

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Центральноукраїнський національний технічний університет



ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ

НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

здобувачів вищої освіти II рівня (магістрів) за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(м. Кропивницький, 4 грудня 2023 р.)



Кропивницький 2023

УДК 621.31

Електротехнічні системи електроспоживання та енергетичний менеджмент [Електронний ресурс]: збірник тез доповідей наукової конференції здобувачів вищої освіти II рівня (магістрів) за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», (м. Кропивницький, 4 грудня 2023 р.) / Центральноукраїнський національний технічний університет. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 75 с.

Збірник матеріалів конференції містить тези доповідей наукових досліджень здобувачів вищої освіти II рівня (магістрів) за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» за актуальними проблемами енергопостачання, енергоефективності в електро- та теплотехнологічних системах, енергетичного менеджменту.

Даний збірник матеріалів конференції є виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень здобувачів – учасників наукової конференції «Електротехнічні системи електроспоживання та енергетичний менеджмент», що відбулась 4 грудня 2023 року в online форматі.

Збірник розрахований на наукових працівників, викладачів, аспірантів, здобувачів ВНЗ, наукових і інженерно-технічних працівників науково-дослідних інститутів, конструкторських організацій і промислових підприємств.

Під загальною редакцією Заслуженого працівника освіти України, кандидата технічних наук, професора Плешкова П.Г.

Редакційна колегія: **Петро Плешков**, канд. техн. наук, проф., завідувач кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту;
Василь Клименко, д-р. техн. наук, проф., професор кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту;
Лариса Віхрова, канд. техн. наук, проф., професор кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту;
Олександр Сіріков, канд. техн. наук, доц., доцент кафедри електротехнічних систем та енергетичного менеджменту.

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8,
Цentrальноукраїнський національний технічний університет,
тел.: (0522) 390-461.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації та плагіату.

Редакційна колегія вважає за доцільне повідомити, що не всі положення і висновки окремих авторів є безперечними. Разом з тим, вважаємо можливим їх публікацію з метою обговорення та оприлюднення.

ЗМІСТ

<i>Станіслав Фоменко, Василь Зінзура</i> Управління режимами в розподільчих електромережах з сонячними електростанціями за умов несиметричного навантаження	6
<i>Олександр Самович, Сергій Жабко, Василь Зінзура,</i> Автоматизована система регулювання показників якості електроенергії в розподільчих мережах	9
<i>Владислав Готорук, Дмитро Нижник, Василь Зінзура,</i> Математичне моделювання нечіткої системи автоматичного регулювання напруги в розподільчих електромережах	11
<i>Анастасія Максьома, Олександр Шаповал, Лариса Віхрова</i> Застосування нечіткої логіки для керування генерацією активної потужності в розподільчих електромережах з відновлюваними джерелами енергії	13
<i>Віталій Філіпов, Сергій Козаченко, Анатолій Орлович</i> Удосконалення використання альтернативних видів палива в печах хлібопекарських і кондитерських підприємств	15
<i>Артем Тулба, Сергій Лук'яненко, Лінура Швець, Сергій Серебренніков</i> Розрахунок паливно-енергетичного потенціалу рослинницької галузі Кіровоградської області	17
<i>Сергій Ющенко, Петро Плешков, Сергій Плешков</i> Дослідження можливостей альтернативних джерел енергії для підвищення енергоефективності підприємств агропромислового комплексу	19
<i>Наталія Кульчицька, Петро Плешков, Світлана Дубенко</i> Аналіз енергоменеджменту енергопостачальних компаній на оптовому ринку України.....	21
<i>Олег Марченко, Петро Плешков, Сергій Плешков</i> Аналіз засобів та методів формування алгоритму керування електроприводів насосних установок	23
<i>Андрій Чернай, Валерія Довжук, Петро Плешков, Сергій Плешков</i> Оптимізація енергоефективності та експлуатаційної надійності асинхронних електроприводів насосних установок	25
<i>Сергій Рябцев, Петро Плешков, Світлана Дубенко</i> Моніторинг мікропроцесорних пристроїв для комплексних систем автоматизації підстанцій енергопостачальних компаній	27
<i>Анна Величко, Петро Плешков, Сергій Плешков</i> Синтез структури системи автоматичного керування силовими трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги.....	29

<i>Ілля Волювач, Максим Демченко, Наталія Гарасьова</i> Математична модель відцентрового вентилятора при роботі з частотнорегульованим електроприводом.....	31
<i>Ігор Главнов, Наталія Гарасьова</i> Модернізація системи освітлення ремонтно-механічного цеху.....	34
<i>Юрій Демченко, Наталія Гарасьова</i> Порівнювальний аналіз використання стаціонарних сонячних панелей та сонячних трекерів	35
<i>Артем Залізький, Тетяна Величко, Ігор Переверзєв</i> Дослідження енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності розподільчих електричних мереж	37
<i>Дмитро Компанієць, Ігор Переверзєв</i> Дослідженням режимів тягового електропостачання ділянок залізниці.....	39
<i>Олександр Пітель, Олександр Козловський</i> Технології підвищення пропускної здатності повітряних ліній електропередавання.....	40
<i>Андрій Білоус, Олександр Козловський</i> Огляд матеріалів придатних для створення ожеледифобних покриттів проводів ПЛ.....	42
<i>Руслан Демчук, Олександр Козловський</i> Аналіз структури втрат електроенергії в розподільних електромережах промислових підприємств	44
<i>Віталій Дутчак, Олександр Козловський</i> Аналіз методів підвищення пропускної здатності повітряних ліній розподільних електромереж.....	46
<i>Віталій Коршиков, Олександр Козловський</i> Аналіз активних методів підвищення стійкості повітряних ліній 110 кВ до ожеледоутворення.....	48
<i>Ігор Калюжний, Анатолій Орлович</i> Аналіз впливу забруднень на роботу ізоляції КТП	50
<i>Дмитро Комарі, Кирило Морозов, Іван Савеленко</i> Дослідження режимів роботи вітрового генератора з синхронним генератором на постійних магнітах.....	52
<i>Богдан Конюх, Василь Клименко</i> Модернізація системи енергозабезпечення станції водоочистки шляхом застосування біогазової установки	53
<i>Іван Попруженко, Олена Єрьомко, Іван Савеленко</i> Оптимізація режимів розподільчих мереж з відновлюваними джерелами енергії	54
<i>Андрій Огородніков, Руслан Телюта, Віктор Ковальов</i> Діагностування витрати ресурсу ізоляції заглибного електродвигуна	55

<i>Владислав Вільчинський, Руслан Телюта, Сергій Катеринич</i> Дослідження витрати ресурсу ізоляції кабельної лінії під дією експлуатаційних факторів....	57
<i>Василь Кривопляс, Руслан Телюта, Анна Телюта</i> Використання кабельної системи опалення для обігріву приміщень.....	59
<i>Олексій Дяченко, Валентин Солдатенко</i> Підвищення ефективності роботи системи автоматичного керування вітроелектричної установки	61
<i>Микола Дзидик, Валентин Солдатенко</i> Підвищення якості електропостачання споживачів за рахунок використання малопотужних фотоелектричних станцій.....	62
<i>Марина Лекарь, Валентин Солдатенко</i> Визначення доцільного місця приєднання сонячної електростанції в розподільній електричній мережі.....	63
<i>Денис Нетюхайло, Валентин Солдатенко</i> Система електрозабезпечення на основі комбінованого електропостачання з використанням сонячної електростанції та електроакумуляторів	64
<i>Артем Видиш, Валентин Солдатенко</i> Система оптимального керування величиною відбору потужності фотоелектричних батарей сонячних станцій.....	65
<i>Андрій Ключар, Валентин Солдатенко</i> Розробка системи накопичення електричної енергії на основі гідроакумуляуючої установки	66
<i>Андрій Жердій, Олександр Сіріков</i> Аналіз можливості використання елементів Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності	67
<i>Олег Миронюк, Олександр Сіріков</i> Способи і заходи зниження несиметрії напруг і струмів тягових навантажень.....	68
<i>Юрій Стрільчук, Олександр Сіріков</i> Обґрунтування можливості застосування напруги 660 В.....	70
<i>Вадим Яковенко, Олександр Сіріков</i> Дослідження питомих норм енергоспоживання на опалення приміщень.....	72
<i>Ірина Штундер, Олександр Сіріков</i> Аналіз шляхів підвищення надійності роботи трансформаторів напруги в мережах з ізолюваною нейтраллю в умовах замикань на землю	73

Станіслав Фоменко, здобувач групи ЕЕ-22М,
Василь Зінзура, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: vasilijzinzura@gmail.com

Управління режимами в розподільчих електромережах з сонячними електростанціями за умов несиметричного навантаження

В процесі проектування та експлуатації розподільних електричних мереж (РЕМ), велика увага приділяється якості електричної енергії, зокрема, відповідності її показників нормованим значенням. Суттєвий негативний вплив на функціонування елементів РЕМ (в тому числі і на електроспоживачів), чинить збільшення рівнів усталеного відхилення та несиметрії напруг понад нормативні значення.

Існуючі РЕМ напругою 10–35 кВ проектувалися за умови централізованого електропостачання, відповідно, з використанням схемних рішень, які б задовольняли вимоги надійності та якості електропостачання споживачів. Проте, впровадження додаткової генерації на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), призвела до появи ряду проблем, які виникають при паралельній роботі з цими мережами.

На сьогоднішній день сонячна енергетика в Україні розвивається найшвидшими темпами. Так, встановлена потужність сонячних електростанцій (СЕС) станом на кінець I півріччя 2021 року, становила 6 351 МВт. Що, майже на 14% більше ніж в 2020 році [1].

Інтеграція СЕС в електричні мережі пов'язане з рядом особливостей роботи цих мереж. Так, при умові низького навантаження та високого рівня генерації активної потужності, в точці приєднання СЕС до шин РЕМ може відбуватись підвищення рівня усталеного відхилення напруги понад нормативне значення. Окрім цього, на підвищення напруги може впливати також рівень короткого замикання системи та коефіцієнт співвідношення X/R (індуктивного опору до активного) в точці приєднання СЕС до мережі [2].

Основним пристроєм, який дозволяє підключати СЕС на паралельну роботу з мережею, є інвертор. Звичайні інвертори СЕС призначені для перетворення постійного струму від джерела енергії в змінний струм мережі при коефіцієнті потужності близькому до одиниці. Тобто обмін реактивною потужністю не передбачається.

Однак, силова електроніка дозволяє реалізувати додаткові можливості даних інверторів, зокрема, можливість керування відхиленням напруги в точці їх приєднання, керування реактивною потужністю та навіть змінювати рівні несиметрії напруг. Такі інвертори отримали назву «розумні інвертори» або «вдосконалені інвертори» [2,3].

Слід зазначити, що конструктивна особливість трифазних інверторів (кожен вивід працює як однофазний інвертор) дає змогу керувати його вихідними параметрами пофазно, за рахунок відповідної системи автоматичного керування (САК) [4].

Таким чином, задача удосконалення САК, реалізація яких дозволить врахувати багатофункціональний вплив сонячних інверторів на параметри режиму РЕМ, що містять СЕС, є досить актуальною.

Узагальнена структурна схема РЕМ з СЕС зображена на рис. 1.

Для даної схеми можна виділити два характерних режими роботи:

1. Режим споживання електричної енергії. За умови перевищення повної потужності навантаження над повною потужністю генерації СЕС $S_n > S_{ген}$, відбувається перетік потужності $S_{ген} - S_n < 0$. Це нормальний режим роботи РЕМ.

2. Режим генерації електричної енергії. За умови перевищення повної потужності генерації СЕС над повною потужністю навантаження $S_{\text{ген}} > S_{\text{н}}$, відбувається зворотній перетік потужності $S_{\text{ген}} - S_{\text{н}} > 0$. Так при великому значенні потужності $S_{\text{ген}}$, може зростати відхилення напруги в точці приєднання СЕС до мережі.

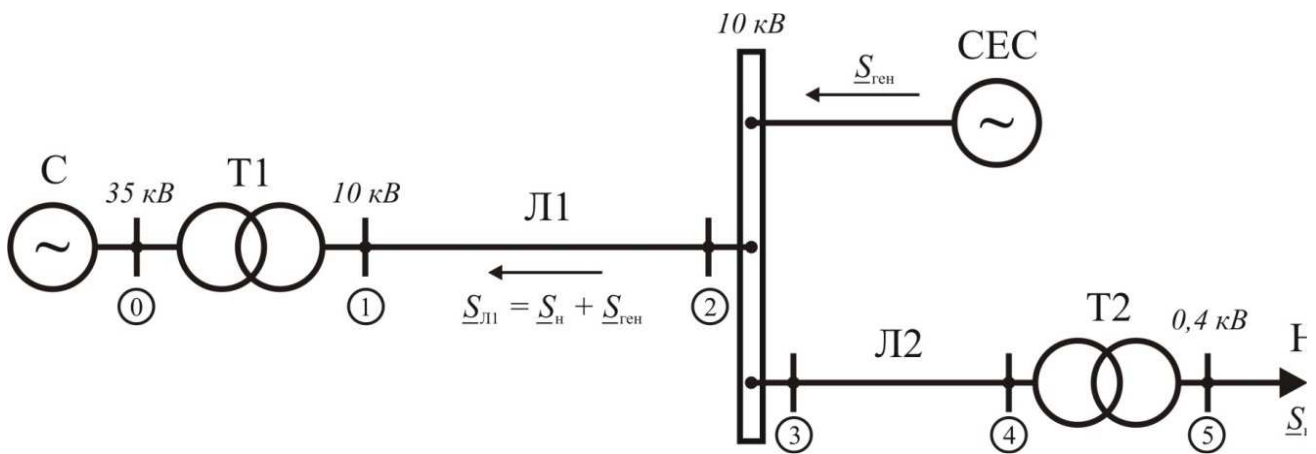


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема РЕМ з СЕС

Джерело: розроблено авторами

На рис. 1: С – енергосистема (ділянка районної електричної мережі, від якої живиться РЕМ); Т1 – знижувальний силовий трансформатор 35/10 кВ; Л1, Л2 – лінії електропередачі номінальною напругою 10 кВ; СЕС – сонячна електростанція; Т2 – знижувальний силовий трансформатор 10/0,4 кВ; Н – узагальнене електричне навантаження електроспоживачів. $\underline{S}_{\text{ген}} = P_{\text{ген}} + jQ_{\text{ген}}$ – повна електрична потужність генерації СЕС; $P_{\text{ген}}$, $Q_{\text{ген}}$ – активна та реактивна потужність генерації СЕС; $\underline{S}_{\text{н}} = P_{\text{н}} + jQ_{\text{н}}$ – повна електрична потужність навантаження; $P_{\text{н}}$, $Q_{\text{н}}$ – активна та реактивна потужність навантаження; $\underline{S}_{\text{Л1}} = \underline{S}_{\text{ген}} + \underline{S}_{\text{н}} = P_{\text{Л1}} + jQ_{\text{Л1}}$ – повна електрична потужність, що протікає по лінії Л1; $P_{\text{Л1}}$, $Q_{\text{Л1}}$ – активна та реактивна потужність, що протікає по лінії Л1.

Слід зазначити, що значення активної $P_{\text{ген}}$ та реактивної $Q_{\text{ген}}$ потужностей генерації СЕС в розрахунках береться зі знаком «-».

З точки зору впливу СЕС на параметри РЕМ, режим генерації є більш цікавим для дослідження. Для забезпечення допустимих рівнів відхилення та несиметрії напруги, потрібно здійснювати пофазне керування потужністю генерації СЕС, зокрема, і режимом реактивної потужності.

Так, мінімально можлива величина генерації/споживання реактивної потужності інвертора СЕС визначається різними стандартами по різному. Стандартом IEEE Standard 1547-2018 визначено її на рівні 44% від повної номінальної потужності інвертора (рис. 2).

Враховуючи вищесказане, задачу автоматичного керування параметрами РЕМ з СЕС доцільно інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації. Для РЕМ номінальною напругою 10 кВ будуть мати місце наступні критерії оптимізації, які потрібно мінімізувати:

1. $-P_{\Sigma \text{ген}}(\mathbf{S}_{\text{ген}})$ – сумарна активна потужність генерації, взята зі знаком «мінус»;
2. $|\text{tg } \varphi(\mathbf{S}_{\text{ген}})|$ – коефіцієнт реактивної потужності в режимі генерації;
3. $|\Delta U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}})|$ – різниця значень модуля комплексу напруги прямої послідовності \underline{U}_1 та номінальної напруги РЕМ $U_{\text{ном}}$;
4. $U_2(\mathbf{S}_{\text{ген}})$ – значення модуля комплексу напруги зворотної послідовності.

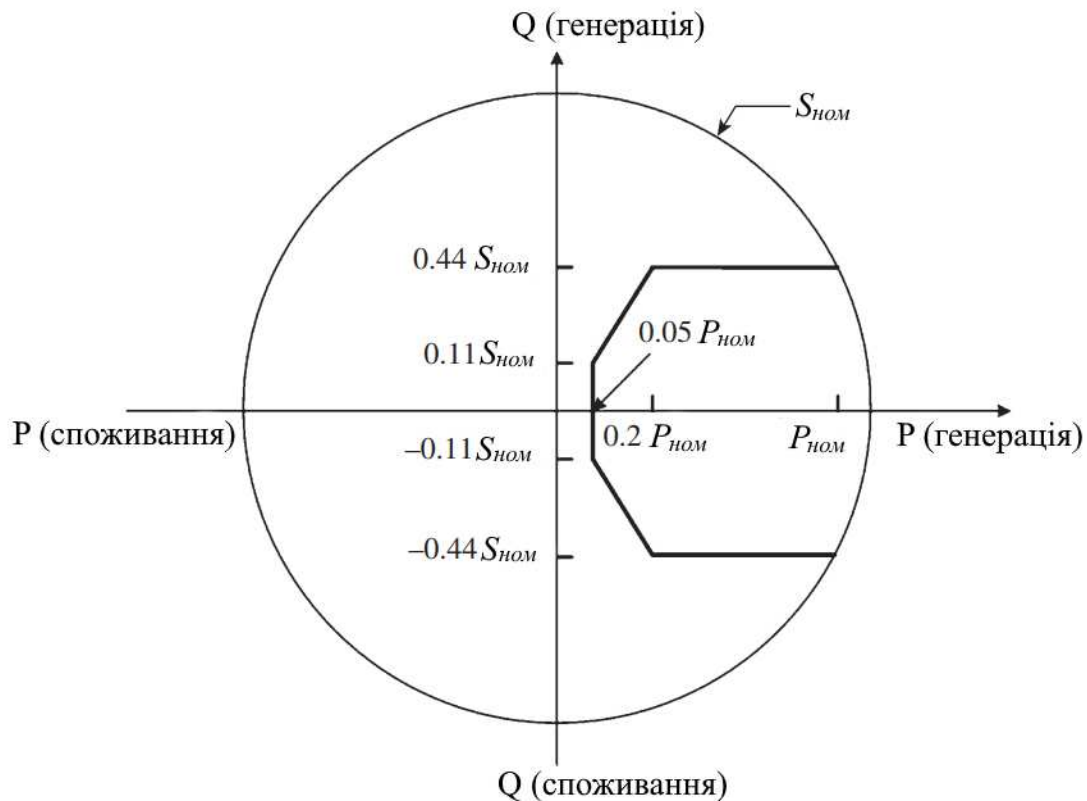


Рисунок 2 – Мінімальне значення генерації/споживання реактивної потужності інвертором СЕС згідно з IEEE Standard 1547-2018

де $\underline{S}_{\text{ген}} = (\underline{S}_{\text{ген}A}, \underline{S}_{\text{ген}B}, \underline{S}_{\text{ген}C})$ – вектор фазних потужностей генерації СЕС (вектор керування);

$\underline{S}_{\text{ген}i} = P_{\text{ген}i} + jQ_{\text{ген}i}$, $i = A, B, C$ – комплекс повної потужності генерації СЕС для i -ї фази;

$\Omega \in \square^3 \mid \underline{S}_{\text{ген}i}^{\min} \leq \underline{S}_{\text{ген}i} \leq \underline{S}_{\text{ген}i}^{\max}$, $i = A, B, C$ – область допустимих значень вектора керування $\underline{S}_{\text{ген}}$;

$\underline{S}_{\text{ген}i}^{\min}$, $\underline{S}_{\text{ген}i}^{\max}$, $i = A, B, C$ – мінімально та максимально допустимі значення вектора керування $\underline{S}_{\text{ген}}$;

Поставлена задача багатокритеріальної оптимізації найкращим чином вирішується методом наближення до ідеальної точки в просторі критеріїв [5].

Список літератури

1. Статистика розвитку відновлюваної електроенергетики на кінець I півріччя 2021 року | Кабінет Міністрів України
2. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В., Бандура І.О. Фотоелектричні станції як засіб регулювання перетоків реактивної потужності в електричній системі. Наукові нотатки : міжвуз. зб. (за галузями знань "Технічні науки"). 2019. Вип. 65. С. 137-141. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_22 (дата звернення: 23.10.2022).
3. Varma, R. Smart Solar PV Inverters with Advanced Grid Support Functionalities (1st ed.). – Wiley, 2021 – P.508. DOI: <https://www.perlego.com/book/3118778/smart-solar-pv-inverters-with-advanced-grid-support-functionalities-pdf>
4. Keyhani, Ali .Integration of green and renewable energy in electric power systems. – Wiley, 2010 – P.327. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470556771> ;
5. Солдатенко В. П. Автоматичне керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії / В. П. Солдатенко, С. П. Плешков // Вісник Харківського політехнічного інституту. Технічні науки. – 2017. – №. 32

Олександр Самович, здобувач групи ЕЕ-22М,
Сергій Жабко, здобувач групи ЕЕ-22М,
Василь Зінзура, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: vasilizinzura@gmail.com

Автоматизована система регулювання показників якості електроенергії в розподільчих мережах

Сучасний етап розвитку світової електроенергетики характеризується значною актуалізацією проблеми економічності роботи розподільних електричних мереж (РЕМ). Однією з головних причин зниження ефективності та економічності роботи РЕМ є погіршення якості електричної енергії. Особливо гостро ця проблема стосується РЕМ номінальною напругою 10 кВ, до яких приєднуються потужні несиметричні електроспоживачі (дугові сталеплавильні печі, індукційні печі та ін.). В цих РЕМ, як правило, виникають понаднормово завищені значення усталеного відхилення напруги та коефіцієнту несиметрії напруг по зворотній послідовності, що негативно впливає на роботу електроприймачів [1].

В роботах [2, 3] запропоновано САК режимом роботи симетро-компенсувальними пристроями в РЕМ номінальною напругою 0,4 кВ [2] та 10 кВ [4]. Розроблені в даних роботах САК базуються на розв'язках задачі багатокритеріальної оптимізації. Застосування зазначених САК дозволяє досягти одночасного зниження рівнів усталеного відхилення напруги, несиметрії напруг та коефіцієнту реактивної потужності в РЕМ. Проте, основним недоліком цих САК є те, що вони не в повній мірі враховують здатність симетро-компенсуючих пристроїв до зниження рівня негативного впливу, спричиненого усталеним відхиленням та несиметрією напруг. Зважаючи на це, виникає необхідність у проведенні подальших наукових досліджень з даного питання.

Як відомо, негативний вплив на роботу РЕМ, спричинений понаднормовими значеннями ΔU_1 та k_{2U} не є рівнозначним, і може суттєво відрізнитись в залежності від якісного та кількісного складу електричного навантаження. Тому перспективним видається підхід, за якого в якості критеріальних функцій виступали б залежності, що оцінюють негативний вплив відхилення та несиметрії напруг на роботу РЕМ. Постановка задачі багатокритеріальної оптимізації, яка реалізує такий підхід, має наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \operatorname{tg}\varphi(\mathbf{X}) = \frac{Q_s(\mathbf{X})}{P_s(\mathbf{X})} \rightarrow \min; \\ L_{\Delta U}(\mathbf{X}) = a_1 [\Delta U_1(\mathbf{X}) + a_2]^2 \frac{S_l}{S_{l\max}} \rightarrow \min; \\ L_{k_{2U}}(\mathbf{X}) = c_0 \sum_{j=1}^m k_j k_{2U}^2(\mathbf{X}) \rightarrow \min; \\ X \in \Omega, \end{array} \right. \quad (1)$$

де $L_{\Delta U}$ – показник, що оцінює негативний вплив, спричинений усталеним відхиленням напруги ΔU_1 ; a_1 , a_2 – постійні коефіцієнти, що залежать від якісного складу електричного навантаження; S_l – поточне значення повної потужності електричного навантаження; $S_{l\max}$ – максимальне значення повної потужності електричного навантаження; $L_{k_{2U}}$ – показник, що оцінює негативний вплив, спричинений несиметрією напруг; c_0 – діючий тариф на

електричну енергію; k_j – коефіцієнт додаткових втрат активної потужності від несиметрії напруг для j -ї групи однорідних елементів системи електропостачання; m – кількість груп однорідних елементів системи електропостачання.

Результати порівняльного комп'ютерного моделювання для випадку розробленої і базової САК параметрами режиму наведені на рис. 1.

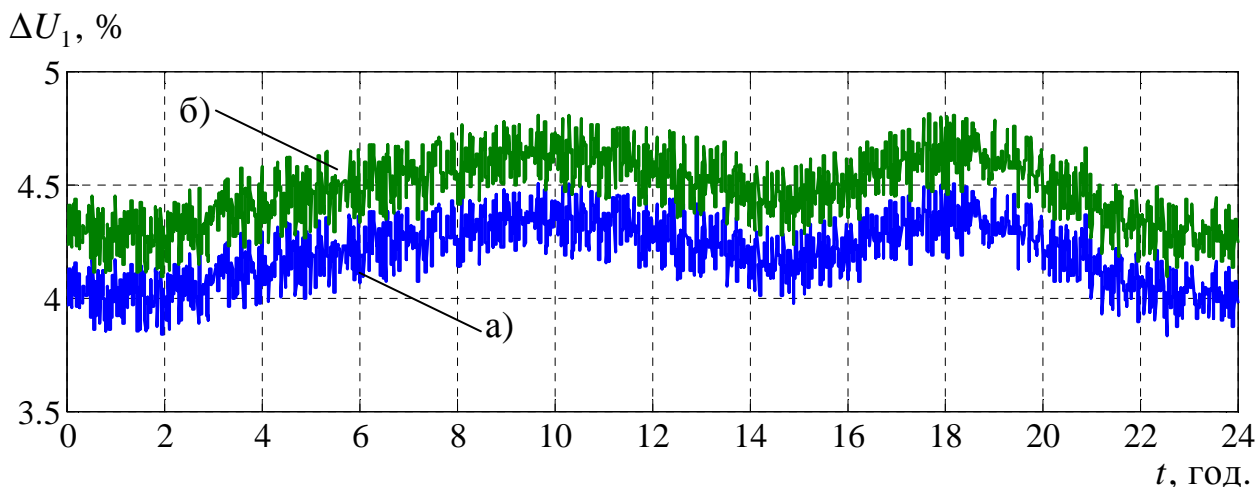


Рисунок 1 – Графіки зміни ΔU_1 : а – базова САК; б – розроблена САК

Статистична обробка результатів моделювання показала, що значення інтегральної ймовірності потрапляння в нормально допустимі межі ΔU_1 та k_{2U} як для базової САК, так і для запропонованої в роботі САК, задовольняють діючим нормативним вимогам. Але при застосуванні розробленої САК математичне очікування значення усталеного відхилення напруги $M[\Delta U_1]$ виявилось на 6,9 % більшим в порівнянні з базовою САК, а математичне очікування значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності $M[k_{2U}]$ – на 9,6 % меншим. Такі результати обумовлені вибором в якості критеріальних функцій задачі (2) залежностей, що описують негативний вплив усталеного відхилення ΔU_1 та коефіцієнту несиметрії напруг по зворотній послідовності k_{2U} на роботу РЕМ, який в загальному випадку не є рівнозначним для кожного із зазначених ПЯЕ.

Список літератури

1. Plieshkov P. H. / Automatic control of electrical distribution network mode with the voltage unbalance/ P. H. Plieshkov, V. V. Zinzura, S. P. Plieshkov // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. - 2019. - Vol. 3. - P. 83-91; DOI: 10.29202/nvngu/2019-3/10
2. Тарануха М. С. Оптимальне керування режимами реактивного навантаження за умов несиметрії напруг розподільчих електричних мереж / М.С. Тарануха, Р.В. Телюта, В. В. Зінзура // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. - 2015. - № 42. - С. 62-66. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/19801>
3. Зінзура В.В. Методи розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації регулювання напруги в електричних мережах // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація - Кіровоград: КНТУ - 2012. - Вип. 25. Ч.1 - С. 350-360. <http://dSPACE.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/1388>

Владислав Готорук, здобувач групи ЕЕ-22М,
Дмитро Нижник, здобувач групи ЕЕ-22М,
Василь Зінзура, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: vasilizinzura@gmail.com

Математичне моделювання нечіткої системи автоматичного регулювання напруги в розподільчих електромережах

Впровадження сучасних технологій та новітніх систем автоматизації у вітчизняній промисловості ставить нові вимоги до якості електроенергії та надійності електропостачання. Одним із найважливіших параметрів якості електроенергії є рівень відхилення напруги. Відхилення напруги, особливо в бік її зменшення, спричиняють значні економічні збитки практично в усіх галузях промисловості.

Проведений аналіз методів регулювання напруги в розподільчих електричних мережах (РЕМ) показав, що найбільш досконалим із них є закон зустрічного регулювання напруги. Аналіз технічних засобів, з допомогою яких реалізується зустрічне регулювання, показав, що найчастіше для цього використовують силові трансформатори з пристроями регулювання напруги під навантаженням (РПН). В сучасних електричних мережах найбільшого поширення набули трансформатори з механічними пристроями РПН.

