

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними та економічними процесами

Інтелектуальні системи енергопостачання

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
магістра

на тему: Дослідження ефективності компенсації реактивної потужності в розгалуженій мережі електропостачання торгівельного комплексу

за освітньою програмою Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті

зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав: студент групи: EE2321

Захарчук

/ Костянтин ЗАХАРЧУК /

Керівник:

[Підпис]

/ професор Дмитро БОСИЙ /

Нормоконтролер:

[Підпис]

/ доцент Ірина ПОТАПЧУК /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

Захарчук

Дніпро – 2025 рік

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними та економічними процесами  
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання  
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)  
Освітня програма: Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті  
Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ІСЕ  
Дмитро БОСИЙ  
Дата 01.01.24

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу магістра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

студенту Захарчуку Костянтину Володимировичу

1. Тема роботи: Дослідження ефективності компенсації реактивної потужності в розгалуженій мережі електропостачання торговельного комплексу

Керівник роботи: Босий Дмитро Олексійович, д.т.н., проф.

затверджені наказом від " 01 " 04 2024 р. № 247ст

2. Строк подання студентом роботи: 13.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

наукові статті, інтернет-джерела, періодичні видання, аналітичні звіти

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Стан якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності та визначення оптимального закону керування.

4.2 Розробка критеріїв оцінки якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності, що має сприяти покращенню ефективності систем електропостачання.

4.3 Результати дослідження удосконалення пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності, які можуть призвести до підвищення ефективності електропостачання та зменшення втрат енергії.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Методи компенсації реактивної потужності компенсуючої установки STATCOM. Комплектна компенсаційна установка АШАН

Чернігівська. Сервіси та програми IoT. Алгоритм компенсації довгого перехідного процесу. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи:

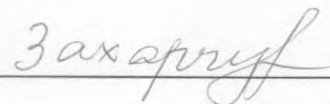
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності та визначення оптимального закону керування.	20.09.2024	
2	Розробка критеріїв оцінки якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності, що має сприяти покращенню ефективності систем електропостачання.	15.10.2024	
3	Результати дослідження удосконалення пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності, які можуть призвести до підвищення ефективності електропостачання та зменшення втрат енергії.	29.12.2024	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	13.01.2025	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	21.01.2024	

Студент

Костянтин ЗАХАРЧУК



Керівник роботи

Дмитро БОСИЙ



## ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

другого (магістерського) рівня вищої освіти Захарчука К.В. на тему:  
«Дослідження ефективності компенсації реактивної потужності в розгалуженій  
мережі електропостачання торгівельного комплексу»

Складова кваліфікаційної роботи	Кількість	Обсяг
Пояснювальна записка	1	74 стор.
Графічна частина (за наявності)	-	-
Демонстраційний матеріал	1	11 слайдів
Електронна частина (за наявності): назва файлу з розширенням	-	-

Керівник:



/ Дмитро БОСИЙ /

Нормоконтролер:



/ Ірина ПОТАПЧУК /

Завідувач кафедри ІСЕ:



/ Дмитро БОСИЙ /

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 74 сторінки, 3 частини, 19 рисунків та 17 джерел.

Об'єкт дослідження – установки компенсації реактивної енергії. Їх роль та перспективи розвитку.

Мета роботи – дослідження та аналіз ефективності використання компенсаційних установок при експлуатації поточних та будівництві нових рітейл магазинів та торгових центрів.

Методи дослідження – оцінка ефективності застосування компенсаційних установок (економічні, екологічні, експлуатаційні показники) та сучасні технології застосування та управління: приміські магазини, супермаркети, гіпермаркети, логістичні центри.

Одержані результати – обґрунтування актуальності дослідження для нових та існуючих магазинів і пропозиції щодо оптимізації та заміни на нові компенсаційні установки, порівняльний аналіз з наявними видами обладнання.

Проаналізовано досвід успішного впровадження компенсації реактивної потужності в розгалуженій мереж Ашан Гіпермаркет Україна та основні виклики і проблеми впровадження компенсаційних установок (економічні, екологічні, експлуатаційні показники).

Отримані результати дозволяють оцінити роль компенсації реактивної потужності в контексті сучасного рітейлу та вплив на якість роботи силового обладнання, економію ресурсів та зменшення викидів.

Ключові слова: ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, РІТЕЙЛ, ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ, ТЕХНОЛОГІЇ, ДОСЛІДЖЕННЯ.

## Зміст

ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОМПЕНСАЦІЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	10
1.1 Поняття реактивної потужності .....	10
1.2 Методи компенсації реактивної потужності.....	10
1.3 Вплив реактивної потужності на електричні системи .....	12
1.4 Використання компенсації реактивної потужності в магазинах торгових мереж .....	14
1.5 Переваги та обмеження різних методів компенсації.....	199
2 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА МАГАЗИНАХ ТОРГОВИХ МЕРЕЖ.....	265
2.1 Технічне обладнання на магазинах торгових мереж.....	29
2.2 Переваги та недоліки існуючих систем .....	35
2.3 Ефективність сучасних пристроїв компенсації .....	37
2.4 Потреби у вдосконаленні та можливі напрямки розвитку .....	42
3 ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА Т МАГАЗИНАХ ТОРГОВИХ МЕРЕЖ	477
3.1 Огляд сучасних технологій.....	499
3.2 Аналіз переваг модернізації.....	53
3.3 Негативні наслідки експлуатації - генерація ємнісної реактивної потужності в мережу .....	58
3.4 Підвищення продуктивності та надійності .....	6464
3.5 Переваги модернізації для магазинах торгових мереж.....	688
ВИСНОВОК.....	7272
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	7373

					<i>02.15.EE2321.PD.2025.P3</i>			
<i>Зм..</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ Докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб</i>		<i>Захарчук К.В</i>			<i>Дослідження ефективності компенсації реактивної потужності в розгалуженій мережі електропостачання торговельного комплексу</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір</i>		<i>Босий Д.О</i>						
<i>Н. Контр.</i>					<i>УДУНТ, гр. EE2321</i>			
<i>Затв.</i>								

## ВСТУП

### Актуальність роботи

Контроль реактивної потужності є однією з найменш досліджених проблем в маркетах харчової промисловості, він може дати ключ до значного збільшення прибутку власників маркетів. Основне споживче обладнання маркетів це: системи холодопостачання, системи вентиляції та кондиціонування, технологічне обладнання, внутрішнє та зовнішнє освітлення маркету.

Планування та втілення в життя критеріїв оцінки якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності є актуальною у зв'язку з неефективністю дискретних пристроїв компенсації в умовах нестаціонарного навантаження. Запропонована проблематика виявляє важливість дослідження в сучасному енергетичному секторі. Зростання електротехнічних систем, особливо систем електропостачання змінного струму, породжує складні виклики щодо оптимізації їхньої продуктивності та стійкості. Реактивна потужність є ключовим показником у забезпеченні ефективної роботи систем електропостачання.

Проте традиційні методи компенсації реактивної потужності мають свої обмеження, зокрема, дискретний характер і неспроможність адаптуватися до змін у навантаженні. Це призводить до неефективності в роботі систем при низьких або високих навантаженнях, що потребує пошуку нових та більш адаптивних методів компенсації. Такий підхід до проблеми реактивної потужності в електроенергетичних системах відображає актуальність досліджень у цій області. Розробка нових критеріїв оцінки якості функціонування пристроїв регульованої компенсації та встановлення оптимальних законів керування має значний потенціал для поліпшення продуктивності електроенергетичних систем та зниження енерговитрат.

### Зв'язок роботи з науковими програмами

Робота пов'язана з розвитком силової електроніки та питаннями енергоефективності в системах електропостачання.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
						8
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

## **Мета і завдання роботи**

Метою є модернізація якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності та визначення оптимального закону керування.

Об'єкт дослідження – магазин з електроспоживанням від 300 кВт/год

Предмет дослідження – Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності

Методи дослідження – Аналіз та обробка результатів експериментальних досліджень виконаних на магазинах торгових мереж.

## **Наукова новизна та основні положення, які виносяться на захист**

Новизна полягає в розробці критеріїв оцінки якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності, що має сприяти покращенню ефективності систем електропостачання.

## **Практичне значення отриманих результатів**

Результати дослідження дозволять удосконалити пристрої регульованої компенсації реактивної потужності, що може призвести до підвищення ефективності електропостачання та зменшення втрат енергії. Отримані результати можна використати при дослідженні компенсаторів реактивної потужності та при його створенні, також при впровадженні компенсаторів в систему електричної тяги.

## **Особистий внесок здобувача**

Розробка методів модернізації пристроїв компенсації реактивної потужності, оцінки якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності та визначенням оптимального закону керування, що відображає його особистий внесок у вирішення цієї проблеми.

## **Публікації**

Захарчук К.В. Системи компенсації реактивної енергії в продуктивних маркетах торгової мережі Ашан Гіпермаркет Україна /XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті». – м.Дніпро, грудень, 2024р. – С.138

									Арк
									9
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ				

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОМПЕНСАЦІЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

## 1.1 Поняття реактивної потужності

Реактивна потужність - це один з параметрів у системі електропостачання, який виникає внаслідок реактивного струму, що протікає через ємності або індуктивності електричних пристроїв (наприклад, моторів, трансформаторів, конденсаторів тощо). Вона відображає затримку або випередження фази між напругою та струмом у системі електричного кола. Реактивна потужність вимірюється у варах (VAr) або кіловарах (kVAr). Вона не приносить корисної роботи, але є необхідною для створення магнітного поля у випадку індуктивних навантажень або електричного поля в ємностях. Надлишок реактивної потужності у мережі може викликати недооптимізоване використання енергії та збільшення втрат в системі електропостачання.

Ефективний управління реактивною потужністю, зокрема компенсація реактивної потужності, дозволяє зменшити надлишок реактивної потужності та покращити коефіцієнт потужності, що призводить до більш ефективного використання електричної енергії та зниження витрат в системі електропостачання.

