В цих умовах підвищення вимог до експлуатаційної надійності цих елементів є дуже важливим та актуальним завданням при розробці та проектуванні електричних мереж.

У загальному випадку надійність ізоляційної конструкції це властивість виробу виконувати завдані функції, зберігаючи при цьому власні експлуатаційні показники та параметри у встановлених межах впродовж завданому проміжку часу експлуатації [1]. Як правило, ізоляційні конструкції відносяться до елементів, що не відновлюються у процесі експлуатації. В цих умовах для конкретної ізоляційної конструкції, наприклад прохідний або опорний ізолятор, опорна ізоляційна покривка вимірювального трансформатора та ін., надійність характеризується цілою низкою показників. Найбільш широко використовують такі показники, як напрацювання до відмови, строк служби, які, у свою чергу, залежать від якості матеріалу, товщі ізоляції, електричного, теплового, механічного навантаження та ін. Оскільки окремі з вище перелічених чинники в процесі експлуатації можуть змінюватися, точний вплив цих чинників на строк служби ізолятора визначити неможливо. Тому може бути зроблена тільки приблизна оцінка, що має тій або інший рівень ймовірності. В цих умовах в якості міри оцінки надійності зручно використовувати такі ймовірнісні характеристики, як ймовірність безвідмовної праці, інтенсивність відмов та густина ймовірності відмов [1]. Для зручності розрахунків всі ці показники надійності пов'язані між собою простими математичними співвідношеннями для обраного теоретичного закону розподілу випадкової величини, в якості якої для розрахунків надійності ізоляційних конструкцій зручно використовувати напрацювання до відмови або напруги перекриття.

Як показують статистичні дані по експлуатації обладнання у розподільних пристроях високої напруги [2, 3], результати вимірювання розрядних напруг ізоляторів, які забруднені у природних умовах показують, що розкид цих напруг описується нормальним законом розподілу. У роботах [2, 4] підкреслюється, що у нормальному режимі експлуатації ізоляційні конструкції, наприклад опорно-ізоляційні покривки газонаповнених вимірювальних трансформаторів, працюють в умовах різко неоднорідних електричних полів. У цьому випадку величина коефіцієнта варіації в умовах використання нормального закону розподілу коливається в межах (0,03 – 0,06). Однак при оцінці кількості перекриттів як лінійної, так і апаратної ізоляції у нормальному експлуатаційному режимі доводиться оперувати достатньо малими ймовірностями перекриття, для яких ствердження о нормальному законі розподілу розрядних напруг експериментально підтвердити дуже важко. Тому можливо зробити висновок о усіченні зліва розподілу ймовірностей перекриття у нормальному експлуатаційному режимі. В цьому випадку для оцінки показників надійності в якості теоретичного можливо використовувати як зсічений нормальний, так і логарифмічно-нормальний закони розподілу [3, 4].

У випадку, що розглядається для підтвердження можливості використання логарифмічно-нормального закону розподілу виникає необхідність проведення ряду досліджень для визначення параметрів логарифмічно-нормального закону, який би відповідав нормальному розподілу. Аналіз законів розподілу, що досліджуються зручно проводити на основі зрівняння основних характеристик надійності [1], якими є густина розподілу відмов (напруг перебиття) $f(U)$ та ймовірності безвідмовної праці $P(U)$ за умовою рівнозначності двох перших моментів розподілів, тобто математичного очікування та дисперсії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике [текст] / Ю.Б. Гук. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208с.
- 2 Александров Г.Н. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения [текст] / Г.Н. Александров, В.Л. Иванов. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208с.
- 3 Александров В.Н. Электрические аппараты высокого напряжения [текст] / Г.Н. Александров, А.И. Афанасьев, В.В. Борисов и др. Под ред. Г.Н. Александрова. – СПбГТУ, 2000. – 503с.
- 3 Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции [текст] / В.С. Дмитриевский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 392с.
- 4 Александров Г.Н. Проектирование электрических аппаратов [текст] / Г.Н. Александров, В.В. Борисов, Г.С.Каплан и др. Под ред. Г.Н. Александрова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 448с.

УДК 621.314

Афанасьев А.И.¹, Быков Б.В.², Башлыков В.В.³, Дряпак А.А.³, Волков В.В.⁴

¹ канд. техн. наук, доц. НУ "Запорожская политехника"

² студ. гр. Е-427сп НУ "Запорожская политехника"

³ студ. гр. Е-416 НУ "Запорожская политехника"

КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Трансформаторной подстанцией называется подстанция с трансформаторами, преобразующая электроэнергию только по напряжению. Понижающие трансформаторные подстанции преобразуют напряжение питающей сети до более низкого уровня, при котором электроэнергию передают потребителям, по подключенным к данной подстанции [1].

Любая трансформаторная подстанция состоит из нескольких распределительных устройств (РУ) разных стандартных ступеней напряжения, между которыми имеются трансформаторные или автотрансформаторные связи.