Ресурс механічних контактів пристрою РПН силового трансформатора досить малий, оскільки йому доводиться комутувати значні робочі струми. Ремонт пристрою РПН – це досить трудомістка і порівняно затратна операція. Все це приводить до того, що оперативний персонал підстанцій намагається проводити перемикання відпайок силового трансформатора якомога рідше. З цієї причини автоматичні регулятори напруги силових трансформаторів, як правило, відключаються. Відповідно, якість напруги значно знижується, а втрати від неякісного електропостачання зростають.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми є удосконалення систем автоматичного керування (САК) пристроями РПН силових трансформаторів з метою підвищення їх надійності без суттєвого погіршення якості електроенергії

На рис. 1. наведена узагальнена комп'ютерна імітаційна модель інтелектуальної системи автоматичного регулювання напруги в РЕМ.

На рис. 1: «Т1» – модель силового трансформатора ТМН-10000/110 з механічним пристроєм РПН; «Усист» – модель живлячої мережі; «САК РПН» – САК пристроєм РПН силового трансформатора; «Система моніторингу стану силового трансформатора» - модель системи моніторингу стану силового трансформатора; «Стат. аналіз ВН», «Стат. аналіз НН» – блоки розрахунку статистичних показників ПЯЕ; «Pint_disp1», «Pint_disp2» – блоки відображення значень інтегральної ймовірності потрапляння усталеного відхилення напруги в нормально допустимі межі згідно ГОСТ 13109-97; «Nf_disp1», «Nf_disp5» – блоки відображення кількості не потраплянь значень усталеного відхилення напруги в нормально допустимі межі; «Uvn_score», «Unn_score» – віртуальні осцилографи, що відображають графіки зміни діючих значень напруги на стороні ВН та НН силового трансформатора.

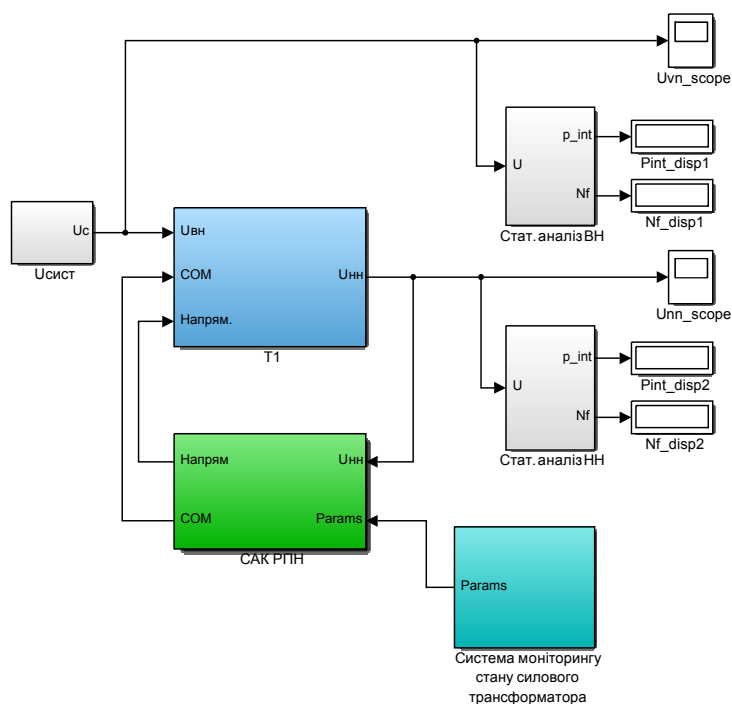


Рисунок 1 – Узагальнена комп’ютерна імітаційна модель нечіткої системи автоматичного регулювання напруги в РЕМ

Результати моделювання розробленої та базової САК режимами напруги РЕМ для випадку «зношеного» пристрою РПН представлені у вигляді графіків на рис. 2.

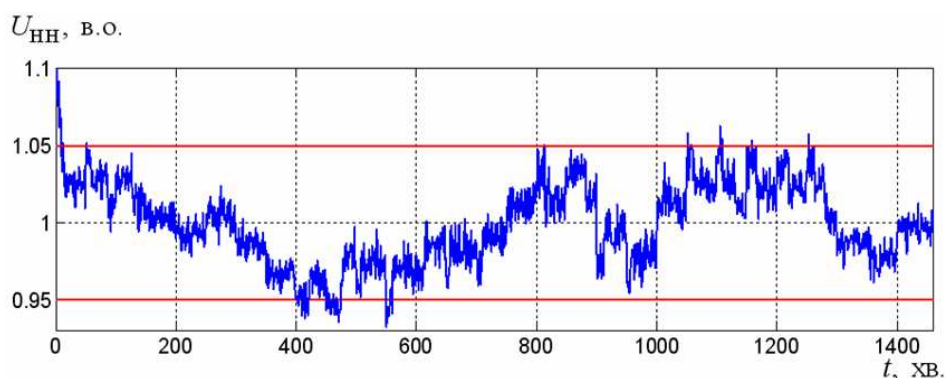


Рисунок 2 – Графік зміни діючого значення напруги (в.о.) на стороні НН силового трансформатора для розробленої САК

Як видно з результатів комп’ютерного моделювання, при застосуванні як базової САК, так розробленої в роботі нечіткої САК пристроєм РПН силового трансформатора, значення усталеного відхилення напруги задовольняють вимогам ГОСТ 13109-97 відносно даного показника якості. Але, у випадку застосування САК із адаптивним нечітким визначенням величини затримки часу спрацювання кількість спрацювань «зношеного» пристрою РПН виявилась на 19,4 % меншою, що безперечно, є її суттєвою перевагою. Даний ефект забезпечується, перш за все, за рахунок введення адаптивної затримки часу спрацювання, яка залежить від стану зношеності пристрою РПН силового трансформатора.

Список літератури

1. Левицький, С. М. Система автоматичного керування трансформатором з інтелектуальним регулятором напруги : монографія / С. М. Левицький, К. І. Колмачов. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 72 с.
2. Грабко В.В. Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН. Монографія /В. В. Грабко – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. —109 с.

Анастасія Максьома, здобувачка групи ЕЕ-22М,
Олександр Шаповал, здобувач групи ЕЕ-22М,
Лариса Віхрова, канд. техн. наук, професор
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: vihrovalg@ukr.net

Застосування нечіткої логіки для керування генерацією активної потужності в розподільчих електромережах з відновлюваними джерелами енергії

Одним із шляхів підвищення рівня генерації електроенергії від установок з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), що працюють в складі комбінованої електроенергетичної системи (КЕЕС) при прийнятному погіршенні якості електроенергії, є удосконалення їх систем автоматичного керування (САК).

Як показано в роботі [1], задачу одночасної максимізації рівня генерації електроенергії установок з ВДЕ та мінімізації збитків від понаднормових значень усталеного відхилення напруги найбільш доцільно інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації [1, 2].

В роботі [1] зазначається, що значення вагових коефіцієнтів k_1 та k_2 є постійними і обираються в процесі експлуатації в залежності від потужності установок з ВДЕ та кількісного і якісного складу навантаження. Проте, можливо, такий підхід до вибору вагових коефіцієнтів k_1 та k_2 не є найбільш доцільним, так як не враховує зміну кількісного та якісного складу навантаження. До того ж, вираз визначення економічних збитків від понаднормових значень усталеного відхилення напруги на затискачах електроспоживачів справедливий лише для випадку, за якого найбільшу питому частку навантаження складають асинхронні двигуни. Якщо ж до складу навантаження входять потужні споживачі інших видів, виникають складнощі при визначенні постійних коефіцієнтів a_1 , a_2 та поточного значення збитків.

Перспективним видається підхід, за якого значення вагових коефіцієнтів k_1 та k_2 визначалися б в режимі реального часу в залежності від кількісного та якісного складу електрообладнання.

Зважаючи на досить велику кількість факторів, що впливають на значення даних вагових коефіцієнтів, побудова традиційної математичної моделі, яка б з достатнім рівнем точності описувала їх взаємозв'язок із значеннями якісного і кількісного складу електрообладнання, є практично неможливою. Тому для вирішення даної задачі, найбільш доцільним є підхід з використанням математичного апарату нечіткої логіки [3].

Для побудови такої нечіткої моделі, перш за все, необхідно визначити величини, що найбільш суттєво впливають на значення вагових коефіцієнтів k_1 та k_2 . При цьому, виходячи із виразу (2), можливо обмежитись знаходженням значення лише одного вагового коефіцієнту (наприклад, k_2).

Вхідними параметрами нечіткої моделі слугують: коефіцієнт завантаження k_z споживачів електричної енергії, який дозволяє враховувати частку споживачів електричної енергії, які в даний час підключені до електричної мережі; коефіцієнт важливості навантаження $k_{\text{имр}}$, що враховує чутливість обладнання споживачів електричної енергії до понаднормових значень усталеного відхилення напруги.

Вихідним параметром нечіткої моделі є ваговий коефіцієнт k_2 , який враховує відносну важливість критерію Q_2 задачі оптимізації. В табл. 1 наведено параметри нечіткої моделі, а також діапазони зміни їх значення.

Таблиця 1 – Значення вхідних та вихідних параметрів нечіткої моделі

№ з/п	Параметр	Назва параметру	Діапазон	Терми
<i>Вхідні параметри моделі</i>				
1	k_z	Коефіцієнт завантаження	0...1	дуже низький (VL), низький (L), середній (M), високий (H), дуже високий (VH)
2	k_{imp}	Коефіцієнт важливості навантаження	0...1	низька (L), середня (M), висока (H)
<i>Вихідний параметр моделі</i>				
1	k_2	Ваговий коефіцієнт k_2	0...1	дуже низький (VL), низький (L), середній (M), високий (H), дуже високий (VH)

Таблиця 2 – Нечітка база знань моделі визначення вагового коефіцієнту k_2

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вхідні змінні	k_z	VL	VL	VL	L	L	L	M	M	M	H	H	H	VH	VH	VH
	k_{imp}	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
Вихідна змінна	k_2	VL	VL	L	L	L	M	M	M	H	H	H	VH	H	VH	VH

Для вирішення поставленої задачі в якості нечіткого алгоритму було обрано алгоритм Мамдані. Такий вибір обумовлено тим, що даний алгоритм є найбільш простим для програмування, а також відрізняється простотою і наочністю всіх його складових.

Для вирішення поставленої задачі в якості нечіткого алгоритму було обрано алгоритм Мамдані. Такий вибір обумовлено тим, що даний алгоритм є найбільш простим для програмування, а також відрізняється простотою і наочністю всіх його складових.

При розробці нечіткої моделі використано функції приналежності двох видів: трикутні і трапецієподібні. На основі розробленої експертної бази знань, а також обраних типів функцій належності, було складено нечіткі логічні рівняння, які мають наступний вигляд:

$$\mu^{VL}(k_2) = (\mu^{VL}(k_z) \cdot \mu^L(k_{imp})) \vee (\mu^{VL}(k_z) \cdot \mu^M(k_{imp})). \quad (1)$$

$$\mu^L(k_2) = (\mu^{VL}(k_z) \cdot \mu^H(k_{imp})) \vee (\mu^L(k_z) \cdot \mu^L(k_{imp})) \vee (\mu^L(k_z) \cdot \mu^M(k_{imp})). \quad (2)$$

$$\mu^M(k_2) = (\mu^L(k_z) \cdot \mu^H(k_{imp})) \vee (\mu^M(k_z) \cdot \mu^L(k_{imp})) \vee (\mu^M(k_z) \cdot \mu^M(k_{imp})). \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mu^H(k_2) = & (\mu^M(k_z) \cdot \mu^H(k_{imp})) \vee (\mu^H(k_z) \cdot \mu^L(k_{imp})) \vee \\ & \vee (\mu^H(k_z) \cdot \mu^M(k_{imp})) \vee (\mu^{VH}(k_z) \cdot \mu^L(k_{imp})) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\mu^{VH}(k_2) = (\mu^H(k_z) \cdot \mu^H(k_{imp})) \vee (\mu^{VH}(k_z) \cdot \mu^M(k_{imp})) \vee (\mu^{VH}(k_z) \cdot \mu^H(k_{imp})). \quad (5)$$

Результати проведеного моделювання показали, що для дефазифікації вихідного параметру найдоцільніше скористатись методом визначення центру ваги (центроїдним методом).

Список літератури

1. Плешков П.Г. Оптимальне керування режимом роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії / П.Г. Плешков, Н.Ю. Гарасьова, В.П. Солдатенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – №32 (1308). – С. 64–70 DOI: 10.1109/TPE.2006.881997
2. Plieshkov P. H. / Automatic control of electrical distribution network mode with the voltage unbalance/ P. h. Plieshkov, V. V. Zinzura, S. P. Plieshkov // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2019. – Vol. 3. – P. 83–91; DOI: 10.29202/nvngu/2019-3/10
3. Грабко В.В. Визначення коефіцієнта впливу трансформатора нижнього рівня в задачі регулювання напруги за допомогою трансформатора з пристроєм регулювання під навантаженням / В.В. Грабко, І. В. Бальзан // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. Вип. 3/2012 (19). – С. 508–511.

Віталій Філіпов, здобувач групи ЕНМ-22М,
Сергій Козаченко, здобувач групи ЕНМ-22М,
Анатолій Орлович, канд. техн. наук, професор
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kafedra.ets260@gmail.com

Удосконалення використання альтернативних видів палива в печах хлібопекарських і кондитерських підприємств

Останнім часом в енергосистемі зафіксований недостатній обсяг електроенергії. Це обумовлено збільшенням споживання внаслідок зниження навколишніх температур, що призводить до додаткового навантаження на електростанції. Відновлені блоки після обстрілів не здатні нести таке саме навантаження, що і до їхнього пошкодження. Та далі мову маємо вести для підприємств, які вже є на Україні, і знаходити перспективи на майбутнє і розвиток, на місце для інвестицій. Зокрема, урахувавши європейську перспективу України та необхідність зміцнення енергетичної безпеки через перехід до нових енергетичних технологій. З метою подальшого спрямування України на шлях декарбонізації, збереження клімату та зміцнення енергобезпеки, важливо чітко визначити напрямок рішень все сьогодні. В полі таких тенденцій, слід зберегти підприємництво в роботі і розглядати різні варіанти енергонезалежності, екологічності і розумного енергоживлення. Отже, ставиться задача зниження рівнів споживання електричної енергії для технологічних потреб печей, а також удосконалення і підвищення енергоефективності хлібопекарських та кондитерських печей при використанні альтернативних видів палив.

Для вирішення поставленої задачі слід розглянути і порівняти пальники різних типів, їх конструктивні і функціональні особливості. При виборі пальника для випікання кондитерських виробів слід враховувати, щоб печі мали високу маневреність. Тому слід обрати в кондитерських печах пальник факельного типу. В якості палива пропонується перехід хлібопекарських печей на пелети. Пелетний пальник має ряд функцій: подача палива в зону горіння, подача повітря в зону горіння, їх перемішування в зоні горіння та забезпечення безпечної і безперервної роботи. Подача пелет в зону горіння може бути здійснена різними методами, проте основна вимога - збереження стабільної подачі визначеної кількості палива протягом одиниці часу. Шнековий конвеєр подає гранули на спеціальний приймальний майданчик. Крізь пелети вентилятор направляє повітря. Під час роботи виникає потужний стійкий факел з горизонтальним напрямом (рис.1) [1].

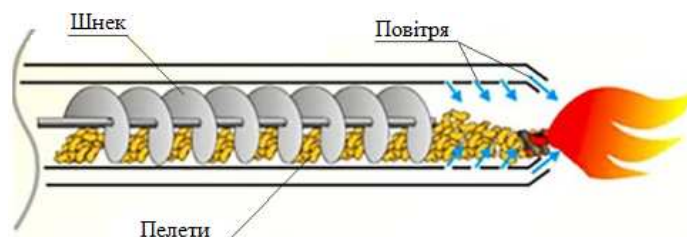


Рисунок 1 – Пальник факельного типу з пелетами.

В роботі окрему увагу приділено розгляду пелетного пальника «IMPEX-BURNER» для печей хлібопекарського виробництва потужністю 10 кВт - 70 кВт, який призначений для застосування в ротаційних печах хлібопекарського та кондитерського виробництва. Для таких пальників є ряд рекомендацій до характеристик палива. Діаметр пелет 6-8 мм, якщо діаметр

не відповідає зазначеним розмірам, забивається шнек, процес нестабільного горіння, забивається палиник. Довжина пелет 5-40 мм. При меншій довжині – буде видувати з камери горіння, різко падає ККД палиника. Якщо більша довжина – застрявання в трубах і не буде горіння. Вміст вологи, не більше 10 %. Більша вологість призведе до задимлення камери згорання, поганого розпалювання, накопичення піролізних газів, що може призвести до вибуху. Об'єм 1 тони палива, 1,5-1,6 м³, якщо більше - пелета легка і видуватиметься з камери згорання. Для отримання 1 кВт теплової енергії десь необхідно 0,22 кг пелет залежно від якості пелет. Сировинною основою можуть бути: лущиння сояшника, дерево хвойних і листяних порід, кукурузник качан, солома, очерет.

Теплова енергія виділяється в вигляді факела полум'я, що виходить з камери згорання палиника в топочний простір. Палиник має автоматичне очищення з рухомим колосником. Колосник знижує ймовірність утворення нагару при використанні низькоякісних пелет і, тим самим, продовжує термін безвідмовної роботи палиника. Конструкція пелетного палиника та зовнішнього шнека наведено на рис. 2.

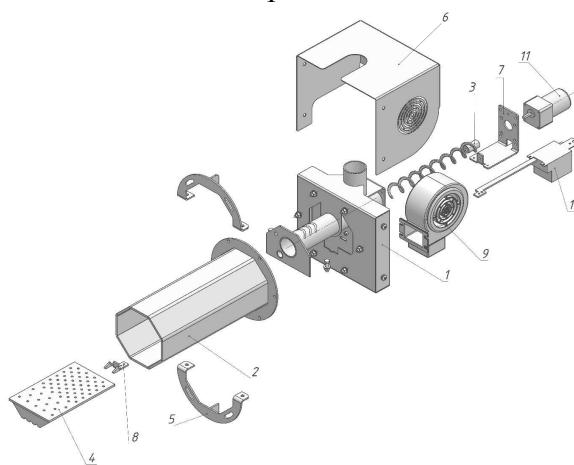


Рисунок 2 – Конструкція палиника:

1 – корпус; 2 – камера згорання; 3 – внутрішній шнек; 4 – колосник; 5 – фланець приєднувальний; 6 – кришка; 7-кронштейн моторредуктора; 8-кронштейн колосника; 9 – вентилятор; 10 - привід очищення колосника; 11 - моторредуктор

Використання пелетного палиника та гранул як палива дозволяє автоматизувати операції ротаційних печей і мінімізувати людські трудовитрати. Для автоматичного режиму роботи палиника використовується паливо у вигляді гранул. Налаштування пелетного палиника здійснюється шляхом регулювання швидкості подачі пелет в область горіння та кількості повітря, що надходить в камеру згорання. Правильна конфігурація пелетного палиника забезпечує максимальну ефективність використання палива.

Датчик полум'я визначає освітленість в камері згорання від 1 до 200 одиниць. В залежності від інтенсивності світіння в камері, контролер вирішує алгоритм роботи для вентилятора та шнека подачі палива. Через датчик температури корпусу контролер автоматично вимикає палиник у разі зворотної тяги та, отже, перегріву палиника.

В роботі порівняно палиники факельного типу вітчизняного виробництва і європейського. Зазначено, що якість і надійність вітчизняного палиника не поступається європейському, суттєва різниця у ціни. Отже, приймати до встановлення пелетні палиники вітчизняного виробництва є економічно виправдано.

Список літератури

1. Влаштування пелетних палиників. Режим доступу: <http://pellet-burners.com.ua/poleznaya-informaciya>
2. Ротаційна піч Impex Rotor (на пелетах) українського виробництва ВТЦ «Імпексамаш». Режим доступу: <https://impexmash.com/product/rotation-oven-impex-rotor-on-wooden-pellets/>

Артем Тулба, здобувач групи *ЕЕ-22М*,
Сергій Лук'яненко, здобувач групи *ЕНМ-22М*
Лінура Швець, здобувач групи *ЕНМ-22М*
Сергій Серебренніков, канд. техн. наук, професор
 Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: sv.serebrennikov@gmail.com

Розрахунок паливно-енергетичного потенціалу рослинницької галузі Кіровоградської області

У зв'язку з переходом від традиційних схем опалення до альтернативних, спостерігається стрімке зростання попиту на біопаливо, зокрема гранули та брикети рослинного походження. Втім, процес модернізації котелень часто відбувається без належного наукового обґрунтування можливостей забезпечення їх місцевим біопаливом. Отже, актуалізується потреба у вивченні та прогнозуванні перспектив виробництва біоенергетичної сировини в розрізі регіонів України.

Порівняльний аналіз районів області за біоресурсним потенціалом дасть змогу виокремити найпродуктивніші, з'ясувати чинники, що формують біоенергетичний потенціал кожної території, та визначити пріоритетні енергетичні культури.

Врожайність сільгоспкультур залежить від клімату, ґрунтів, норм висіву тощо. Водночас, прогнозування ускладнюється порушенням норм сівозміни через низьку зацікавленість аграріїв.

На прикладі Кіровоградщини проведено комплексне дослідження рослинництва як джерела біоенергоресурсів. Регіон охоплює лісостепову та степову зони, що зумовлює специфічні умови агровиробництва.

На підставі даних обласного центру агропромислового розвитку здійснено оцінку потенціалу вторинної рослинницької сировини (соломи, стебел, лушпиння), що може бути використана для виробництва біопалива.

Оскільки інформація про обсяг збору непродуктивних частин рослин зазвичай відсутня, для розрахунку їх маси було застосовано непрямий метод на базі даних про валовий урожай сільгоспкультур та відповідних коефіцієнтів перерахунку.

Розрахунок енергетичного біопотенціалу по районах області проводили за наступним алгоритмом:

1-й крок – за відомими площами посівів та значенням річного валового врожаю, визначаємо продуктивність P зернової частини с/г культур:

$$P = B/S, \quad (1)$$

де B – валовий врожай, кг/га, S – площа посівів, га;

2-й крок – осереднюємо продуктивність P_{CP} кожної с/г культури за період T спостереження:

$$P_{CP} = (\sum P_i) / T, \quad (2)$$

де P_i – продуктивність певної культури в i -му році, кг/га, T – кількість років;

3-й крок – обчислюємо біопродуктивність (БП) непродуктивної частини с/г культур:

$$BP = P_{CP} \cdot K_{BC}, \quad (3)$$

де K_{BC} – коефіцієнт вторинної сировини у продукції культури (співвідношення між масами продуктивної та непродуктивної частин рослини [2]);

4-й крок – визначаємо біоенергопродуктивність E (Дж/га) кожної с/г культури:

$$E = BP \cdot Q_{HP}, \quad (4)$$

де Q_{HP} – нижча робоча теплота згоряння біосировини, Дж/кг;

5-й крок – оцінюємо біопродуктивність нетто E_H культур з врахуванням втрат біомаси при переробці ($K_{ВТР}$) та неенергетичного використання сировини (K_{EH}) наступним чином:

$$E_H = (1 - K_{ВТР}) \cdot K_{EH} \cdot E. \quad (5)$$

Коефіцієнт K_{EH} відображає частку біосировини, що використовується у тваринництві на корм, санітарно-гігієнічні потреби тощо.

За результатами розрахунку побудовано мапу сумарного біоенергетичного потенціалу (брутто) по районах Кіровоградської області. Різниця енергетичного потенціалу між крайніми за енергопотенціалом районами досягає 34%. Така різниця спричинена трьома основними факторами:

- належністю південних районів до географо-кліматичної зони степу – зони ризикованого землеробства з більш різким впливом кліматичних коливань;
- значною різницею за якістю та характером ґрунтового покриву районів;
- недотриманням фермерськими господарствами норм сівозміни.

Після аналізу усіх негативних чинників, що впливають на продуктивність посівних площ та врахування коефіцієнтів енергопродуктивності і втрат при обробці сировини, отримали мапу енергопотенціалів нетто.

З порівняння середніх значень біоенергетичного потенціалу області $E_{CP} = 0,78$ т.у.п./га та $E_{H,CP} = 0,52$ т.у.п./га впливає, що реально досяжний біоенергетичний потенціал становить близько 67% від розрахункового.

З розподілу біоенергетичного потенціалу очевидно, що найвищий сумарний по всіх культурах нетто-біоенергетичний потенціал має Новомиргородський район ($E_H = 0,6$ т.у.п./га), для якого пріоритетними культурами є кукурудза (2,13 т.у.п./га), ріпак (1,15 т.у.п./га) та сонях (1,08 т.у.п./га). Другим за рівнем біоенергетичного потенціалу є Знамянський район ($E_H = 0,6$ т.у.п./га) для якого пріоритетними біоенергетичними культурами є кукурудза (2,19 т.у.п./га), сонях (1,18 т.у.п./га) та ріпак (1,08 т.у.п./га). Третім є Олександрійський район ($E_H = 0,55$ т.у.п./га), для якого пріоритетними є кукурудза (1,95 т.у.п./га), сонях (1,02 т.у.п./га) та ріпак (0,92 т.у.п./га).

Саме в цих районах раціонально споруджувати пелетно-брикетні фабрики і, в першу чергу, здійснювати перехід від традиційних схем опалення (газ, вугілля) до альтернативних.

Найнижчий біоенергетичний потенціал мають Долинський ($E_{H,мін} = 0,38$ т.у.п./га) та Бобринецький райони ($E_{H,мін} = 0,42$ т.у.п./га), але за окремими культурами (кукурудза, ріпак, сонях) навіть у цих районах досягнуто біоенергопродуктивність доволі високого рівня (0,7...1,9 т.у.п./га). Отже:

1. Порівняльний аналіз біоенергетичного потенціалу районів дозволяє виявити найпродуктивніші, де доцільно споруджувати пелетно-брикетні заводи і першочергово переходити від традиційних джерел енергії до альтернативних.

2. У всіх районах степової та лісостепової зон найбільш енергопродуктивними є кукурудза, соняшник, ріпак, ячмінь, жито та пшениця. При цьому на частку кукурудзи і соняшника припадає 40-50% загального енергопотенціалу рослинної біомаси кожного району.

3. Оскільки реально досяжний потенціал становить близько 67% розрахункового, необхідно впроваджувати новітні технології у тваринництві для зниження витрат біомаси на корм та інші потреби.

4. Скрізь найбільш енергопродуктивними є пшениця, кукурудза, соняшник, ячмінь та жито. На частку пшениці й кукурудзи припадає 50-80% загального енергопотенціалу біомаси кожного району. З урахуванням втрат кукурудза в середньому на 10% продуктивніша за пшеницю. У деяких районах через переважання посівів кукурудзи і соняшнику та використання біомаси на корм худобі загальний біоенергопотенціал знижується до 43%.

Список літератури

1. Плешков П.Г., Серебренніков С.В., Стець П.Г. Оцінювання паливно-енергетичного потенціалу рослинницької галузі сільського господарства // Відновлювана енергетика, 2014, №2, – С. 89-94.

Сергій Ющенко, здобувач групи ЕНМ-22М,
Петро Плешков, канд. техн. наук, професор,
Сергій Плешков, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kafedra.etsem@gmail.com

Дослідження можливостей альтернативних джерел енергії для підвищення енергоефективності підприємств агропромислового комплексу

Підприємства агропромислового комплексу України в якості альтернативних джерел енергії можуть найбільш ефективно використовувати "гнучку" автономну мережу електропостачання разом із потужностями об'єднаної енергетичної системи. Ця мережа, залежно від енергетичних потреб підприємства, може включати в себе вертикальні вітрогенератори, сонячні панелі та гребеневі аеродинамічні силові генератори, розташовані на дахах будівель та інших споруд. Додатково, система включає в себе систему акумулювання енергії на базі літій-іонних батарей та систему контролю та диспетчеризації роботи автономної мережі. Ця диверсифікація джерел електроенергії сприяє зменшенню рівня енергетичної залежності сільськогосподарського виробництва і є фактором підвищення конкурентоспроможності виробленої продукції на ринках, зменшуючи витрати на виробництво.

У результаті проведеного дослідження вирішена науково-технічна задача розробки системи електропостачання сільськогосподарського підприємства за допомогою комбінованої системи на основі сонячної енергії. З'ясовано, що для умов міста Кропивницький найбільш доцільно використовувати сонячні енергосистеми в складі комбінованої системи електропостачання.

У місті Кропивницький та Кіровоградській області, враховуючи географічні та кліматичні умови, а також наявність та енергетичний потенціал різних джерел відновлювальної енергії, найбільш раціональним вибором є використання сонячної електростанції (СЕС) у комбінованій системі електропостачання.

Існує значна кількість методів для аналізу роботи систем електропостачання, включаючи експериментальні та розрахункові, в тому числі комбіновані. Один із широко використовуваних методів у цьому аналізі - використання комп'ютерних імітаційних моделей. Цей підхід дозволяє з високою точністю для інженерних та наукових цілей проводити аналіз параметрів роботи систем електропостачання.

Комп'ютерна імітаційна модель комбінованої системи електропостачання з сонячною електростанцією (СЕС) складається з окремих моделей її компонентів. Принципова схема комбінованої системи електропостачання, для якої розроблено комп'ютерну імітаційну модель, представлена на рис. 1.

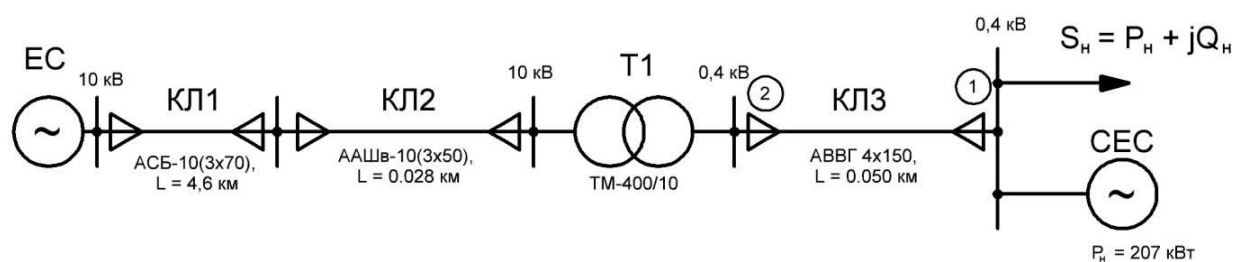


Рисунок 1 – Схема комбінованої системи електропостачання

В якості середовища розробки комп'ютерних моделей був використаний математичний пакет прикладних програм Matlab/Simulink. Зокрема, використано комп'ютерні моделі елементів системи електропостачання, що входять до бібліотеки SimPowerSystems.