## 1.2 Методи компенсації реактивної потужності

Компенсація реактивної потужності полягає у вирівнюванні або зменшенні реактивної потужності у системі електропостачання з метою покращення коефіцієнта потужності (power factor) та оптимізації ефективності енергоспоживання. Для цього застосовують різні методи компенсації реактивної потужності:

1. Конденсатори вважаються найпоширенішим засобом компенсації реактивної потужності. Вони поглинають реактивну потужність і

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		10

підвищують коефіцієнт потужності, сприяючи оптимізації роботи електричних мереж та зменшенню втрат електроенергії.

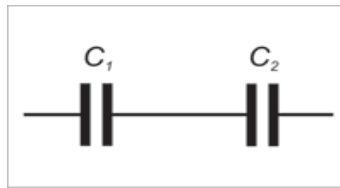


Рисунок 1.1 - Конденсатор постійної ємності

2. Це устаткування, що включає електронні пристрої (наприклад, статичні компенсатори потужності, статичні реактивні компенсатори), які автоматично регулюють реактивну потужність у системі, враховуючи поточні умови.
3. Використовуються синхронні машини або генератори, які можуть генерувати або поглинати реактивну потужність залежно від умов в мережі.
4. Активні фільтри, це електронні пристрої, які вимірюють реактивну потужність і компенсують її, створюючи протидію.

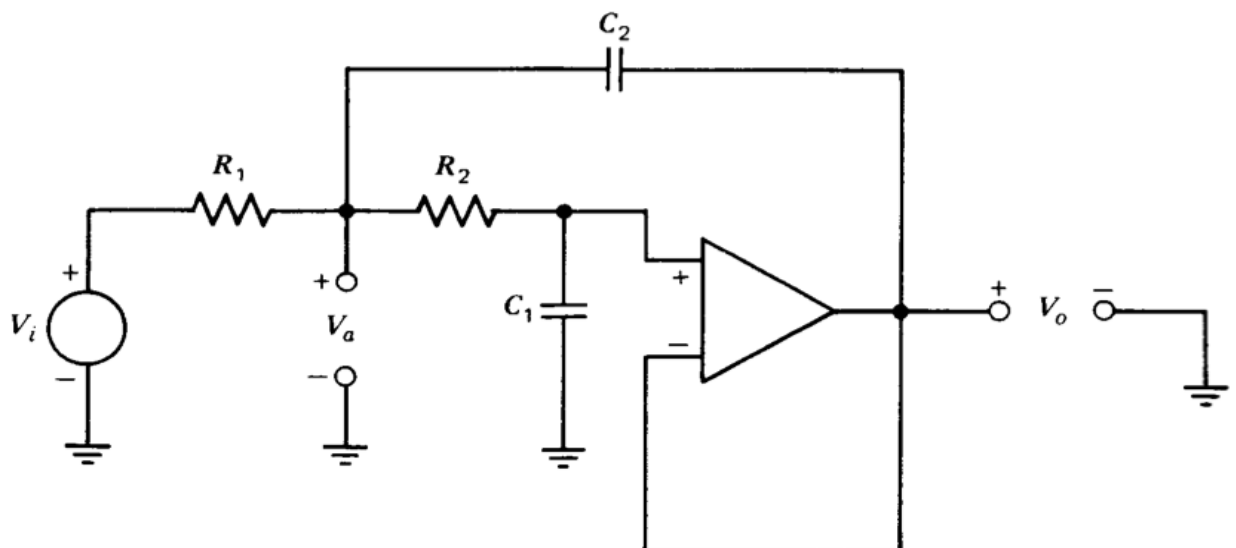


Рисунок 1.2 - Активний фільтр нижніх частот другого порядку

5. Комбінація різних методів компенсації, яка застосовується для досягнення більшої ефективності та точності в управлінні реактивною потужністю.

Вибір методу компенсації реактивної потужності залежить від специфіки системи, її потужності, характеристик навантаження та економічних факторів. Ефективне використання цих методів може допомогти покращити роботу системи електропостачання та знизити витрати на електроенергію.

### **1.3 Вплив реактивної потужності на електричні системи**

Реактивна потужність має важливий вплив на електричні системи, і її недооцінка або недбале управління може призвести до різних проблем у системі електропостачання. Основні впливи реактивної потужності на електричні системи включають:

1. Надмірна реактивна потужність у системі може призвести до збільшення втрат електроенергії в електричних мережах. Це може спричинити збільшення нагрівання електрообладнання та зниження ефективності передачі електроенергії.

2. Низький коефіцієнт потужності, що виникає внаслідок великої реактивної потужності, може стати причиною неефективного використання електроенергії та підвищення споживання активної потужності.

3. Надмірна реактивна потужність може перевантажувати трансформатори, мотори та інше обладнання, що може призвести до зниження їхньої продуктивності та тривалості служби.

4. Реактивна потужність може призводити до відхилень у рівні напруги в системі, що може стати причиною нестабільності та збоїв у роботі електричних пристроїв.

5. Неправильне керування реактивною потужністю може призвести до збільшення витрат на електроенергію та неефективного використання електричних ресурсів.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		12

Управління реактивною потужністю через використання методів компенсації реактивної потужності є ключовим для забезпечення ефективності та стабільності електричних систем. Оптимізація реактивної потужності допомагає покращити роботу систем електропостачання, знизити втрати енергії та забезпечити ефективне використання електроенергії. Крім наведених впливів, низький коефіцієнт потужності і велика реактивна потужність також можуть призводити до несправностей та нестабільності в роботі електричного обладнання.

У сучасних системах електропостачання, особливо в промислових та комерційних комплексах, ефективне управління реактивною потужністю стає ключовим елементом для забезпечення надійності та ефективності систем. Низький коефіцієнт потужності також може призводити до штрафів за використання електроенергії у деяких системах тарифікації, що може підвищити витрати на енергію для споживачів.

У випадку великих мереж з високою реактивною потужністю може бути важко контролювати стабільність напруги. Це може викликати проблеми у роботі чутливих електронних пристроїв та систем автоматизації. Загальний вплив реактивної потужності на електричні системи підкреслює важливість впровадження ефективних методів компенсації реактивної потужності для забезпечення стабільності, надійності та ефективного функціонування електричних мереж у різних галузях. Ефективне управління реактивною потужністю дозволяє покращити якість постачання електроенергії та оптимізувати витрати на електроенергію.

Надмірна реактивна потужність у великих обсягах може призвести до нестабільності мережі, зниження надійності системи та спричинити проблеми із синхронізацією та координацією роботи електричних пристроїв. Особливо це актуально у великих промислових комплексах або місцях з високими концентраціями електричного споживання, де може бути велика кількість устаткування, що вимагає реактивної потужності. Відповідно, для забезпечення стабільності та ефективності системи електропостачання необхідно активно

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		13

використовувати методи компенсації реактивної потужності для збалансування потужності та підтримки стабільності в мережі.

Зважаючи на велике значення проблеми реактивної потужності для стабільності електричних систем, розробка та впровадження ефективних методів її компенсації є критичним етапом у розвитку сучасних систем електропостачання. Використання сучасних технологій і методів управління може сприяти зниженню негативного впливу реактивної потужності на електричні системи, забезпечуючи більш ефективне та надійне функціонування всієї енергетичної інфраструктури.

#### **1.4 Використання компенсації реактивної потужності в супер та гіпермаркетах**

Компенсація реактивної потужності має велике значення для ритейлу вцілому, оскільки електрична система, яка живить магазини, часто має високу реактивну потужність. Застосування методів компенсації реактивної потужності має кілька ключових переваг:

1. Компенсація реактивної потужності дозволяє підвищити коефіцієнт потужності у системі електропостачання магазинів. Це сприяє оптимізації роботи електричних мереж, зниженню втрат енергії та підвищенню ефективності використання електричної енергії.
2. Ефективне вирівнювання реактивної потужності може допомогти уникнути штрафних виплат за низький коефіцієнт потужності, які часто встановлюються за нормативами для споживачів електроенергії.
3. Використання компенсації реактивної потужності може сприяти підвищенню стабільності та надійності роботи електричних систем магазинів торгових мереж.
4. Ефективна компенсація реактивної потужності допомагає уникнути негативного впливу на загальну електричну мережу та забезпечити її стабільність.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		14

Ураховуючи велику потужність, яку використовують магазини торгових мереж, важливо мати ефективну систему компенсації реактивної потужності для забезпечення стійкої, ефективної та економічно доцільної роботи електричної мережі, яка живить дані споруди. Використання компенсації реактивної потужності в магазинах торгових мереж є критично важливим для забезпечення ефективної роботи електричних систем, які живлять торгові центри чи частини їх приміщень. Торгова інфраструктура використовує значні обсяги електричної енергії для живлення магазинів, їх холодильних систем, освітлення, вентиляції та іншого обладнання. Зазвичай ці системи генерують значну реактивну потужність, що може призводити до недооптимізованого використання електричної енергії та збільшення втрат енергії в електричних мережах.

Компенсація реактивної потужності забезпечує баланс між активною та реактивною потужністю, зменшуючи затрати на втрати енергії в мережах, підвищуючи коефіцієнт потужності та оптимізуючи використання електричної енергії. Це допомагає зменшити навантаження на електричні мережі та підвищити їхню надійність, що в свою чергу призводить до більш стабільного та ефективного живлення торгових мереж. Додатково, ефективне використання компенсації реактивної потужності дозволяє покращити якість постачання електроенергії для магазинів торгових мереж, зменшуючи можливість виникнення перешкод у роботі електричного обладнання та сприяючи підвищенню ефективності використання електричних ресурсів.

Загалом, впровадження та ефективне використання методів компенсації реактивної потужності у магазинах торгових мереж забезпечує оптимальне функціонування електричних систем, забезпечуючи енергоефективність, стабільність та надійність постачання електроенергії для ритейлу в цілому.

