

2. Цюльке Д. Звіт про створення технологій май/ бутнього: як Інтернет речей зробить революцію у промисловому виробництві. URL: http://www.skf.com/ua/uk/news/and/media/news/search/2015/02/04_how_the_internet_of_things_will_revolutionise_industrial_production.html

3. Янович С.А., Шендеровський Л.П. Розвиток індустрії 4.0 в різних країнах. *Мат. III міжн. Наук.-практ. конф. «Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми і перспективи»*. 8.12.2022. С. 124–125.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-97>

AN OVERVIEW OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS $\cos \varphi$ IN THE 6 KV ELECTRICITY NETWORK

ОГЛЯД АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ $\cos \varphi$ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ 6 КВ

Razzhyvin O.V.

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Разживін О.В.

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Prasol V.A.

*student (group 151-22-1m),
LLC "Technical university
"Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Прасол В.А.

*студент гр. 151-22-1м,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Ефективне використання електричної енергії має вирішальне значення у глобальному світі. Економічна доцільність використання генерованої потужності вираховується мільйонами мегават і з кожним роком попит тільки зростає. Тож, ефективне використання електроенергії є першочерговим питанням, оскільки потужність генерації не може зростати нескінченно. Враховуючи той факт, що природа втрачає свій потенціал шляхом виснаження родовищ корисних копалин, глобального потепління і, як наслідок, змінення клімату, забруднення територій по всьому світу – людству необхідно замислитись над питанням розумного та ефективного використання

електричної енергії. У XXI сторіччі нам стає на допомогу безліч технологій та часткова або повна автоматизація різноманітних процесів, які допомагають заощаджувати не тільки природні ресурси, а й людські.

Цифрова трансформація у сфері електроенергетики була спрямована саме на «розумну» генерацію і «ефективне» споживання електроенергії. Генерація потужності за допомогою альтернативних джерел тобто сонячної, вітрової, гідро електроенергії підходять під ці критерії та вважаються досить екологічними. Основна мета – цілеспрямоване зменшення використання природних ресурсів, а також децентралізація виробництва електроенергії для задовільнення попиту серед віддалених об'єктів. Зменшення показників викидів вуглецю від генерації традиційними способами якнайкраще відображає ефективність використання технологічних ресурсів. Щодо промисловості, то ефективне використання електричної енергії допомагає економити ресурси та знижувати показники «втрат», таких як реактивна потужність.

Насамперед, зменшення реактивної потужності – це технологія, яка використовує конденсатори для зменшення реактивної складової і досягається шляхом корекції коефіцієнту потужності. Коефіцієнт потужності вимірює ефективність використання енергії в системі і є одним з головних критеріїв для покращення якості електроенергії. Зазвичай це показник енергоефективності який у відносному вираженні та при високих показниках якості енергомережі приближений до одиниці. Автоматизація процесу коригування коефіцієнту потужності у мережі 6 кВ надає великі переваги у порівнянні з ручним перемиканням. Для розуміння самого процесу взаємодії потрібно зрозуміти принципи роботи цифрової підстанції і головної ролі автоматизації у енергомережі.

Цифрова підстанція фокусується на перетворенні аналогових вимірювань та інформації про стан підстанції у цифровий код, який передається засобами стандарту IEC 61850. Такий спосіб передачі інформації забезпечує надійний і безпечний метод передачі даних, та знижує інвестиційні і експлуатаційні витрати якнайкраще. Рішення технологічної шини реалізовано за допомогою впровадження об'єднуючих блоків біля первинного обладнання в розподільчих пунктах. Цей блок зчитує вихідні значення вимірювальних трансформаторів, перетворює їх у цифрові сигнали та надсилає до вторинного обладнання через з'єднання на основі Ethernet. Такий підхід зменшує залежність від дротових з'єднань із зовнішнім обладнанням. Технологічна шина розроблена відповідно до стандарту IEC 61850, який забезпечує сумісність між первинним і вторинним обладнанням для оновлення та розширення системи [1]. Завдяки можливості цифрового

управління підстанцією автоматизоване обладнання має змогу вирішувати певні задачі керування об'єктом та процесами перерозподілу електричної енергії згідно заданим алгоритмам – без втручання людини. Це дозволяє мінімізувати витрати ресурсів і зменшити вплив людського фактору. Саме у таких системах використання автоматичної корекції коефіцієнту потужності є найбільш доцільним.