По назначению подстанции подразделяются на следующие типы [2]:

- потребительские, которые предназначены для электроснабжения потребителей, которые территориально примыкают к ним. Они характеризуются установкой, как правило, двухобмоточных трансформаторов;

- сетевые, которые предназначены для электроснабжения небольших территориальных районов. Наряду с транзитом относительно небольшой мощности на стороне высшего напряжения (ВН), они имеют на стороне низшего напряжения (НН) значительные местные, а на стороне среднего напряжения (СН) – районные нагрузки;

- системные, которые отличаются от потребительских и сетевых подстанций значительным отбором мощности и осуществлением управления потоком мощности в энергосистеме по магистральным сетям ВН, а также в сеть СН.

По способу присоединения к сети подстанции подразделяются на следующие виды:

- тупиковые подстанции, получают питание по одной или двум тупиковым воздушным линиям электропередачи;

- ответвительные подстанции, присоединяются ответвлением к одной или двум проходящим воздушным линиям с односторонним или двухсторонним питанием;

- проходные подстанции, которые включают в рассечку одной или двух проходящих воздушных линий с односторонним или двухсторонним питанием;

- узловые подстанции, которые кроме питающих линий электропередачи, имеют отходящие радиальные или транзитные воздушные линии.

По способу защиты силовых трансформаторов подстанции бывают:

- с предохранителями (только до напряжения 35 кВ);

- с короткозамыкателями и отделителями;

- с короткозамыкателями и выключателями нагрузки;

- с системами передачи телеотключающего импульса и резервирующего его короткозамыкателя с выключателями.

По типу устанавливаемой коммутационной аппаратуры на стороне ВН различают:

- подстанции без выключателей, которые в свою очередь подразделяют на три подгруппы:

- а) с выключателями нагрузки;

- б) с отделителями;

- в) с разъединителями, снабженными дистанционными приводами, включенными в цикл автоматики;

- подстанции с выключателями;

– комбинированные подстанции, на которых применяются выше перечисленные коммутационные аппараты в различных сочетаниях.

По способу управления подстанции могут быть следующих типов:

- телеуправляемые с телесигнализацией;
- только с телесигнализацией;
- с телесигнализацией и управлением с оперативного пункта управления (ОПУ). Они оперативно обслуживаются постоянными дежурными на щите управления, дежурными на дому, оперативно – выездными бригадами. Ремонт подстанций осуществляется специализированными выездными бригадами централизованного ремонта или местным персоналом подстанции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 – 1150 кВ [текст] / Е.Ф. Макаров. – М.: Папирус Про, 2005. – 640 с.

2. Идельчик В.И. Электрические системы и сети [текст] / В.И. Идельчик. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592с.

УДК 621.314

Афанасьев А.И.¹, Вороница И.В.², Ждан В.В.³, Юртаев Д.С.³

¹ канд. техн. наук, НУ "Запорожская политехника"

² студ. гр. Е-416 НУ "Запорожская политехника"

³ студ. гр. Е-427сп НУ "Запорожская политехника"

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОРУ – 35 КВ

Принципиальной особенностью существующей в настоящее время структуры энергоресурсов промышленных предприятий является то, что электроэнергия составляет более половины всех энергоресурсов, потребляемых отраслью. Дальнейшее развитие и совершенствование производства во многом определяется уровнем развития источников электрической энергии, существенно влияя в свою очередь на развитие электроэнергетики. Анализ данных по продолжительности эксплуатации основных видов действующего электрооборудования показывает, что значительная его часть (комплектные распределительные устройства, выключатели, разъединители, силовые и измерительные трансформаторы и др.) отработало большую часть своего ресурса. Поэтому процесс модернизации электрических цепей предусматривает следующие основные направления:

- реконструкцию и повышение надёжности систем внешнего электропитания;
- модернизация преобразовательных подстанций;
- замена и совершенствование устаревшего силового электрооборудования;

- разработка и внедрение средств улучшения качества электроэнергии;
- внедрение автоматизированных систем управления системами электроснабжения.

Снабжение предприятий электроэнергией должно быть особенно надёжным, так как большинство их относится к первой группе по условиям технологии, безопасности обслуживающего персонала, окружающей среды. Отключение электроснабжения такого предприятия ведёт к большому ущербу или недопустимым выбросам вредных газов.

Электроприёмники, которые питаются от модернизируемого распределительно устройства по действующим правилам устройства электроустановок [1] относительно обеспечения надёжности электроснабжения относятся к первой категории. Для неё перерыв электроснабжения может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб для хозяйственной деятельности, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства. В этой категории выделяют особую группу электроприёмников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров, повреждения дорогостоящего оборудования.