Застосування компенсації реактивної потужності в магазинах торгових мереж є ключовим аспектом для оптимізації електропостачання та забезпечення його ефективності. Зважаючи на значний обсяг споживаної електроенергії в магазинах торгових мереж, які живлять внутрішнє силове

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15



торгових мереж. Це дозволяє оптимізувати розподіл електроенергії та запобігати перевантаженням у системах живлення, забезпечуючи надійність та безперебійність електропостачання для обладнання та великих об'єктів торгової інфраструктури. Впровадження таких систем дозволяє зменшити втрати електроенергії, оскільки компенсація реактивної потужності сприяє ефективнішому розподілу електричної енергії та зниженню втрат через теплове випромінювання в електричних мережах.

Таким чином, впровадження систем компенсації реактивної потужності у магазинах торгових мереж не лише сприяє оптимізації енергоефективності, але й забезпечує стабільність та надійність електричних мереж, що є критичними аспектами для безперебійної та ефективної роботи торгової мережі.

Зазначена технологія компенсації реактивної потужності у магазинах торгових мереж є значним кроком у покращенні інфраструктури та оптимізації системи електропостачання. Вона дозволяє ефективно керувати великим обсягом енергії, яку використовують склади, зменшуючи втрати енергії та підвищуючи загальну продуктивність електричних систем. Додатково, впровадження компенсації реактивної потужності у магазинах торгових мереж створює базу для вдосконалення систем енергозабезпечення, що відповідає сучасним технологічним вимогам. Ця техніка сприяє підвищенню енергоефективності та стійкості системи, забезпечуючи необхідний рівень електроенергії для безперебійної роботи ритейлу. Компенсація реактивної потужності в магазинах торгових мереж дозволяє враховувати та забезпечувати високу ефективність у використанні електроенергії, що є ключовим аспектом у сталому розвитку та зменшенні негативного впливу на довкілля.

Такі заходи дозволяють не лише підвищити рівень енергоефективності, але й покращують загальну експлуатаційну ефективність та надійність систем електропостачання. Це важливий крок у напрямку модернізації та підвищення якості електричної інфраструктури для забезпечення потреб та вимог сучасного ритейлу.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		17

Розробка та впровадження вдосконалених систем компенсації реактивної потужності у магазинах торгових мереж є невід'ємною частиною розвитку та оптимізації енергетичної інфраструктури. Це дозволяє не лише підвищити продуктивність та надійність торгових систем, а й сприяє створенню більш стабільної та ефективної електромережі.

Інтеграція сучасних рішень у сфері компенсації реактивної потужності в магазинах торгових мереж є кроком до створення "розумної" інфраструктури. Це відкриває можливості для використання аналітики даних, систем штучного інтелекту та автоматизованих методів управління, що сприяють більш точному прогнозуванню пікових навантажень, забезпечуючи оптимальне використання електроенергії та ресурсів. Постійний розвиток технологій компенсації реактивної потужності дозволяє удосконалювати системи енергозабезпечення та підвищувати їхню адаптивність до змінних умов роботи. Це важливо для ефективного функціонування систем під час різних погодних умов, пікового споживання електроенергії та в умовах зростаючих потреб у торгових мережах.

Отже, продовження досліджень та вдосконалення систем компенсації реактивної потужності у магазинах торгових мереж є стратегічно важливим для підвищення ефективності, стійкості та розвитку інфраструктури ритейлу, сприяючи узгодженому та сталому функціонуванню електричних систем. На сьогоднішній день, з урахуванням швидкого розвитку технологій та збільшення потреб у ефективному використанні енергії, важливо продовжувати дослідження та впровадження інноваційних рішень у сфері компенсації реактивної потужності. Це відкриває перспективи для розвитку енергоефективних технологій, що сприятимуть оптимізації електропостачання магазинів торгових мереж.

Зокрема, впровадження сучасних систем керування та моніторингу, з використанням "розумних" алгоритмів та інтелектуальних систем, може дозволити вдосконалити та автоматизувати процеси компенсації реактивної потужності. Це сприятиме більш точному та ефективному управлінню електромережами, зниженню навантаження на системи електропостачання під

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		18

час пікових навантажень та в цілому - підвищенню стабільності електричних систем.

Крім того, поєднання компенсації реактивної потужності з використанням відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові установки, може стати ключовим кроком у напрямку створення більш сталої та екологічно чистої електричної інфраструктури для торгових мереж.

У цілому, поєднання передових технологій компенсації реактивної потужності з інноваційними методами керування та використанням відновлюваних джерел енергії відкриває шлях до створення більш ефективних, стійких та екологічно чистих систем електропостачання для магазинах торгових мереж рітейлу.

## **1.5 Переваги та обмеження різних методів компенсації**

Різні методи компенсації реактивної потужності мають свої переваги та обмеження, що важливо враховувати при їх виборі та впровадженні.

Переваги:

1. Статичні компенсатори (конденсатори, батареї з індуктивними компенсаторами):

- Забезпечують швидку та ефективну компенсацію реактивної потужності, поліпшуючи коефіцієнт потужності.
- Вважаються відносно бюджетними та досить надійними у використанні.
- Легко відкоригувати рівень компенсації залежно від потреб.

2. Динамічні компенсатори (Sinexcel, STATCOM, SVC):

- Дозволяють більш точно й швидко управління рівнем компенсації та реагувати на зміни навантаження.
- Можуть бути більш гнучкими в установці та використанні.
- Здатні працювати при різних умовах навантаження та мережі.

Обмеження:

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		19

## 1. Статичні компенсатори:

- Можуть потребувати періодичного підтримуючого обслуговування для підтримки ефективності.

- У випадку великих систем можуть вимагати значного простору та мати обмеження з погляду потужності.

## 2. Динамічні компенсатори:

- Мають більш високу вартість в порівнянні зі статичними компенсаторами.

- Вимагають більш складної технічної підтримки та експертизи для оптимального використання.

Обираючи метод компенсації реактивної потужності для конкретної системи, важливо ретельно зважити на його переваги та обмеження, врахувати потреби системи та умови її експлуатації для досягнення найкращих результатів у плані ефективності, надійності та економічної вигоди. Під час вибору методу компенсації реактивної потужності слід також враховувати специфіку конкретної електричної мережі, її розмір, типи навантаження та змінність споживання електроенергії. Наприклад, для менших систем статичні компенсатори можуть бути більш ефективними з точки зору витрат та простоти обслуговування. У той же час, для більших магазинів, де потрібна більша точність регулювання та більша динаміка, може бути корисніше використання динамічних компенсаторів.

Для уникнення можливих обмежень та недоліків, можливо також варто розглянути комбіноване використання різних методів компенсації реактивної потужності. Наприклад, комбінація статичних та динамічних компенсаторів може дозволити оптимізувати ефективність електричної мережі, забезпечуючи баланс між точністю, ефективністю та вартістю встановлення та експлуатації систем.

Розробники та оператори систем електропостачання постійно вдосконалюють технології компенсації реактивної потужності, роблять їх більш ефективними, надійними та економічно вигідними. Це включає в себе використання новітніх матеріалів, розробку більш продуктивних систем

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		20

управління, а також інтеграцію інтелектуальних та автоматизованих систем, що сприяє підвищенню загальної ефективності та енергоефективності компенсації реактивної потужності.

Разом із розвитком технологій компенсації реактивної потужності, важливо враховувати специфічні потреби та особливості окремих галузей, включаючи торгові мережі. У торгових центрах, де навантаження може бути дуже змінним залежно від часу доби, трафіку та клієнтського обслуговування, повітряних тривог вибір методу компенсації реактивної потужності повинен бути відповідно адаптований.

Динамічні методи компенсації, такі як Sinexcel, STATCOM або SVC, можуть бути корисними у ситуаціях, коли потрібне швидке та точне реагування на зміни у навантаженні або в електричних мережах. Їхні можливості реакції на зміни допомагають уникнути проблем, пов'язаних із великими флуктуаціями у використанні електроенергії.

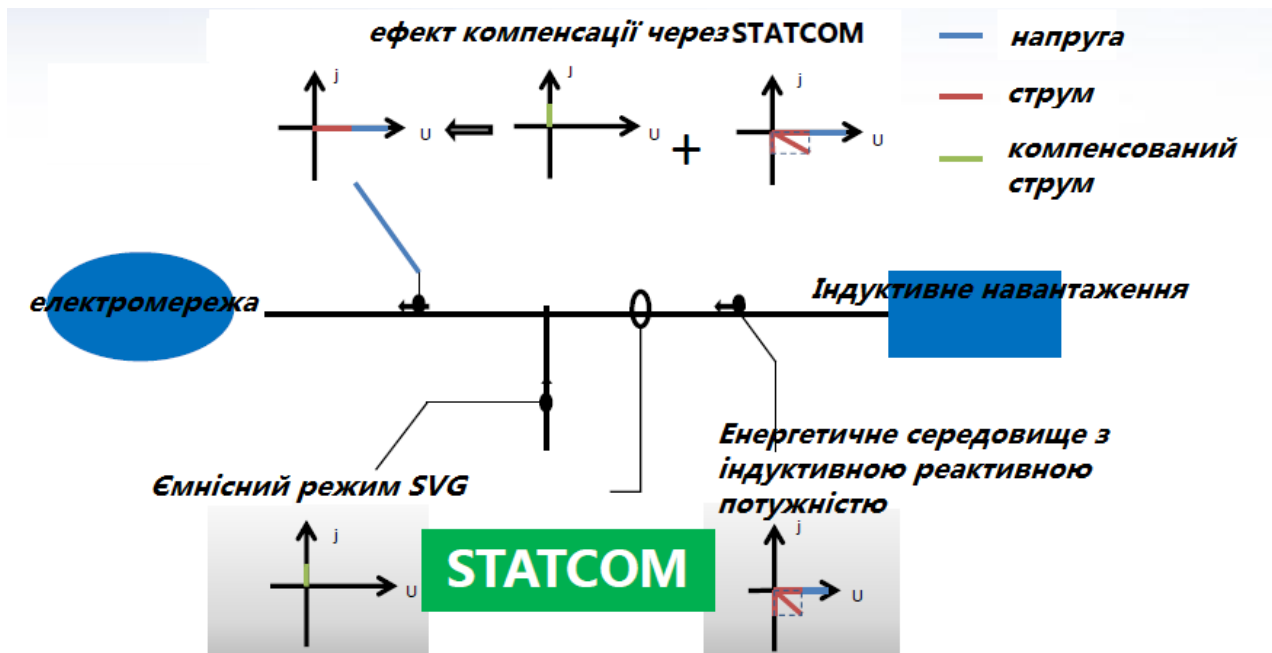


Рисунок 1.3 - Методи компенсації STATCOM

Статичні методи компенсації, такі як конденсатори та індуктивні компенсатори, можуть бути ефективними для стабілізації реактивної

потужності в мережах з більш передбачуваними навантаженнями або там, де потрібне постійне покращення коефіцієнта потужності.