На рис. 2 представлена узагальнена функціональна схема комп'ютерної моделі комбінованої системи електропостачання в середовищі Matlab/Simulink.

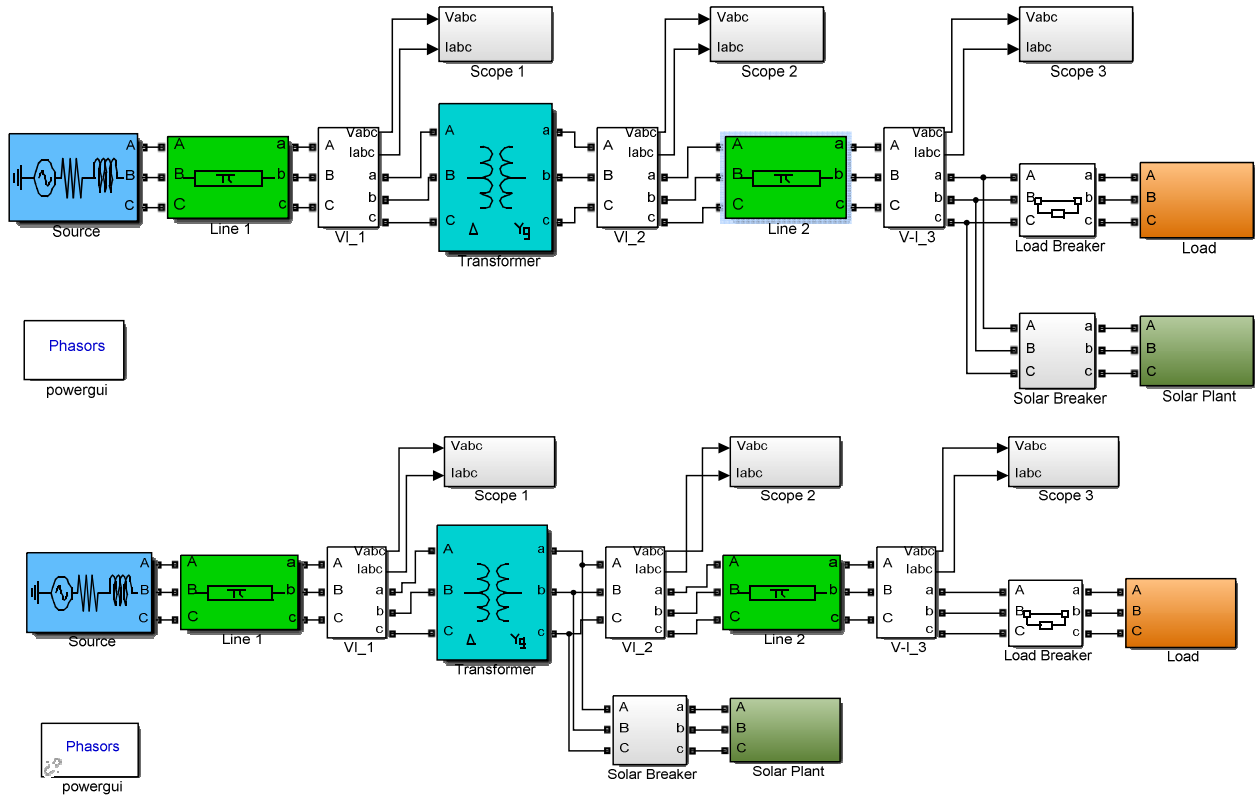


Рисунок 2 – Функціональна схема Matlab/Simulink комп'ютерної моделі комбінованої системи електропостачання:

а – приєднання СЕС в точці 1 (шини 0,4 кВ), б – приєднання СЕС в точці 2 (шини 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ)

Статистична обробка результатів напруг в точках 1 і 2 схеми при підключенні сонячних електростанцій (СЕС) показала, що при приєднанні СЕС до точки 1 в певний період відбувалися значущі відхилення напруги, що призводили до понаднормових значень, і в результаті цього, якість електричної енергії, враховуючи показник усталеного відхилення напруги (інтегральна ймовірність $P(\Delta U_{\delta}) = 79,2\% < 95\%$), була незадовільною. У випадку приєднання СЕС до точки 2 схеми (шини 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ), значення усталеного відхилення напруги відповідали вимогам ДЕСТ 13109-97.

Список літератури

1. Кудря С.О., Головка В.М. «Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії» – Київ 2009. – 201с.
2. Носенко Ю. Сучасні сонячні технології / Юрія Носенко // Життєве середовище. - №18(241) – 2012.
3. Савченко Є. Застосування сонячної енергії у сільському господарстві України : можливості і проблеми. Аграрна економіка. 2012. Т. 5, № 1-2. С. 128-135.

Наталія Кульчицька, здобувачка групи ЕНМ-22М,
Петро Плешков, канд. техн. наук, професор,
Світлана Дубенко, асистент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kafedra.etsem@gmail.com

Аналіз енергоменеджменту енергопостачальних компаній на оптовому ринку України

Підвищення енергоефективності, насамперед, досягається через організаційні зміни в системі управління енергетикою підприємств. Запроваджуючи систему енергоменеджменту, можна отримати значну економію енергії на рівні 3-5% протягом 1-2 років.

Енергоменеджмент включає в себе різні заходи, такі як моніторинг енергоспоживання, розробка енергетичних бюджетів, аналіз існуючих показників для планування нових бюджетів, розроблення енергетичної політики, планування нових заходів щодо збереження енергії і інші.

Енергетичне планування є одною зі складових системи енергетичного менеджменту. Це включає в себе розробку стратегій та планів щодо використання та управління енергетичними ресурсами, визначення цілей, завдань та способів досягнення енергетичної ефективності.

В рамках енергоменеджменту розроблено напрями використання електроенергії, які представлені на рис. 1.

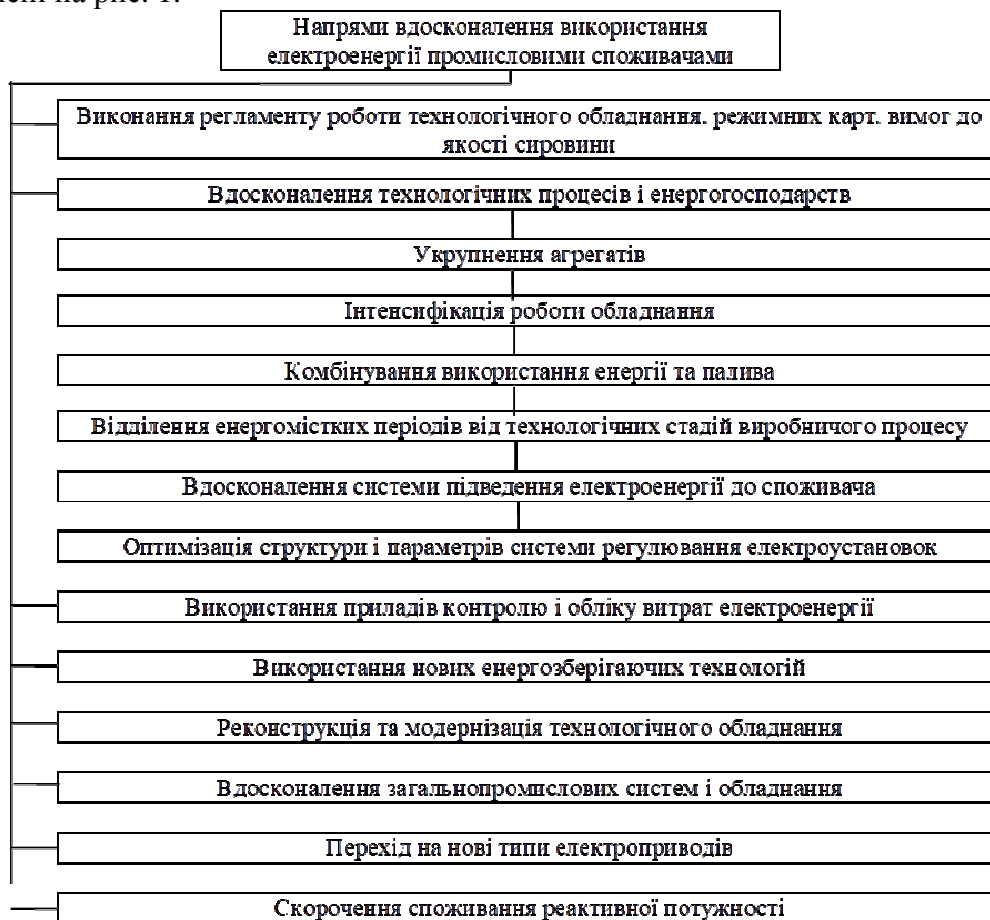


Рисунок 1 – Основні напрями вдосконалення використання електроенергії промисловими споживачами у рамках енергоменеджменту.

Ринок електроенергії дозволяє виробникам продавати свою електроенергію на оптовому ринку постачальникам, які укладають угоди про постачання з кінцевими споживачами на роздрібному ринку. Проте цей процес є складнішим і включає багато учасників. У ньому враховано також імпорт та експорт електроенергії, а також операції трейдерів, що здійснюють купівлю та продаж електроенергії. Крім того, великі споживачі можуть придбати електроенергію безпосередньо на оптовому ринку. Сам оптовий ринок може складатися з декількох підринків, в той час як роздрібний ринок часто має різні сегменти.

Загальна структура ринку електричної енергії України показана на рис. 2.



Рисунок 2 – Структура ринку електричної енергії України.

Політика щодо енергоринку включає в себе заходи для захисту прав та інтересів споживачів, забезпечуючи їм доступ до надійних та доступних послуг, сприяють розвитку сталої енергетики та зменшенню негативного впливу енергетичного сектора на довкілля.

Список літератури

1. УЕБ, Положення про організацію та проведення електронних аукціонів з купівлі-продажу електричної енергії за двосторонніми договорами в комерційних секціях на товарній біржі – ТОВ «Українська енергетична біржа», 20 листопада 2019 р., https://www.ueex.com.ua/files/regulations_electronic_commercial_auctions-140622-eng.pdf?1674340874
2. Стогній Б.С. Технологічний базис інтелектуальної об'єднаної енергетичної системи України / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, А.Г. Баталов, С.П. Денисюк // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч. 1 – К.: ІЕД НАНУ, 2011.– С. 20–31.

Олег Марченко, здобувач групи ЕЕ-22М,
Петро Плешков, канд. техн. наук, професор,
Сергій Плешков, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kafedra.etsem@gmail.com

Аналіз засобів та методів формування алгоритму керування електроприводів насосних установок

Один з напрямів для зниження споживання енергії асинхронними електроприводами насосних установок пов'язаний із зміною технологічного процесу на основі переходу до більш вдосконалених методів регулювання електроприводу та параметрів цього технологічного процесу. Сучасний електропривод виконує не лише роль енергетичної основи, яка постачає необхідну механічну енергію для виробничих механізмів, але і функцію засобу управління технологічними процесами.

Розумний аналіз пуску механізмів з урахуванням процесу рушання є цілком обґрунтованим. При рушанні електроприводів насосів підвищення моменту опору може бути настільки значним, що потрібно використовувати спеціальні засоби та методи формування пускових характеристик.

Прямий пуск асинхронних двигунів супроводжується значними ударними моментами і струмами в обмотках статора і ротора, які перевищують номінальні значення. Це призводить до збільшення втрат енергії в двигуні та споживання реактивної потужності під час прямого пуску. Умови прямого пуску також викликають інтенсивні теплові та вібраційні перевантаження, які призводять до зниження експлуатаційної надійності та відмов елементів електричної машини та електроприводу взагалі.

Передпускова підготовка електроприводу технологічних механізмів - це усвідомлений вплив на технологічне середовище з метою зниження сил, що перевищують молекулярну взаємодію і внутрішнє тертя. Головною метою передпускової підготовки є зменшення підвищеного моменту опору, який виникає в області контакту робочого тіла з робочим органом (руйнування каркасної структури технологічної сировини).

Впровадження керованого пуску електропривода вирішує дві ключові задачі: ефективність енергоспоживання та збереження працездатності електромеханічного обладнання. Збереження працездатності електрообладнання в першу чергу є засобом економії енергетичних ресурсів. Підвищення ефективності сприяє збереженню матеріальних ресурсів, таких як ізоляція, мідь та конструкційні матеріали, які використовуються при ремонті електричних машин.

Пристрій, що втілює метод керованого рушання асинхронного двигуна (рис. 1), включає стандартний перетворювач частоти. Під час запуску цей пристрій забезпечує постійну перевантажувальну здатність асинхронного двигуна шляхом регулювання напруги в залежності від частоти та навантаження.

Структурно-функціональна модель системи керованого руху, розроблена в програмі Simulink пакету MATLAB.

У підсумку результати моделювання підтверджують ефективність розробленої системи та алгоритмів передстартової підготовки електроприводів. Отримані залежності дозволяють оцінити енерговитрати та ефективність роботи системи керованого рушання на основі перетворювача частоти.

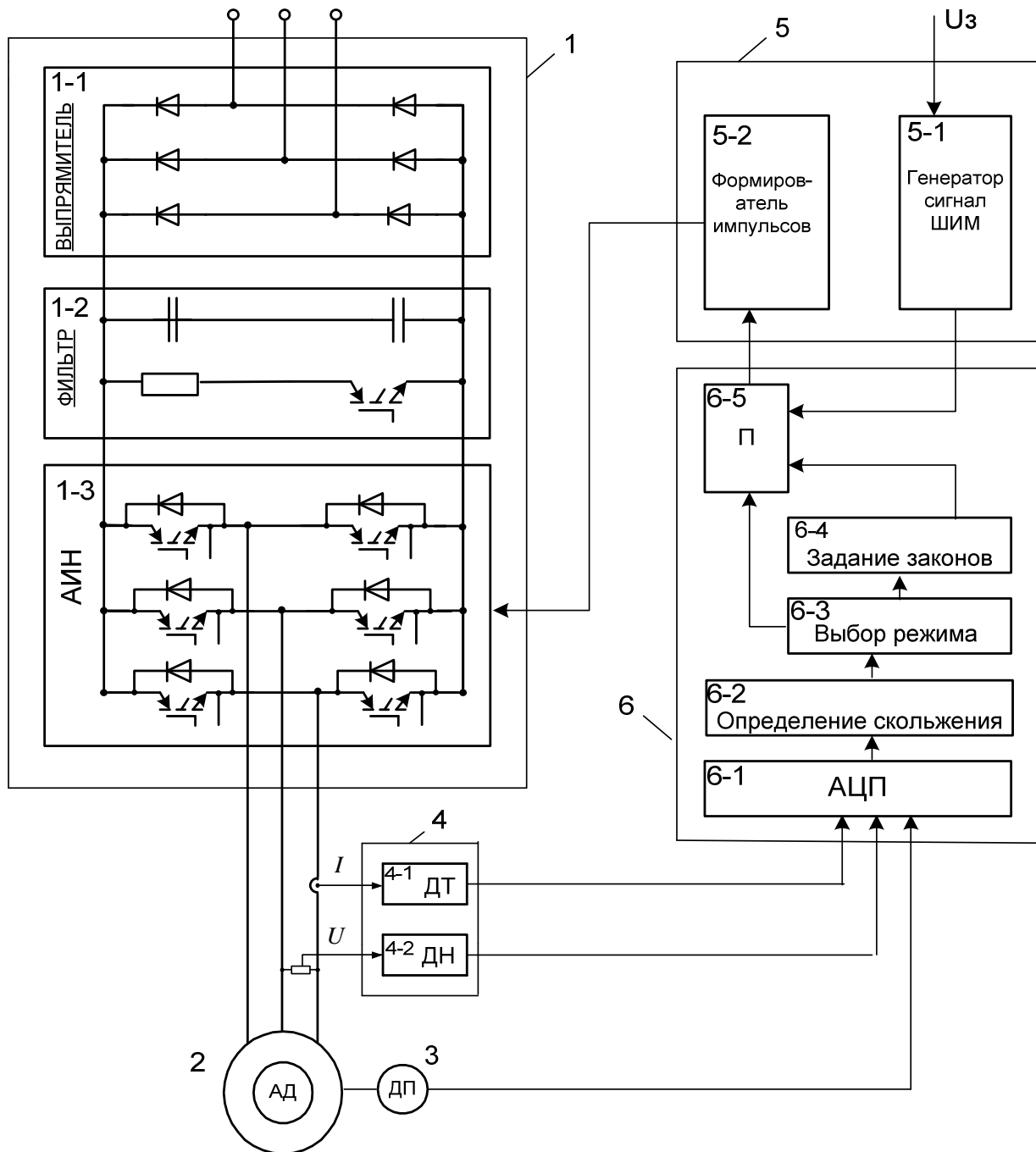


Рисунок 1 – Блок-схема пристрою для впровадження способу частотного пуску асинхронного двигуна.

Список літератури

1. Возняк, О.М., Штуць. А.А., Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ТВОРИ, 2021. – 280 с.
2. Казачковський М. М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: навч. посіб. [Електронний ресурс] / М. М. Казачковський ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Електрон. текст. дані. – 2-ге вид., випр. та допов. – Дніпро.: НГУ, 2017. – 324 с.

Андрій Чернай, здобувач групи ЕНМ-22М,
Валерія Довжук, здобувачка групи ЕНМ-22М,
Петро Плешков, канд. техн. наук, професор,
Сергій Плешков, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kafedra.etsem@gmail.com

Оптимізація енергоефективності та експлуатаційної надійності асинхронних електроприводів насосних установок

На сьогодні існують різноманітні засоби керування електродвигунами насосів, які враховують особливості навантаження і відповідають вимогам технічного прогресу. Ці засоби спрямовані на автоматизацію процесу управління, діагностику обладнання та надання інформації про технічний стан електродвигуна і насоса.

Найбільш ефективним способом регулювання режимів роботи відцентрових насосів є зміна частоти обертання їх робочих коліс. Зміну цієї частоти можна досягти, використовуючи газові турбіни, двигуни внутрішнього згоряння або регульовані електроприводи в якості приводних двигунів. Газові турбіни та двигуни внутрішнього згоряння мають властивості, які дозволяють їм змінювати частоту обертання у потрібному діапазоні. Проте для систем автоматичного управління роботою насосних установок зазвичай використовують різні види регульованих електроприводів.

Частотний метод регулювання швидкості асинхронних двигунів вважається найбільш економічним порівняно з іншими відомими методами. Перетворювачі частоти, призначені для частотно-регульованих асинхронних електроприводів, можуть бути безпосередніми частотними перетворювачами або дволанковими перетворювачами частоти (ДПЧ) з проміжною ланкою постійного або змінного струму.

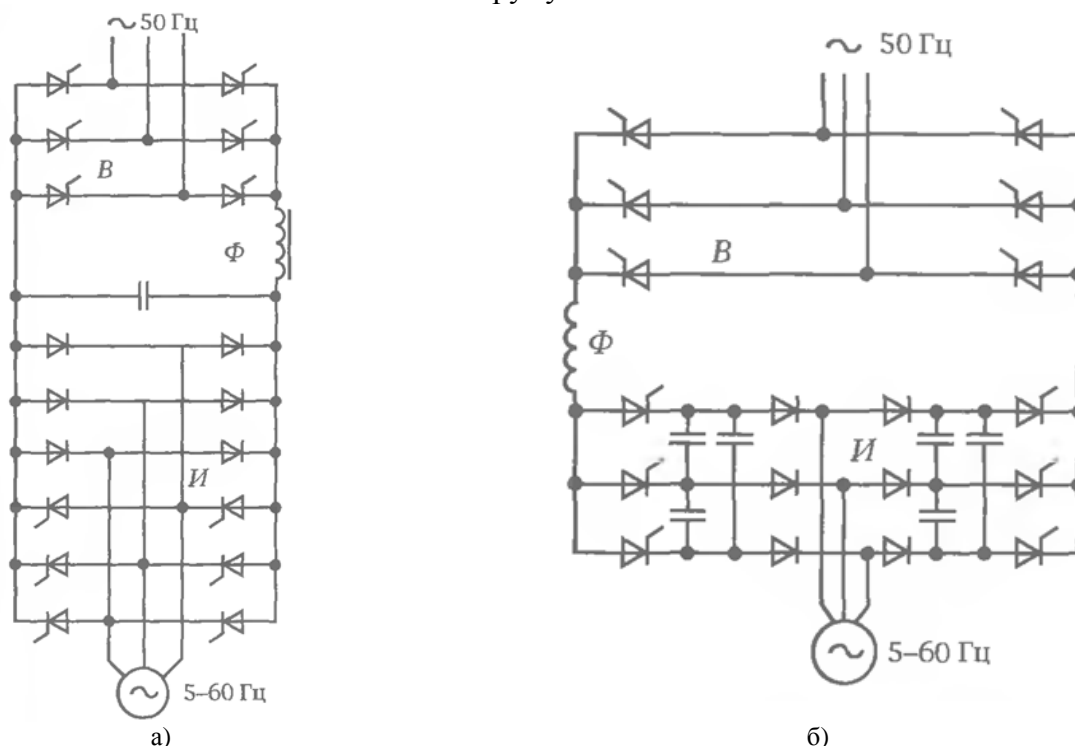


Рисунок 1 – Схема частотного електроприводу: а) – з інвертором напруги; б) – з інвертором струму.

На рис. 2 представлені характеристики закону оптимального управління та ККД системи ПЧ-АД у режимі $\Delta P_{\text{еп}^*} \rightarrow \min$.

Залежності ККД системи ПЧ -АД від M^* і ω^* (Рис.2, б) демонструють ефективність оптимального режиму за мінімумом $\Delta P_{\text{еп}^*}(M^*, \omega^*, \beta)$ управління з точки зору енергоефективності.

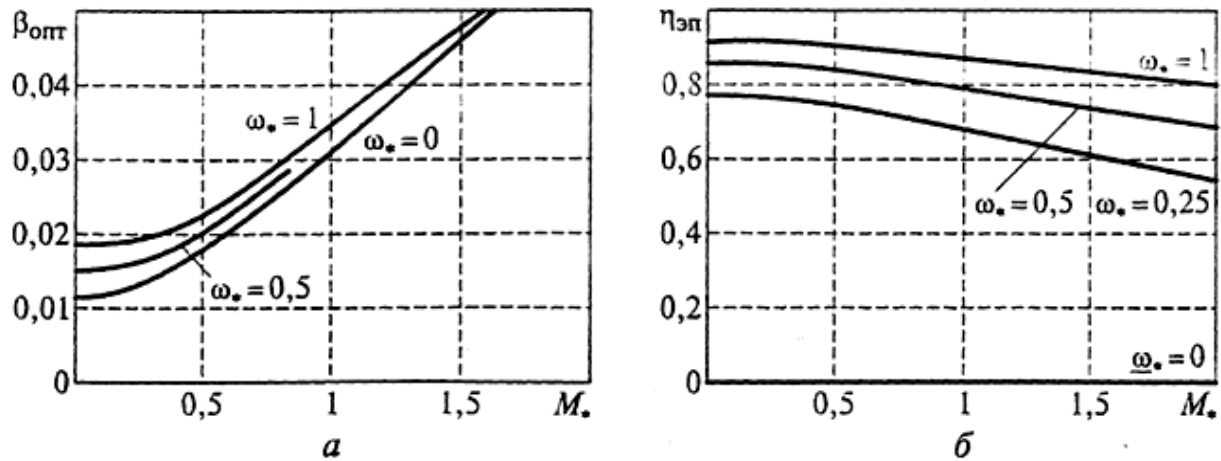


Рисунок 2 – Характеристики закону оптимального управління (а) та ККД (б) системи ПЧ – АД при витратах $\Delta P_{\text{еп}^*} \rightarrow \min$.

Проведений аналіз можливостей оптимального управління частотно-регульованим асинхронним двигуном за рядом показників, а також наведені загальні кількісні оцінки, що визначають різні закони оптимального управління, дозволяють обґрунтовано вибирати та впроваджувати необхідний закон управління в залежності від параметрів та режимів роботи асинхронного двигуна.

Список літератури

1. Мошноріз М. Вдосконалення роботи насосної станції водопостачання / Микола Мошноріз, Володимир Грабко // Автоматика–2006: міжнар. наук.-техн. конф., 25–28 вересня 2006 р. : тези доповідей. – Вінниця, 2006. – С. 124.
2. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2005. – 408 с.

Сергій Рябцев, здобувач групи ЕНМ-22М,
Петро Плешков, канд. техн. наук, професор,
Світлана Дубенко, асистент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kafedra.etsem@gmail.com

Моніторинг мікропроцесорних пристроїв для комплексних систем автоматизації підстанцій енергопостачальних компаній

Релейний захист і автоматика побудований на базі мікропроцесорних пристроїв відрізняється від релейно-контакторного підвищеною надійністю, швидкодією, простотою обслуговування і зручністю експлуатації. Особливої уваги заслуговує універсальність даних пристроїв, а також їхня багатофункціональність, компактність та невелике споживання потужності.

Сучасні цифрові реле (ЦР) включають в себе широкий спектр функцій, крім традиційного релефного захисту та автоматики, таких як вимірювання та облік електроенергії, регулювання та управління електроустановкою. Це надає можливість використовувати цифрові реле в системах автоматизованого управління технологічними процесами (АСУ ТП) як ключовий елемент для збору інформації.

Підхід, зображений на рис. 1, передбачає збір інформації з цифрових реле та його керування через локальну мережу за допомогою протоколу обміну (сукупність правил, що визначають формат і процедури обміну інформацією між двома чи декількома пристроями).

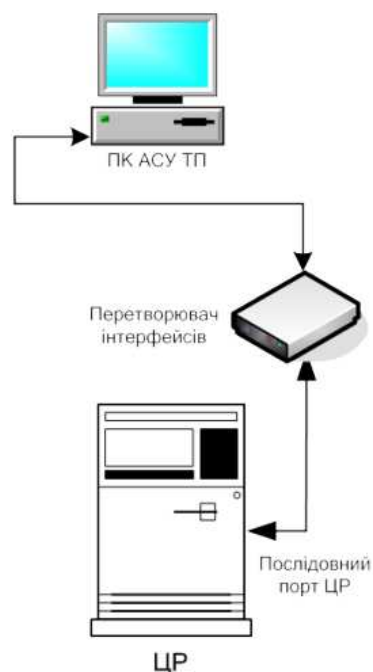


Рисунок 1- Застосування послідовного порту ЦР для АСУ ТП.

Підключення через послідовний порт дозволяє персоналу отримувати всю доступну інформацію від цифрового реле (ЦР) без обмежень, що діють на цифрові входи/виходи. Персонал має можливість дистанційно отримувати, переглядати та змінювати інформацію з ЦР без необхідності виїзду на підстанцію. Це забезпечує зручність та ефективність в

обслуговуванні. Отримані дані можуть зберігатися в базі даних для подальшого аналізу, що дозволяє вдосконалювати систему та приймати обґрунтовані рішення.

Після вирішення завдання узгодження інтерфейсів обміну між цифровими реле (ЦР) та пристроями збору, що входять до складу автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУ ТП), наступним кроком є створення структурованої кабельної мережі.

Функції такої мережі включають:

1. Забезпечення прямого фізичного підключення кінцевих пристроїв, включаючи ЦР, до пристроїв збору АСУ ТП, таких як концентратори, контролери та комп'ютери.
2. Забезпечення попередньо визначених рівнів завад та швидкостей передачі даних між ЦР та пристроєм збору.
3. Гарантування необхідного рівня надійності та стійкості кабельної інфраструктури для забезпечення безперебійної роботи системи.

На рис. 2 наведено приклад організації паралельного кабельно-провідно-оптичного сегменту зв'язку для підстанції 220-750 кВ, де рівень електромагнітних завад високий.

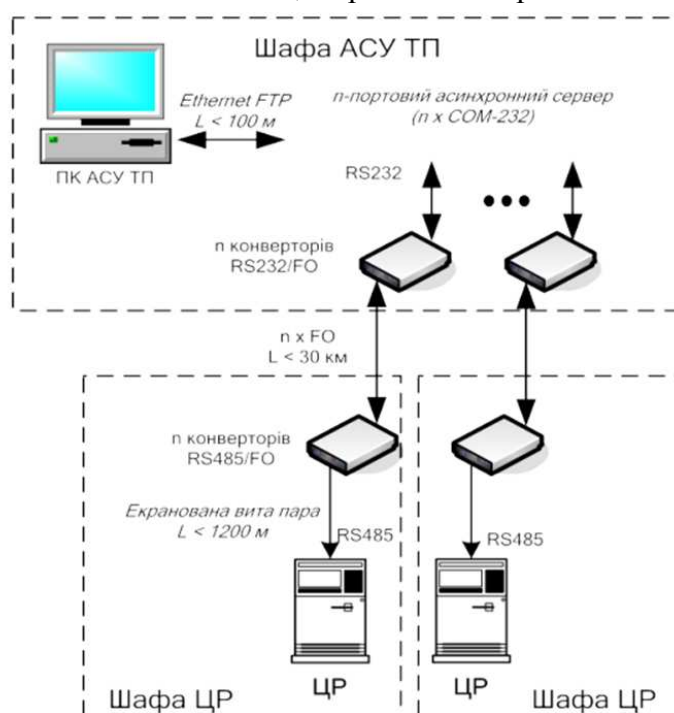


Рисунок 2 – Організації кабельного провідно-оптичного сегменту зв'язку для підстанції 220-750 кВ.

Ці функції допомагають оптимізувати інфраструктуру для ефективного обміну даними та забезпечити стійку та надійну роботу автоматизованої системи управління технологічними процесами.

Список літератури

1. Мікропроцесорні пристрої релейного захисту та автоматики для об'єктів енергетики 6-35-110 кВ. Relsis : веб-сайт. URL: <https://reلسis.ua/ua/products/relay-protection-automation> (дата звернення: 05.10.2021).
2. Електронна книга - Мікропроцесорні реле захисту: пристрій, проблеми, перспективи - В. І. Гуревич.