При реконструкции систем электроснабжения и отдельных электроустановок необходимо учитывать, что электроприёмники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприёмников I категории необходимо предусматривать дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника. В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприёмников и в качестве второго независимого источника питания для электроприёмников I категории, как правило, используются местные тепловые электростанции, электростанции энергосистемы, местные дизельные электростанции, а также аккумуляторные батареи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст]. – М.: Атомиздат, 1978. – 96с.

УДК 621.314.21

Ozirskyi Volodymyr¹, Ludmila Zhomyak², Sobol Yuliya³

¹ student of group E-426a NU «Zaporizhzhia polytechnic»

² PhD, assistant professor NU «Zaporizhzhia polytechnic»

³ PhD in Philology, assistant professor NU «Zaporizhzhia polytechnic»

ANALYSIS OF EXTERNAL INSULATION OF OPTIC - FIBER 35 KV CURRENT TRANSFORMER

Current transformers (CT) are designed for reducing alternating current to controlled level in proportion to the corresponding original values. They provide galvanic isolation of measuring devices, counters, relays, etc. from the high-voltage (HV) circuit. Principle of their operation is based on the electromagnetic induction law.

Digital (microprocessor) systems of relay protection, automation, automatic control, measurement and dispatching systems are modern trends in the world power industry, along with the existing traditional systems of relay protection, emergency control, measurement and metering at power plants and substations. And this situation leads to an increase in the load on CT and, as a result, to a deterioration in the accuracy class of CT.

Grechukhin V.N. [1] analyzed the economic conditions for the functioning of power energy enterprises and energy systems in his work "Electronic current and voltage transformers". According to this work, it is necessary to increase the accuracy of electricity monitoring signals. Digital metering systems can achieve it, but, the insufficient accuracy class of conventional CTs is a barrier on this path.

World leading companies' designers strive to develop CTs of a higher accuracy class (better than accuracy class 0,2S and 0,2) with greater load capacity. Satisfying these requirements will inevitably lead either to an increase in weight and size indicators (larger amount of electrotechnical steel, copper and other high-cost materials), which is undesirable under the conditions of current economy situation. The identified problems have led to more intensive use of insulation, and according to international normative documents, this question remains open and relevant.

On the modern stage of the HV technology development conventional transformers have reached the limit of their capabilities and can hardly meet new requirements and tendencies, such as digitalization, safeness, and compactness.

Search for an alternative technical solution measuring current and voltage of high voltage electric power plants started a long time ago both in our country and abroad.

These researches have become more relevant considering the intensive process of introducing microprocessors into control systems, measurement, relay protection, emergency control at substations.

Optic-Fiber Current Transformer (OFCT) is next generation transformers. In our country many transformers are approaching deadline of service life. Implemen-

tation of the modern technologies makes senseless replacing the old current transformers (CT) with the similar new ones, as they can be hardly paired with digital communication methods.

Aim of the work: Analysis of materials and shapes used in external insulation design, in terms of optimal protection of optical sensors from natural phenomena and breakdowns

Conclusion: The external insulation of OFCT 35kV is researched for 3 contamination types of insulation. The further research intention is to develop more economically effective optic current sensor. It is obvious, that the development of digital current transformers and their use together with microprocessor-based measurement devices at substations with the prospect of a transition to a "digital" substation, where all information flows are circulated and processed in digital form is a promising area of research.

LIST OF REFERENCES

1. Гречухин В.Н. Электронные трансформаторы тока и напряжения. Состояние, перспективы развития и внедрения на ОРУ 110–750 КВ станций и подстанций энергосистем [Текст] / В.Н. Гречухин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2006. – №4. – С. 1-9.

УДК 681.2.08.

Anastasiia Fylymonenko¹, Volodymyr Vasylevskyi²

¹ student of group E-426a NU «Zaporizhzhia polytechnic»

² PhD, senior lecturer NU «Zaporizhzhia polytechnic»

OPTICAL CURRENT AND VOLTAGE SENSORS

At the current stage of development of the electric power industry, with the widespread usage of current transformers (CTs) and voltage transformers (VTs), the most actual is reliable measurement of current and voltage to ensure high reliability and safety of industrial systems and networks. These measurements take an important part of the substation's working and protective functions [1].

The unflagging interest in optic current and voltage sensors, over the years, is associated with the high potential capabilities of these devices and also significant operational advantages compared to traditional current and voltage measurement technologies. They provide a natural galvanic denouement of the high-voltage and measuring parts while reducing the overall dimensions, increasing the safety of their operation and decreasing the installation costs. Various types of current and voltage sensors are used for monitoring and diagnosing of circuits, launching of protection schemes, detecting failures of electrical equipment and emergency conditions of various types of loads [2].

Advantages of digital current and voltage sensors [3]:

- wide dynamic range of measurements (currents up to hundreds of kA, voltages up to hundreds of kV);
- the sensing element is naturally disconnected from the voltage line;
- high resistance of fiber optic information channels to external electromagnetic interference;
- extremely fast response time with high measurement accuracy;
- smaller overall dimensions compared to existing technologies;
- they do not explode in catastrophic destruction, unlike oil-filled electrical insulating supports.