У кожному конкретному випадку важливо здійснити аналіз електричних мереж, врахувати їхні унікальні потреби та особливості навантаження для вибору оптимального методу компенсації реактивної потужності, що забезпечить найкращу ефективність, стабільність та надійність електричних систем магазинів торгових мереж. При обранні методу компенсації реактивної потужності для магазинів торгових мереж у групах ритейлу також важливо враховувати вплив цього методу на загальну ефективність та економічність електричних систем. Порівняно з традиційними методами, сучасні технології компенсації реактивної потужності можуть знижувати витрати на електроенергію через підвищення коефіцієнта потужності та зменшення втрат електроенергії у системі.

Врахування впливу обраного методу компенсації на стабільність та якість постачання електроенергії для ритейлу є важливим аспектом. Надійна та стабільна робота електричних систем визначає безперебійність руху поїздів та підтримку безперервного електропостачання у всіх умовах експлуатації. Вибір оптимального методу компенсації реактивної потужності повинен враховувати не лише технічні параметри, але й витрати на установку, обслуговування та підтримку системи компенсації. Інвестиції у сучасні технології компенсації можуть виявитися вигідними у майбутньому, забезпечуючи економію коштів та покращення продуктивності системи впродовж тривалого періоду експлуатації.

Повинна бути проведена докладна оцінка всіх аспектів вибору та впровадження методів компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж, враховуючи технічні, економічні та експлуатаційні фактори. Це включає аналіз витрат на придбання, встановлення, налагодження та обслуговування обладнання, а також планування його майбутньої ефективності та роботи в різних умовах. Важливо підкреслити необхідність постійного моніторингу та підтримки системи компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж для забезпечення їх безперебійної та ефективної

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
						22
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



торгових мереж, що сприятиме підвищенню ефективності, стійкості та сталості електричних мереж у ритейлі. На тлі постійного технологічного прогресу і стрімкого розвитку технічних можливостей, сучасні торгові центри стикаються з необхідністю не лише оптимізації роботи електричних систем, а й удосконалення систем компенсації реактивної потужності. Сьогодні це стає ключовим елементом для підтримки сталого функціонування та забезпечення високої продуктивності електричних мереж. Інженери та фахівці з енергетики працюють над розробкою новітніх методів, які поєднують у собі найкращі технологічні рішення для компенсації реактивної потужності. Це включає вдосконалені матеріали для виробництва компонентів, адаптивні системи управління, які забезпечують миттєву реакцію на зміни навантаження, а також використання штучного інтелекту та аналітики даних для передбачення потреб електричних мереж та оптимізації роботи систем.

Розуміння необхідності не лише підтримки електричних систем, але й їхнього розвитку з погляду сталості, продуктивності та енергоефективності, є ключовим для успішного функціонування та подальшого росту торговельної інфраструктури. Таким чином, постійне покращення систем компенсації реактивної потужності в торгових мережах є невід'ємною складовою розвитку сучасних електричних мереж, спрямованих на оптимізацію ресурсів, збереження енергії та створення стабільних умов для розвитку сучасного ритейлу. В сучасному світі, коли питома вага технологій у всіх сферах життя постійно зростає, ритейл визнається однією з ключових складових сталого розвитку суспільства. Забезпечення ефективного та стабільного електропостачання для торгових мереж вимагає не лише технічної компетентності, але й глибокого розуміння енергетичних процесів та їх впливу на навколишнє середовище.

Розвиток та вдосконалення систем компенсації реактивної потужності для магазинів торгових мереж стають актуальною відповіддю на зростаючу потребу у стабільному та ефективному електропостачанні для ритейлу. Постійний технологічний прогрес відкриває нові можливості для розробки та

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

впровадження інноваційних рішень у цій сфері. Використання новітніх матеріалів, розробка високоефективних електронних систем управління та застосування передових методів аналізу даних дозволяють створювати більш надійні, ефективні та енергоефективні системи компенсації. Такий підхід сприяє не лише оптимізації роботи магазинів торгових мереж, а й зменшенню впливу на довкілля, створюючи більш сталі умови для розвитку та експлуатації торгових мереж.

Залучення технологічних інновацій та зосередження уваги на сталому вдосконаленні електричних систем ритейлу визначатимуть ефективність та сталість енергопостачання для майбутніх поколінь, роблячи їхнє життя більш комфортним і екологічно чистим.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		25

## 2 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА МАГАЗИНАХ ТОРГОВИХ МЕРЕЖ

На сучасний момент, пристрої компенсації реактивної потужності в магазинах торгових мереж є ключовим елементом для забезпечення ефективності та стабільності електричних систем ритейлу. Аналіз стану таких пристроїв вказує на деякі основні аспекти:

1. Технологічний розвиток: В останні роки спостерігається стрімкий розвиток технологій компенсації реактивної потужності. Використання сучасних електронних компонентів, вдосконалення методів керування та впровадження новітніх матеріалів дозволяють створювати більш точні, надійні та ефективні системи компенсації.

2. Диверсифікація методів: З'являються нові методи компенсації реактивної потужності, такі як статичні компенсатори (STATCOM), розумні компенсатори, які використовують штучний інтелект та аналітику для оптимізації роботи, а також динамічні системи компенсації. Контролери, для прикладу (DATAKOM) компенсації реактивної потужності використовують масиви конденсаторів або котушок індуктивності для досягнення цільової величини коефіцієнта потужності в таких цілях:

- зниження навантаження на лінії електропередачі, трансформатори та розподільні пристрої;
- зниження витрат на оплату електроенергії;
- зниження рівня вищих гармонік;
- придушення мережевих перешкод та зниження асиметрії фаз;
- підвищення надійності та економічності розподільних мереж.

Дані пристрої також використовуються для вимірювання та відображення різних параметрів змінного струму трифазних розподільних панелей, включаючи гармонічні спотворення фазної напруги та струмі

3. Енергоефективність: Сучасні пристрої компенсації реактивної потужності враховують питання енергоефективності. Вони спрямовані на зменшення витрат

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		26

електроенергії, підвищення коефіцієнта потужності та оптимізацію роботи електричних мереж.

4. Надійність та безпека: Сучасні системи компенсації реактивної потужності розроблені з урахуванням високих вимог до надійності та безпеки. Це важливо для забезпечення безперебійної роботи електричних систем ритейлу та уникнення аварійних ситуацій.

5. Моніторинг та діагностика: Розвиток систем моніторингу та діагностики дозволяє проводити постійний контроль за станом пристроїв компенсації, що сприяє швидкому виявленню можливих проблем та вчасному їх вирішенню.

Узагальнюючи, сучасний аналіз стану пристроїв компенсації реактивної потужності підтверджує постійний технічний прогрес та пошук нових ефективних рішень для забезпечення стабільності та ефективності електричних систем у сфері ритейлу. Новітні тенденції в області магазинів торгових мереж та їхньої електричної інфраструктури спрямовані на поєднання технологічних інновацій та підвищення стійкості систем компенсації реактивної потужності. Одним із головних напрямків стає розробка адаптивних систем, здатних автоматично реагувати на зміни у навантаженні, температурі та інших зовнішніх факторах.

Стандартизація та гармонізація методів компенсації реактивної потужності в торговельних мережах набуває все більшої ваги. Це сприяє спільному розумінню та впровадженню оптимальних практик у сфері енергетики торгівлі, забезпечуючи сумісність та взаємодію різних систем у складних електричних мережах.

Розробники акцентують увагу на інтелектуальних системах керування, які здатні адаптуватися до динамічних змін у виробництві електроенергії та споживанні. Це включає розумне регулювання роботи компенсаційних пристроїв в режимі реального часу, що максимально оптимізує їхню ефективність та витрати електроенергії.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		27

Зокрема, додатковий акцент робиться на розвиток "зелених" технологій у сфері магазинів торгових мереж, спрямованих на підвищення використання відновлюваних джерел енергії та мінімізацію впливу на довкілля.

Сучасний аналіз стану пристроїв компенсації реактивної потужності свідчить про активне використання передових технологій та стратегій, що спрямовані на оптимізацію роботи електричних систем ритейлу з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності та екологічної безпеки.

Сучасний етап розвитку магазинів торгових мереж засвідчує перехід до використання інноваційних технологій в сфері компенсації реактивної потужності. Розвиток цих технологій базується на забезпеченні оптимального співвідношення між виробництвом електроенергії та її споживанням, а також на підвищенні коефіцієнта потужності та забезпеченні стійкості електричних мереж.

У зв'язку з цим, велика увага приділяється дослідженням нових матеріалів для виробництва компенсаційних пристроїв, що мають підвищену ефективність та мінімізують енерговитрати. Технологічні рішення та інновації спрямовані на розробку гнучких систем компенсації, які легко адаптуються до змінних умов експлуатації та забезпечують стабільну роботу під час пікових навантажень.

Дослідницька робота орієнтується на вдосконалення систем моніторингу та діагностики, що дозволяють оперативно виявляти та усувати несправності пристроїв компенсації, попереджаючи можливі відмови та забезпечуючи безперебійну роботу електричних мереж. Цей період характеризується пошуком більш інтегрованих рішень та розвитком систем "розумних" магазинів, які використовують аналітику даних та штучний інтелект для прогнозування та оптимізації роботи систем компенсації з урахуванням змін у потребах споживачів електроенергії.