Анна Величко, здобувачка групи ЕЕ-22М,
Петро Плешков, канд. техн. наук, професор,
Сергій Плешков, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kafedra.etsem@gmail.com

Синтез структури системи автоматичного керування силовими трансформаторами з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги

Автоматичне управління режимами напруги та потужності у мережах електропостачання забезпечується пристроями, які використовуються окремо або в комплексному поєднанні: трансформатори з пристроями РПН, ВДТ з поздовжнім та поздовжньо-поперечним вмиканням, батареями конденсаторів, введеними згідно схем поздовжньої та поперечної компенсації, синхронними компенсаторами та статичними тиристорними компенсаторами, розташованими в розподільчій мережі, але головним чином в місцях загального розташування основного обладнання для спрощення обслуговування, заміни або ремонту.

При використанні поздовжньо-поперечного регулювання напруги в області рекомендованої замкненої системи електропостачання (див. рис. 1), коефіцієнт трансформації представляє собою комплексну величину, і тому його значення визначатиме розподіл потужностей у електропостачальній системі та режим напруги в ній. Дослідження впливу поперечного регулювання напруги на розподіл активної та реактивної потужностей у петельній схемі електропостачання із кабельною лінією електропередач (ЛЕП) на стороні низької напруги та повітряною ЛЕП на стороні високої напруги було проведено за допомогою програмного пакету AutoCAD.

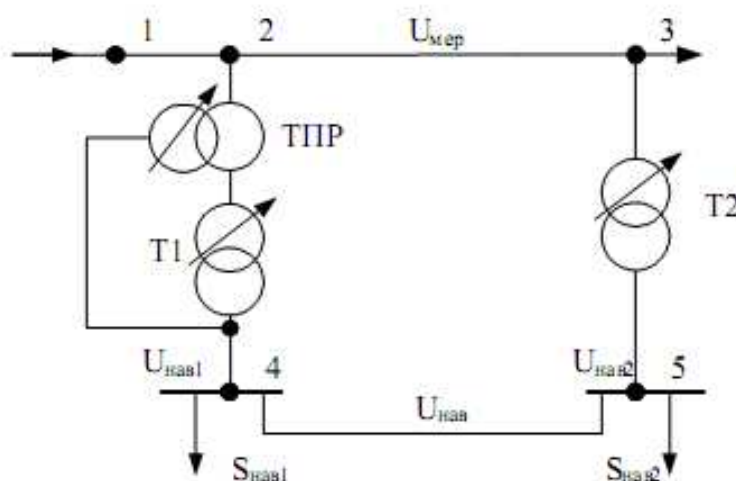


Рисунок 1 – Схема системи електропостачання перед дослідженням впливу поперечного регулювання напруги

Використовуючи мінімізовану систему секвенційних виразів, проведено синтез структурної схеми каналу регуляції напруги. Перший етап синтезу включає в себе розробку функціональної схеми, що реалізує систему секвенційних рівнянь. Кожна з цих секвенцій втілюється схемою співпадання, на входи якої подаються сигнали, що відповідають кодовій комбінації лівої частини секвенції, і двостабільним елементом. До входу двостабільного елемента через діодну матрицю під'єднаний вихід системи співпадання. У випадку, якщо код стану двостабільного елемента в правій частині секвенції не має інверсії, вихід схеми

співпадання з'єднується з прямим входом двостабільного елемента. При наявності інверсії в коді стану вихід схеми співпадання з'єднується з інверсним входом двостабільного елемента.

На рис. 2. представлена функціональна схема системи регулювання напруги, яка була синтезована на основі системи секвенцій.

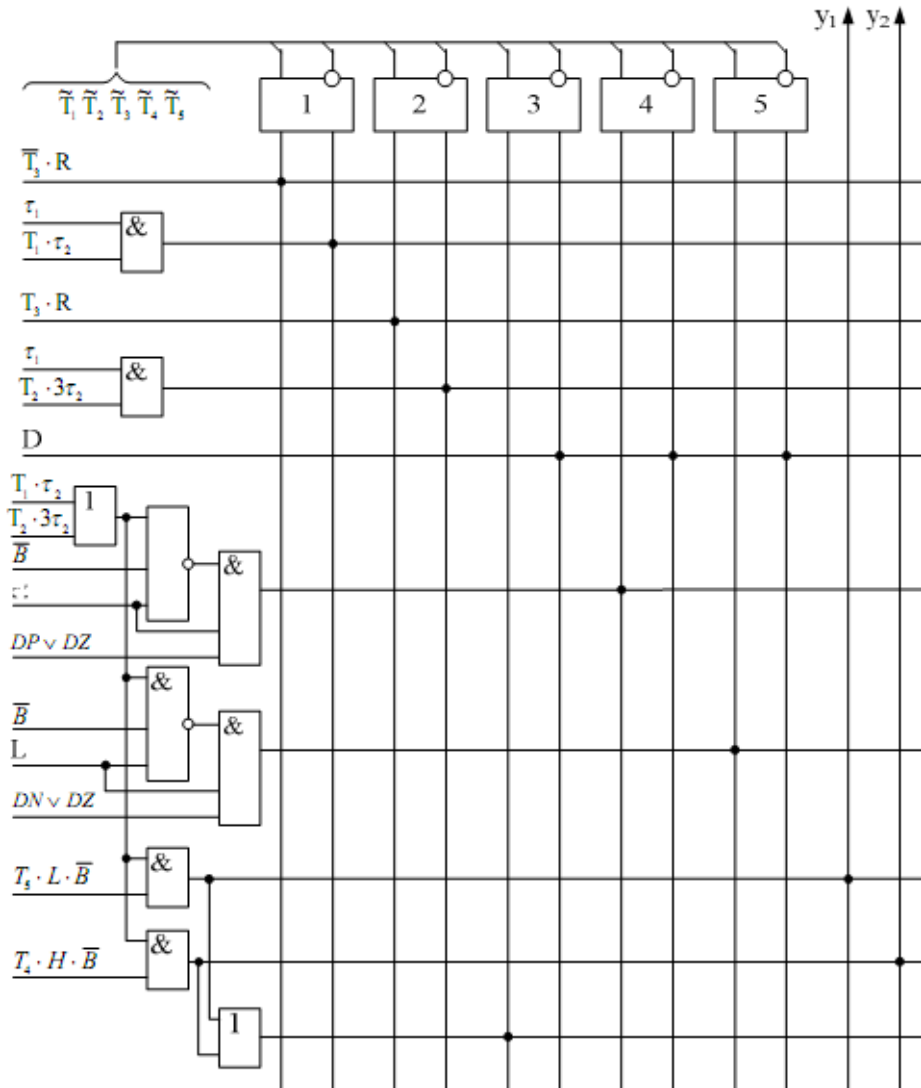


Рисунок 2 – Функціональна схема системи регулювання напруги, синтезована на основі системи секвенцій.

Аналіз результатів моделювання дозволяє зробити висновок, що впровадження запропонованої системи регулювання напруги призводить до зменшення кількості перемикачів механічного пристрою РПН силового трансформатора, одночасно поліпшуючи режим мережі за потужністю. При цьому середнє значення напруги на навантаженні знаходиться в припустимих межах.

Список літератури

1. Левицький С. М. Синтез структури регулятора напруги в системах з обмеженим споживанням реактивної потужності / С. М. Левицький // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. — 2008. — № 4 (51). — Частина 2. — с. 53 — 56.
2. Левицький С. М. Комп'ютерне моделювання системи регулювання напруги в умовах дефіциту реактивної потужності / С. М. Левицький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 6. — С. 80 — 83.

Ілля Волювач, здобувач групи ЕЕ-22М,
 Максим Демченко, здобувач групи ЕЕ-22М,
 Наталія Гарасьова, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: ngarasova@gmail.com

Математична модель відцентрового вентилятора при роботі з частотнорегульованим електроприводом

При роботі вентиляційних систем з регульованим електроприводом використовуються системи автоматичного керування рівнем тиску вентиляторної установки [1]. В таких схемах, у якості об'єкту керування, як правило, виступає відцентровий вентилятор.

На рис. 1 представлено узагальнену структурну схему системи автоматичного керування (САК) рівнем тиску вентиляторної установки (ВУ) на основі частотнорегульованого (ЧР) асинхронного електропривода.

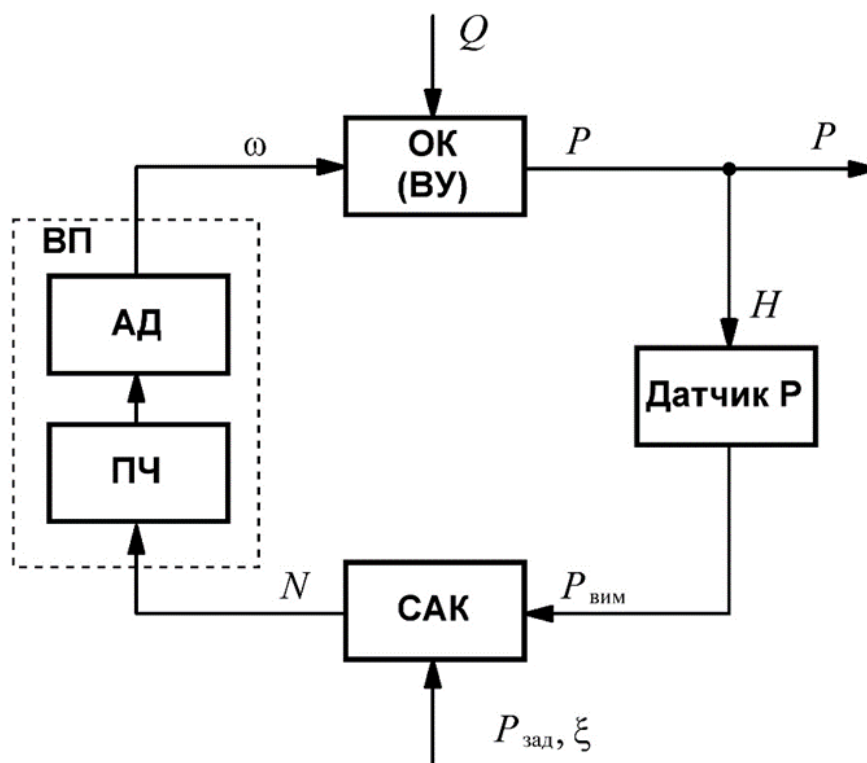


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема САК рівнем тиску ВУ на основі ЧР електропривода
 Джерело: розроблено авторами

На рис. 1: ОК – об'єкт керування; датчик Р – датчик тиску; ВП – виконавчий пристрій (ЧР асинхронний електропривод); ПЧ – перетворювач частоти; АД – асинхронний двигун; САК – система автоматичного керування рівнем тиску (блок автоматичного керування); Q – значення напору повітря (або випадкове вхідне зовнішнє збурення); P – значення тиску (вихідний сигнал об'єкта керування); $P_{\text{вим}}$ – значення виміряного тиску; N – швидкість обертання валу АД (вихідний сигнал для блоку автоматичного керування); ω – значення кутової швидкості обертання (вхідний керуючий сигнал об'єкта керування); ξ – вектор задаючих параметрів САК; $P_{\text{зад}}$ – значення заданого рівня напору в магістралі (або завдання керування).

Відповідно до структурної схеми, яка зображена на рис.1, в якості об'єкту керування розглядається відцентровий вентилятор типу УДАЛ-ВОк-8-І-2. Відомо, що залежність тиску P від витрати Q представляє собою напірну характеристику вентилятора. Вид даної залежності залежить від моделі вентиляторної установки і вказується в технічній документації до ВУ, яка надається заводом-виробником, представлена таблицями чи графіками.

Застосування Q - P характеристик у вигляді таблиць або у вигляді графіків являється досить незручним для отримання його математичної моделі, краще скористатися аналітичним виразом, який описує Q - P характеристику ВУ.

Для визначення цього аналітичного виразу, який описує Q - P характеристику ВУ, було використано метод лінійного регресивного аналізу. Пропонується визначати аналітичний вираз, який описує Q - P характеристику ВУ у вигляді поліному другого порядку [2].

Залежності Q - P характеристики ВУ, що побудовані на основі каталожних даних і шляхом апроксимації у вигляді поліному 2-го порядку представлено на рис. 2.

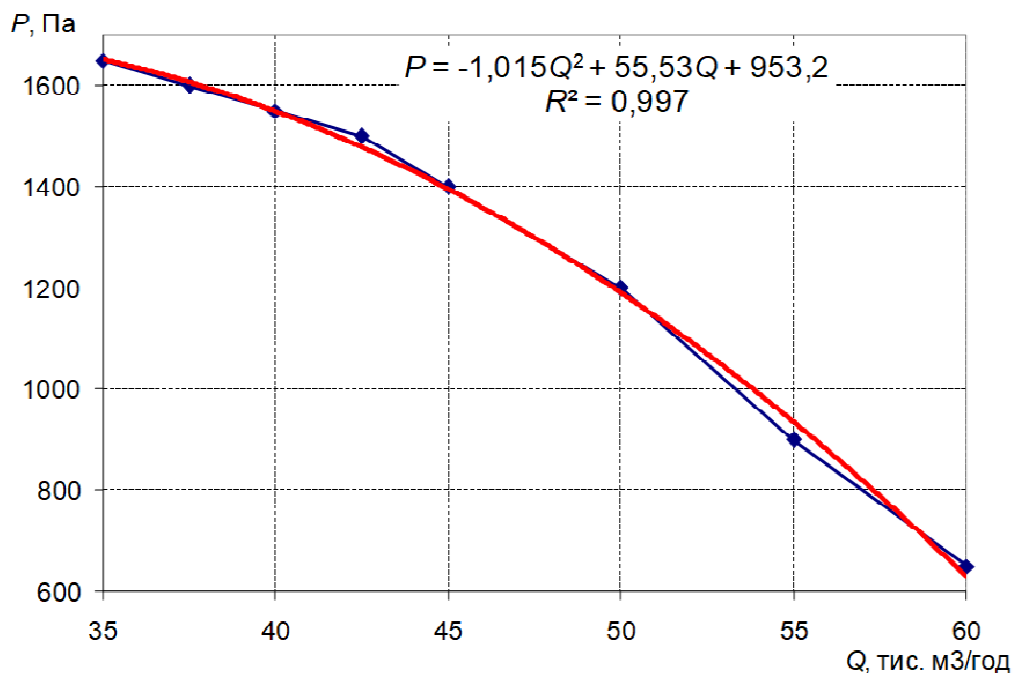


Рисунок 2 – Залежності Q - P характеристик ВУ: 1) – каталожні дані; 2) – їх апроксимація поліномом 2-го порядку

З врахуванням принципу подібності, аналітичний вираз, який описує Q - P характеристику ВУ при довільній швидкості обертання визначається:

$$\begin{aligned}
 P(\omega, Q) &= (a_0 + a_1Q + a_2Q^2) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2 = \\
 &= (953,2 - 55,53Q - 1,015Q^2) \left(\frac{\omega}{303,68} \right)^2,
 \end{aligned} \tag{1}$$

де P – значення величина тиску, м;

Q – значення подачі, м³/год;

ω – значення кутової швидкості обертання валу АД, рад/с;

$\omega_{\text{ном}}$ – номінальна кутова швидкість обертання валу АД, рад/с;

a_0, a_1, a_2 – коефіцієнти регресії.

Залежності Q - P характеристик ВУ, та графіки залежностей, що їх апроксимують для різних частот обертання валу АД представлено на рис. 3.

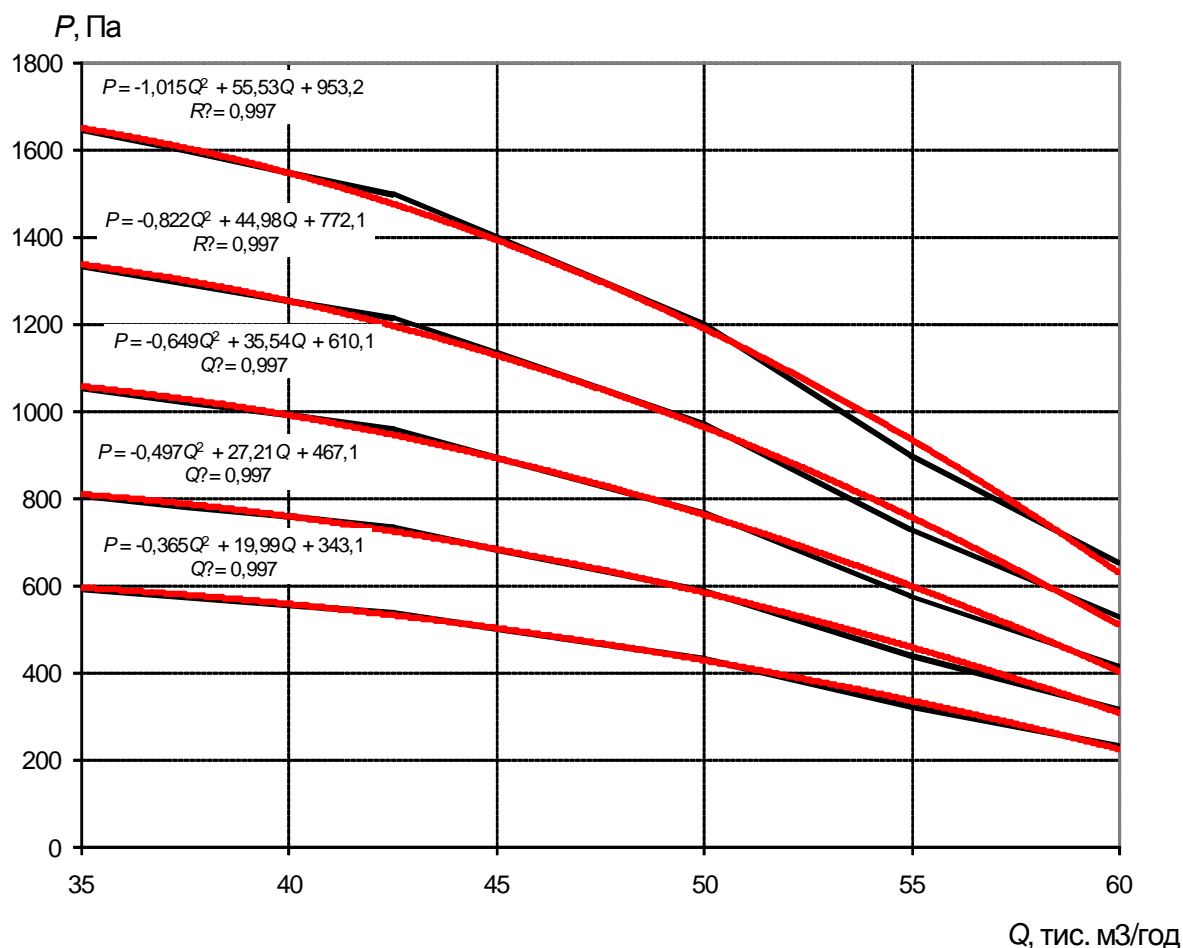


Рисунок 3 – Залежності Q - P характеристик ВУ для різних частот обертання валу АД та графіки залежностей, які їх апроксимують

Аналітичний вираз (1) представляє собою математичну модель об'єкту керування. Потрібно відмітити, що затримку часу, яка виникає при регулюванні тиску при зміні подачі чи швидкості обертання, можна не враховувати, через її порівняно невелике значення. Тоді модель ОК можливо представити як безінерційну (підсилювальну) ланку. Реалізацію залежності (1) у вигляді комп'ютерної імітаційної моделі доцільно виконувати у програмі Matlab додатку Simulink [3].

Список літератури

1. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник.-К:Кондор, . - 408 с.2005
2. Коренькова Т.В. Режим роботи насосних та вентиляторних установок із автоматизованим електроприводом: навч. посібник / Т.В. Коренькова, О.О. Сердюк, В.Г. Ковальчук. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2014. – 200 с.
3. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного навчальний посібник / електроприводу: О.І.Толочко.- Київ, НТУУ «КПІ», 2016.-150с. Іл.

Ігор Главнов, здобувач групи ЕЕ-22МЗ,
Наталія Гарасьова, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: ngarasova@gmail.com

Модернізація системи освітлення ремонтно-механічного цеху

За оцінками експертів на освітлення витрачається 15-20 % загального споживання електроенергії, причому спостерігається тенденція збільшення частки електроенергії, що витрачається на освітлення [1].

В умовах постійного зростання вартості енергоресурсів постає задача значного підвищення ефективності використання електроенергії в освітлювальних установках. Вирішення цієї проблеми ведеться в декількох напрямках:

- вдосконалення засобів освітлення за рахунок прогресивних енергоощадних світлових приладів;
- вдосконалення засобів освітлення за рахунок впровадження нових принципів проектування і нормування освітлення;
- проведення енергоаудиту та модернізації освітлювальних установок та мереж;
- забезпечення належного рівня експлуатації освітлювальних установок з додержанням всіх нормативних вимог;
- стимулювання споживачів електроенергії до використання енергоощадних джерел світла.

Одним з основних шляхів реалізації енергозбереження в освітлювальних установках є застосування сучасних джерел світла та освітлювальних приладів. В роботі розглянуто модернізацію системи освітлення ремонтно-механічного цеху з використанням сучасних високоефективних енергоощадних джерел світла.

З метою підвищення енергоефективності внутрішнього освітлення об'єкту пропонується провести заміну існуючих світильників РСП-400 з газорозрядними лампами ДРЛ400 (кількість 66 шт.) на сучасні світлодіодні СЕС8-125 та СЕС8-100 виробництва RadiyLED [2].

Річний економічний ефект від модернізації внутрішнього освітлення ремонтно-механічного цеху, за попередніми розрахунками, склав близько 505 тис.грн. Період окупності додаткових капітальних вкладень за рахунок зниження поточних витрат не перевищує 1,9 років.

Як показали проведені розрахунки заміна існуючих світильників з газорозрядними лампами на світлодіодні світильники є економічно обґрунтованою, а приймаючи до уваги постійне зростання тарифів на електроенергію величина економічного ефекту від запропонованого заходу буде постійно збільшуватись.

Список літератури

1. Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-побутових споживачів / [Плешков П.Г., Орлович А.Ю., Серебренніков С.В. та інші]; під редакцією Плешкова П.Г. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 246 с.
2. Світильники RadiyLED [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiyled.com/ua/home/products/industrial-lighting/>

Юрій Демченко, здобувач групи ЕЕ-22М,
Наталія Гарасьова, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет e-mail:
ngarasova@gmail.com

Порівнювальний аналіз використання стаціонарних сонячних панелей та сонячних трекерів

Відомі переваги використання сонячних трекерів залежать від регулювання кута нахилу сонячних панелей та місця їх розташування [1].

Розрахунок виконувався для Кіровоградської області (м. Кропивницький) з координатами:

- широта: 48°30'47" пн.ш.;
- довгота: 32°15'34" сх.д.;
- висота над рівнем моря: 114 м.

Дані про надходження сонячної енергії для горизонтальної поверхні в Кіровоградській області наведено в табл. 1 [2].

Таблиця 1 – Дані про надходження сонячної енергії для горизонтальної поверхні в Кіровоградській області: S - пряма сонячна радіація, D - розсіяна сонячна радіація, $(S + D)$ - сумарна радіація

Область / Місяць	Радіація, кВт·год/м ²	I	II	III	IV	V	VI
Кіровоградська	S	8,15	17,46	36,08	60,53	77,99	98,94
	D	19,79	29,1	48,89	55,87	82,64	77,99
	$S+D$	27,94	46,56	84,97	116,4	160,63	176,93
Область / Місяць	Радіація, кВт·год/м ²	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кіровоградська	S	102,43	89,63	69,84	34,92	9,31	4,66
	D	82,64	61,69	40,74	30,26	16,3	16,3
	$S+D$	185,07	151,32	110,58	65,18	25,61	20,96

В роботі порівнюється обсяг електроенергії, що генерується стаціонарно встановленими сонячними панелями під кутом нахилу 48° та сонячними панелями у складі трекеру.

Потужність системи сонячного трекеру 5,65 кВт (встановлено 16 панелей бренду *Longi Solar*, тип панелі LR5-54НН-410М, потужність однієї панелі 410 Вт). Трекер має дві осі обертання.

Для керування положенням кута нахилу обирали автоматизовану систему керування, яка здійснює безперервне стеження за положенням Сонця. Це комбінована слідкуюча система, що має три режиму роботи: безперервне стеження за допомогою фотодатчиків, у випадку виходу їх з ладу, включається алгоритм «дата», можливо ручне завдання кута.

Для стаціонарно встановлених сонячних трекерів отримано річне вироблення електричної енергії 8,34 МВт·год., для сонячних панелей у складі трекерної системи кількість виробленої електроенергії склала 12,57 МВт·год. Порівняння кількості електроенергії (по місяцям), що була вироблена стаціонарною електростанцією та трекерною системою з точністю позиціонування в 1° наведено на рис. 1.

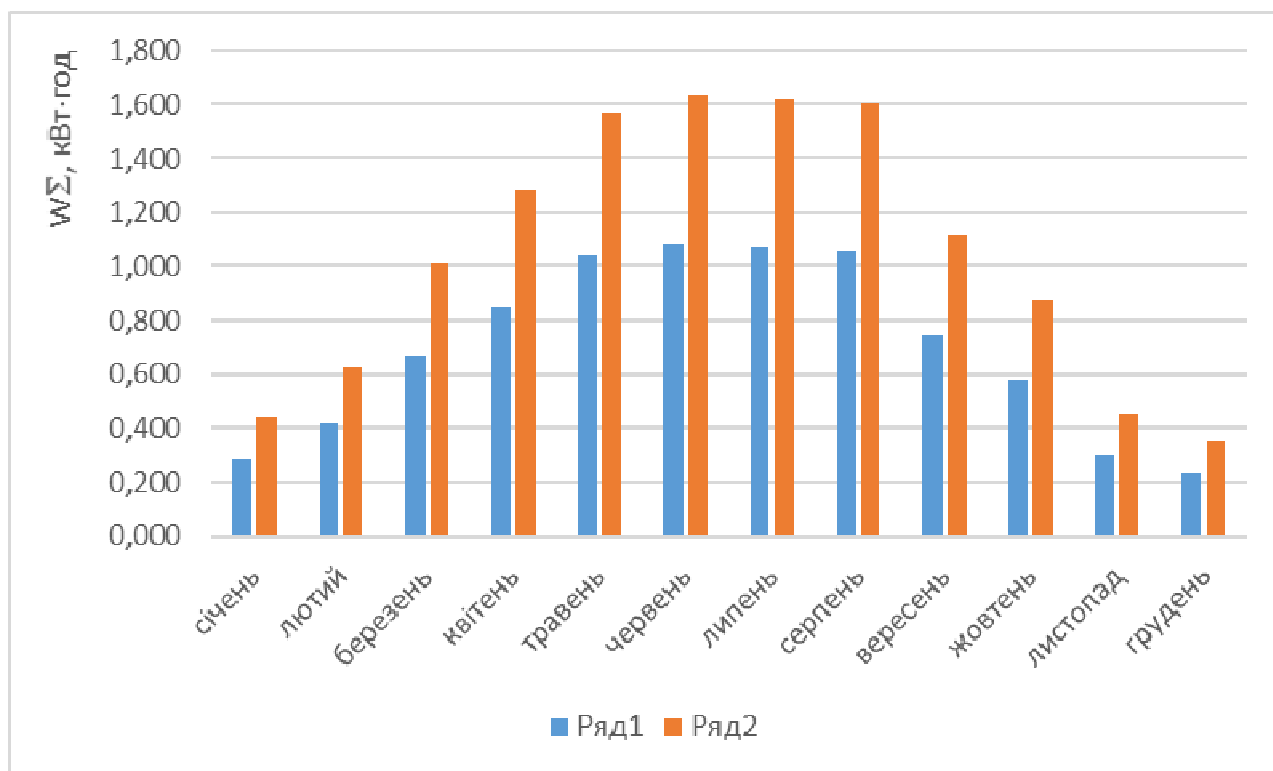


Рисунок 1 – Порівняння продуктивності стаціонарної СЕС та ТС

Можна зробити загальний висновок, що застосування сонячних трекерів з комбінованим алгоритмом стеження за положенням Сонця, дозволило підвищити рівень генерації електроенергії на 33 % порівняно зі стаціонарною системою.

Список літератури

1. Сонячні трекери та електростанції. Динамічні системи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ussolar.systems/ua/dinamichni-sistemi>
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 82 с.
3. Тарасенко А.Б. Техніко-економічні аспекти мережевої сонячної енергетики в Україні. / А.Б. Тарасенко, В.Л Кочаков, Е.Е.Терукова // Журнал технічної фізики. – 2014. – К. – 85-92 с.

Артем Залізький, здобувач групи ЕЕ-22М,
Тетяна Величко, ст. викладач
Ігор Переверзєв, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: igor_pereverzev@ukr.net

Дослідження енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності розподільчих електричних мереж

Збереження електричної енергії (ЕЕ) у всіх сферах її споживання дозволяє вивільнити існуючі генеруючі потужності і відстрочити введення нових електроенергетичних блоків на споруджуваних електростанціях. Зниження втрат електричної енергії при її передачі та споживанні призводить до енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності роботи енергетичного і промислового устаткування.

Кожна мережева організація складає баланс електричної енергії - систему показників, що характеризує за розрахунковий період часу суму обсягів електроенергії, переданої споживачам, і фактичних втрат ЕЕ, що виникли в належній такій мережевої організації об'єктах електромережевого господарства.

З балансу електричної енергії визначають фактичні втрати електричної енергії.

Фактичні (звітні) втрати електричної енергії $\Delta W_{\text{ФАКТ}}$ територіальної мережевої організації (ТМО) визначаються за співвідношенням:

$$\Delta W_{\text{ФАКТ}} = W_{\text{ОС}} - W_{\text{СПОЖ}}, \quad (1)$$

де $W_{\text{ОС}}$ – обсяг електричної енергії, відпущеної в мережу ТМО (постачання електроенергії в мережу); $W_{\text{СПОЖ}}$ – обсяг переданої (спожитої) електричної енергії.