In addition, they are inherently non-magnetic saturated and, as a rule, have a measurement bandwidth in the kHz range. Bands in the range of tens or hundreds of kHz are also possible. As a result, fiber-optic current transformers produce within their measurement range a true image of the primary current, including in the case of fast transient currents, short-circuit currents and alternating current with DC bias [1].

The operation of the optical current sensor is based on the Faraday's effect, which consists in changing the polarization of the light flux under the influence of a magnetic field. The specific implementation of sensors using this effect can be different and is patented by manufacturers.

The optical circuit of the current sensor contains an optical signal source. This signal is converted, with the help of a splitter, into two right- and left-polarized signals with opposite directions of rotation, which enter the optical loop made of turns (N) of optical fiber. The magnetic field created by the current (I) flowing through the wire, in accordance with the Faraday effect slows down one signal and accelerates another. Both signals reach the next circular polarizer, which converts them into linearly polarized light fluxes with polarized planes shifted by an angle, (1):

$$\Delta\varphi = 4V \cdot N \cdot I, \tag{1}$$

where V is the Verdet constant.

Verdet constant is a quantity characterizing the magnetic rotation of the plane of polarization in a substance. Its value depends on the properties of the substance, wavelength and monochromatic radiation [4].

The operation of the optical voltage sensor is based on the Pockels' effect, which consists in the appearance of birefringence in optical media when a direct or alternating electric field is applied, which is observed in crystalline piezoelectric, (2):

$$\Delta\varphi = \pi \cdot L \cdot K \cdot \frac{E}{\lambda}, \tag{2}$$

where E is the electric field strength; L is the plate thickness; λ is the wavelength; K is electro-optical coefficients.

As follows from the proposed review, optical current and voltage sensors occupy a significant place in monitoring, controlling and management systems in the energy sector, as well as in other engineering branches. New generation sensors significantly increase production efficiency and give a good economic effect.

LIST OF REFERENCES

1. Преимущества оптических датчиков тока и напряжения и трансформаторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kruso.su/main/4478-preimushhestva-opticheskikh-datchikov-toka-i-napryazheniya-i-transformatorov.html>

2. Клименко К. А. Сравнительный анализ современных датчиков тока [Текст] / К.А. Клименко // Молодой ученый. – 2011. – №8. Т.1. – С. 66-68.

3. Абраменкова И.В. Оптические датчики тока и напряжения [Текст] / И.В. Абраменкова, И.С. Корнеев, Ю.В. Троицкий // Компоненты и технологии. – 2010. – № 8. – С. 60-63.

4. Окоси Т., Окамото К., Оцу М. Волоконно-оптические датчики [Текст] / Т. Окоси, Окамото К., Оцу М. – Л.: Энергоатомиздат. – 1990. – 256 с.

УДК 621.3.048.2

Dmytro Honcharenko¹, Yuliya Sobol²

¹ student of group E-426a, NU «Zaporizhzhia polytechnic»

² PhD (Philology), assistant professor, NU «Zaporizhzhia polytechnic»

SULFUR HEXAFLUORIDE GAS BENEFITS IN RELATION TO OIL AND CELLULOSE INSULATION IN VOLTAGE TRANSFORMERS

Insulation is used in most areas of voltage transformers designing, beginning from transformer winding insulation and ending with sulfurhexafluoride(SF₆) gas, transformer oil, and cellulose insulation for dry transformers.

The insulation that separates the current-carrying parts from each other and from the grounded parts in power transformers is performed in the form of structures made of solid and liquid dielectrics [3].

In SF₆ gas voltage transformers, sulfur hexafluoride is used as insulation and refrigerant, which makes it possible to abandon the fire extinguishing system since sulfur hexafluoride is not combustible, and it also removes the need for oil collectors and gutters around the transformer [1].

In case of internal malfunctions, the pressure in the tank is very small in comparison to the strength characteristics of the tank, which ensures that the tank does not explode and the equipment around it does not suffer [1].

Since neither an expansion tank, nor a pressure relief device, which are important components of an oil transformer, are needed, it becomes possible to significantly reduce the height of the substation [1].

A significant decline in the cost of substation building or a room for a transformer is achieved by increasing the compactness of the transformer [1].

It is also worth noting that, unlike oil-insulated transformers, the total cost of the transformer decreases with a decrease in size and the absence of an expansion tank and an oil pan, as well as additional costs for building the premises.

The main and indisputable advantage of dry type transformers with cellulose insulation is an operational safety [2].

In areas with increased safety requirements (educational, medical institutions, park recreation areas, etc.), the use of dry transformers is more than justified [2].

Since dry type transformers meet all fire safety requirements, they can be installed directly in production rooms or in a special room near a residential building.