Сучасний аналіз свідчить про активний пошук нових рішень та технологій у сфері компенсації реактивної потужності, спрямований на оптимізацію роботи магазинів торгових мереж та покращення стабільності електричних систем ритейлу.

						02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			28

На сьогоднішній день спостерігається інтенсивний розвиток методів компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж, орієнтований на досягнення більшої точності, надійності та ефективності електричних систем. Цей прогрес базується на використанні передових технологій, постійних наукових дослідженнях та інженерних рішеннях.

Однією з ключових тенденцій у вдосконаленні систем компенсації реактивної потужності є розробка гнучких та адаптивних систем управління, які забезпечують автоматичне регулювання компенсаційних пристроїв у реальному часі. Це дозволяє швидко адаптуватися до змінних умов роботи електричних мереж та ефективно оптимізувати їх функціонування.

Паралельно, увага зосереджена на розробці систем моніторингу та прогнозування, що дозволяють оперативно виявляти потенційні проблеми в роботі компенсаційних пристроїв і уникнути можливих відмов. Це сприяє підвищенню надійності та стійкості електричних систем, що є критично важливим для безперебійної роботи торгових мереж.

Розробники та інженери активно вивчають можливості інтеграції відновлюваних джерел енергії в системи компенсації реактивної потужності, спрямовуючи зусилля на зменшення екологічного впливу та забезпечення сталого розвитку. Отже, аналіз сучасного стану свідчить про динамічний розвиток інновацій у сфері компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж, спрямований на досягнення високої продуктивності, ефективності та енергоефективності у сучасних електричних мережах ритейлу.

## **2.1 Технічне обладнання на магазинах торгових мереж**

Технічне обладнання на магазинах торгових мереж включає різноманітні елементи, спрямовані на забезпечення електропостачання для систем ритейлу. Деякі з ключових складових цього обладнання включають:

1. Трансформатори: Це один з основних елементів ГРЩ магазину, який використовується для зниження або підвищення напруги в електричних

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		29

мережах. Трансформатори забезпечують передачу електроенергії від постачальника до споживача з врахуванням необхідних параметрів напруги та потужності.



Рисунок 2.1 – Силовий трансформатор 2000 кВА

2. Вимірювальні та захисні пристрої: Ці пристрої використовуються для моніторингу та контролю різних параметрів електричних систем, таких як напруга, струм, частота тощо. Вони також відповідають за захист обладнання від перевантажень, коротких замикань та інших аварійних ситуацій.

3. Компенсаційні пристрої: Ці пристрої використовуються для компенсації реактивної потужності у системі, що дозволяє покращити коефіцієнт потужності та оптимізувати роботу електричних мереж.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ

Арк

30



Рисунок 2.2 - Комплектна компенсаційна установка

4. Перетворювачі частоти: Цей тип обладнання перетворює постійний струм у змінний частотний струм, що дозволяє регулювати швидкість та напругу в електричних системах.

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ

Арк

31



Технічне обладнання на магазинах торгових мереж є важливою складовою систем рітейлу, спрямованою на забезпечення ефективної та безперебійної роботи.

Загальний огляд технічного обладнання на магазинах торгових мереж включає в себе також:

1. Комутаційне обладнання: До цієї категорії належать вимикачі, контактори, вимикачі-роз'єднувачі та інші пристрої, які використовуються для перемикання електричних ліній та керування струмом.

2. Шини та кабельні системи: Вони використовуються для забезпечення з'єднання між різними елементами підстанції та передачі електричної енергії.

3. Системи автоматизації та управління: Ці системи мають за мету автоматизацію процесів управління та контролю електричних мереж для оптимізації роботи систем та підтримання стійкості.

4. Головні розподільчі щити: Це комплексні системи, що включають трансформатори, вимикачі та інше обладнання для перетворення напруги та подачі електроенергії на потрібні лінії електропередач магазину або інших споживачів.

5. Засоби безпеки та системи захисту: Вони включають у себе системи вимірювання, контролю та захисту, призначені для попередження аварійних ситуацій та захисту електрообладнання.

Технічне обладнання складається з різних компонентів, які спільно працюють для забезпечення стабільності та ефективності електричної системи магазину чи торгового центру. Відповідно до специфіки та потреб конкретного магазину, використовуються різноманітні технічні рішення та обладнання.

Безперервна модернізація технічного обладнання на магазинах включає в себе впровадження передових технологій, наприклад:

1. Енергоефективні технології: Використання новітніх розробок для зменшення енерговитрат, оптимізації роботи обладнання та підвищення загальної продуктивності системи.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

2. Інтелектуальні системи управління: Впровадження систем, які базуються на штучному інтелекті та аналітиці даних для автоматизації та оптимізації процесів управління енергопостачанням.

3. Вдосконалення систем енергозабезпечення: Розробка та впровадження нових концепцій, таких як гібридні системи живлення або системи з використанням альтернативних джерел енергії.

4. Автоматизовані системи моніторингу та діагностики: Застосування передових систем для постійного контролю та швидкого виявлення можливих несправностей в обладнанні.

5. Системи керування зберіганням енергії: Використання сучасних технологій зберігання енергії для оптимізації потужності та забезпечення резервного живлення.

Ці постійні інновації спрямовані на покращення продуктивності та стійкості магазинів торгових мереж, щоб вони відповідали сучасним вимогам до ефективності та надійності електричних систем.

Розвиток технічного обладнання на магазинах торгових мереж також включає в себе пошук інноваційних рішень у сфері матеріалознавства та конструкцій. Наприклад, застосування нових матеріалів з покращеними характеристиками провідності, теплопровідності та довговічності може покращити продуктивність обладнання та знизити енерговитрати. Підбору сучасних акумуляторних батарей.

Також, розробка компактних та ефективних рішень щодо розміщення технічного обладнання стає актуальною у зв'язку з обмеженим простором на ГРЩ та інших технічних приміщень магазинів торгових мереж. Інженери та дослідники активно працюють над розробкою модульних систем, які забезпечують оптимальне використання простору та підвищують зручність обслуговування обладнання.

Технічне обладнання на магазинах торгових мереж піддається постійному вдосконаленню і еволюції, зокрема, шляхом впровадження новітніх технологій, застосування передових матеріалів та розробки компактних та більш

										Арк
										34
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ					

ефективних систем, що сприяє підвищенню продуктивності та стійкості електричних мереж магазинів та торгових центрів.

## 2.2 Переваги та недоліки існуючих систем

Системи компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж мають свої переваги та недоліки, які важливо враховувати при їх використанні:

Переваги:

- **Покращення коефіцієнта потужності:** Системи компенсації дозволяють зменшити втрати енергії, покращуючи коефіцієнт потужності системи та оптимізуючи роботу електричних мереж.
- **Зниження витрат:** Впровадження компенсаційних пристроїв дозволяє зменшити енерговитрати, що може призвести до економії коштів у результаті оптимізації роботи систем електропостачання.
- **Підвищення стабільності мережі:** Ефективне використання систем компенсації реактивної потужності сприяє збереженню стабільності та надійності електричної мережі.

Недоліки:

- **Вартість впровадження:** Побудова та впровадження компенсаційних систем може бути високою за вартістю через необхідність спеціалізованого обладнання та технічної експертизи.
- **Потреба у підтримці та обслуговуванні:** Системи компенсації потребують постійного моніторингу, технічного обслуговування та управління для підтримки їх ефективної роботи.
- **Вплив на електричну безпеку:** Некоректна робота або погано налаштовані системи компенсації можуть стати причиною нестабільності електричної мережі та призвести до збоїв.

У кожному конкретному випадку необхідно враховувати специфіку мережі та потреби споживачів, щоб зробити обґрунтований вибір системи компенсації

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		35

реактивної потужності, яка б найкращим чином відповідала вимогам ефективності та надійності. Однією з ключових переваг систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж є їх можливість підтримувати стабільність напруги в електричних мережах. Це особливо важливо для систем електропостачання об'єктів ритейлу, де великі коливання напруги можуть призвести до виникнення серйозних проблем з функціонуванням та безпекою електричних систем.

Системи компенсації реактивної потужності можуть сприяти підвищенню ефективності використання електричної енергії, зниженню втрат у електричних мережах та оптимізації роботи обладнання. Це може мати позитивний вплив на загальну продуктивність систем електропостачання і сприяти зниженню негативного впливу на довкілля через більш ефективне використання ресурсів. Проте, варто враховувати, що недоліки систем компенсації реактивної потужності, такі як високі витрати на установку та обслуговування, можуть ставати перешкодою для їх широкомасштабного використання. Тому для кожної конкретної ситуації важливо проводити комплексний аналіз та обирати оптимальні рішення з урахуванням потреб та можливостей системи електропостачання магазину чи торгового центру в цілому.

Розвиток систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж також спрямований на зниження впливу електричної системи на довкілля. Інтеграція передових технологій та застосування екологічно чистих методів можуть допомогти зменшити енерговитрати, а отже, знизити викиди вуглекислого газу та інших забруднюючих речовин. Розвиток систем компенсації реактивної потужності сприяє підвищенню надійності та безпеки електричних мереж у сфері ритейлу. Забезпечення стабільності напруги та оптимізація роботи системи допомагають уникнути аварійних ситуацій та забезпечують безперебійну роботу обладнання магазину.

Ще однією важливою перевагою є можливість використання систем компенсації реактивної потужності для зберігання енергії. Це може стати важливим у реалізації програм енергоефективності та розвитку альтернативних

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		36

джерел енергії, що сприятиме сталому розвитку та зменшенню залежності від традиційних джерел енергії.

Враховуючи ці аспекти, впровадження та постійне вдосконалення систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж має великий потенціал у поліпшенні якості електропостачання, збереженні енергоресурсів та сприяє збереженню навколишнього середовища. Зокрема, однією з важливих переваг систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж є їх вплив на підвищення продуктивності, довготривалості життєвого циклу обладнання та зниження витрат на його обслуговування. Це досягається завдяки усуненню або зменшенню надлишкової реактивної потужності в системі, що може сприяти оптимізації роботи технічного обладнання, підвищенню його тривалості служби та зменшенню витрат на ремонт.