Зазвичай заходи щодо зниження втрат ділили на три групи: організаційні, технічні та заходи щодо вдосконалення системи обліку електричної енергії. Інше поділ - на безвитратні (що не вимагають капітальних вкладень) і витратні (маловитратні, середньовитратні і багатовитратні). По класах вирішуваних завдань цілком доречно ділити заходи на такі, які:

- покращують (оптимізують) режими роботи електричних мереж та їх обладнання;
- знижують втрати, за рахунок реконструкції електричних мереж і установки нового енергозберігаючого обладнання;
- вдосконалюють засоби і системи обліку та здійснюють профілактику розкрадань електричної енергії.

До першого класу відносяться задачі оптимального управління режимами роботи електричних мереж, другий клас - завдання реконструкції, модернізації та проектування і, третій, - завдання вдосконалення способів і засобів обліку електричної енергії на основі автоматизованих інформаційно-вимірювальних систем.

Розглядаються основні заходи, що поліпшують режими роботи електричних мереж та їх обладнання з метою підвищення їх енергоефективності, а також заходи щодо зниження втрат, за рахунок реконструкції електричних мереж і установки нового енергозберігаючого обладнання. Для чисельної оцінки ефективності заходів потрібні параметри, як нового обладнання, так і відпрацьованого більшу частину нормативного терміну служби.

Запропонована методика оцінки ефективності заходів щодо зниження втрат електричної енергії.

Основним показником, що характеризує абсолютну і порівняльну ефективність інвестиційних проектів (ІП), є значення очікуваного інтегрального дисконтованого чистого прибутку (ІДЧП).

За наявності декількох альтернативних проектів найбільш ефективним з них, з точки зору деякого учасника проекту, вважається той, який забезпечує для цього учасника максимальне значення ІДЧП, і це значення невід'ємне.

ІДЧП - це сума всіх дисконтуємих або ревальвіруємих на який-небудь момент надходжень і виплат, що виникають в результаті реалізації інвестиційного проекту.

Чистий потік платежів (чистий дохід) на рік t дорівнює різниці між припливом і відтоком грошових коштів (без врахування джерел фінансування):

$$E_t = O_{pt} - I'_t - H_t - K_t + K_{lt}, \quad (2)$$

де O_{pt} – ефект від зниження втрат на рік t від реалізації частини інвестиційного проекту; I'_t – сумарні експлуатаційні витрати без відрахувань на реновацію в рік t ; H_t – податок на прибуток, який визначається через встановлений коефіцієнт оподатковуваного прибутку на рік; K_t – обсяг інвестицій на рік t ; K_{lt} – ліквідна вартість об'єкта на рік t .

Чиста поточна вартість – це сума дисконтованих чистих потоків платежів за розрахунковий період T_p

$$E_D = \sum_{t=0}^{T_p} E_t (1 + E)^{-t}, \quad (3)$$

де E – норматив дисконтування (норма дисконту).

Ефект від зниження втрат електроенергії у виразі (2) для розрахунку потоку платежів обчислюється за формулою

$$O_{pt} = (\Delta W_1 - \Delta W_2)_t C_{Et} = \delta \Delta W_t C_{Et}, \quad (4)$$

де ΔW_1 , ΔW_2 – технічні втрати електроенергії в електричній мережі до і після реалізації частини інвестиційного проекту в рік t ; C_{Et} – вартість втрат електроенергії в рік t .

При розрахованому значенні річного зниження втрат електроенергії $\delta \Delta W = \Delta W_1 - \Delta W_2$, кВт·год, відомої вартості електроенергії на момент придбання обладнання – C_E , грн/кВт·год і вартості обладнання – K , грн., термін окупності витрат, років, визначають за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K + 3}{C_E \delta \Delta W - pK / 100} = \frac{K + 3}{E}, \quad (5)$$

де 3 – додаткові витрати, пов'язані з транспортуванням, установкою, монтажем обладнання тощо; p – відсоток амортизаційних відрахувань та щорічних витрат на обслуговування та поточний ремонт обладнання.

Так розрахунок економічної ефективності реконструкція ПЛІ-0,38 кВ шляхом заміни неізолюваних проводів на провід марки СПІ рівноцінного перерізу фази дає економічну ефективність 159,47 тис.грн; компенсація реактивної потужності на шинах 10 кВ підстанції призводить до зниження втрат електричної енергії, результатом якої є економічна ефективність – 156,39 тис.грн.

Список літератури

1. Романюк Ю. Ф. Електричні системи та мережі / Ю. Ф. Романюк. – Київ: Знання, 2007. – 292 с..
2. Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання [Електронний ресурс] / МІНІСТЕРСТВО ЕНЕРГЕТИКИ ТА ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0399732-13#Text>.
3. Воротницький В. Е. Заходи щодо зниження втрат електроенергії в електричних мережах енергопостачальних організацій / В. Е. Воротницький, М. А. Калінкіна, В. Н. Апараткін // Енергозбереження, 2018 № 3. - С. 53-56.

Дмитро Компанієць, здобувач групи ЕЕ-22М,
Ігор Переверзєв, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: igor_pereverzev@ukr.net

Дослідженням режимів тягового електропостачання ділянок залізниці

Режими роботи системи тягового електропостачання змінного струму (СТЕ) визначаються характеристикою навантаження і напругами тягових підстанцій і в тяговій мережі. Коливання тягового навантаження у великих межах, а також його нерівномірність обумовлюють складність при визначенні необхідної потужності обладнання СТЕ.

Вимірювання параметрів споживання електричної енергії проведені одночасно на трьох підстанціях Знам'янка, Олександрія, П'ятихатки. Підключення приладів вимірювання було виконано в кола комерційного обліку, трансформаторів струму та напруги 27,5 кВ тягових трансформаторів, що знаходились в роботі. Період вимірювань складав 1 добу, інтервал реєстрації 1,0 с. [1].

Для визначення рівня напруги на струмоприймачі електровозу при русі електрифікованою ділянкою Користівка – Кременчук в парному та непарному напрямках виконаний електротяговий розрахунок. Вихідними даними для такого розрахунку будуть: поздовжній профіль ділянки Користівка – Кременчук; вага вантажного поїзду 5000 т, пасажирського 1200 т.; тип електровозу ВЛ80.

Отримані результати дозволяють сформулювати наступні рекомендації по забезпеченню та підвищенню пропускнуєї спроможності.

1. При вимушеній схемі консольного живлення ділянки Користівка – Кременчук, для дотримання напруги на лімітуючий блок-ділянці на рівні не менше 21 кВ, мінімальний міжпоїзний інтервал необхідно встановити відповідно до ваги поїзда: в непарному напрямку (зі ст. Кременчук на ст. Користівка) 1200 т – 10 хв, 5000 т – 55 хв; в парному напрямку (зі ст. Користівка на ст. Кременчук) 1200 т – 10 хв, 5000 т – 25 хв.

Кількість поїздів, що одночасно знаходяться на фідерній зоні однієї колії для вказаних інтервалів, – не більше 2.

2. При зупинці руху поїздів на ділянці необхідно передбачити можливість підвищення напруги в контактній мережі шляхом перемиканням положення РПН тягового трансформатора на ТП Олександрія, для уникнення транзитних перетоків потужності.

3. До введення в експлуатацію тягової підстанції на ст. Кременчук передбачити оперативну можливість переходу на паралельну роботу тягових трансформаторів на підстанції Олександрія.

4. На тяговій підстанції Олександрія пристрій автоматичної компенсації реактивної потужності можна застосовувати в якості симетруючого.

5. Для ділянки Знам'янка – Долинська додаткових заходів щодо забезпечення руху 60 пар поїздів на добу за нормальної схеми живлення не потрібно.

Список літератури

1. Інструкція з розрахунку наявної пропускнуєї спроможності залізниць України [Текст]: Навч.-метод. посіб. / Розробники О.Ф. Вергун та ін. – К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.

Олександр Пітель, здобувач групи ЕЕ-22М,
Олександр Козловський канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kozlovskyioa@gmail.com

Технології підвищення пропускної здатності повітряних ліній електропередавання

Пропускна здатність повітряної лінії – це технологічно гранично допустиме значення потужності, що може бути передана з урахуванням умов експлуатації та надійності параметрів функціонування повітряної лінії (ПЛ). Її можливо характеризувати двома параметрами: статичним рейтингом лінії (SLR) і динамічним рейтингом лінії (DLR).

Повітряні лінії спроектовані так, що провисання їх проводів завжди знаходиться вище критичного рівня, завдяки обмеження їх нагріву. У проектній практиці нагрів проводів ПЛ обмежується максимально допустимим струмом, який регламентує ПУЕ [1]. Допустимі струми проводів повітряних ліній, визначаються на основі метеорологічних рядів. Отже, тривалий допустимий режим роботи ПЛ визначається її статичним рейтингом (SLR) [2]. Ці метеорологічні параметри характеризують найгірші комбінації несприятливих умов роботи ПЛ, які більш ніж у 90% часу її експлуатації не зустрічаються. Однак, цей рейтинг залишається постійним впродовж всього роботи часу ПЛ незалежно від умов навколишнього середовища. Тобто, SLR у більшості випадків не відображує фактичної пропускної здатності ПЛ.

DLR – це технологія, що використовується для моніторингу пропускної здатності ПЛ у режимі реального часу [2]. Динамічний рейтинг повітряної лінії постійно встановлює температурний ліміт на основі фактичних умов навколишнього середовища. Він залежить від метеорологічних факторів і встановлює кореляцію між ними та пропускною здатністю ПЛ. Такий підхід дозволяє використовувати всю пропускну здатність лінії без шкоди для її безпеки та експлуатації. Оскільки більшу частину року спостерігаються менш суворі погодні умови, потужність існуючих ПЛ можливо значно збільшити. Таким чином, головне завдання полягає в тому, щоб отримати поточні та прогнозувати майбутні умови навколишнього середовища та розрахувати поточну пропускну здатність ПЛ враховуючи адекватні запаси безпеки.

Системи DLR можливо класифікувати за параметрами, що контролюються для розрахунку пропускної здатності ПЛ [2]: швидкість і напрям вітру; сонячне випромінювання; температура навколишнього середовища, сила струму; тяжіння або провисання проводу і т.п.

При проведенні теплового розрахунку, пропускна здатність розраховується як значення сили струму, за якого температура проводу має максимальне допустиме значення (рис. 1). Цей термічний розрахунок проводиться за математичними моделями, що приведені в [3] або [4].



Рисунок 1 – Реалізація підходу DLR: «Метеорологічні параметри»

Рисунок 2 – Реалізація підходу DLR: «Температура проводу й метеорологічні параметри»

Внаслідок невизначеності, що пов'язана зі зміною швидкості вітру, багато систем DLR вимірюють безпосередньо температуру поверхні проводу ПЛ. Ця величина використовується для розрахунку ефективної швидкості вітру, що охолоджує провід. Струмове навантаження визначається на основі розрахованої швидкості вітру, вимірян timer температури повітря та сонячної радіації (рис. 2).

Інші види систем DLR вимірюють тяжіння або провисання. У цьому випадку необхідний додатковий крок, і температура проводу визначається на основі параметрів представлених на рис. 3. Механічна модель ПЛ використовується для зв'язку натягу або провисання проводу з його температурою. При підвищенні температури проводу провисання збільшується, а тяжіння зменшується, і навпаки. Після визначення температури проводу, для розрахунку струму виконується та сама процедура, що описана на рис. 1.

Таким чином, можливі три варіанти технічної реалізації технології DLR: використання метеостанцій, для моніторингу умов навколишнього середовища, без контролю параметрів ліній; використання метеостанцій, для моніторингу умов навколишнього середовища та установка безпосередньо на провід вимірювального перетворювача температури проводу; використання метеостанцій, для моніторингу умов навколишнього середовища та установка між ізоляторами та траверсою опори вимірювального перетворювача тяжіння проводу.



Рисунок 3 – Реалізація підходу DLR: «Тяжіння проводу та метеорологічні параметри»

У всіх випадках вимірювання метеопараметрів і параметрів ПЛ проводяться в режимі on-line, а отримана телеметрична інформація, передаються на сервер електропостачальної компанії. Головною перевагою другого підходу є наявність поточної інформації в персоналу оперативної диспетчерської служби про реальну температуру проводу та габарит ПЛ.

Технологія DLR дозволяє електропостачальним компаніям краще керувати своєю інфраструктурою розподільних електромереж, забезпечуючи більш ефективне використання пропускної здатності ПЛ. Моніторинг пропускної здатності ПЛ дозволяє оптимізувати використання існуючої електричної інфраструктури та відкласти потребу в її високовартісних реконструкціях. Це також може зменшити ризик перевантажень ПЛ, і тим самим підвищити надійність електропостачання. Застосування контролю навантаження ПЛ, також допомагає запобігти лісовим пожежам, що актуально для посушливих районів з сильними вітрами.

Список літератури

1. Правила улаштування електроустановок. Х.: Вид-во «Форт», 2017. 760 с.
2. Abdelrahman S., Tamer M., Abo-Zahhad M. Overhead transmission lines dynamic rating estimation for renewable energy integration using machine learning. Energy Reports 2021. Vol. 7. Nov. pp. 804-813
3. IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors, IEEE Std 738-2012 (Revision of IEEE Std 738-1906)
4. CIGRE Technical Brochure 601, Thermal Behavior of Overhead Conductors, Working Group B2.43. 2014. 93 p.

Андрій Білоус, здобувач групи ЕЕ-22М,
Олександр Козловський канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kozlovskyoa@gmail.com

Огляд матеріалів придатних для створення ожеледофобних покриттів проводів ПЛ

На сьогодні не існує ідеальних ожеледофобних покриттів, а емпіричний досвід доводить, що в решті решт на будь-якому покритті утворюються ожеледно-паморозеві відкладення (ОПВ), однак, існують цілі групи матеріалів які можуть бути використані в якості захисних покриттів для проводів повітряних ліній (ПЛ). Зусилля більшості вчених направлені на поліпшення їх характеристик шляхом зміни структури матеріалів, а також створення на їх поверхнях вторинних ожеледофобних покриттів.

З урахуванням екстремальних умов у яких повинне працювати покриття проводу до його властивостей і характеристик були сформульовані наступні вимоги [1]: тривалий строк служби, ожеледофобність, стійкість до ультрафіолетового випромінювання, еластичність при низьких температурах, хімічна стійкість та інертність, низька маса, можливість нанесення на провід, що знаходиться безпосередньо на ПЛЕ, відповідність нормам екологічної безпеки, низька вартість життєвого циклу.

Із існуючих матеріалів, приведеним вимогам найбільше відповідають наступні групи полімерів: політетрафторетилен (PTFE, комерційна назва тефлон) і полівініліденфторид (PVDF, комерційна назва фторопласт).

У праці [2] були досліджені матеріали з PTFE, щоб зрозуміти вплив хімічного складу і шорсткості поверхні на адгезію льоду. У першому дослідженні PTFE-покриття були нанесені на алюмінієві підкладки методом розпилення і спікання (температура спікання склала 350-370°C). Найбільший кут змочування 152,8° був зафіксований на одній із спечених поверхонь з PTFE. Субмікронні зернисті структури з зазорами, меншими, ніж середні розміри крапель води, ефективно захоплювали повітря і забезпечували режим Кессі-Бакстера на поверхні PTFE. Однак, тест на адгезію показав, що обидва спечених покриття з PTFE мали високу міцність адгезії до льоду при зсуві (1560 і 1820 кПа для стержня і сферичних частинок). Навпаки, гладкий об'ємний PTFE має найнижчу міцність з'єднання льоду (60 кПа).

В іншому дослідженні [3] покриття отримане зануренням зразків у поліфторований полієфір (PFPE) дозволило знизити адгезію льоду до голої поверхні алюмінію в 20 разів, а тефлону – в 7 разів.

Покриття з фторопласту (PTFE) було нанесено на лопаті вітротурбіни, виготовлені з скловолокнистого композиційного матеріалу, для підвищення ожеледостійкості [4]. Для створення шорсткої структури, NH_4HCO_3 був доданий до ПВДФ. Розміри пор варіювалися від 1 до 5 мкм, а кут контакту з водою склав 156°, за кута ковзання води 2°. Випробування на акрецію льоду, було проведене при температурі -10°C з використанням розприскувача води (діаметр крапель становив 1 мм), що розприскував переохолоджену воду на горизонтально розташовані зразки. У результаті було зафіксоване незначне наростання льоту протягом 50-хв на захищеному зразку, в той час як на контрольному зразку було зібрано близько 40 г льоду.

Покриття з фторованого акрилату (полідиметилсилоксан) показало зниження адгезії льоду до 300 кПа і збільшену затримку кристалізації льоду (близько 3 хв при -15 °C) [5].

У [6] представлені результати випробування здатності суцільного фторопластового покриття знижувати кількість ОПВ на сталюму грозотросу та визначення сили зчеплення цих відкладень з поверхнею покриття. Експеримент проводився на новому сталюму тросу

марки С-70. Попередньо, поверхня тросу була очищена і знежирена за допомогою бензину. Потім, шляхом повиткового намотування фторопластової плівки марки Ф-4 товщиною 0,1 мм та шиною 50 мм на ньому була створена суцільна захисна оболонка. Процес ожеледоутворення імітувався шляхом штучного розбризкування води на трос із розбризкувача при температурі навколишнього середовища -15°C при швидкості вітру 2-2,8 м/с. У результаті як на незахищеній частині тросу так і на фторопластовому покритті та почали утворюватися ОПВ. Проте, механізми їх утворення були різні.

На незахищеній поверхні тросу утворення ОПВ починалось зі суцільного змочування всієї поверхні дротин верхнього повиву тросу, затікання води між ними і, як наслідок, утворення тонкої суцільної ожеледної муфти. При подальшому розбризкуванні води діаметр муфти рівномірно збільшувався.

На захищеній частині тросу спочатку осідали дрібні, поодинокі краплини води які замерзали протягом декількох секунд – «сухий» ріст. При подальшому розпиленні води нові центри ожеледоутворення не з'являлись, але спостерігався ріст ранніх крапель до повного злиття між собою. Після цього починався «мокрый» ріст відкладення. Утворені ОПВ мали низьку силу зчеплення з поверхнею фторопласту і легко відпадали при коливанні тросу.

На рис. 1, а) та б) у нижній частині ОПВ видно крупні замерзлі краплини води, що свідчить про режим мокрого росту відкладень, внаслідок занадто інтенсивного розбризкування води, що в природних умовах зустрічається досить рідко. На фторопластовому покритті утворювалося біле, непрозоре ожеледно-паморозеве відкладення з нижчою густиною ніж на незахищеному тросі.



Рисунок 1 – Кінцеве ожеледно-паморозеве відкладення на тросі С-70 [6]:
а) тросі незахищеному; б) трос вкрити фторопластовою оболонкою

Аналіз розглянутих класів матеріалів (політетрафторетилену та полівінілденфториду) показав, що вони забезпечують ожеледофобні властивості. Однак, довговічність цих покриттів вимагає подальшого покращення, але навіть при повній втраті ожеледофобних властивостей сила адгезії льоду до них значно нижча ніж до незахищеного неізолюваного проводу повітряної лінії електропередавання.

З існуючих матеріалів, що можуть бути використані в якості захисного шару покриття проводу ПЛ найбільш приданими є матеріали на основі тефлону.

Список літератури

1. Mulherin N.D., Haehnel R. B. Progress in Evaluating Surface Coatings for Icing Control at Corps Hydraulic Structures. Ice Engineering, Technical Note 03-4, October 2003.
2. Research on the icephobic properties of fluoropolymer-based materials / S. Yang and etc. Appl. Surf. Sci. 2011. 257. pp. 4956–4962.
3. Evaluation of icephobic coatings – screening of different coatings and influence of roughness / M. Susoff, K. Siegmann, C. Pfaffenroth, M. Hirayama. Appl. Surf. Sci. 2013. 282. pp. 870–879.
4. Preparation and anti-icing of superhydrophobic PVDF coating on a wind turbine blade / C. Peng and ets. Appl. Surf. Sci. 2012. 259. pp. 764–768.
5. Icephobicity of polydimethylsiloxane-b-poly (fluorinated acrylate), Thin Solid / H. Li and etc. Films. 2014. 573. pp. 67–73.
6. Predlozheniya po primeneniyu ftoroplastovyh poverhnostnyh pokrytyy dlya snizheniya massy goledno-izmorozevykh otlozheniy na provodah i grozozashchitnyh trosah / V. Sedunov i dr. Elektro. No5. 2005. S. 46-48.

Руслан Демчук, здобувач групи ЕЕ-22М,
Олександр Козловський канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kozlovskyioa@gmail.com

Аналіз структури втрат електроенергії в розподільних електромережах промислових підприємств

У сучасних умовах роботи, що характеризуються значним дефіцитом електричної енергії, обмеженою потужністю трансформаторних підстанцій системи передачі та високою зношеністю розподільних електромереж промислових підприємств питання електрозбереження набувають першорядного значення.

При транспортуванні електроенергії від джерела живлення до споживача, внаслідок недосконалості системи електропередавання частина електричної енергії втрачається. Величина втрат електроенергії в будь-якому елементі електромережі буде залежати від режиму його роботи. Для елемента мережі, що працює з постійним навантаженням впродовж часу t і має втрати активної потужності ΔP , втрати активної електроенергії складуть

$$\Delta W = \Delta P \cdot t. \quad (1)$$

Сумарні (фактичні) втрати електроенергії умовно діляться на дві складові технологічні $W_{\text{техн}}$ та комерційні $W_{\text{ком}}$:

$$\Delta W = \Delta W_{\text{техн}} + \Delta W_{\text{ком}}. \quad (2)$$

Технологічні втрати електроенергії зумовлені технологічними потребами процесу її транспортування. Виходячи з фізичної природи, ці втрати в розподільних мережах діляться на такі [1-4]: технічні $\Delta W_{\text{тех}}$; витрати на власні потреби підстанцій $\Delta W_{\text{в.п}}$; втрати, що обумовлені недообліком електроенергії $W_{\text{н.о}}$.

Таким чином, технологічні втрати електроенергії складуть:

$$\Delta W_{\text{техн}} = \Delta W_{\text{тех}} + \Delta W_{\text{в.п}} + \Delta W_{\text{н.о}}. \quad (3)$$

Технічні втрати активної складової електроенергії $\Delta W_{\text{тех}}$, зумовлені фізичними процесами, що протікають при передачі електроенергії через силові трансформатори та кабельні лінії [1-3]:

$$\Delta W_{\text{тех}} = \Delta W_{\text{нав}} + \Delta W_{\text{н.х}}. \quad (4)$$

У загальному випадку навантажувальні втрати в трифазному елементі мережі з фазним опором R і струмом у ньому $I_{\text{ф}}$ визначаються як

$$\Delta W_{\text{нав}} = 3I_{\text{ф}}^2 R t. \quad (5)$$

Втрати неробочого ходу – це так звані, умовно-постійні технічні втрати, оскільки вони залежать від прикладеної напруги до елементів мережі [5]. У загальному випадку, в елементі мережі їх можливо визначити за формулою

$$\Delta W_{\text{н.х}} = 3gU_{\text{ф}}^2 t, \quad (6)$$

де g – фазна провідність елемента мережі; $U_{\text{ф}}$ – фазна напруга.

Витрати електроенергії на власні потреби $\Delta W_{\text{в.п}}$ цехових підстанцій не розглядаються, так як переважна їх більшість розташовуються безпосередньо в виробничих цехах і не потребують електроенергії на опалення, освітлення тощо.

Комерційні втрати електроенергії $W_{\text{ком}}$ зумовлені несанкціонованим відбором та свідомою несплатою за зафіксований електролічильниками але непоплачений відбір електроенергії. На промисловому підприємстві такі втрати електроенергії в розподільній мережі можуть виникати лише за наявності субабонентів.

Співвідношення між окремими видами втрат електроенергії в елементах розподільної мережі визначається конфігурацією схеми розподілу електроенергії. На рис. 1 представлено відсотковий розподіл технологічних втрат електроенергії в елементах розподільної мережі промислового підприємства, що знаходиться в експлуатації більше 30-ти років і має наступні характеристики: площа виробничих приміщень – 75 тис. м²; режим роботи – двозмінний; установлена активна потужність споживачів – 47,5 МВт; коефіцієнт потужності на стороні 10 кВ головної знижувальної підстанції – 0,15; час використання максимуму навантаження – $T_{\max} = 4433$ год; схема розподілу електроенергії – змішана; довжина кабелів розподільної мережі 10 кВ – 8 км; кількість цехових трансформаторів – 30.

У розглянутій розподільній мережі найбільші втрати електричної енергії наявні у цехових трансформаторах марки ТМ-1000/10/0,4. Це пов'язано з тим, що на сьогодні, вони є морально та фізично застарілими, а отже мають високі рівні втрат активної потужності як неробочого ходу – 2,45 кВт, так і навантажувальні – 12,2 кВт. Отримані результати підтверджуються даним наведеними у [3].

Згідно статистики частка втрат у лініях розподільних мережах коливається у діапазоні 5-34%. У кабельних лініях даної мережі навантажувальні втрати складають 7,9%, а втрати неробочого ходу КЛ – 2,7%. Останні в значній мірі залежать від строку експлуатації цих ліній і через кожні 5-ть років збільшуються приблизно в 1,5 рази.

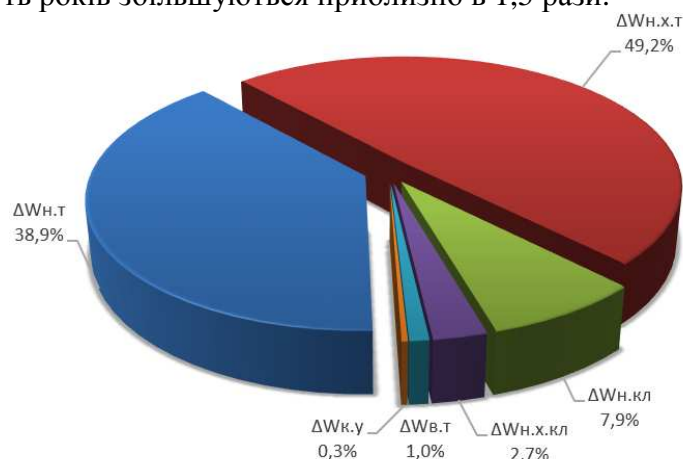


Рисунок 1 – Розподіл технологічних втрат електроенергії в елементах розподільної мережі промислового підприємства:

$\Delta W_{н.т}$ – навантажувальні втрати в цехових трансформаторах; $\Delta W_{н.х.т}$ – втрати неробочого ходу у цехових трансформаторах; $\Delta W_{н.к.л}$ – навантажувальні втрати в кабельних лініях; $\Delta W_{н.х.к.л}$ – втрати неробочого ходу в кабельних лініях; $\Delta W_{в.т}$ – втрати у вимірювальних трансформаторах; $\Delta W_{к.у}$ – втрати в конденсаторах 10 кВ

Із проведеного аналізу слідує, найбільша частка в технологічних втратах електроенергії в розподільній мережі промислового підприємства припадає на втрати неробочого ходу (49,2%) і навантажувальні втрати (38,9%) цехових трансформаторів, а також навантажувальні втрати в кабельних лініях (7,9%), за умови підключення зазначеного обладнання до електромережі 8760 год на рік.

Список літератури

1. Бохонко І. В. Проблеми зменшення втрат електроенергії під час передавання. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Проблеми економіки та управління. 2016. № 847. С. 16-22.
2. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електроенергетики та електропостачання. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. 436 с.
3. Шкрабець Ф. П., Красовський П. Ю. Експлуатаційна динаміка втрат електроенергії в системах електропостачання. М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2015. 152 с.
4. Красовський Ю.П. Складові втрат електроенергії в елементах систем електропостачання. Вісник ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна, 2009. №27. С. 77-80.
5. Лежнюк П. Д., Добровольська Л. Д., Кулик В. В. Електроощадні технології в електричних мережах енергосистем / Під ред. П. Д. Лежнюка. Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018. 328 с.

Віталій Дутчак, здобувач групи ЕЕ-22М,
Олександр Козловський канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kozlovskyoa@gmail.com

Аналіз методів підвищення пропускної здатності повітряних ліній розподільних електромереж

Пропускна здатність лінії електропередавання – це найбільша активна (повна) потужність, яка тривало може передаватися по лінії з урахуванням усіх технічних обмежень.

Пропускна здатність повітряної лінії (ПЛ), що обмежується максимально допустимим струмом нагріву проводу, визначається як:

$$P_{\text{пр}} = \sqrt{3} U_{\text{пл}} I_{\text{max}} \cos \varphi . \quad (1)$$

де $U_{\text{пл}}$ – напруга повітряної лінії; I_{max} – максимально допустимий струм; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

З аналізу (1) впливає два основні методи підвищення пропускної здатності повітряних ліній: режимний і конструктивний (рис. 1).



Рисунок 1 – Способи підвищення пропускної здатності ПЛ

Застосування способів, що входять в групу режимного методу не передбачає фізичної зміни повітряної лінії (ПЛ). До них відносяться: підвищення номінальної напруги $U_{\text{ном}}$ мережі або окремої ПЛ, підвищення коефіцієнта потужності $\cos \varphi$, врахування фактичних умов навколишнього середовища (використання DLR-технології).

За умови незмінного I_{max} , пропускна здатність ліній прямо пропорційна їх напрузі. Підвищення напруги ПЛ можливе в межах класу напруги або поза його

межами. У межах класу напруги її підвищення, в більшості випадків, здійснюється за допомогою пристроїв регулювання напруги під навантаженням (РПН) трансформаторів. Згідно ДСТУ [1] рівень такого підвищення може сягати +10% від номінальної напруги. Відповідно до (1) це призводить до збільшення пропускної здатності ПЛ до 10% [2-4]. Підвищення напруги поза межами класу – це перевід мережі на наступний вищий клас напруги. Наприклад, при застосуванні класу напруги 20 кВ замість 10 кВ пропускна здатність ПЛ збільшиться в 2 рази.