Due to the design features, namely the absence of flammable liquids in the design, unlike oil, dry transformers have a significantly lower probability of catching on fire during a short circuit or from any external mechanical impact, but are still inferior to SF6 gas transformers in terms of fire safety [2].

In conclusion we can briefly highlight the advantages of sulfur hexafluoride over other types of insulation, namely fire safety, explosion safety, compact design of the transformers, lack of need for additional pressure and oil control units.

LIST OF REFERENCES

1. Трансформатор с элегазовой изоляцией [Электронный ресурс]. – М.:ToshibaCorp., 2012 – Режим доступа: https://www.tosma.ru/docs/git_catalog_rus.pdf
2. Трансформатор: сухой или масляный? [Электронный ресурс]. – М.:Укрэлектросервис, 2015 – Режим доступа: http://www.ukrelektroservis.com.ua/public?doc=article_032
3. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов [Текст] / П.М. Тихомиров. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.

УДК 621.314.04

Serhii Yatsura¹, Volodymyr Vasylevskyi²

¹ student of group E-426a, NU «Zaporizhzhia polytechnic»

² PhD, senior lecturer NU «Zaporizhzhia polytechnic»

BENEFITS OF FIBER OPTIC CURRENT TRANSFORMER

Introduction. At the present stage of the development of high-voltage technology, classical methods of measurement based on the electromagnetic principles have reached the limit of their capabilities and cannot satisfy new requirements.

They have arisen due to technological revolution of the last several decades. As noted in their work Zubia, Casado, Aldabaldetrek and others, “Unimaginable technological advances in the area of information and communications technology (ICT), the electrical sector had turned into an anachronism using the technology of last century”. Therefore, modern development of electrical complexes and systems require the introduction of the latest designs of instruments and equipment. As a result, the so-called optical-electronic (OE) measurement methods make it possible to realize the requirements of consumers. They are based on the use of optical communication between the primary and secondary transducers of the measuring system. Such methods use a completely different, more promising approach, based on the use of the magneto-optical Faraday's effect. Most often, this effect realized in fiber optic current transformers (FOCT) used in combination with modern digital signal processing and data transmission technologies.

Currently, the development of the FOCT is produced by leading companies around the world. Such transformers are considered to be the next generation of transformers, because they eliminate defects of the analog transformers and meet all the necessary requirements.

Faraday's effect. Nowadays FOCT use the magneto-optical Faraday's effect, which is a fundamentally different promising approach.

Khairullin, Giniyatullin and Pashali, speaking of the magneto-optical effect, write that “In 1845, Faraday discovered a phenomenon that became one of the main steps in the development of optical current converters — the phenomenon of rotation of the plane of polarization of linearly polarized light in a constant magnetic field”, as in Figure 1.

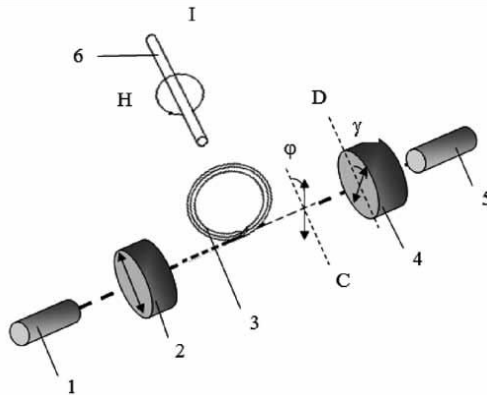


Figure 1 – Schematic diagram of the Faraday's effect
 1 – laser diode; 2 – polarizer; 3 – Faraday's element (twisted optical fiber); 4 – analyzer; 5 – photodiode; 6 – electric current conductor

Benefits of FOCT. In comparison with conventional transformers, optical fiber ones are compact and lightweight, also they are easy to install. Another advantage is flexibility of transformer. This is possible thanks to its insulation. Insulation is an essential element of electrical apparatuses and has a significant impact on both its design and operational reliability. Also they are fire and explosion proof. At the same time the sensor element is naturally decoupled from the voltage line. And there is minimal electrical interference on the signal line.

Conclusion. Based on these benefits it is safe to say that FOCT is the transformer which will be used all around the world because they eliminate defects of the analog transformers and meet all the necessary requirements.

УДК 621.315.1

Антонова М.В.¹, Лапшинов Є.Д.², Максименко В.О.²

¹ старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

² студ. гр. Е-417 НУ "Запорізька політехніка"

ЗАХИСТ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Традиційно захист ліній електропередачі від прямих ударів блискавки здійснюється за допомогою заземлених тросів. Однак, в районах із забрудненою атмосферою гроззахисний трос схильний до корозії, що призводить до погіршення його механічної міцності, обриву і подальшому розвитку технологічного порушення. Нерідко обрив тросів відбувається при ожеледно-вітрових навантаженнях, в тому числі на великих переходах через природні перешкоди і інженерні споруди, а також у важкодоступних районах.