Також, системи компенсації реактивної потужності можуть відкривати шлях для впровадження інноваційних технологій у сфері енергоменеджменту. Наприклад, збільшення автоматизації та впровадження "розумних" систем управління може покращити ефективність та динаміку роботи силового обладнання магазинів, а також забезпечити більш точні дані для аналізу енергозабезпечення. Загальна концепція застосування компенсації реактивної потужності в магазинах торгових мереж полягає в оптимізації роботи електроенергетичної системи, забезпеченні стабільності та покращенні продуктивності систем електропостачання, що відкриває шлях до створення більш ефективних та екологічно чистих систем енергопостачання для мереж рітейлу.

### **2.3 Ефективність сучасних пристроїв компенсації**

Сучасні пристрої компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж є ключовим елементом оптимізації роботи електропередачі в системах рітейлу. Ефективність цих пристроїв полягає у їх здатності активно реагувати на зміни потреб у виробництві та споживанні електроенергії. Давайте

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		37

розглянемо основні аспекти, які визначають ефективність сучасних пристроїв компенсації реактивної потужності.

- Сучасні пристрої компенсації можуть динамічно регулювати реактивну потужність відповідно до потреб системи. Це дозволяє швидко реагувати на зміни навантаження та забезпечувати стабільну роботу електричних мереж у різних умовах.
- Сучасні системи мають високу точність у вимірюванні реактивної потужності та ефективності компенсації. Це дозволяє мінімізувати втрати енергії та забезпечувати оптимальне управління потужністю системи.
- Багато пристроїв компенсації мають вбудовані системи автоматизованого управління, що дозволяє їм самостійно реагувати на зміни параметрів мережі без постійного втручання оператора.
- Сучасні пристрої зазвичай мають гнучкі налаштування, що дозволяє їм пристосовуватися до різноманітних умов роботи та потреб системи, забезпечуючи оптимальну роботу у будь-яких умовах.
- Одним із ключових аспектів ефективності є енергоефективність пристроїв компенсації. Вони спрямовані на зниження втрат енергії та покращення коефіцієнта потужності системи, що дозволяє оптимізувати споживання електроенергії та зменшити витрати.

Ефективність сучасних пристроїв компенсації реактивної потужності визначається їхньою здатністю забезпечувати стабільність та ефективність електропостачання, знижуючи витрати та підвищуючи надійність системи. Ці пристрої стають все більш важливими у сучасних системах електроживлення та електроспоживання, де вимоги до ефективності та стабільності ростуть, а використання електроенергії стає все більш розповсюдженим. Розвиток сучасних пристроїв компенсації реактивної потужності відбувається в напрямку використання новітніх матеріалів та технологій, спрямованих на підвищення ефективності та функціональних можливостей цих пристроїв.

Одним із напрямів є використання напівпровідникових технологій. Використання напівпровідникових компонентів у пристроях компенсації

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		38

реактивної потужності може покращити їх ефективність та знизити енерговитрати. Ці технології дозволяють створювати пристрої компактніші, міцніші та менш енергоефективні, що є важливим у зв'язку зі зростанням потреб у енергоефективних рішеннях у сучасному ритейлі.

Крім того, використання систем штучного інтелекту (ШІ) та алгоритмів машинного навчання для управління пристроями компенсації може покращити їх адаптивність до змінних умов роботи електричної мережі. ШІ дозволяє пристроям автоматично аналізувати дані про навантаження та реагувати на них, максимізуючи ефективність компенсації реактивної потужності в реальному часі. Такі напрямки в розвитку пристроїв компенсації реактивної потужності відкривають широкі перспективи для створення ефективних, стабільних та енергоефективних систем електропостачання для магазинів торгових мереж, що є ключовим елементом сучасних ритейл об'єктів.

Сучасні тенденції в розвитку пристроїв компенсації реактивної потужності також включають у себе дослідження і впровадження систем енергоефективного керування та зберігання енергії. Використання методів зберігання енергії, таких як суперконденсатори чи акумулятори нового типу, може стати важливим етапом у підвищенні ефективності та стійкості систем компенсації. Це дає можливість вирішувати питання нерівномірності навантаження в різний час, забезпечуючи стабільність роботи та економію електроенергії.

Перехід до використання пристроїв на основі розумних технологій дозволяє створювати системи, які можуть самостійно адаптуватися до змінних умов роботи та забезпечувати оптимальну роботу електричних мереж. Використання систем штучного інтелекту, побудова прогностичних моделей та аналіз великих обсягів даних дозволяють створювати більш точні та ефективні пристрої компенсації, що відповідають сучасним вимогам до надійності та енергоефективності.

Реалізація цих новаторських підходів у сучасних пристроях компенсації реактивної потужності відкриває шлях до створення інтелектуальних,

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		39



приймати рішення щодо регулювання реактивної потужності для підтримки стабільності напруги та оптимізації енергоефективності систем.

Додатково, інтеграція блокчейн-технологій може забезпечити безпеку та недоторканність даних, зібраних системами моніторингу. Це дозволить забезпечити захист інформації про електричну мережу та оптимізувати процеси прийняття управлінських рішень на основі достовірних даних. Загалом, з урахуванням стрімкої еволюції технологій, у тому числі Інтернету речей, штучного інтелекту, аналізу даних та блокчейн-технологій, ми спостерігаємо перехід до розумних, адаптивних та ефективних систем управління та компенсації реактивної потужності. Це робить можливим покращення продуктивності та надійності електричних мереж у магазинах торгових мереж, що є важливим кроком у напрямку сталого розвитку ритейлу. На сьогоднішній день, разом із зростанням вимог до ефективності та стійкості електричних систем магазинів торгових мереж, розвиваються нові технології, спрямовані на оптимізацію роботи пристроїв компенсації реактивної потужності.

Одним зі значущих напрямків розвитку є використання енергоефективних матеріалів та компонентів у конструкції пристроїв компенсації. Розробники активно вивчають можливості використання новітніх матеріалів, які володіють високою стійкістю до температурних змін та механічних впливів, що дозволяє створювати компактні, ефективні та довговічні пристрої.

Вдосконалення систем керування та моніторингу також має велике значення. Розвиток інтегрованих систем управління на базі штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє підвищити автоматизацію процесів, покращити точність аналізу даних та забезпечити ефективне регулювання реактивної потужності в реальному часі. Загалом, поєднання передових матеріалів, новітніх технологій виробництва та використання інтелектуальних систем управління відкриває шлях до створення високоефективних, стабільних та екологічно чистих пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж, сприяючи зростанню якості електропостачання.

										Арк
										41
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ					

## 2.4 Потреби у вдосконаленні та можливі напрямки розвитку

Сучасні потреби в розвитку пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж постійно зростають у зв'язку з розвитком торгових мереж та збільшенням попиту на електроенергію. Це ставить перед розробниками ряд завдань і можливих напрямків розвитку:

- Напрямок розвитку полягає в створенні пристроїв, які будуть максимально ефективними у компенсації реактивної потужності при мінімальних енерговитратах.
- Розвиток систем, які здатні адаптуватися до змін у вимогах та умовах роботи, що дозволить ефективно пристосовувати роботу пристроїв до змін в електричних мережах.
- Розробка систем, які можуть автоматично прогнозувати та оптимізувати компенсацію реактивної потужності на основі зібраних даних, використовуючи алгоритми штучного інтелекту.
- Створення пристроїв, які володіють високою стійкістю до електричних перенапруг та інших внутрішніх або зовнішніх впливів, забезпечуючи надійну роботу систем електропостачання.
- Розвиток пристроїв з меншим впливом на довкілля та зменшенням викидів для підтримки сталого розвитку.

Ці напрямки розвитку відображають поточні потреби в енергетичній галузі та важливість постійного удосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності для забезпечення найвищої ефективності та стабільності електромереж. Сучасні напрямки вдосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж також включають у себе використання розумних інтегрованих систем управління з можливістю дистанційного моніторингу та діагностики. Це дозволяє оперативно виявляти та усувати проблеми в електричних мережах, покращуючи їхню надійність та ефективність.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		42



технологічних рішень є ключовими факторами для забезпечення надійного та ефективного електропостачання у сучасних торгових системах.

Новітні дослідження також спрямовані на розробку адаптивних систем управління, які враховують динамічні зміни у навантаженні та стані електричних мереж. Це включає в себе створення алгоритмів, що здатні оперативно реагувати на змінні умови роботи та оптимізувати компенсацію реактивної потужності, забезпечуючи стабільну роботу систем.