Встановлення пункту автоматичного регулювання напруги (ПАРН) 10 кВ дозволяє підняти напругу в кінці ПЛ. У процесі роботи ПАРН вимірює поточні значення сили струму та напруги ПЛ, розраховує рівень падіння напруги на ділянці ПЛ, на основі заданих значень її опору та автоматично перемикає відгалуження, щоб забезпечити рівень напруги в

споживача, згідно ДСТУ [1]. Головною перевагою цього підходу є менші капіталовкладення ніж під час реконструкції існуючої чи будівництва нової ПЛ, а недоліками – зростання струму на ділянці мережі від джерела живлення до точки встановлення ПАРН.

Нагрів проводів ПЛ обмежується максимально допустимим струмом [5]. Його рівень встановлюється на основі найгіршого поєднання несприятливих погодних умов, які при експлуатації виникають лише в 10% випадків. Проте це обмеження залишається незмінним впродовж усього терміну експлуатації ПЛ [3]. Врахування фактичних умов навколишнього середовища дає змогу максимально завантажити ПЛ, без шкоди для неї та безпеки. Таким чином пропускна здатність ПЛ збільшується. Недоліком цього способу є необхідність встановлення систем моніторингу стану проводу та навколишнього середовища.

До конструктивного методу відносяться наступні способи: використання проводів нових типів, збільшення перерізу проводу, прокладання додаткових ПЛ і будівництво ділянок мережі з глибоким вводом.

До проводів нових типів можуть бути віднесені всі, що мають кращі характеристики ніж проводи марок А та АС. На сьогодні, це компактні проводи марки AERO-Z, високотемпературні марок TACSR/ACS і TACSR/HICIN, самоутримні ізольовані проводи (СП) і захищені проводи та ін. Збільшення пропускної здатності проводів марок TACSR / ACS та TACSR/HACIN забезпечується їх вищою робочою температурою. Повітряні лінії, що працюють за температури проводів у діапазоні 150-210 °С не схильні до відкладення ожеледно-паморозевих відкладень [4]. Навіть при збільшенні пропускної здатності в 1,5 рази порівняно з проводом АС, високотемпературний провід має менший діаметр. Це дозволяє знизити навантаження на опори, збільшити прогони ПЛ. Ці проводи мають відносно невисоку вартість, яка становить 270% від вартості АС.

СП і захищені проводи можуть бути використані при реконструкції ПЛ 0,4-35 кВ. Крім відомих переваг, ці проводи також мають робочу температуру до 90 °С, а допустимі струми при цьому на 10-15% більші ніж у аналогів марок А, АС [4]. Недоліками СП є наступні: вища вартість, необхідність застосування для монтажу спеціальної лінійної арматури, збільшене навантаження на опори ПЛ, складне обслуговування та ремонт.

При збільшенні площі перерізу проводів збільшується і їх допустимий струм. Однак, залежність допустимого струму від площі перерізу проводу є нелінійною, тому при цьому допустима густина струму проводу знижується. Це пов'язано з тим, що проводи з більшими площами перерізів мають меншу площу поверхні, що припадає на 1 мм² перерізу.

Глибокі вводи застосовують як при проектуванні нових мереж, так і при розвитку та реконструкції наявних. Головним недоліком такого технічного рішення є висока вартість будівництва ліній ВН та підстанцій у порівнянні з лініями нижчих класів напруги.

Отже, на 1-му етапі підвищення пропускної здатності існуючих ПЛ найбільш доцільним є застосування режимних методів, зокрема, підвищення коефіцієнта потужності мережі, а на 2-му – реконструкція ПЛ шляхом заміни проводів А, АС на проводи сучасних конструкцій.

Список літератури

1. Держстандарт України «Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності» ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT), чинний з 1.10.2014. Київ, Україна: Держстандарт України, 2014. 27 с.
2. Електричні системи і мережі. Частина 1 / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський ; за ред. П. Д. Лежнюка. Вінниця : ВНТУ, 2020. 200 с
3. Possibilities of increasing transmission capacity overhead lines / M. Špes, L. Veňa, M. Mikita, M. Márton, H. Wachta. Acta Electrotechnica et Informatica, Vol. 16, No. 3, 2016, pp. 20-25.
4. Клименко М.М., Єгорова О.Ю. Аналіз ефективності використання існуючих засобів підвищення пропускної здатності ліній електропередач. Системи озброєння і військова техніка, 2011, № 1(25). С. 96-100.
5. Правила улаштування електроустановок. Х.: Вид-во «Форт», 2017. 760 с.

Віталій Коршиков, здобувач групи ЕЕ-22М,
Олександр Козловський канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: kozlovskyioa@gmail.com

Аналіз активних методів підвищення стійкості повітряних ліній 110 кВ до ожеледоутворення

Серед десятків запропонованих методів захисту повітряних ліній (ПЛ) від ожеледно-паморозевих відкладень (ОПВ) економічно більш доцільними визнані активні методи боротьби (рис. 1). Це пов'язано з короткочасністю існування надрозрахункових ожеледних навантажень – приблизно 0,03-0,5% від повного строку служби ПЛ.

Активні методи боротьби з ОПВ на ПЛ діляться на такі види: тепловий, електростатичний і механічний.

Тепловий метод полягає в підвищенні температури проводу ПЛ до величини при якій утворення ОПВ стає неможливим або відбувається руйнування вже наявного. Підвищення температури проводу досягається шляхом проведення режимних заходів або створенням штучного струму короткого замикання (КЗ).

Проведення режимних заходів на ПЛ 110 кВ обмежене через неможливість перерозподілу навантаження на деяких лініях. Різновидом режимного методу є використання трифазних джерел реактивної потужності (ДРП), що встановлені по кінцях ПЛ. Одне ДРП виступає джерелом, інше – споживачем реактивної потужності. Це дозволяє проводити плавку ожеледі без відключення споживачів. Така схема плавки ожеледі зібрана постійно, а в нормальному режимі дає змогу керувати потоками реактивної потужності. Недоліки: спосіб може бути реалізованим лише на ПЛ, де передбачено компенсацію реактивної потужності.

Принцип дії плавки базується на створенні режимів роботи електромережі, при яких по ділянках ПЛ з ОПВ протікають струми, що значно перевищують робочі та дають змогу

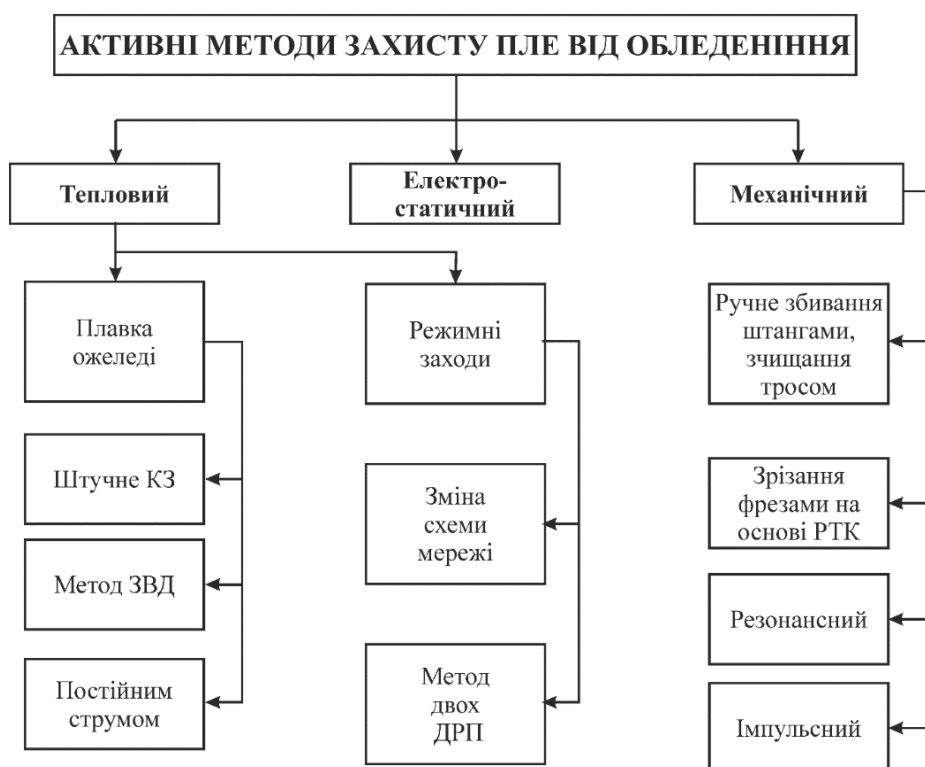


Рисунок 1 – Способи підвищення пропускної здатності ПЛ

швидко звільнювати ці ділянки. Плавка ожеледі на ПЛ 110 кВ підвищеними струмами є найбільш ефективним і практично розробленим методом боротьби з ОПВ, що впроваджений у електромережах. Питання про застосування того чи іншого різновиду плавки ожеледі визначається реальними параметрами ПЛ і мережі [1]. Переваги методу: висока ефективність – дає змогу усунути на проводах і грозозахисних тросах ПЛ ожеледь за короткий строк; простота збирання схем плавки ожеледі; можливість автоматизації. Недоліки методу: значна тривалість підготовчих робіт – на ручне збирання схем плавки ожеледі витрачаються багато часу; необхідність контролю температури проводу – сухі ділянки проводу можуть бути перегріті струмом плавлення та втратити механічну міцність; залежність тривалості плавки від метеорологічних параметрів; висока енергоємність; у більшості випадків застосування схем плавки споживачі втрачають живлення. У складних погодних умовах ефективність плавки різко знижується і, як правило, відбуваються масові uszkodження та відключення ПЛ. Якщо виконувати прогноз і відслідковувати динаміку ожеледоутворення на ПЛ можливо скорити час проведення плавки ожеледі та підвищити їх успішність.

Електростатичний метод полягає в підключенні джерела випрямленого струму до нейтралі з'єднання обмоток силового трансформатора або штучної створеної так, що проводи ПЛ мають одну полярність, а земля – іншу. Взаємодія складного електростатичного поля змінної та постійної напруги і сил падаючої переохолодженої краплі створює умови за яких крапля обтікає провід. У результаті маса відкладень на проводах зменшується на 40...80%. Переваги методу: низька споживана потужність; захист не впливає на роботу РЗА; під час дії захисту споживачі не втрачають живлення. Основні недоліки: потребує джерело випрямленого струму; необхідне роз'єднання кіл «лінія-розрядник-земля», а також нульового провідника ТН типу ЗНОМ, необхідність завчасного визначення початку процесу ОПВ. У цілому цей метод має ряд переваг, однак він потребує подальших досліджень.

Механічний метод полягає в усуненні ОПВ з проводів ПЛ шляхом прикладання до них руйнівних зусиль. Початково робітники електромереж оббивали ожеледь з проводів ПЛ довгими жердинами. У наш час, деякі електротехнічні компанії продовжують очищувати ОПВ з проводів і грозозахисних тросів за допомогою штанги чи фрези приєднаної до гелікоптера. Також розробляються різноманітні пристрої які створюють штучні ударні хвилі на провід, його крутильні деформації чи зрушуючі зусилля і т. п.

У [3] запропоновано робото-технічний комплекс (ROV) який переміщується по проводу повітряної лінії автономно. Видалення ОПВ відбувається високоміцними стальними роликками, які його сколюють при його русі по проводу. ROV отримує живлення від вбудованої батареї акумуляторів. Керування комплексом здійснюється оператором, що знаходиться на землі. Подібні пристрої необхідно встановлювати та знімати за допомогою безпілотних літальних апаратів (БпЛА) на кожний фазний провід ПЛ.

Механічний метод зазвичай застосовують на ПЛ де відсутні будь-які інші засоби боротьби з ОПВ. Перевагами методу є простота та порівняно низька вартість. До недоліків слід віднести низьку продуктивність, очищення проводу можливо лише на ПЛ траси яких мають гарний доступ для обслуговуючого персоналу, проведення заходів можливе після закінчення ожеледоутворення.

Отже, для захисту ПЛ 110 кВ від ожеледно-паморозевих відкладень найбільш придатним методом є плавка ожеледі електрострумами, що значно перевищують номінальні, однак для її успішного проведення необхідно застосовувати системи моніторингу ожеледоутворення.

Список літератури

1. Крыжов Г. П., Нарожный В. Б. Плавка гололеда на проводах и тросах ВЛ. Энергетика и электрификация. 1996. № 3. С. 16-18
2. Гончар М. И., Белаш И. П. Защита проводов от гололедоизморозевых отложений. Энергетика и электрификация. 1995. №4. С. 26-28.
3. Leblond A. and A. Côté, "Atmospheric Icing of OPGW: Monitoring and De-Icing", Proc. Int'l OPGW Symposium, Montréal, May 3-5, 2004.

Ігор Калюжний, здобувач групи ЕЕ-22М,
Анатолій Орлович канд. техн. наук, професор
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: igor@impex.kr.ua

Аналіз впливу забруднень на роботу ізоляції КТП

У процесі експлуатації комплектної трансформаторної підстанції (КТП) тверді частки пилу осідають на ізолятори ВН утворюючи шар забруднення (рис. 1). Цьому сприяє багато процесів, але найбільш небезпечними для ізоляторів є виноси викидів промислових підприємств і котелень, підняті в повітря частки ґрунту, частки сільськогосподарських хімікатів і протиожиледних реагентів [1]. У залежності від кліматичного та географічного району на ізоляторах може виникати досить стійкий шар забруднення. Чисельно рівень забруднення ізолятора оцінюється його середньою поверхневою густиною забруднення, що лежить у межах 10^{-1} - 10^2 мг/см² [2].

Процес осідання забруднення на ізолятори в часі має складний характер, на який впливають сезонні зміни напрямку вітру, кількість і частота випадання опадів, наявність щілин корпусі КТП тощо. На відміну від ізоляції відкритих розподільчих установок (ВРУ) і повітряних ліній електропередачі, яка піддається очисній дії дощу та вітру пил, що проникає в високовольтний відсік КТП, поступово накопичується на поверхні ізоляторів (рис. 1).

Аналіз забруднення прохідних та опорних ізоляторів ВН КТП показує, що більш забрудненими виявляються ізолятори розташовані в нижній частині високовольтного відсіку, причому ті, що встановлені горизонтально, мають рівень щільності забруднення до 5 разів більше ніж ті, що встановлені вертикально.

Це забруднення складається з двох видів речовин [3]:

- іонообмінні з'єднання (кислоти, луки, солі), що швидко розчиняються при зволоженні;
- інертні з'єднання (глина, кварцовий глинозем), які виконують роль утримуючої матриці між самими частинками та і частинками з ізолятором.



Рисунок 1 – Забруднення ізоляторів ВН КТП 10/0,4 кВ трансформаторного відсіку

Наявність сухого шару забруднення практично не змінює розрядну напругу ізоляторів. Однак, ситуація різко змінюється, коли іоноутворюючі речовини, що входять до складу забруднення зволожуються атмосферною вологою, що осідає на ізоляторі [3]. Внаслідок зволоження забруднень на поверхні ізолятора відбувається швидке їх розчинення та утворення електроліту, що призводить до зростання поверхневого струму витікання ізолятора. Зниження ізолюючої здатності ізоляторів КТП до небезпечних значень відбувається при короткочасних зволоженнях, пов'язаних з випадінням роси на поверхні ізоляторів. При цьому, забруднення на поверхні ізолятора починається нерівномірно прогріватися, внаслідок чого з нього випаровується волога. На тих ділянках ізолятора де густина струму найбільша, відбувається концентрація теплової енергії, а отже їх інтенсивне висушування та утворення ділянки з підвищеним опором. Подальший розвиток цього процесу залежить динаміки висушування шару забруднення, яка в свою чергу, залежить від інтенсивності надходження атмосферної вологи. Якщо забруднення отримає кількість вологи меншу за певну критичну величину, то шар забруднення висохне, а струм витікання впаде до нуля. У протилежному випадку, до вузької, підсушеної ділянки буде прикладена напруга, що перевищує її електричну міцність і виникне частковий пробій повітряного проміжку вздовж поверхні ізолятора та виникне поверхневий частковий розряд. Розряди цього типу короткі (1-3 см), мають синьо-фіолетовий колір і велику кількість паралельних стримерів. Далі описаний процес може багаторазово повторюватися. У цілому горіння часткової дуги не призводить до порушення роботи ізоляції, однак викликає в ній додаткові втрати електричної енергії. Після того як кільцева підсушена зона на ізоляторі збільшиться до кількох сантиметрів розряд згасне. Тому такі розряди безпечні для ізоляції КТП.

При інтенсивному зволоженні шару забруднення на поверхні ізолятора та прикладеній до нього значній напрузі ($2-3,5U_{ном}$), що за умов експлуатації КТП може бути пов'язано із замиканням фази на землю або комутаційною перенапругою поверхневі часткові розряди (ПЧР) починають набувати дугового характеру, тобто їх вольт-амперна характеристика (ВАХ) стає падаючою. При цьому виникають кидки струмів розрядів, що перевищують струм витікання в 20-30 разів [2], тобто між ребрами ізолятора в атмосфері водяної пари починають виникати часткові дуги. При появі часткової дуги струм витікання ізолятора значно зростає (до 200 мА), внаслідок чого ПЧР змінюють свій колір з синьо-фіолетового на жовтий.

Зазвичай, часткова дуга переміщується по ізолятору в поперечному напрямку, а її опорна точка рухається по межі підсушеного шару забруднення. Час горіння часткової дуги складає долі секунди. Такі дуги зі струмами витікання більше 100 мА є небезпечними для роботи ізолятора, оскільки з високою ймовірністю призведуть до його повного перекриття дугою. На завершальному етапі перекриття ізолятора, відбувається самостійний пробій повітряного проміжку, тобто кінцевий дуговий розряд проходить по найкоротшому шляху – вершинах ребер ізолятора.

Отже, забруднення високовольтної ізоляції КТП істотно впливають на її роботу, а в найбільш тяжких випадках можуть проводити до її повного перекриття і, як наслідок, до технологічних порушень у роботі КТП. Процеси на забрудненій і зволоженій поверхні ізоляторів визначаються рівнем прикладеної напруги та характеристиками забруднення, а також інтенсивністю зволоження.

Список літератури

1. Орлович А. Ю., Котиш А. І., Співак О. В. Контроль мікроклімату розподільчого пристрою напругою 10 кВ. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Кіровоград: КНТУ, 2012. Вип. 25. Ч. 2. С. 48-51.
2. Мерхалев С. Д., Соломник Е. А. Изоляция линий и подстанций в районах с загрязненной атмосферой. Л.: Энергия, 1973. 159 с.
3. Орлович А. Е., Селивахин А. И., Молчанов Ю. Е. Контроль загрязнённости изоляторов КРУН. Совершенствование электроснабжения сельскохозяйственных районов и предприятий: Сб. научн. тр. МИИСП, 1987. С. 55 - 59.

Дмитро Комарі, здобувач групи ЕЕ-22М,
Кирило Морозов, здобувач групи ЕЕ-22М,
Іван Савеленко, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: ivan.savelenko@gmail.com

Дослідження режимів роботи вітрового генератора з синхронним генератором на постійних магнітах

Вступ. На сучасному етапі технологічного розвитку виникає нагальна потреба у підвищенні техніко-економічної ефективності електроприводів. Основні вимоги включають розширення діапазону регулювання швидкості обертання та покращення енергетичних, статичних і динамічних характеристик. У зв'язку з цим, зростає зацікавленість у використанні систем вітрової генерації на базі синхронного генератора на постійних магнітах (СГПМ), який відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного та стабільного виробництва електроенергії.

Постановка проблеми. Дослідження режимів роботи вітрового генератора з СГПМ є важливим напрямком в розвитку вітрової енергетики, спрямованим на оптимізацію технічних характеристик та підвищення ефективності цього типу електрогенераторів. Вирішення задачі оптимальної продуктивності та ефективності вітрових електрогенераторів в умовах змінних умов роботи потребує додаткових досліджень. Проведення дослідження з метою удосконалення алгоритмів векторного керування синхронними генераторами, які забезпечують керування системою генерування, залишається, на сьогодні, нагальним завданням.

Розв'язання проблеми. Дослідження, присвячене вивченню різних режимів роботи вітрового генератора з СГПМ, є важливим етапом для розуміння його динамічних властивостей та можливостей у різних умовах експлуатації. Вдосконалення систем автоматичного керування є одним з напрямків поліпшення техніко-економічних показників тягових електроприводів на базі синхронних машин.

Вітрогенератори, що використовують синхронні генератори на постійних магнітах (СГПМ), зростають в популярності в промислових галузях, де раніше використовувалися постійні струмові чи асинхронні двигуни. Системи автономного генерування, що базуються на синхронних машинах, набули широкого використання завдяки їхній високій продуктивності. Використання методів векторного керування дозволяє реалізувати різноманітні стратегії оптимізації роботи електричних машин і підвищити ефективність перетворення механічної енергії в електричну.

Дослідження та удосконалення алгоритмів векторного керування синхронними генераторами, важливо для забезпечення оптимальної продуктивності та ефективності в умовах змінних умов роботи. Для цього були проведені дослідження шляхом моделювання системи генерування електроенергії на базі векторно-керованого синхронного генератора з постійними магнітами, що забезпечує ефективну роботу вітрової турбіни при зміні швидкості вітру.

Висновки. За допомогою математичного моделювання було перевірено функціонування розробленої системи векторного керування автономною системою генерування на основі СГПМ. Встановлено, що при низьких швидкостях вітру система працює в режимі регулювання швидкості для максимального використання енергії вітру та забезпечення максимальної ефективності турбіни.

Богдан Конюх, здобувач групи ЕНМ-22М,
Василь Клименко, д-р. техн. наук, професор
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: klymvas@ukr.net

Модернізація системи енергозабезпечення станції водоочистки шляхом застосування біогазової установки

Вступ. У зв'язку зі зростанням цін на традиційні джерела енергії та необхідністю скорочення викидів парникових газів, актуальним завданням є модернізація систем енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії. Одним з перспективних напрямів для станцій очищення стічних вод є застосування біогазових технологій. Отримання енергії зі стічних вод виявляється досить перспективною ініціативою і може сприяти зниженню забруднення водних джерел, зменшенню викидів парникових газів (ПГ), покращенню економічної ефективності і прибутковості очисних станцій. Біогаз, який можна виробити зі стічних вод, представляє собою ефективний енергетичний ресурс.

Постановка проблеми. На даний час існує кілька основних способів утилізації осадів стічних вод - поховання на полігонах, спалювання, компостування, використання в сільському господарстві. Всі вони мають свої недоліки: забруднення довкілля, великі витрати, утворення токсичних речовин. Проте для конкретних промислових стічних вод потрібне більш глибоке розуміння процесів анаеробного перетворення в біогазових установках.

Розв'язання проблеми. Анаеробна утилізація стічних вод є однією з найбільш енергоефективних технологій очищення стічних вод. Цей процес широко використовується в інженерних системах для очищення органічних стоків в біогазових установках. Виробництво біогазу через анаеробне зброджування пропонує безліч переваг, включаючи ефективне управління осадами та мінімізацію забруднень, а також надає важливий альтернативний енергоносій, зменшуючи викиди парникових газів.

Біогазові установки, які функціонують на даний момент, представляють собою автоматизовані комплекси, які можуть працювати в різних технологічних режимах. На практиці застосовуються психрофільні і мезофільні режими, однак при використанні термофільного режиму час окислення знижується до 5...7 діб, це відбувається до значного зниження обсягу споруд, і збільшується обсяг виходу біогазу за рахунок високої ефективності розпаду органічних речовин.

Досвід успішної експлуатації біогазових установок, дозволяє створити високопродуктивні реактори, що дозволяють об'ємне завантаження до 30-40 кг/м³ на добу, а вихід енергії до 400 МДж/м³ реактора на добу.

Висновки. Використання біогазових установок, що працюють на осадах стічних вод, дозволяє вирішити проблему утилізації осаду і водночас отримати цінне джерело енергії. Перевагами є екологічність, замкнутість циклу, зменшення витрат на утилізацію. Недоліком можна вважати високу вартість обладнання. Застосування біогазових установок з анаеробною утилізацією для підприємств є енергоефективним рішенням для підприємств, де треба реалізувати енергоємні процеси з використанням активного мулу.

Очисні підприємства можуть підвищити енергетичну ефективність біогазових установок на основі осадів стічних вод, тому що біогаз, отриманий з осадів, є цінним поновлюваним джерелом енергії.

Іван Попруженко, здобувач групи ЕНМ-22М,
Олена Єрьомко, здобувачка групи ЕЕ-22М,
Іван Савеленко, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: ivan.savelenko@gmail.com

Оптимізація режимів розподільчих мереж з відновлюваними джерелами енергії

Вступ. Інтеграція відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в електромережі є ключовим напрямком розвитку сучасної енергетики. Проте впровадження ВДЕ на рівні мереж 0,4 кВ породжує низку технічних проблем через нерівномірність генерації та непередбачуваність режимів. Тому постає завдання розробки ефективних методів керування для оптимізації роботи таких розподільчих мереж.

Постановка проблеми. Існуючі методики розрахунку режимів розподільчих мереж не враховують особливостей інтеграції ВДЕ. Це пов'язано з недосконалістю інформаційного забезпечення, похибками обліку електроспоживання та складністю прогнозування генерації ВДЕ. Водночас, зростання частки ВДЕ в мережах 0,4 кВ призводитиме до збільшення сумарних втрат електроенергії та погіршення показників якості електропостачання.

Розв'язання проблеми. Аналіз оптимізації розподільчих електричних мереж із використанням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) представляє важливу складову інженерної практики у різних країнах. Розв'язання задач оптимізації, таких як автономна робота ВДЕ, розташування комутаційного обладнання та формування комунікаційної мережі, тісно пов'язані і практично невиконувані в сучасних умовах. Для ефективної роботи автономних ВДЕ, особливо з урахуванням умовної керованості та нестабільності цих джерел енергії, необхідно розвинута комунікаційна мережа.

Впровадження технологій Smart Grid, дозволять оптимізувати режими роботи мереж з ВДЕ. Зокрема, за допомогою прогнозних моделей та двосторонніх каналів зв'язку можна забезпечити узгодження графіків генерації ВДЕ з графіками електроспоживання. Такий підхід дозволить мінімізувати непродуктивні втрати електроенергії, підвищити загальну ефективність використання ВДЕ та поліпшити показники якості електроенергії в мережах. Крім того, інтелектуальні системи керування нададуть додаткові можливості із забезпечення надійності та безперервності живлення споживачів.

Висновки. Інтеграція відновлюваних джерел енергії в мережі 0,4 кВ створює низку технічних проблем, пов'язаних з непередбачуваністю режимів. Існуючі методи розрахунку режимів розподільчих мереж не завжди можуть врахувати особливості функціонування мереж з ВДЕ, що зумовлює необхідність розробки нових підходів.

Застосування інтелектуальних систем керування на базі технологій Smart Grid, які дозволяють оптимізувати режими роботи розподільчих мереж з ВДЕ. Впровадження Smart-технологій допоможе спрогнозувати генерацію від ВДЕ, узгодити графіки генерації та споживання електроенергії з метою мінімізації втрат потужності. Застосування інтелектуальних систем керування дозволить підвищити загальну ефективність використання ВДЕ та поліпшити показники якості електроенергії в мережах 0,4 кВ.

Андрій Огородніков, здобувач групи ЕЕ-22М,
Руслан Телюта, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: teliuta.r@gmail.com
Віктор Ковальов, викл.
 Кропивницький аграрний фаховий коледж
e-mail: kovavik@meta.ua

Діагностування витрати ресурсу ізоляції заглибного електродвигуна

Впровадження новаторських підходів у сфері дослідження заглибних електродвигунів для підвищення експлуатаційної надійності в умовах агропромислового комплексу стає важливим завданням. Насамперед, слід визначити, що електродвигуни цього типу піддаються впливу великої кількості факторів, які можуть негативно впливати на їхню ефективність та тривалість служби.

Заглибний електропривід, складаючись з відцентрового насоса типу ЕЦВ та водозаповненого асинхронного електродвигуна типу ПЭДВ (рис. 1.1 та 1.2), грає важливу роль у забезпеченні необхідного рівня води для різноманітних галузей [1]. Його застосування стає ключовим елементом для забезпечення оптимального водопостачання та регулювання вологості в аграрному секторі, а також для задоволення потреб населених пунктів і промислових об'єктів.

У результаті статистичного аналізу можна відзначити високий рівень аварійності електродвигунів, який може досягати значних значень, що веде до непередбачуваних витрат на ремонт і заміну обладнання. Проведені дослідження вказують на те, що нормований ресурс роботи заглибних електродвигунів нерідко виявляється недосяжним, а фактичний час служби суттєво скорочується.

Одним із ключових факторів, які варто враховувати при аналізі ефективності роботи електродвигунів, є асиметрія напруги та струмів у розподільних мережах. Підключення як трифазних, так і однофазних споживачів може призводити до дисбалансу, що має прямий вплив на роботу електродвигунів та їхню тривалість служби.

Враховуючи особливості умов експлуатації електродвигунів у сільському господарстві, можна виділити низку факторів, що збільшують ймовірність виникнення аварій. До таких факторів можна віднести низьку якість напруги в електромережах, обмежений доступ до технічного обслуговування та інші.

Методи безперервного моніторингу [2], що більш збільшують термін служби занурювальних електродвигунів, базуються на стратегії раннього попередження розвитку процесів пошкодження та зносу ізоляції обмоток та інших елементів.

Для обґрунтування критерію діагностування електродвигуна було записано вираз швидкості зносу ізоляції:

$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\tau_y + \vartheta_{cp} + 273} \right)},$$

де ε_n – номінальна швидкість теплового зносу ізоляції, бгод/год;

θ_n – абсолютна номінальна температура ізоляції даного класу, К;

B – показник, що характеризує ізоляцію даного класу, К.

Дослідження залежності $k_n = f(k)$, $k_p = f(k)$ наведені на рисунку 1 і 2.

На основі графіків визначено, що значення нормального режиму перетворення електричної енергії і витрати ресурсу ізоляції в заглибному електродвигуні, знаходяться в межах від деякого значення до одиниці [3].