Розрядники застосовуються з тією метою, щоб забезпечувати результативну захист високовольтних ліній електропередач 3-хфазного змінного струму від індуктивних перенапруг, часто зароджуються під час гроз, а також тих досить важких наслідків, якими вони загрожують. Такі новітні апарати можуть встановлюватися як на неізолюваних, так і на ізолюваних проводах, в температурному діапазоні від -60°C до $+50^{\circ}\text{C}$, а час їх використання становить не менше 30 років. Їх широко використовують на високовольтних лініях електропередач в самих різних куточках нашої країни.

Для підвищення ефективності гасіння супроводжуючого струму пропонується багаторазове (в 4-20 разів) збільшення довжини елементарного проміжку (в одній розрядній камері) в порівнянні з МКС. Низьке розрядна напруга МКС нового типу може бути забезпечено завдяки двом ефектів:

1) змінного розряду

2) каскадності спрацьовування камер в ланцюжку МКС (Рис. 1).

Відома слабка залежність розрядної напруги коваючого розряду від відстані між електродами, тобто досить велику відстань може бути перекрито при відносно невеликій напрузі. Каскадність створюється за рахунок впливу додаткового електрода, що встановлюється уздовж всієї МКС (Рис. 1). Цей

електрод з'єднаний з останнім електродом останньої камери і ізолюваний від всіх інших електродів.

На рисунку 1 показаний варіант виконання МКС з електродами у вигляді відрізків трубки з нержавіючої сталі і додатковим електродом у вигляді кабелю, що проходить всередині цих електродів, причому довжина розрядного проміжку додатково збільшена за рахунок діагонального (косого) розташування розрядної щілини. Завдяки такій конструкції забезпечується більша компактність МКС, а крім того в цьому випадку ємність електродів на додатковий електрод (кабель) С0 значно більше, ніж ємність між електродами однієї газорозрядної камери С1, що призводить до ще більшої, ніж в інших варіантах МКС, нерівномірності розподілу напруги по камерах, і, відповідно, до низьких розрядних напруг.

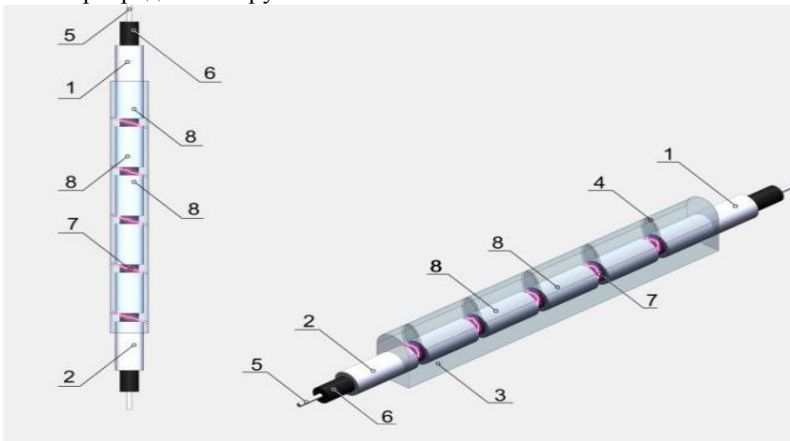


Рисунок 1 – Ескіз МКС з додатковим електродом (кабелем), що проходить через трубчасті основні електроди, і косими розрядними щілинами:

1 – високовольний електрод; 2 – низьковольний електрод; 3 – тіло МКС із силіконової гуми; 4 – розрядна щілину; 5 – додатковий електрод (жила кабелю); 6 – ізоляція кабелю; 7 – канал розряду; 8 – електроди камер

За результатами проведених досліджень, із запропонованих варіантів, самим ерозійно-стійким виявився вольфрам. Слідом ідуть залізо, сплав $Cu + Ni + Fe$, і мідь.

Розроблено мультикамерного системи, що забезпечують гасіння дуги імпульсу грозового перенапруження без супроводжуючого струму мережі, що дозволить застосовувати розрядники на їх основі в мережах з великими струмами короткого замикання (близько 30кА). За розрахували і побудували графіки струмів і перенапруг в камерах. Змодельовано принципову електричну схему для випробувань в середовищі Simulink.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Разрядники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://leg.co.ua/info/podstancii/razryadniki.html>
2. Продукция компании [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sicame.ua/>
3. Стаття випробування розрядників [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pue8.ru/elektricheskie-seti/278-ispytaniya-razryadnikov.html>

УДК 621.771

Антонова М.В.¹, Маслов Д.П.², Попов Є.Д.²

¹ старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

² студ. гр. Е-417 НУ "Запорізька політехніка"

ГОЛОВНИЙ ПРИВОД СТАНУ ГОРЯЧОЇ ПРОКАТКИ

Основне завдання прокатного виробництва полягає в забезпеченні необхідної якості прокату, тобто в забезпеченні відповідності геометричних розмірів, форми, фізико-механічних властивостей і стану поверхні прокату заданим вимогам.