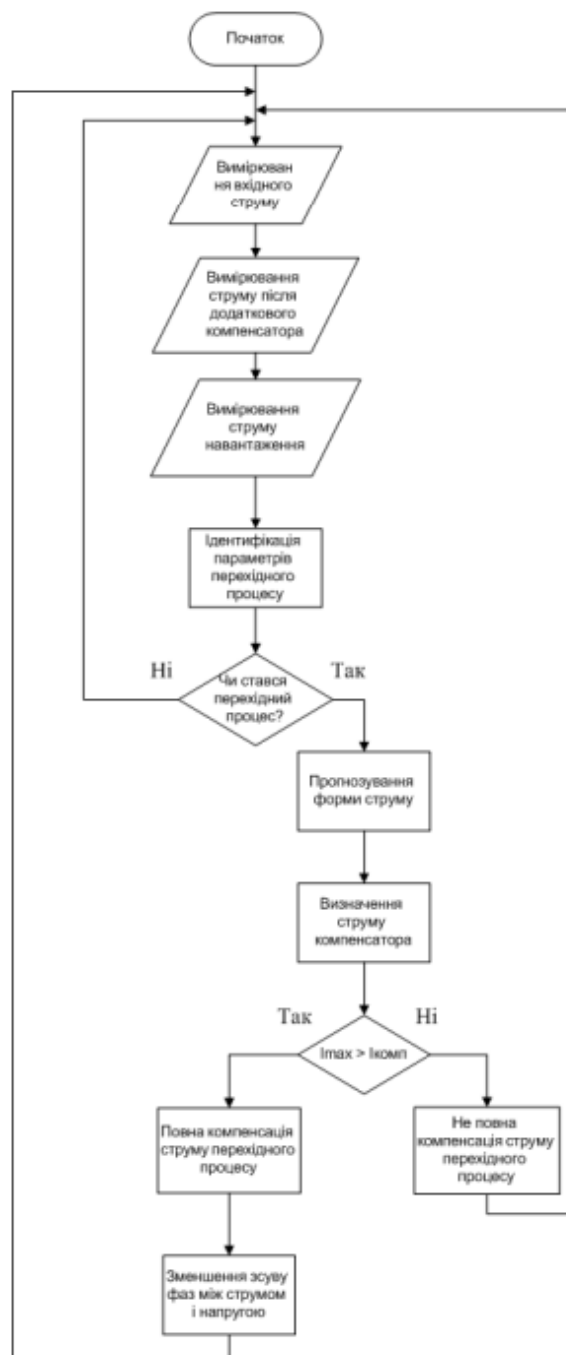


Рис. 2.5 Алгоритм компенсації довгого перехідного процесу

Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

Додатково, важливим аспектом є розробка системи прогнозування реактивної потужності, яка базується на аналізі історичних даних та використанні методів штучного інтелекту. Це дозволить передбачати потреби у компенсації реактивної потужності заздалегідь та оптимізувати роботу пристроїв у мережі. Наукові дослідження також акцентують увагу на розвитку нових матеріалів, що мають високу електричну проникність, міцність та термічну стійкість. Використання таких матеріалів може сприяти створенню більш ефективних пристроїв з меншими втратами енергії та довшим терміном служби. Узагальнюючи, поєднання адаптивних систем управління, прогностичних моделей та використання передових матеріалів визначає перспективи розвитку пристроїв компенсації реактивної потужності, що спрямовані на підвищення надійності та ефективності електричних систем магазинів торгових мереж. Один із перспективних напрямків у вдосконаленні пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж полягає в розробці гібридних систем, які комбінують різні технології. Наприклад, поєднання статичних компенсаторів реактивної потужності (SVC) з пристроями активних фільтрів може забезпечити комплексне керування реактивною потужністю, що дозволить зменшити втрати енергії та підтримувати стабільність електричних мереж у складних умовах експлуатації.

Дослідження також акцентують увагу на використанні адаптивних алгоритмів управління, що можуть автоматично реагувати на зміни у навантаженні та умовах мережі, оптимізуючи компенсацію реактивної потужності в реальному часі. Це сприяє підвищенню ефективності та стійкості роботи систем електропостачання. В розвитку пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж ключове значення має інтеграція розумних технологій та систем управління, які дозволяють оптимізувати роботу устаткування в реальному часі. Впровадження мережі "інтернет речей" (IoT) та зв'язаних з нею датчиків дозволяє отримувати постійні дані щодо електричних параметрів, що створює можливості для точного моніторингу та прогнозування реактивної потужності у мережі. Розвиток

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		45

алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання відкриває нові горизонти для розуміння складних змін у мережі та автоматизованого управління процесами компенсації. Використання цих технологій дозволяє не лише уникнути перенавантажень та збоїв, а й забезпечує оптимальну роботу пристроїв у реальному часі, що є ключовим для стабільності систем електропостачання.

За допомогою розвитку цифрових платформ та програмних рішень, можливе створення віртуальних моделей електричних мереж, які дозволять проводити детальний аналіз та експерименти на етапі проектування нових систем компенсації. Це дає можливість зробити прогнози ефективності та показників роботи пристроїв ще до їх реального впровадження у мережі.

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		46

### 3 ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИБОРІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА МЕРЕЖІ МАГАЗИНІВ

Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж відкриває широкі можливості для покращення ефективності та стабільності електричних систем. Основні аспекти технічного аналізу модернізації включають:

- Заміна застарілих компенсаторів реактивної потужності на більш сучасні пристрої з використанням передових технологій управління, що дозволить підвищити ефективність та точність компенсації.
- Впровадження інтелектуаль-них систем управління на базі штучного інтелекту та аналізу даних для автоматизації процесів компенсації та підвищення їхньої точності.
- Використання новітніх техноло-гій, що спрямовані на зменшення енерговитрат та оптимізацію роботи систем, які використовують компенсацію реактивної потужності.
- Детальний технічний аналіз параметрів електричних мереж, зокрема динамічних навантажень, споживання електроенергії та інших величин, для визначення оптимальних методів компенсації.

Впровадження нових матеріалів та технологій: Дослідження та застосування нових матеріалів і технологій, таких як напівпровідники та наноматеріали, для створення більш ефективних та мініатюризованих пристроїв компенсації. Забезпечення моніторингу та дистанційного управління: Розробка систем моніторингу, які дозволяють в режимі реального часу відстежувати стан пристроїв та віддалено управляти ними.

Ці аспекти враховуються при технічному аналізі, спрямованому на оптимізацію та покращення функціональності пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж. Розглядаючи можливості

					02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		47



систем з використанням теплоаккумуляції, може забезпечити додаткові можливості для оптимізації роботи пристроїв компенсації та підвищення енергоефективності систем електропостачання.

Поглиблення досліджень у напрямку розвитку гібридних систем компенсації реактивної потужності, які поєднують різноманітні технології (наприклад, статичні компенсатори та активні фільтри), є важливим етапом у вдосконаленні електромережі. Такі гібридні рішення можуть оптимізувати роботу системи електропостачання, забезпечуючи ефективну компенсацію реактивної потужності в умовах різного навантаження та коливань мережі. Паралельно розвитку нових технологій варто вивчати питання стандартизації та уніфікації пристроїв компенсації. Створення загальноприйнятих стандартів може сприяти сумісності та інтеграції різних компонентів, що у свою чергу спростить впровадження та обслуговування таких систем на різних магазинах торгових мереж.

Зокрема, експериментальні дослідження та моделювання застосування адаптивних алгоритмів для автоматизованого управління пристроями компенсації можуть забезпечити більш гнучку та ефективну роботу системи. Це може відкрити шлях до створення автономних систем, які самостійно коригують реактивну потужність відповідно до змін в мережі без значного втручання людини. Узагальнюючи, поєднання розвитку нових технологій, стандартизації та досліджень у галузі управління може відкрити шлях до створення більш ефективних, стійких та автономних систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж.

### **3.1 Огляд сучасних технологій**

Огляд сучасних технологій в галузі компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж включає дослідження і застосування різноманітних технічних рішень для оптимізації електричних мереж.

									Арк
									49
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ				

Статичні компенсатори реактивної потужності (СКРП): Ці пристрої використовуються для компенсації реактивної потужності шляхом виробництва або поглинання реактивної потужності. Вони можуть бути засновані на конденсаторах, котушках індуктивності або на комбінації обох елементів.

Активні фільтри реактивної потужності (АФРП): Ці пристрої виробляють реактивні струми, які компенсують реактивну потужність, але вони також можуть компенсувати гармоніки та інші спотворення в мережі.

Статичні синхронні компенсатори (STATCOM): Вони використовують напівпровідникові пристрої для генерації реактивної потужності та контролю напруги у мережі.

Гібридні системи: Поєднання різних технологій компенсації, таких як статичні компенсатори та активні фільтри, для досягнення оптимальних результатів у кожний конкретний випадок.

Ефективні енергозберігаючі матеріали: Використання в устаткуванні енергоефективних матеріалів, що забезпечують менше втрат та більшу ефективність роботи систем.

Системи моніторингу та управління: Впровадження розумних систем моніторингу за допомогою датчиків та програмного забезпечення для точного контролю реактивної потужності та аналізу даних у реальному часі. Ці технології використовуються для покращення ефективності, стабільності та надійності систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж, що відіграють ключову роль у забезпеченні неперервності постачання електроенергії та оптимізації роботи електричних мереж. Окрім технологій, зазначених вище, проводяться дослідження з використання новітніх матеріалів для підвищення ефективності компенсації реактивної потужності. Наприклад, деякі розробки в галузі суперконденсаторів дозволяють створювати більш потужні та швидкі системи компенсації, які можуть реагувати на коливання у мережі набагато швидше та ефективніше.

Також, вивчається можливість використання систем зберігання енергії на основі технологій штучного інтелекту та прогностичного аналізу. Ці системи

									Арк
									50
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ				

можуть аналізувати дані з мережі та передбачати коливання реактивної потужності, щоб налаштувати компенсацію наперед. Разом із тим, велика увага приділяється розробці систем управління, які були більш адаптивними та гнучкими до змін в мережі. Інтелектуальні системи управління можуть автоматично реагувати на зміни навантаження та оптимізувати роботу пристроїв компенсації, щоб забезпечити ефективність та стабільність електричної мережі в умовах постійних змін.

Введення цих новітніх технологій та підходів може допомогти підвищити ефективність та точність систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж, що сприятиме забезпеченню стабільності та надійності електромереж.

Популярність та розвиток технологій зберігання енергії також стає ключовим чинником у розгляді сучасних можливостей компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж. Нові рішення в цій сфері, включаючи розвиток більш ефективних батарейних систем, теплових насосів, теплоаккумуляційні технології та системи зберігання на основі водню, можуть стати інноваційними методами компенсації. Використання таких рішень може дозволити знизити навантаження на статичні компенсатори та підвищити загальну ефективність енергопостачання. Окрім того, вивчення технологій мікромереж (microgrid) та їх інтеграція на магазинах торгових мереж є одним з перспективних напрямків. Мікромережі створюють можливість локального виробництва та використання енергії від альтернативних джерел, таких як сонячна або вітрова енергія, що може допомогти зменшити залежність від централізованих систем та підвищити стійкість електромережі.

Розвиток інтегрованих систем управління та моніторингу, зокрема з використанням концепцій Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (AI), відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації процесів компенсації реактивної потужності. Це дозволяє системам самостійно аналізувати та реагувати на зміни у режимі роботи електричних мереж, що

сприяє підвищенню ефективності та забезпеченню стабільності електропостачання.