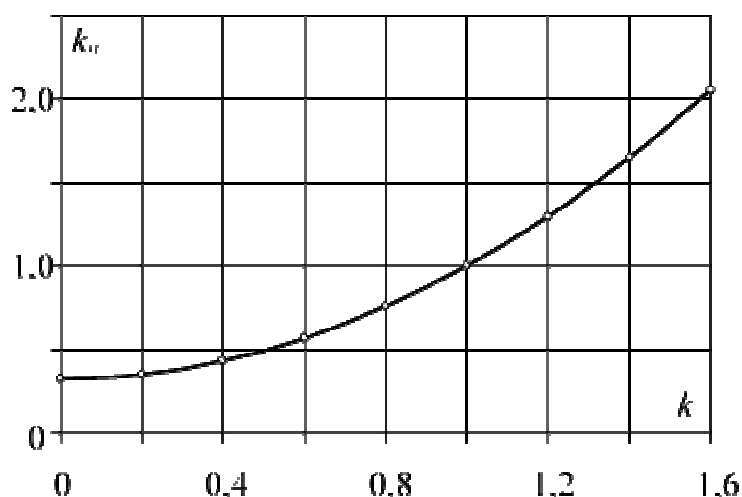


Рисунок 1 - Залежність $k_n = f(k)$ для заглибного електродвигуна.

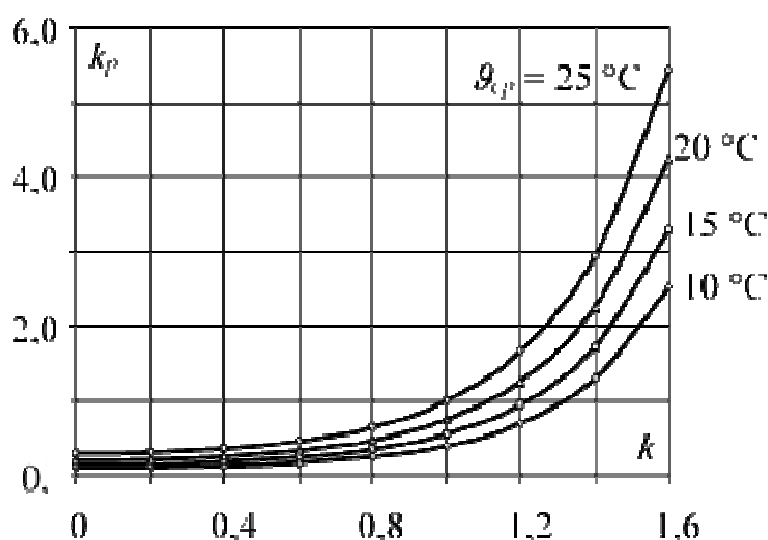


Рисунок 2 - Залежність $k_p = f(k)$ для заглибного електродвигуна.

Таким чином, завданням дослідження є розробка та впровадження нових методів функціонального діагностування режимів роботи заглибних електродвигунів. Математична модель, що враховує теплові перехідні процеси, дозволить більш точно визначати швидкість зносу ізоляції під час різних режимів експлуатації. Впровадження пристроїв діагностування також сприятиме збільшенню оперативності та реагування на можливі аварійні ситуації, зменшуючи витрати на ремонт та підвищуючи загальну ефективність систем електропостачання.

Список літератури

1. Електродвигуни асинхронні заглибні. Загальні технічні умови: ДСТУ 2649-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1995. – 30 с. – (Національні стандарти України).
2. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В.В. Овчаров. – К.: УСХА, 1990. – 168 с.
3. Курашкін С.Ф. Математична модель і пристрій діагностування експлуатаційних режимів роботи електродвигуна заглибного насосу/ С.Ф. Курашкін // Вісник Харківського національного університету сільського господарства «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2010. – Вип. 102. – С. 131-132.

Владислав Вільчинський, здобувач групи ЕЕ-22М,
Руслан Телюта, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: teliuta.r@gmail.com
Сергій Катеринич, викл.
 Кропивницький аграрний фаховий коледж
e-mail: Prophet15@ukr.net

Дослідження витрати ресурсу ізоляції кабельної лінії під дією експлуатаційних факторів

Досвід експлуатації силового електроустаткування показує значну аварійність кабельної лінії, яка приносить додаткові збитки із-за зупинки цілого ряду технологічно пов'язаного устаткування, недовипуску продукції, незапланованих ремонтів і із-за додаткових витрат на відновлення системи енергопостачання. Щорічно виходить з ладу близько 5-7 % силових кабелів. За результатами спостережень за експлуатацією силових кабелів виявлено, що ріст інтенсивності відмов силових кабелів напругою 10 кВ спостерігається після 15 років роботи. Головною причиною є погіршення стану ізоляції. При цьому йдеться, передусім, про зношення або старіння виткової ізоляції обмоток, найбільш схильної до температурних, електричних і механічних дій. Залишковий термін служби силових кабелів найчастіше визначається мірою деградації ізоляції, навантаженням і специфічними умовами роботи [1].

Існуючі форми обслуговування силових кабелів не забезпечують достатню експлуатаційну надійність, тому що не передбачають аналіз поточного технічного стану силових кабелів. Тому дослідження, спрямовані на аналіз режимів роботи силових кабелів, обґрунтування параметрів діагностування і на підставі цього розробку облаштування функціонального діагностування експлуатаційних режимів роботи силових кабелів, дозволять підвищити їх експлуатаційну надійність.

Під час експлуатації силові кабелі випробовують експлуатаційні дії графіку навантаження, температури довкілля, перевантажень, пускових режимів, відхилення напруги на затисках, асиметрії напруги на затисках, зміни умов охолодження, комутаційних перенапружень в живлячій мережі і що виникають в ланцюзі при пусках і відключеннях електродвигунів, поштовхів, вібрацій, вологості довкілля, агресивних середовищ [2].

Розглянемо графік навантаження кабелю рис. 1 і дослідимо графік швидкості теплового зношення ізоляції в квазісталому режимі роботи силового кабелю при постійній температурі навколишнього середовища, яка складає 40°C.

Спочатку визначимо перевищення температури ізоляції в кінцевих точках часу графіка:

$$\tau = \frac{1-\varepsilon}{1-\varepsilon^n} \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon^{n-i} \tau_{i-1}, \quad (1)$$

$$\varepsilon = e^{-\frac{t}{T}}, \quad (2)$$

$$\tau_n = \tau_n \frac{\sigma + \kappa_1^2}{\sigma + 1}, \quad (3)$$

Перевищення температури проводу кабелів в кінці кожної ділянки графіка знаходимо:

$$\tau_i = \tau_n \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) - \tau_{i-1} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (4)$$

Швидкість теплового зношення ізоляції в кінці кожної ділянки графіка навантаження кабелю знаходимо за формулою [3]:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_n e^{B \left(\frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\theta_{cp} - 273} \right)} \quad (5)$$

де B - показник, що характеризує ізоляцію даного класу, θ_n - абсолютна номінальна температура, що відповідає класу ізоляції проводу обмотки трансформатора, θ_{cp} - температура навколишнього середовища, °С.

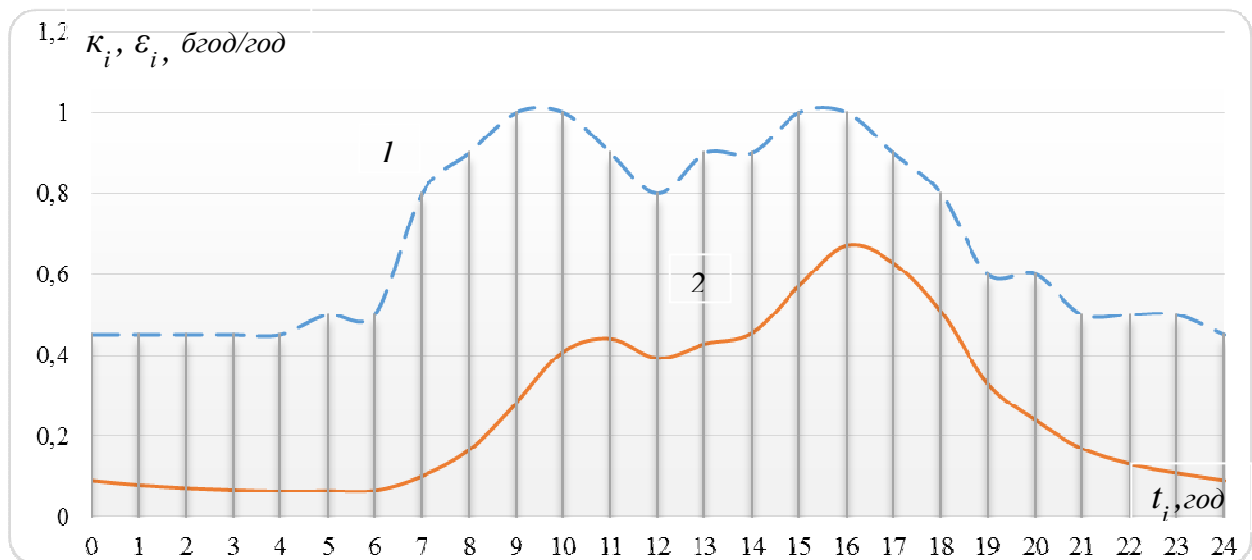
Знаходимо добове значення зношення ізоляції за формулою:

$$E = \sum_{i=1}^{24} t_i \varepsilon_i \quad (6)$$

Розраховуємо добове теплове зношення ізоляції силового кабелю для реального графіка завантаження кабелю та збільшених на 10% і 20%, данні заносимо в табл. 1.

Таблиця 1 - Порівняльна таблиця добового теплового зношення ізоляції силового кабелю при різних графіках завантаження кабелю.

Температура навколишнього середовища, °С	Теплове зношення ізоляції за добу для графіків завантаження		
	реальний	збільшений на 10%	збільшений на 20%
40	6,605	11,957	22,536



1 – коефіцієнт завантаження кабелю, 2 – швидкості теплового зношення ізоляції.

Рисунок 1 - Графіки навантаження та швидкості теплового зношення ізоляції силового кабелю.

На підставі результатів проведеного дослідження можна зробити висновок: вплив графіку навантаження на процес теплового зносу ізоляції відбувається шляхом формування графіку теплового процесу дротів кабелю, який визначає середню швидкість теплового зносу ізоляції за один цикл роботи кабельної лінії, форма графіку навантаження кабельної лінії істотно впливає на величину сумарного теплового зносу ізоляції за цикл роботи. Так, при збільшенні форми графіку навантаження на 10 % видно, що практично в два рази збільшуючи добове теплове зношення ізоляції силового кабелю.

Список літератури

1. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / В.В. Овчаров - К.: УСХА, 1990. - 168 с.
2. Курашкін С.Ф. Механізм пошкодження елементів конструкції силового трансформатора / С.Ф. Курашкін, І.О. Попова. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки. // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Вип.186. – Харків: ХНТУСГ, 2017. – С.62-63.
3. Безменнікова Л.М. Математична модель діагностування функціонального стану силових трансформаторів сільських підстанцій // Праці ХНТУСГ. - Випуск 43, том 1. -Харків: ХНТУСГ, 2006. - С.197-201.

Василь Кривопляс, здобувач групи ЕНМ-22М,
Руслан Телюта, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: teliuta.r@gmail.com
Анна Телюта, викл.
Кропивницький аграрний фаховий коледж
e-mail: annateliuta@gmail.com

Використання кабельної системи опалення для обігріву приміщень

Електричне опалення в нашій країні розвивається вже понад сорок років, але набуло особливої актуальності під час газових криз, після чого є альтернативою газовому та іншим видам опалення на викопному паливі. Вибір оптимального способу обігріву вимагає розробки різноманітних проектів, методик, наукових досліджень та аналізу експлуатаційних характеристик.

Використання електроенергії для потреб теплопостачання перебуває в стані активного розвитку в Україні. Існує широкий спектр електроопалювальних систем - від простих систем прямого обігріву до комплексних багаторівневих рішень.

Кожен вид електроопалення характеризується своїм набором техніко-економічних показників та споживчих властивостей. Часто оптимального вибору рішення серед кількох варіантів є неоднозначним і потребує застосування спеціальної методики для техніко-економічного обґрунтування, проведення досліджень на пілотних об'єктах.

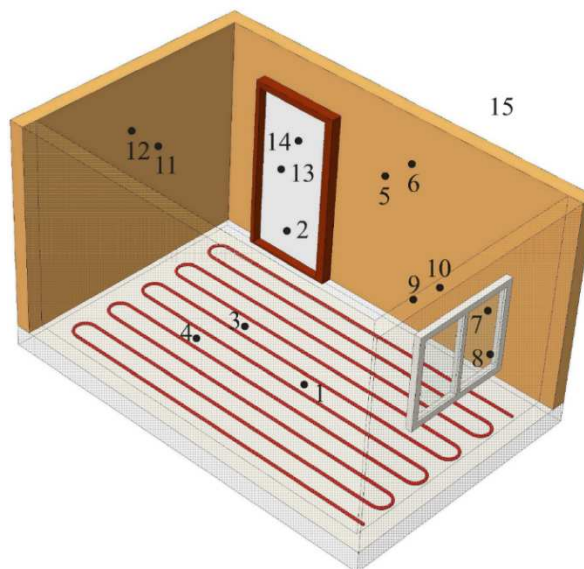
Енергетичні компанії використовують політику стимулювання споживання електроенергії в нічний період для вирівнювання добових графіків навантаження. Такі заходи спрямовані на подальше вдосконалення тарифної системи та збереження пільгових нічних тарифів. З огляду на інвестиційні та експлуатаційні витрати, можливість регулювання, відносно екологічність та комфортність, впровадження електрообігріву є техніко-економічно обґрунтованим.

Одним із найбільш перспективних напрямків застосування електроенергії для теплопостачання визнано електротеплоаккумуляційне опалення. У різних регіонах надають перевагу електродотам з акумуляторами або кабельними системами, що потребує подальшого аналізу [1].

Централізоване виробництво та локальне споживання електрики для опалення реалізує точний принцип впровадження електрообігріву. Електроопалення фактично є єдиним видом, що забезпечує можливість системного індивідуального теплопостачання на рівні квартири.

Перспективним напрямком підвищення енергоефективності електрообігріву є перехід на електротеплоаккумуляційні (ЕТА) системи, зокрема кабельні, які працюють у нічному режимі за зниженим тарифом. Основні переваги кабельних ЕТА-систем: значна площа теплообміну, накопичення тепла, плавне регулювання, безшумність, автоматичне зонування температури. ЕТА-опалення, особливо на базі кабельних систем, є актуальним з енергетичної та економічної точки зору, що дозволяє економити кошти за допомогою традиційних систем. Екологічність ЕТА-системи виникне у можливості використання відновлюваних джерел для виробництва електроенергії та зниження техногенного навантаження. ЕТА-системи забезпечують оптимальний температурний режим і комфорт у цьому випадку за рахунок акумуляції та рівномірного розподілу тепла. За допомогою спрощеного теплофізичного підходу визначено ключові параметри, що впливають на динаміку процесу ЕТА-опалення з

урахуванням теплоаккумуляції, а також отримано загальне виявлення про динаміку нагрівання та охолодження (рис 1.) [2].



1 – опалювальна підлога; 2 - внутрішнє повітря приміщення; 3,4,9,10 - вузли на зовнішніх огородженнях (підлога, стіни); 5,6,11,12 - вузли на внутрішніх огородженнях (стіни); 7,8 - вузли на вікнах; 13,14 - вузли на дверях; 15 - зовнішнє навколишнє повітряне середовище.

Рисунок 1 - Комп'ютерна модель розташування вузлових точок у опалювального приміщені.

Для детальних розрахунків застосовуються чисельні методи з урахуванням теплофізичних властивостей, граничних умов, геометричних приміщень та монтажу кабелів. Аналіз показав, що досягаються критерії 0,1 м товщини бетонного накопичувального шару (близько нормативної глибини різкого коливання температури). Подальше загасання хвилі відбувається повно, максимальна температура асимптотично наближається до $+28^{\circ}\text{C}$. Потовщення шару не дає нормованої температури, тому потрібні додаткові опальні прилади. Моделювання включало розв'язання нестационарних задач теплообміну в системі "кабель-підлога-приміщення-огородження-середовище" за різними умовами та параметрами.

Позитивним висновком є можливість забезпечити задані параметри мікроклімату навіть у найхолодніший день за рахунок ЕТА-кабельного обігу в нічні години провалу нагріву. Мають значний вплив параметрів, зокрема теплоізоляції та теплоаккумуляції конструкцій, на теплостійкість приміщення.

Електрообігрів є мабуть єдиним видом опалення, який уможливить системне впровадження індивідуального поквартирного теплозабезпечення.

Застосування електроенергії для теплопостачання, особливо електротеплоаккумуляційні технології набувають все більшого поширення як ефективні, економічні та екологічно чисті рішення для опалення житлових та громадських будівель та має значний потенціал в Україні, що потребує додаткового вивчення. Ця система опалення також забезпечує необхідний тепловий комфорт, електромагнітну безпеку та пожежну безпеку. В цілому, в умовах України ЕТА-обігрів є реальною альтернативою традиційним системам опалення для будь-яких житлових приміщень.

Список літератури

1. Корчемний М. Енергозбереження в агропромисловому комплексі / Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. - Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. - 984с.
2. Енергоощадна технологія електротеплоаккумуляційного обігріву в житлово- комунальному та аграрно-промисловому комплексах України. Відповідальний редактор к. т. н. Д. Й. Розинський - К: Видавництво Купріянова О.О. - 2007. - 272 с.

Олексій Дяченко, здобувач групи ЕЕ-22М,
Валентин Солдатенко, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kirovograd41@gmail.com

Підвищення ефективності роботи системи автоматичного керування вітроелектричної установки

Актуальним питанням для сучасного суспільства та його господарської діяльності є стрімке зростання рівня енергопотреб. Одночасно із збільшенням енергоспоживання зростає необхідність економного використання природних ресурсів та зменшення шкідливого впливу на довкілля. Це зумовлює підвищення зацікавленості у розробці, впровадженні та вдосконаленні енергоустановок на базі альтернативних джерел енергії, зокрема і вітрової енергії. На стадії проектування вітрових електростанцій, варто враховувати, що швидкість обертання вітроколеса безпосередньо залежить від швидкості вітрового потоку. Водночас, для максимально ефективної роботи електричного генератора і задоволення вимог до показників якості електроенергії, потрібно забезпечувати постійну швидкість обертання ротора електричного генератора.

Тому залишається актуальним питання забезпечення належних показників якості електроенергії при роботі вітроелектростанцій за несталих умов вітрового навантаження.

Виділяють три основні підходи до стабілізації параметрів вихідної напруги вітроелектростанцій:

Перший підхід використовує механічне керування положення лопатей вітроколеса або застосування спеціальних механічних пристроїв для фіксації швидкості обертання ротора генератора. Проте такі системи мають суттєві недоліки: великі втрати енергії вітрового потоку, складність, дорожня конструкція та низька надійність.

Другий підхід передбачає електричне керування шляхом впливу на генератор чи перетворювач енергії. Цей підхід дозволяє ефективніше використовувати енергію вітру, оскільки лопаті працюють в оптимальному режимі максимального відбору потужності від потоку повітря. Крім того, застосування сучасної електроніки робить систему дешевшою і надійнішою порівняно з механічним управлінням.

Третій підхід втілює комбіноване управління, що поєднує механічні та електричні методи регулювання. Такий підхід дозволяє досягти максимальної ефективності, проте потребує складніших алгоритмів керування.

Отже, найперспективнішим видається застосування електронних систем керування, можливо, в поєднанні з допоміжними механічними пристроями. Пріоритетним завданням є розробка ефективних алгоритмів управління вітроустановкою за складних і мінливих умов вітрового навантаження.

Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності режимів роботи вітроелектричних установок шляхом удосконалення процесу керування перетворювачем частоти з керованим випрямлячем.

Список літератури

1. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков; Міністерство освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
2. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

Микола Дзидик, здобувач групи ЕЕ-22М,
Валентин Солдатенко, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kirovograd41@gmail.com

Підвищення якості електропостачання споживачів за рахунок використання малопотужних фотоелектричних станцій

На даний час використання енергії відновлюваних джерел є доволі поширеним та популярним способом отримання електроенергії. Такі джерела застосовують для забезпечення власних потреб, а також для зменшення споживання енергії з традиційних ресурсів, економії коштів на виробництві та покращення показників якості електроенергії. Подальший розвиток малої генерації на базі поновлюваних джерел у майбутньому може забезпечити не лише економію витрат окремих суб'єктів господарювання, а й побудову автономних систем електроживлення у місцях, віддалених від централізованого електропостачання.

Перевагами децентралізованої моделі енергопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії є підвищення енергетичної самодостатності регіонів, скорочення втрат електроенергії в мережах, можливість застосування в автономних системах. Водночас, масове підключення малих генераторів вимагає належної підготовки електромереж та ретельного дотримання стандартів якості електроенергії, що робить питання показників якості актуальним.

Метою роботи є покращення якості електропостачання в системах електрозабезпечення з використанням розосередженої генерації на основі сонячних фотоелектричних станцій малої потужності.

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні задачі: виконаний аналіз питання забезпечення показників якості та надійності електропостачання при підключенні установок з відновлюваними джерелами енергії до мікромереж; визначено доцільні види систем електрозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії в якості активних споживачів та вимоги до їх функціонування; досліджено вплив установок розосередженої генерації на режими роботи системи електропостачання при регулюванні потужності джерел живлення та визначено можливість їх впливу на показники якості та надійності електропостачання; розроблено заходи з охорони праці та пожежної безпеки під час виконання робіт з експлуатації та технічного обслуговування обладнання.

Під час виконання досліджень були застосовані методи теорії електричних кіл, методи системного аналізу, математичне моделювання з використанням пакету MS Excel та MathCAD.

Список літератури

1. Порядок забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій за їх недотримання [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0375874-18#n11>.
2. ДСТУ EN 50160:2014 [Електронний ресурс] // НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.en.lg.ua/images/stories/2019/standart-yakosti.pdf>

Марина Лекарь, здобувачка групи ЕЕ-22М,
Валентин Солдатенко, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kirovograd41@gmail.com

Визначення доцільного місця приєднання сонячної електростанції в розподільній електричній мережі

На сучасному етапі розвитку розподільних електричних мереж спостерігається тенденція до зростання кількості споживачів електроенергії та підвищення навантаження на розподільні електричні мережі. Це породжує проблеми із забезпеченням належної якості електропостачання. Основними показниками якості електроенергії є рівень напруги, частота струму, симетрія напруги та коефіцієнт гармонічних спотворень. Відхилення даних параметрів може спричинити поломки електрообладнання або скорочення терміну його служби.

Підвищити надійність та якість електропостачання дозволяє інтеграція в мережу розподілених генераторних систем. Втім важливо враховувати їх оптимальний розмір та розташування. В іншому разі це може негативно вплинути на параметри електроживлення та роботу всієї системи.

На даний час розроблено різноманітні потужні інструменти оптимізації для ефективного визначення доцільних місць інтеграції додаткової генерації електроенергії. Тому методи оптимізації постійно вдосконалюються і нещодавно стали предметом численних наукових досліджень. Отже, постає необхідність розглянути сучасні підходи до покращення показників якості електроенергії шляхом вирішення завдання розміщення та визначення потужності розподілених генераторних установок на базі відновлюваних джерел енергії.

Також доцільно здійснити техніко-економічне порівняння ефективності інтеграції сонячних електростанцій та традиційного методу підвищення рівня напруги в мережі за рахунок заміни кабелю на більший за перерізом.

Мета і задачі дослідження. *Метою роботи* є забезпечення нормативного рівня напруги у вузлах розподільної електричної мережі з номінальною напругою 0,4 кВ за рахунок раціонального вибору кількості, потужності та місця інтеграції сонячних електричних станцій.

Для досягнення мети в були вирішені такі задачі: розглянуто стан питання розвитку відновлюваної енергетики в світі та Україні питання їх використання в розподільних електричних мережах; розроблена математична модель розподільної електричної мережі та дослідити режими її роботи за умови зміни величини навантаження у вузлах; досліджено вплив інтеграції генеруючих потужностей сонячних електростанцій у вузли розподільної мережі на режим напруги в них з визначенням доцільного місця установки електростанцій, їх кількості та потужності; виконано розрахунок техніко-економічних показників заходів із модернізації розподільної електричної мережі; розроблені заходи із охорони праці та техніки безпечної експлуатації сонячних електростанцій.

Список літератури

1. K. Nara, Y. Hayashi, K. Ikeda, and T. Ashizawa, "Application of tabu search to optimal placement of distributed generators," in Proc. 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, pp. 918-923.
2. T. K. A. Rahman, S. R. A. Rahim, and I. Musirin, "Optimal allocation and sizing of embedded generators," in Proc. 2004 National Power and Energy Conference, pp. 288-294.

Денис Нетюхайло, здобувач групи ЕНМ-22М,
Валентин Солдатенко, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kirovograd41@gmail.com

Система електрозабезпечення на основі комбінованого електропостачання з використанням сонячної електростанції та електроакумуляторів

Актуальність теми. Надійне електропостачання малопотужних електроспоживачів можливо організувати за рахунок використання різнорідних джерел живлення в рамках комбінованих систем. Для підвищення надійності та автономності роботи таких систем все більшого застосування знаходять установки, що використовують енергію відновлюваних джерел. Зважаючи на доступність випромінювання Сонця практично в будь-якій точці стрімко розвиваються та знаходять використання сонячні фотоелектричні установки саме для електропостачання віддалених від центрів живлення об'єктів. Проте при розробці схем електропостачання на базі сонячних фотоелектричних станцій потребують врахування щосезонні та щодобові коливання надходження сонячного випромінювання для різних регіонів, а також необхідність застосування накопичувачів енергії й додаткових джерел електроенергії з метою покриття дефіциту електроенергії в темний час доби та за хмарної погоди. З цією метою знайшли застосування в якості найзручнішого засобу для згладжування нерівномірності виробництва електроенергії фотоелектричними

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення надійності та економічності електрозабезпечення об'єктів віддалених від централізованих систем електропостачання за рахунок раціональної побудови комбінованої системи електропостачання та режимів її роботи.

Для досягнення мети вирішені наступні задачі: проведений аналітичний огляд питання використання фотоелектричних перетворювачів та батарей акумуляторів в складі комбінованих систем для електропостачання; здійснений аналіз об'єкту електропостачання з побудовою графіків споживання потужності та розрахунком споживання електроенергії; вибране основне обладнання комбінованої системи електропостачання з розробкою схеми їх з'єднання; досліджено режими роботи складових елементів комбінованої системи електропостачання для кожного місяця з оцінкою енергетичних балансів та надійності роботи системи.

Список літератури

1. Вибір системи електропостачання з відновлювальними джерелами / Т.Г. Сабірзянов, П.Г. Плешков, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. Вип. 117. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Харків: ХНТУСГ, 2011 – С. 17–19.

Артем Видиш, здобувач групи ЕНМ-22М,
Валентин Солдатенко, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kirovograd41@gmail.com

Система оптимального керування величиною відбору потужності фотоелектричних батарей сонячних станцій

Перетворення енергії сонячної інсоляції у сучасних фотоелектричних установках та системах на їх основі складає близько 5-10%. За ясної літньої погоди на квадратний метр поверхні, нормальної до сонячних променів, надходить до 1000 Вт енергії світлового випромінювання. Проте на виході фотоелектричних установок до споживача передається значно менше енергії. Причиною тому є занадто низьке значення коефіцієнта корисної дії кремнієвих фотоелементів, та недовикористанням генерувального потенціалу сонячних батарей. Низька ефективність використання енергії сонячного випромінювання до 30% викликана тим, що у більшості фотоелектричних установок автономного типу відсутні систем регуляторів максимальної потужності, хоча їх застосування є доцільним при проектуванні як систем з рухомими сонячними панелями (з автоматичним слідкуванням за Сонцем), так і з нерухомими. Впровадження екстремальних регуляторів дозволяє повніше використовувати генераційний потенціал сонячних батарей та підвищити загальну ефективність автономних фотоелектричних установок.

Існує низка методів екстремального регулювання потужності фотоелектричних батарей, проте на даний момент не досліджено питання їх переваг стосовно систем на основі фотоелектричних перетворювачів і не встановлене оптимальне співвідношення параметрів самої системи екстремального регулювання потужності сонячних батарей. Тому подальші дослідження задля вибору найефективніших алгоритмів управління та налаштувань екстремальних регуляторів у складі автономних фотоелектричних установок є актуальними.

Метою роботи є підвищення ефективності використання енергії сонячного випромінювання в системі з фотоелектричними перетворювачами за рахунок удосконалення екстремального регулювання їх потужності.

Для досягнення мети вирішені наступні задачі: виконано аналіз питання побудови та особливості експлуатації фотоелектричних систем автономного типу; досліджено методи проектування енергоефективних фотоелектричних станцій автономного типу; виконане порівняння способів екстремального регулювання потужності фотоелектричних батарей; розроблена комп'ютерну імітаційна модель фотоелектричної системи автономного типу з системою екстремального регулювання потужності; досліджені режими роботи фотоелектричної системи з екстремальним регулюванням потужності на комп'ютерній імітаційній моделі.

Список літератури

1. Hohm D. P., Ropp M. E. Comparative study of maximum power point tracking algorithms using an experimental, programmable, maximum power point tracking test bed //Photovoltaic Specialists Conference, 2000. Conference Record of the TwentyEighth IEEE. – IEEE, 2000. – С. 1699-1702.
2. Hohm D. P., Ropp M. E. Comparative study of maximum power point tracking algorithms //Progress in photovoltaics: Research and Applications. – 2003. – Т. 11. – №. 1. – С. 47-62.

Андрій Ключар, здобувач групи ЕЕ-22Мз,
Валентин Солдатенко, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: kirovograd41@gmail.com

Розробка системи накопичення електричної енергії на основі гідроакумулюючої установки

В сучасній сонячній та вітровій енергетиці гостро постає питання акумулювання та зберігання електроенергії через стохастичність та мінливість її надходження протягом доби. Ефективне та надійне електропостачання можна забезпечити за допомогою систем акумулювання, що перетворюють енергію відновлюваних джерел у потенційну енергію води шляхом її підйому електронасосами у резервуар-акумулятор з подальшим використанням за потребою. Застосування саме гідроакумулюючих станцій обумовлено порівняно невисокою вартістю цієї технології та прийнятним рівнем ризиків за наявності відповідних топографічних та гідрологічних умов.