Серед варіантів реалізації компенсації є декілька варіантів наприклад централізована, групова або індивідуальна. Централізована компенсація конденсаторними установками з автоматичним регулюванням є найпростішим та найбільш економічним рішенням. Потужність з реактивною складовою розподіляється на декілька конденсаторних ступенів, які можна підключити незалежно один від одного. На контролер реактивної потужності в режимі реального часу подається вимірвальна інформація з параметрами електричної мережі. Відповідно наданої інформації контролером формуються керуючі сигнали на включення або відключення певного ступеню, згідно заданого значення. Перевага такої системи полягає у тому, що загальна потужність конденсаторів менша ніж сума яка необхідна для індивідуальної компенсації. У схемі групової компенсації кілька індуктивних навантажень об'єднують в одну групу і обладнують загальними конденсаторами. Такого роду рішення зазвичай застосовуються для тих користувачів які мають власні установки з розподільчими трансформаторами та високовольними лініями електропередачі. Реактивна потужність, яка споживається трансформаторами, компенсується за допомогою конденсаторів підключених до вторинної обмотки постійно. Схема індивідуальної компенсації зазвичай застосовується для об'єктів з великими обсягами часу напрацювання. Конденсатори підключаються безпосередньо до клем навантаження. Такого роду рішення мінімізують реактивний струм, який циркулює через установку, дозволяючи використати менший обсяг розподільчих пристроїв і кабелів.

Також існують різні рішення втілення компенсації реактивної потужності: автоматичні коректор потужності, статичні тиристорні компенсатори, статичні синхронні компенсатори реактивної потужності та інші [2].

Автоматичний контролер або коректор встановлюється на оснащену конденсаторними пристроями шафу і перемикає в автоматичному режимі кожний конденсаторний каскад на основі вирахованих даних. Контролер аналізує поточний коефіцієнт потужності, розмір кожної ступені і вмикає або вимикає ступені для досягнення запрограмованого значення. Також

пристрій оснащений сигналами тривоги/сповіщення як от надмірна або недостатня компенсація, відсутність вхідного струму, несправність каскаду, гармонійні спотворення та інші. Контролер зазвичай поєднується з системою автоматизації підстанції за допомогою Ethernet та має можливість дистанційного керування з робочого місця оператора.

Статичні варисторні компенсатори (SVC) складаються з комутаційних реакторів і конденсаторів, керованих тиристорами. Тиристри надзвичайно швидко реагують на сигнали керування, кількість перемикачів їх не обмежується тому вони і використовуються як комплекс компенсації реактивної потужності. Коли напруга змінюється статичний компенсатор можна швидко і плавно регулювати, відповідно до потреб динамічної компенсації, і в той же час він може досягати фазової компенсації. Перевага тиристорного управління ще і у тому що компенсатор має пристосованість до трифазних незбалансованих навантажень та ударних навантажень. Однак, оскільки в процесі перемикачів реактора, керованого тиристором, будуть генеруватися гармоніки високого порядку потрібно використання спеціального фільтру. Статичний компенсатор має здатність поглинати та віддавати реактивний струм, і використовується для поліпшення коефіцієнта потужності мережі, стабілізації напруги мережі та зменшення коливань системи. Обладнання індуктивної реактивної потужності може здійснювати безступінчасте безперервне регулювання, а обладнання ємнісної реактивної потужності може регулюватися поетапно для реалізації статичного та швидкого покращення якості напруги. Таким чином задовольняються вимоги до електропостачання, зменшуються втрати активної потужності, підвищується стабільність роботи системи [3].

Статичний синхронний компенсатор (STATCOM) – це найновіша доступна технологія компенсації реактивної потужності. Це швидкодіючий пристрій який здатний видавати або поглинати реактивний струм, і таким чином, регулювати напругу в точці підключення до енергомережі. Пристрій відноситься до пристроїв гнучкої системи передачі змінного струму (FACTS).