Прокатка металу є основною технологічною операцією процесу виробництва прокату. Решта технологічні операції забезпечують можливість здійснення прокатки та отримання необхідної якості прокату. Устаткування прокатного стану підрозділяється на основне і допоміжне. Основне обладнання забезпечує власне прокатку металу і складається з однієї або декількох робочих клітей, в яких розміщуються прокатні валки, а також приводів обертання прокатних валків. Допоміжне обладнання стана включає агрегати, пристрої та системи, призначені для переміщення прокатуваного металу, його розмотування і змотування в бунти або рулони, підігріву та охолодження, різання та виконання інших допоміжних операцій.

Функціональна схема системи представлена на рис. 1. До її складу входить приводний двигун ПД, в якості якого може бути використаний некерований двигун постійного або змінного струму. Приводним двигуном приводиться в обертання якорь керованого електромеханічного перетворювача - генератора або електромашинного підсилювача Г. Безпосередньо до якорної обмотки генератора підключається якорна обмотка виконавчого двигуна Д.

Шляхом зміни вбрана U_y на керуючої обмотці збудження генератора ОУ ми можемо регулювати потік збудження, отже, і напруга на виході генератора, тобто напруга на обмотці якоря двигуна, і таким чином керувати ним.

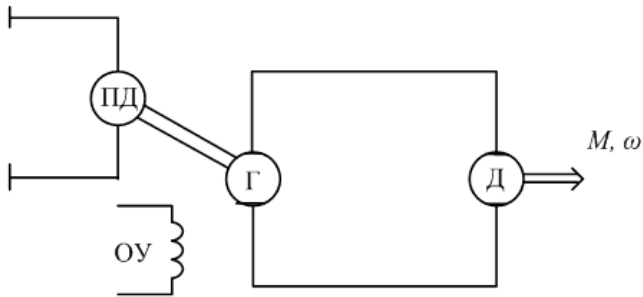


Рисунок 1 – Функціональна схема системи генератор – приводний двигун

Для того щоб отримати електро механічні характеристики приводу необхідної форми в системі Г-Д (Рис. 2) використовують зворотні зв'язки по різних координатах. У даному розділі ми розглянемо статичні властивості систем з жорсткою зворотним зв'язком по одній з координат.

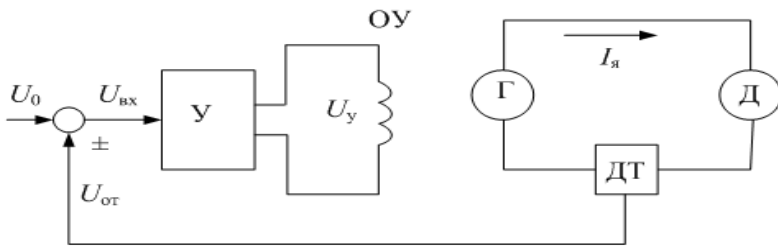


Рисунок 2 – Функціональна схема системи Г-Д зі зворотнім зв'язком за струмом

Результати проведених розрахунків і побудова по перевірці потужності двигуна МШС 11500-63 дозволяють зробити наступні висновки:

По нагріванню двигун задовольняє умові прокатки найбільш енергоємного злитка.

В усьому діапазоні швидкостей двигун випробує навантаження по моменту і струму нижче припустимих, тому що в найбільш важкому випадку (дев'ятий пропуск) перевантаження по моменту складає 2 від номінального при припустимому робочому перевантаженні 2.2.

Прокатний двигун МШС 11500-63, 11000 кВт, 900В, 63/90 об/хв має достатній запас потужності, що дозволяє говорити про підвищення його роботи. При цьому варто мати на увазі, що заданий графік прокатки складений з умови забезпечення максимальної продуктивності 400 т/го дина. Резерву потуж-

ності двигуна цілком достатньо і для можливої модернізації механічного устаткування блюмінга.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гурин Н.А. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. Дипломное проектирование [Текст] / Н.А.Гурин, Г.И.Янукович. – Учеб. пособие. – Мн.:Выш.шк.,1990. – 238с. – ISBN 5-339-00457-0.
2. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода [Текст] / Н.Ф. Ильинский. – Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Издательство МЭИ, 2003. – 224с. – ISBN 5-7046-0874-4.
3. Машиностроение. Энциклопедия [Текст] / ред. Совет: К.В. Фролов. – М.: Машиностроение. Электроприводы. Т.IV-2 / Л.Б. Масандилов, 2012. – 520с. – ISBN 978-5-94275-585-0.
4. Крупович В.И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами [Текст] / под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416с.