Метою роботи є вибір параметрів системи акумулювання електричної енергії на основі гідроакумулюючої установки із замкнутим циклом використання води та дослідження режимів її роботи шляхом моделювання.

Для досягнення мети вирішені наступні задачі:

1. проведений порівняльний аналіз сучасних технологій акумулювання електричної енергії та можливості їх використання для накопичення та зниження нерівномірності вироблення енергії від відновлюваних джерел;
2. удосконалено математичну модель комбінованої системи акумулювання електричної енергії на основі гідроакумулюючої установки з гідронасосом та живленням електричних насосів від фотоелектричних батарей за умови замкнутої циркуляції води;
3. розроблена комп'ютерну імітаційну модель системи акумулювання та її складових елементів;
4. виконано моделювання роботи системи акумулювання з визначенням енергетичних показників елементів та аналізом ефективності роботи системи.

З проведеного аналізу встановлено що гідроакумулюючі станції та пневмоакумулюючі системи здатні забезпечувати значні обсяги потужності (кілька ГВт) протягом декількох хвилин з середнім ККД близько 70%. При цьому термін їх експлуатації може перевищувати 50 років. Механічні маховики і батареї реагують швидше за час менше 1 с, проте мають обмеження за потужністю та енергоємністю (до 100 МВт). Супер конденсатори та магнітні системи здатні забезпечити до 10 МВт (питома потужність до 120 000 кВт/м³), але поки що недостатньо зрілі для широкого застосування в мережах. Перспективною технологією для довготривалого зберігання великих обсягів енергії є водень. Основна проблема – низький ККД (близько 50 %) через сучасні методи конверсії.

Список літератури

1. Y. He, S. Guo, J. Zhou, F. Wu, J. Huang, H. Pei, The quantitative techno- economic comparisons and multi-objective capacity optimization of wind- photovoltaic hybrid power system considering different energy storage technologies/ Y. He et al. Energy Conversion and Management. 2021. № 229. С. 113.
2. П.Ф. Васько, А.П. Вербовий, М.Р. Ібрагімова, С.Т. Пазич. Гідроакумулювальні електростанції – технологічна основа інтеграції потужних вітро- та фотоелектричних станцій до складу електроенергетичної системи України // Гідроенергетика України. 2017. №1-2., с. 20-25.

Андрій Жердій, здобувач групи ЕНМ-22М,
Олександр Сіріков, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: asirikov@i.com

Аналіз можливості використання елементів Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності

При отриманні тепла необхідного для опалення та гарячого водопостачання зазвичай використовується природний газ. Але за останній час спостерігається зростання зацікавленості в використанні альтернативних джерел палива, таких як пілети, брикети та дрова. Проте, швидкий розвиток попиту випереджає темпи виробництва, що спричиняє дефіцит та зниження якості таких альтернативних видів палива. Поряд з цим існує логістична проблема їх доставки. Використання електричної енергії для опалення, хоч і не потребує значних витрат на обладнання, але є найбільш витратним способом з точки зору вартості одиниці отриманого тепла.

Одним з найбільш ефективних та екологічно чистих джерел тепла є використання теплових насосів. Хоча вони і мають найменшу вартість на одиницю отриманого тепла в порівнянні з іншими видами палива, їх високі капіталовкладення стримують їх широке впровадження в побуті. Також в деяких випадках існують технічні труднощі у застосуванні теплових насосів, коли вони використовуються як джерело тепла ґрунт або воду. Найбільш поширеним варіантом є використання оточуючого повітря, як джерела тепла для теплових насосів завдяки легкодоступності.

Однак, недоліком всіх типів компресорних теплових насосів малої потужності є складнощі у їх створенні та виробництві. Так, найменша потужність теплового насоса «повітря-повітря» складає 2,5 кВт, що є достатньою для опалення приміщення площею 50 м², якщо воно добре утеплене. Тому, при застосуванні компресорних теплових насосів для опалення менших або краще утеплених приміщень відбувається невикористання встановленої потужності, що може призвести до погіршення техніко-економічних показників теплового насоса. Наявність в компресорі теплових насосів рухомих вузлів обмежує їх надійність та тривалість служби. Загустіння масла в компресорі під час морозів вимагає спеціального старту.

Ми вирішили проаналізувати можливість використання елементів Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності. Їх перевагою є відсутність рухомих вузлів, що значно спрощує конструкцію та підвищує надійність самого теплового насоса. Керування тепловою продуктивністю можливе шляхом регулювання струму через елементи за допомогою керованого випрямляча. Здешевлення виробництва елементів Пельтьє в останні часи робить їх використання в теплових насосах конкурентоспроможним. Водночас, тепла ефективність елементу Пельтьє, яка виражається коефіцієнтом перетворення теплоти - COP, значно залежить від різниці температур між з'єднаннями та сили струму, та за думкою деяких експертів, не може перевищувати 1,5. Отже, дослідження теплоелектричних характеристик елементів Пельтьє є важливою науково-практичною задачею, що потребує вирішення.

Список літератури

1. Сіріков О.І., Козаков М.М. Використання ефекту Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності. Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція м. Кропивницький, 16-17 листопада 2017 р., – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – С. 122-124.

Олег Миронюк, здобувач групи ЕЕ-22М,
Олександр Сіріков, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: asirikov@i.com

Способи і заходи зниження несиметрії напруг і струмів ТЯГОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Система електричної тяги однофазного змінного струму з напругою 25 кВ та частотою 50 Гц, за своєю природою, виконує несиметричний відбір електроенергії з трьохфазної електроенергетичної системи. Це призводить до того, що зовнішня система отримує навантаження несиметричними фазовими струмами, що в свою чергу спричиняє несиметрію напруги в електричній мережі.

Несиметрія струмів викликає ряд негативних наслідків:

– збільшення втрат електроенергії через нерівномірність завантаження фаз у системі електропостачання;

– зменшення пропускної здатності ліній та трансформаторів енергосистеми;

– неповне використання потужності трансформаторів та генераторів;

– додаткове нагрівання обмоток електродвигунів та генераторів;

– виникнення несиметрії напруги в вузлах електромережі.

Несиметрія напруги, в свою чергу, призводить до таких негативних наслідків:

– зниження механічної потужності електродвигунів;

– підвищене нагрівання трансформаторів, з чим пов'язано пришвидшене скорочення їхнього терміну служби;

– нестійка робота перетворювачів частоти.

Зменшити несиметрію напруги, що виникає внаслідок підключення однофазних електричних приймачів, можна до прийнятних значень за допомогою схемних рішень або застосовуючи спеціальні симетрувальні пристрої.

Раціонально підключати споживачів, які викликають несиметрію, до вузлів електромережі, де потужність короткого замкнення перевищує потужність однофазних приймачів щонайменше в 50 разів. Це забезпечує утримання коефіцієнту зворотної послідовності по напрузі в допустимих межах. Наприклад, ефективним є підключення однофазних споживачів через окремі трансформатори до шин з напругою 110-220 кВ, де значення струму короткого замкнення є значно вищим. В ряді ситуацій зменшення несиметрії напруг може бути досягнуто раціональним розподілом навантажень між фазами. У випадках, коли неможливо досягти необхідного рівня несиметрії напруг за допомогою схемних рішень, можуть бути використані спеціальні симетрувальні пристрої.

Автотрансформаторні системи електропостачання з двома однофазними трансформаторами на кожній тяговій підстанції стали найбільш поширеними на підстанціях залізниці. Цей метод живлення призводить до струмової несиметрії на рівні 50% при симетричному однофазному навантаженні в контактній мережі.

Щоб зменшити несиметрію струмів у трифазній мережі на тягових підстанціях, одним із заходів є використання трифазних трансформаторів типу «зірка-трикутник». В цьому випадку до виводів вторинних обмоток трифазного трансформатора під'єднуються автотрансформатори, що створюють напругу між контактним та живлячим проводами в двічі більше, ніж між колією і контактним проводом.

При застосуванні трифазних трансформаторів у автотрансформаторній схемі електропостачання, а також в системі без автотрансформаторів, існують недоліки, які залишаються незмінними. Один з них полягає у неможливості регулювання напруги на

різних гілках живлення через значну різницю втрат напруги між відстаючими та випереджаючими фазами трансформаторів, а також у неповному використанні їх потужності.

Як правило, для живлення контактних проводів тягової мережі зазвичай використовуються лише дві обмотки з трьох на вторинному боці трифазного трансформатора. Отже, вторинна обмотка, з'єднана трикутником, фактично утворює елемент двохфазного кола, де напруги зміщені одна відносно однієї на 120 або 60 градусів. Це призводить до струмової несиметрії на рівні 50%. При каскадному підключенні трифазних трансформаторів при рівномірному навантаженні фаз на вторинному боці усього трансформаторного перетворювача несиметрія залишається.

З метою зменшення несиметрії струмів для ліній високої напруги застосовують однофазні трансформатори. Їх підключають так (рис. 1), щоб кут між напругою на одній з вторинних обмоток трифазного трансформатора, до якої через автотрансформатор підключені еквівалентні навантаження, і напругою на вторинній обмотці однофазного трансформатора складав 60° . У такому випадку несиметрія струмів у живильній мережі буде мінімальною. Коефіцієнт несиметрії в трьохфазному трансформаторі залишиться на рівні 100%. Отже, одна з фаз трансформатора буде працювати з перевантаженням, а інші дві з недовантаженням. Використання однофазного трансформатора в цій схемі необхідне для перерозподілу струмів у трьохфазній лінії живлення, тобто для досягнення симетрії.

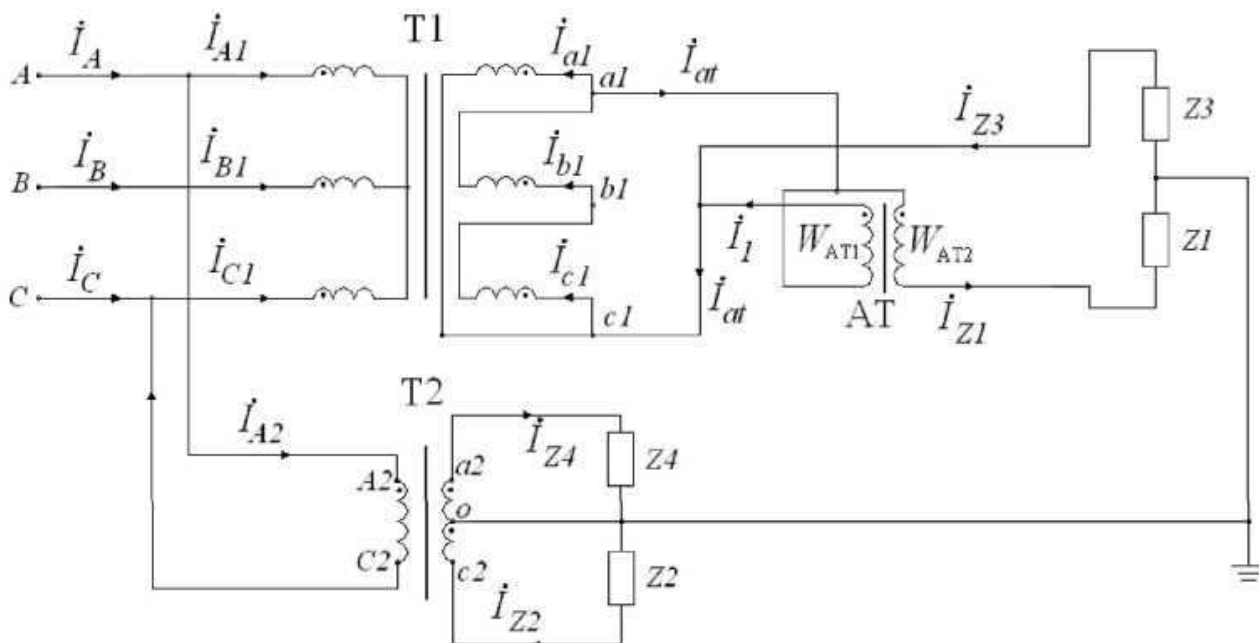


Рисунок 1 - Схема тягової підстанції з комбінованим включенням трифазного та однофазного трансформаторів

Для отримання найбільш симетричного завантаження фаз в схемі електропостачання 2×25 кВ можливо використати перетворювач фаз на базі схеми Скотта. Який забезпечує нульову струмову несиметрію при рівномірному навантаженні фаз на вторинній обмотці.

Список літератури

1. Сіріков О.І., Фоменко М.Г. Заходи та засоби зниження несиметрії напруг і струмів тягових навантажень. Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві (АКІТ-2018): міжнародна науково-практична інтернет-конференція м. Кропивницький, 15-16 листопада 2018 р., – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2018. – С. 115-116.

Юрій Стрільчук, здобувач групи ЕЕ-22М,
Олександр Сіріков, канд. техн. наук, доцент
 Центральноукраїнський національний технічний університет
 e-mail: asirikov@i.com

Обґрунтування можливості застосування напруги 660 В

Основною номінальною напругою електроприймачів залишається 380/220 В. Втім на деяких промислових підприємствах напруга 380 В не може забезпечити оптимальне електропостачання, що робить актуальним розгляд питання підвищення цієї напруги. Так, економічність напруги 660 В в порівнянні з напругою 380 В пояснюється тим, що вартість трифазних трансформаторів і електродвигунів, а також апаратури керування виготовлених на напругу до 500 В, при переході на 660 В або не збільшиться, або зросте лише на 5-15%. При напрузі 660 В пропускна здатність мережі зростає в $\sqrt{3}$ рази, що означає, що мережа може передавати більшу потужність порівняно з напругою 380 В. Втрати електроенергії також зменшуються в 3 рази при збереженні перетину провідників. Крім того, якщо переріз жил знизити на одну ступінь, то втрати електроенергії зменшаться приблизно в 2 рази. Кабелі виготовляються на напругу до 1000 В, що дозволяє їх застосовувати на 660 В.

Для визначення області застосування напруги 660 В потрібно порівняти первинні питомі капітальні вкладення і втрати потужності на 1 кВт встановленої потужності двигуна для окремих елементів електричної схеми при напругах 380 і 660 В відповідно. При цьому слід порівняти вартість кабелів, трансформаторів та іншого обладнання для обох напруг. Отже, для визначення області застосування напруги 660 В необхідно провести комплексний аналіз всіх аспектів електричної системи та порівняти результати для обох напруг.

Капітальні вкладення.

Електродвигун. Різницю у витратах на 1 кВт встановленої потужності двигунів можемо визначити з виразу

$$\Delta d_{\text{д}} = -(0,15k_1d_{1\text{ср}} + 0,05k_2d_{2\text{ср}}) \text{ грн/кВт},$$

де k_1 і k_2 – частка потужностей двигунів від їх сумарної потужності, для яких вартість при напрузі 660 В збільшиться відповідно на 15 і 5 %; $d_{1\text{ср}}$, $d_{2\text{ср}}$ – відповідно середньозважені питомі вартості двигунів при напрузі 660 В, що збільшаться на 15 і 5 %. Визначаються, як відношення сумарної вартості всіх двигунів групи до сумарної встановленої потужності цієї групи.

Апаратура керування. Зазвичай для управління трифазними електродвигунами використовують магнітні пускачі та блоки керування. З урахуванням того, що при напрузі 660 В струм знижується в $\sqrt{3}$ рази, питома вартість пристрою для напруги 660 В буде або нижчою, або такою ж, як і вартість пристрою для напруги 380 В.

Розподільча і живильна мережа. При застосуванні 660 В питомий струм на 1 кВт встановленої потужності електродвигуна зменшується в $\sqrt{3}$ разів, що дозволяє зменшити переріз проводу на одну-дві ступені порівняно з перерізом при напрузі 380 В. Це зменшення перерізу проводу призводить до невеликого зниження питомої вартості розподільної мережі. При напрузі 660 В можна обмежитися зменшенням перерізу лише на одну ступінь або взагалі не змінювати його.

Трансформатори і апаратура високої напруги. Витрати на одиницю встановленої потужності трансформаторів та апаратури високої напруги визначається за виразом:

$$\Delta d_{\text{ВН}} = (N_{\text{ком}}K_{\text{ком}} + N_{\text{тр}}K_{\text{тр}} + L_{\text{кл}}K_{\text{кл}})/N_{\text{тр}}P_{\text{тр}},$$

де $K_{\text{ком}}$, $K_{\text{тр}}$ і $K_{\text{кл}}$ – відповідно капіталовкладення в комірки, трансформатори та питомі капіталовкладення на одиницю довжини кабельної лінії; $N_{\text{ком}}$, $N_{\text{тр}}$ і $L_{\text{кл}}$ – відповідно кількість комірок, трансформаторів і сумарна довжина кабельної лінії по перерізам, $P_{\text{тр}}$ – активна потужність трансформатора (може бути прийнята за повною потужністю трансформатора з

урахуванням номінального або середньозваженого $\cos\phi$).

Для класу напруги 690/400 В у витратах на одиницю встановленої потужності трансформаторів та апаратури високої напруги також необхідно ще додатково врахувати капіталовкладення на встановлення освітлювального трансформатору.

Різниця в питомій вартості при класах напруг 380 та 660 В. Отже, можна визначити загальну різницю в питомій вартості для схем електропостачання при класах напруг 380 і 660 В:

$$\Sigma\Delta d = \Delta d_d + \Delta d_k + (\Delta d_{BH1} - \Delta d_{BH2}) \text{ грн./кВт},$$

де Δd_k – різниця питомої вартості електричної мережі при класах напруг 380 і 660 В відповідно (в першому наближенні можна прийняти, що $\Delta d_k = 0$).

Питомі втрати потужності в елементах схеми електропостачання.

Електродвигун. При зміні класу напруги з 380 В на 660 В додаткові питомі втрати потужності в двигунах можна визначити за формулою:

$$\Delta P_d = 8k_1 + 4k_2 \text{ Вт/кВт.}$$

Розподільча мережа. Різниця в питомих втратах при зміні класу напруги на 660 В з 380 В може бути визначена за формулою:

$$\Delta P_{p.c} = 3\rho k_n^2 P_d \left(\frac{i_1^2}{s_1} - \frac{i_2^2}{s_2} \right) \text{ Вт/кВт м},$$

де ρ – питомий опір провідників, k_n – коефіцієнт використання двигуна, P_d – потужність двигуна, i_1 і i_2 – струм при класах напруги 660 та 380 В.

Живильна мережа. Різниця питомих втрат потужності в живильній мережі при класах напруг 380 і 660 В складе:

$$\Delta P_{p.c} = \frac{k_n}{k_m} i_{k.n} (0,16 - 1,3 \cdot 0,09) = 0,043 \frac{k_n}{k_m} j_{k.n} \text{ Вт/кВт}\cdot\text{м};$$

де $j_{k.n}$ – щільність струму за умов нагріву провідників; 1,3 – коефіцієнт, який враховує збільшення довжини електричних ліній при класі напруги 660 В пов'язаного з зменшенням кількості трансформаторних підстанцій, k_m – коефіцієнт максимуму.

Трансформатори. При класі напруги 660 В кількість трансформаторних підстанцій скорочується, завдяки збільшенню одиничної потужності трансформаторів. Отже, питомі втрати в трансформаторах на 1 кВт встановленої потужності двигунів для класу напруги 660 В зменшаться. В першому наближенні для спрощення викладок втрати в трансформаторах при класах напруги 380 і 660 В можна прийняти рівними.

Остаточно вираз для обчислення сумарної питомої різниці втрат потужності для елементів електричної мережі при зміні класу напруги матиме наступний вигляд:

$$\Sigma\Delta P = \Delta P_d + \Delta P_{p.c.} + \Delta P_{п.с.} \text{ Вт/кВт.}$$

Питома економічна ефективність застосування класу напруги 660 В обчислиться за формулою:

$$\Delta Z = \Sigma\Delta d(p_{a.p} + p_n) + \Sigma\Delta P\beta\tau.$$

де p_n – коефіцієнт ефективності використання капіталовкладень, $p_{a.p}$ і p_n – відповідно коефіцієнти амортизаційних відрахувань та експлуатаційних витрат, β – вартість електричної енергії, τ – час максимальних втрат.

Список літератури

1. Сіріков О.І., Антипенко А.В. Техніко-економічні передумови використання напруги 660 В на промислових підприємствах. Автоматика, компютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві (АКІТ-2018): міжнародна науково-практична інтернет-конференція м. Кропивницький, 15-16 листопада 2018 р., – Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2018. – С. 117-118.

Вадим Яковенко, здобувач групи ЕНМ-22М,
Олександр Сіріков, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: asirikov@i.com

Дослідження питомих норм енергоспоживання на опалення приміщень

Впровадження енергозбереження та підвищення енергоефективності є ключовим завданням для сталого економічного розвитку України, яка поки що лишається енергозалежною державою. Найбільші сектори економіки, що споживають енергетичні ресурси, включають промисловість, транспорт та комунально-побутовий сектор. Наприклад, більше 40% усіх паливно-енергетичних ресурсів витрачається на тепlopостачання будівель різного призначення. Цей високий відсоток пояснюється застарілим житловим фондом, який був побудований з недостатньою увагою до теплоізоляції огороджуючих конструкцій.

З 2006 року в Україні діють нормативи теплозахисту будівель, в яких встановлені вимоги до мінімального значення термічних опорів для огорожувальних конструкцій. Порівняльний аналіз показників нормативів теплоспоживання будівель різного призначення з іншими розвиненими країнами дозволить визначити резерви підвищення енергоефективності та зменшення витрат паливно-енергетичних ресурсів.

Норма споживання визначає максимальну допустиму кількість теплової енергії, яка необхідна для забезпечення нормативних умов опалення, вентиляції та гарячого водopостачання для кожного користувача в житлових будівлях, організаціях та установах. Для аналізу та посилення контролю за ефективним використанням теплової енергії розробляються відповідні стандарти. У процесі їх формування використовуються різноманітні методи, проте найбільш поширеним є розрахунково-аналітичний підхід. Цей метод базується на визначенні конкретних нормативів споживання теплової енергії з розрахунку на різні категорії витрат з урахуванням запланованих заходів з економії енергії. Такий підхід дозволяє порівняти зміни у рівні споживання теплової енергії між базовим рівнем та рівнем з урахуванням заходів енергозбереження. Фактичний рівень споживання енергії є лише орієнтовним, оскільки зменшення фактичного споживання в порівнянні з базовим часто відбувається за рахунок зниження якісних і кількісних показників комфорту, таких як зниження температури або відключення опалення в деяких приміщеннях.

Розрахунок норми споживання теплової енергії на опалення не лише визначає значення для порівняння, а й розкриває складові цих витрат. Ця інформація може бути використана як вихідні дані для розробки заходів енергозбереження (МЕЗ) та визначення їхньої важливості і актуальності. Наявність норми споживання теплової енергії на опалення дозволяє також оцінити щорічне споживання енергії і вибрати оптимальний вид палива (наприклад, природний газ, пелети, електроенергія). Отже, аналіз отриманих норм споживання теплової енергії дозволяє оцінити можливості з енергозбереження, обсяги економії палива, є вихідними даними для розробки заходів енергозбереження, і допомагає вибрати оптимальний тип палива для опалення.

Список літератури

1. Сіріков О.І., Буркацький П.Б. Визначення та аналіз питомих норм енергоспоживання на опалення приміщень. Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція м. Кропивницький, 16-17 листопада 2017 р., – Кропивницький : ЦНТУ, 2017. – С. 119-121.

Ірина Штундер, здобувачка групи ЕНМ-22МЗ,
Олександр Сіріков, канд. техн. наук, доцент
Центральноукраїнський національний технічний університет
e-mail: asirikov@i.com

Аналіз шляхів підвищення надійності роботи трансформаторів напруги в мережах з ізольованою нейтраллю в умовах замикань на землю

Досвід експлуатації електричних мереж напругою 6-35 кВ з ізольованою нейтраллю свідчить, що до 80% усіх випадків порушень електропостачання споживачів припадає саме на такі мережі. Основною причиною пошкоджень електрообладнання є однофазні замикання на землю, включаючи дугові замикання. Оскільки в цих мережах нейтраль не з'єднана з землею, ізольований режим роботи дозволяє не вимагати негайного відключення електромережі при однофазних або дугових замиканнях на землю. Замикання на землю в цих мережах не є аварійною ситуацією і відбувається досить часто. Згідно з нормативними документами, робота лінії з ізольованою нейтраллю може продовжуватися при однофазних замиканнях на землю до восьми годин, проте необхідно негайно розпочати пошук місця замикання та його усунення, оскільки існує велика ймовірність потрапляння людей під високу напругу у такому режимі.

Для підвищення надійності роботи мереж з ізольованою нейтраллю, залежно від напруги мережі, застосовується різні методи. У випадку ємнісних струмів замикання на землю від 10 до 30 А, заземлення нейтралі здійснюється через індуктивний опір, що застосовується для компенсації цих струмів. У мережах напругою 6-35 кВ на залізобетонних і металевих опорах використовуються дугогасильні реактори для компенсації ємнісних струмів замикання на землю, коли такі струми перевищують 10 А. Недавно для мереж зі струмами замикання менше зазначених величин почали використовувати заземлення нейтралі мережі через активний опір.

У мережах напругою 6-35 кВ з ізольованою нейтраллю, коли виникає однофазне замикання на землю, може відбуватися явище ферорезонансу через взаємодію індуктивності трансформатора напруги та ємності мережі. Ферорезонансні процеси виникають лише в тому випадку, якщо можливе протікання струмів нульової послідовності. У випадку ферорезонансу міжфазні напруги залишаються майже незмінними. Ферорезонансний контур в мережі з ізольованою нейтраллю складається з контуру нульової послідовності із нелінійною характеристикою намагнічування магнітопроводу трансформатора напруги. Трифазний заземлений трансформатор напруги конструктивно може бути розглянутий як три однофазних трансформатора, з'єднаних за схемою «зірка/зірка», з роздільними магнітними системами. При перенапругах в мережі індукція в магнітопроводі збільшується, що найменше в 1,73 рази. За таких умов можливе насичення магнітопроводу трансформатора напруги і, відповідно, виникнення ферорезонансу в електричній мережі.

Аналіз причин виходу з ладу трансформаторів напруги вказує на їх достатньо високу надійність та той факт, що вони зазвичай не пошкоджуються, крім випадків, коли працюють у режимах, на які вони не розраховані. Один з таких режимів - це тривале перевищення струмів, що протікають через первинну обмотку трансформатора, які значно перевищують максимально допустимі значення відповідно до теплової стійкості ізоляції обмотки. Встановлено, що такі струми можуть виникати внаслідок ферорезонансних процесів у контурі, що утворюється за певних режимів роботи мережі, в якій використовується трансформатор напруги. Поява ферорезонансних процесів стає можливою через явища, які

призводять до насичення сталі магнітопроводу трансформатора напруги. Це призводить до поступової зміни індуктивності обмотки трансформатора напруги, а при відповідному співвідношенні параметрів ємностей елементів мережі, що з'єднані послідовно і паралельно з трансформатором напруги, може виникнути ферорезонансний процес.

Ферорезонанс, що виникає в трансформаторах напруги з мережевою ємністю з'являється у наступних випадках:

- 1) коли нейтраль зсувається самовільно в схемах з малими ємнісними струмами;
- 2) коли спостерігається субгармонічний ферорезонанс у схемах з відносно невеликими ємностями коротких ліній 6-35 кВ;
- 3) коли відбуваються однофазні замикання на землю через переміжну дугу.

Для схем в яких передбачено реактори для загашення дуги, ферорезонанс стає неможливим.

Існує різноманіття способів захисту трансформаторів напруги від резонансних явищ:

- виготовлення магнітопроводів трансформаторів напруги з мінімальною робочою індукцією;
- включення додаткових демпфуючих опорів у ланцюг високої і низької напруги;
- виготовлення магнітної системи в п'ятистержневому виконанні для трифазних трансформаторів напруги;
- використання спеціальних пристроїв, які підключаються до ланцюгу розімкненого трикутника трансформаторів напруги;
- заземлення нейтралі трифазного трансформатора напруги за допомогою струмообмежувального реактора;
- використання спеціальних компенсаційних обмоток та інших заходів;
- застосування спеціалізованих схем релейного захисту від надструмів обмотки високої напруги.

Усі ці заходи, у тій чи іншій мірі, дійсно захищають вимірювальний трансформатор напруги, проте вони не вирішують проблему повністю. Іншими словами, вони не попереджають виникнення ферорезонансу, а лише борються з його наслідками.

Тільки трансформатори напруги з заземленою нейтраллю високовольтної обмотки, призначеної для контролю ізоляції мережі відносно землі, схильні до пошкоджень від ферорезонансу. Тому, для підвищення надійності роботи таких трансформаторів можна обрати радикальний підхід – розземлення їх нейтралі. Це повністю усуває можливість виникнення ферорезонансу, але не дозволяє здійснювати контроль ізоляції. Однак, якщо забезпечити контроль ізоляції за допомогою інших пристроїв, такий режим роботи з розземленими нейтралями трансформаторів напруги може бути цілком прийнятний.

Нами запропонований спосіб контролю ізоляції, що полягає у вимірюванні струму витоку опорних ізоляторів. Принцип роботи цього пристрою є досить простим: у випадку однофазного замикання на землю, напруга на пошкодженій фазі відносно землі зникає або значно зменшується. Відповідно, струм витоку опорного ізолятора пошкодженої фази також зникає або відчутно зменшується, що і фіксується пристроєм контролю ізоляції.

Список літератури

1. Марус І.В., Сіріков О.І. Дослідження шляхів підвищення надійності роботи трансформаторів напруги в мережах з ізольованою нейтраллю в умовах замикань на землю. Перспективні напрямки інформаційних і комп'ютерних систем та мереж, комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція м. Кропивницький, 13-14 листопада 2019 р., – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – С. 156-157.

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ

НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

здобувачів вищої освіти II рівня (магістрів) за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(*м. Кропивницький, 4 грудня 2023 р.*)

Редактор – П.Г. Плешков
Технічний редактор – О.І. Сіріков
Комп'ютерний набір і верстка – О.І. Сіріков

Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»
25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8
тел.: (0522) 390-461.