Типова конфігурація компенсатора складається з багаторівневих тиристорів на основі IGBT, фазних реакторів і підвищувального трансформатора з підключенням до мережі через шунт. Реактивний струм генерується або поглинається шляхом створення керованої форми хвилі внутрішньої напруги. Форма сигналу напруги регулюється відповідно до напруги в точці підключення до мережі. Зазвичай компенсатор працює як пристрій керування змінним струмом, хоча керування вихідним струмом досягається шляхом регулювання внутрішньої напруги STATCOM за амплітудою. Якщо амплітуда

напруги STATCOM вища за амплітуду напруги в мережі, в мережу видається ємнісна реактивна потужність. Якщо навпаки – струм тече від системи до STATCOM – виникає індуктивна реактивна потужність. Величина реактивного струму залежить від реактивного опору короткого замикання трансформатора та різниці напруг і обмежується тепловими межами IGBT. У нормальному режимі роботи, тобто коли напруга системи знаходиться в певних межах, обидві амплітуди напруги рівні, і реактивна потужність не обмінюється з мережею. Якщо напруга в мережі перевищує порогове значення пристрою, блок керування зменшує амплітуду напруги, змушуючи STATCOM діяти як індуктивний елемент і поглинати реактивну потужність з мережі. Коли напруга в мережі перевищує порогове значення, амплітуда кривої напруги збільшується, змушуючи компенсатор діяти як ємнісний елемент і віддавати реактивний струм в мережу [4].

Різноманітні систем компенсації реактивної потужності застосовуються у будь-яких енергомережах. Їх доцільність, спроможність та ефективність була доведена часом та прийнята за невід’ємну частку енергосистеми. Оскільки більшість крупних промислових підприємств використовує саме мережу 6 кВ як основну то й використання компенсаторів такого класу напруги і відіграє ключову роль. Також, всі вищевказані засоби компенсації працюють із системами автоматизації, при використанні яких переваги та ефективність енергетичної мережі тільки зростають. Щодо переваг використання систем компенсації реактивної потужності то головним чинником є:

- зниження виплат за споживану реактивну потужність;
- зменшення витрат в мережі – зменшення собівартості активної потужності;
- значне підвищення якості електроенергії;
- зменшення рівня гармонік;
- стабілізація струму та напруги.

Перелік використаних джерел

1. What is Digital Substation? URL: <https://www.global.toshiba/ww/products-solutions/transmission/products-technical-services/protection-relay/digital-substation.html> (дата звернення: 24.08.23)

2. The ABB comprehensive solution for automatic power factor correction. URL: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK105408A5557&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch> (дата звернення: 25.08.23)

3. R. Mohan Mathur, Rajiv K. Varma. Thyristor-based FACTS controllers for electrical Transmission systems. ISBN 0-471-20643-1, 2002. – р. 16-39 (дата звернення: 29.08.23)

4. Static Synchronous Compensator (STATCOM) URL: <https://www.entsoe.eu/Technopedia/techsheets/static-synchronous-compensator-statcom> (дата звернення: 29.08.23)

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-98>

**PEAK LOADS REDUCTION IN THE ENERGY SYSTEM
BY ADJUSTING THE POWER CONSUMPTION MODES
OF COAL MINES**

**ЗМЕНШЕННЯ ПІКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ
ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

Rukhlov A.V.

*PhD (Engineering),
Associate Professor, LLC "Technical
university "Metinvest polytechnic",
Zaporizhzhia, Ukraine*

Рухлов А.В.

*к.т.н., доцент,
ТОВ «Технічний університет
«Метінвест політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна*

Rukhlova N.Yu.

*PhD (Engineering),
Associate Professor,
Dnipro University of Technology,
Dnipro, Ukraine*

Рухлова Н.Ю.

*к.т.н., доцент,
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»,
м. Дніпро, Україна*

Одним із основних сучасних викликів для енергетичної системи України вже багато років залишається проблема покриття нерівномірності графіків електричного навантаження (ГЕН), яка останнім часом тільки ускладнилася через військові дії та регулярні атаки ворога на енергетичну інфраструктуру нашої країни. Добові графіки споживання й забезпечення навантажень енергосистеми України для різних періодів року характеризуються значною нерівномірністю (в основному – за рахунок приросту побутового й комунального електроспоживання). Аналіз фактичних ГЕН, приклад