УДК. 631.348.455

Антонова М.В.¹, Мікулін Д.А.², Маслов Д.П.²

¹ старш. викл. НУ "Запорізька політехніка"

² студ. гр. Е-417 НУ "Запорізька політехніка"

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ ЗРОШУВАННЯ СИСТЕМИ ТУМАНООТВОРЕННЯ

Системи туманоутворення (димки) все частіше застосовують в тепличному господарстві і в оранжереях. При їх правильному проектуванні, установці і експлуатації ці системи можуть робити істотний вплив на продукти в-ність теплиці.

Продуктивність теплиці залежить від багатьох чинників: температура, вологість, сонячне світло, якість повітряного середовища, концентрація вуглекислого газу, вміст вологи і стану ґрунту. Хоча системи для створення туману не можуть впливати на всі ці параметри, вони можуть надавати позитивний вплив на продуктивність за рахунок регулювання температури, вологості і вмісту вологи в теплиці. Підтримуючи такі параметри на оптимальних рівнях, вони створюють найлуччіє умови для вегетації рослин.

Системи туманоутворення істотно поліпшують умови праці та підвищують продуктивність в оранжереях, вносячи великий внесок у прискорення вегетації на різних етапах, проростання насіння, для виробництва органічної речовини або вирощування тканини клітин. Такі системи за рахунок об'ємного впливу оптимальні для рослин, що стелються, овочів, квітів або розсади

дерев. Завдяки системам туманоутворення можливо забезпечити високу щільність посадки рослин без побоювання розвитку хвороб і однорідності врожаю. Система може виконувати все це, усуваючи "водний стрес рослин", - один з найбільш істотних факторів, що визначають зростання всіх рослин.

Згідно з вимогами СНіП насосні станції всіх призначень повинні проектуватися, як правило, з управлінням без постійного обслуговуючого персоналу: автоматичним - в залежності від технологічних параметрів (рівня води в ємностях, тиску або витрати води в мережі); дистанційним (телемеханічним) - з пункту управління; місцевим - періодично приходять персоналом з передачею необхідних сигналів на пункт управління або на пункт з постійною присутністю обслуговуючого персоналу.

Управління регульованим електроприводом в основному слід здійснювати автоматично в залежності від тиску в диктують точках мережі, витрати води, яка подається в мережу, рівня води в резервуарах.

У НС слід передбачати вимірювання тиску в напірних водоводах і у кожного насосного агрегату, витрат води на напірних водоводах, а також контроль рівня води в дренажних приямках і вакуум-котлі, температури підшипників агрегатів (при необхідності), аварійного рівня затоплення (появи води в машинному залі на рівні фундаментів електроприводів). При потужності насосного агрегату 100 кВт і більше необхідно передбачати періодичне визначення ККД з похибкою не більше 3%.

У машзалі НС розміщено основне і допоміжне обладнання НС. Основне обладнання включає насос ЦН1, електропривод М1. До складу допоміжного обладнання входять: дренажні, пожежні, вакуум-насоси; засувки; вентилятори; обігрівачі та інше обладнання. Управління ним здійснюється за допомогою виконавчих механізмів ІМ1 – Імп.

Для отримання інформації про значення регульованих параметрів служать датчики Д1 – ДМ.

Сигнали управління і вимірювальні сигнали від обладнання НС збираються в шафі управління ШУ. Тут же відбувається їх об'єднання в одну загальну інформаційну лінію зв'язку, яка підключається до технологічного контролеру ТК.

Оскільки при стабілізації напору система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, можливе використання лінійної моделі асинхронного двигуна

Для синтезу регуляторів системи управління буде використовуватися, так звана, лінеаризована модель АД. Структурну схему лінеаризованої моделі асинхронного двигуна можна представити у вигляді, моделі, наведеної на рис. 1:

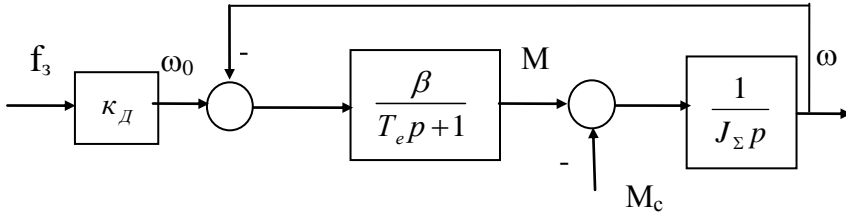


Рисунок 1 – Лінеаризована модель АД

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции [Текст] / П.В. Лобачев. – М.: Стройиздат, 1990. – 191 с.
2. СНиП 2.04.02-84: Насосные станции. Электрооборудование, технологический контроль, автоматизация и системы управления.
3. Попкович Г. С., Гордеев М. А. Автоматизация систем водоснабжения и водоотведения [Текст] / С.Г. Попкович, М.А. Гордеев. – М.: Высш. шк. 1986. – 392 с.
4. Лезнев Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках [Текст] / Б.С. Лезнев. – М.: ИК «Ягорба»-Биоинформсервис, 1998 – 360 с.

Голова секції

П.Д. Андрієнко

Секретар секції

В.В. Василевський