Один зі способів вдосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж полягає в застосуванні технологій розподіленого зберігання енергії. Це означає використання різних джерел зберігання енергії (батареї, капакітанси, системи управління енергією тощо) на різних рівнях електричної мережі.

Наприклад, наявність установок зберігання енергії безпосередньо на магазинах торгових мереж може забезпечити більшу гнучкість у компенсації реактивної потужності та згладжування піків споживання електроенергії, що сприяє зниженню витрат енергії та оптимізації роботи системи. Паралельно цьому, удосконалення методів передачі електроенергії засобами пристроїв керування напругою та частотою може стати додатковою перевагою. Застосування розумних алгоритмів управління, що дозволяють регулювати ці параметри в залежності від навантаження та потреб мережі, може покращити якість електропостачання та зменшити втрати електроенергії. Таким чином, комбінація новітніх технологій зберігання енергії та методів управління може стати ключовим елементом у забезпеченні більш ефективної та стійкої роботи систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж.

Під час вивчення сучасних можливостей у сфері компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж важливо звернути увагу на розвиток систем енергоефективного управління. Це охоплює впровадження алгоритмів та програм, які спрямовані на мінімізацію втрат енергії та оптимізацію роботи компенсаційних систем. Розробка та застосування програмних продуктів для прогнозування споживання електроенергії може допомогти забезпечити точність і ефективність управління компенсацією реактивної потужності.

Збільшення уваги приділяється дослідженню можливостей використання систем штучного інтелекту та машинного навчання. Інтелектуальні алгоритми можуть аналізувати величезні обсяги даних з електричних мереж для виявлення

						02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			52

паттернів та розробки стратегій управління компенсацією реактивної потужності, що сприятиме оптимізації роботи систем.

Експерименти та дослідження з використанням розширених технологій телекомунікацій для забезпечення зв'язку та взаємодії між різними пристроями компенсації реактивної потужності можуть підвищити ефективність моніторингу та керування системою в реальному часі. Ці інноваційні підходи в сфері управління та аналізу даних можуть сприяти підвищенню продуктивності та надійності систем компенсації реактивної потужності, що відіграють важливу роль у забезпеченні стабільності електричних мереж.

### **3.2 Аналіз переваг модернізації**

Аналіз переваг модернізації систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж відображає значний потенціал у вдосконаленні та покращенні роботи електричних мереж.

- Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності дозволяє підвищити ефективність систем електропостачання за рахунок зменшення втрат енергії та оптимізації роботи мережі.
- Оновлені системи компенсації допомагають зберігати стабільність напруги та знижують ризик перенапружень у мережі, що покращує надійність енергопостачання.
- Модернізація дозволяє більш ефективно використовувати електроенергію та збільшує загальну продуктивність системи за рахунок оптимізації роботи пристроїв компенсації.
- Нові системи забезпечують більші можливості для автоматизації та віддаленого контролю за компенсацією реактивної потужності, що спрощує управління електричною мережею.
- Модернізація сприяє зменшенню впливу на навколишнє середовище через ефективніше використання електроенергії та зниження енерговитрат.

Аналіз показує, що модернізація систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж є ключовим чинником у покращенні ефективності та надійності електричних мереж. Впровадження сучасних технологій дозволить досягти оптимальної роботи систем компенсації та підвищити загальну продуктивність у галузі енергетики.

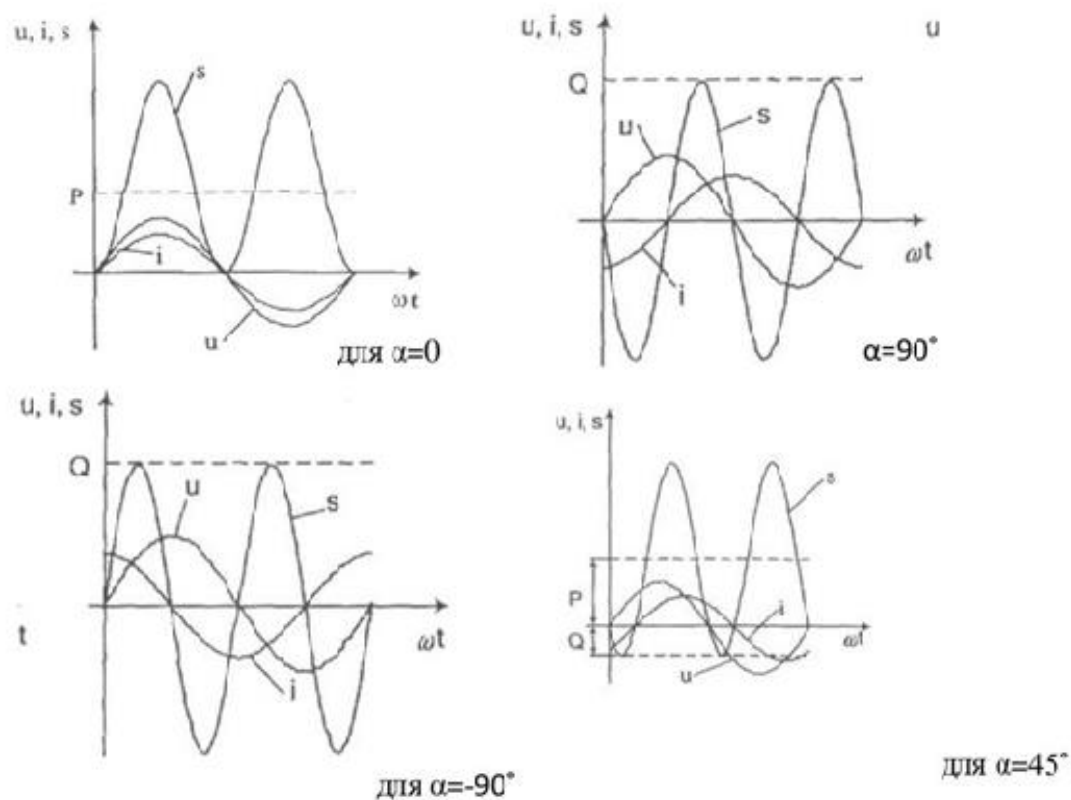


Рис. 3.1 Компенсація реактивної потужності. Поняття реактивної потужності.

Інноваційні модернізаційні рішення в галузі компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж також спрямовані на розробку енергоефективних технологій. Це означає використання продуктивних методів, які забезпечують оптимальне використання енергії та зменшення енерговитрат.

Одним із напрямків є використання систем зеленої енергії, таких як теплові насоси, сонячні панелі або вітряні турбіни, для виробництва додаткової електроенергії. Це може допомогти зменшити залежність від традиційних джерел енергії та сприяти зниженню викидів CO<sub>2</sub>.

Також, важливим фактором в удосконаленні систем компенсації є використання високоефективних матеріалів у виробництві пристроїв. Розвиток





використання систем компенсації та управляти навантаженням з урахуванням прогнозних даних.

Розробка енергоефективних інтегрованих пристроїв компенсації реактивної потужності, що базуються на нових матеріалах та технологіях, може стати перспективним кроком у покращенні функціональності та ефективності систем компенсації на магазинах торгових мереж. Ці інноваційні підходи сприяють не лише покращенню ефективності електричних мереж, а й розвитку та впровадженню нових технологій у сфері електроенергетики, що може мати велике значення для стабільності та сталого розвитку енергетичної системи.

Ще одним важливим напрямком в модернізації пристроїв компенсації реактивної потужності є використання схем зберігання енергії, таких як суперконденсатори або системи акумуляції. Ці технології можуть бути використані для миттєвого вирівнювання коливань у мережі, підвищуючи стабільність електропостачання та допомагаючи уникнути перенапружень. Такі схеми можуть бути ефективними при оптимізації роботи систем компенсації, забезпечуючи реакцію на зміни навантаження у дуже короткі терміни.

Використання нових матеріалів, наприклад, наноматеріалів у виробництві компонентів пристроїв компенсації, може сприяти покращенню їх ефективності та мінімізації енерговитрат. Нанотехнології дозволяють створювати компоненти з покращеними електричними та механічними властивостями, що може призвести до збільшення продуктивності системи. Такі інноваційні рішення, спрямовані на застосування сучасних технологій зберігання енергії та використання нових матеріалів, можуть позначитися на розвитку та удосконаленні систем компенсації реактивної потужності, сприяючи стабільності електромережі та підвищенню ефективності її роботи.

Розробка і використання систем зберігання енергії на основі розумних технологій є однією з ключових складових у покращенні пристроїв компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж. Впровадження батарейних установок, заснованих на технологіях літій-іонних акумуляторів або розумних схем зберігання, може забезпечити додаткові можливості для

									Арк
									57
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ				

резервного зберігання електроенергії та зменшення втрат під час пікових навантажень. Це сприятиме ефективнішому управлінню електромережею та забезпеченню стійкості системи під час несприятливих умов.

Розробка та впровадження систем інтелектуального керування, що ґрунтуються на принципах машинного навчання та аналізу даних, можуть забезпечити оптимальне управління системами компенсації реактивної потужності. Це дозволить адаптувати роботу пристроїв до різноманітних умов мережі та забезпечити більш точні та швидкі реакції на зміни у виробництві та споживанні електроенергії. Такі інноваційні рішення у галузі компенсації реактивної потужності можуть відкрити нові перспективи для підвищення продуктивності та надійності електромереж, сприяючи розвитку стабільних та ефективних систем електропостачання в майбутньому.

### **3.3 Негативні наслідки експлуатації - генерація ємнісної реактивної потужності в мережу**

Нелінійні навантаження, такі як ДБЖ, комп'ютерні блоки живлення, світлодіодні лампи, електродвигуни систем холодопостачання та вентиляції, інвертори, кондиціонери тощо, споживають мережевий струм, який є спотвореним і зміщеним з напругою магазинів торгових мереж АШАН протягом доби проводились вимірювання споживання електроенергії.

На рисунку 3.2 приведений зразок однолінійної схеми підключення установки компенсації реактивної потужності.

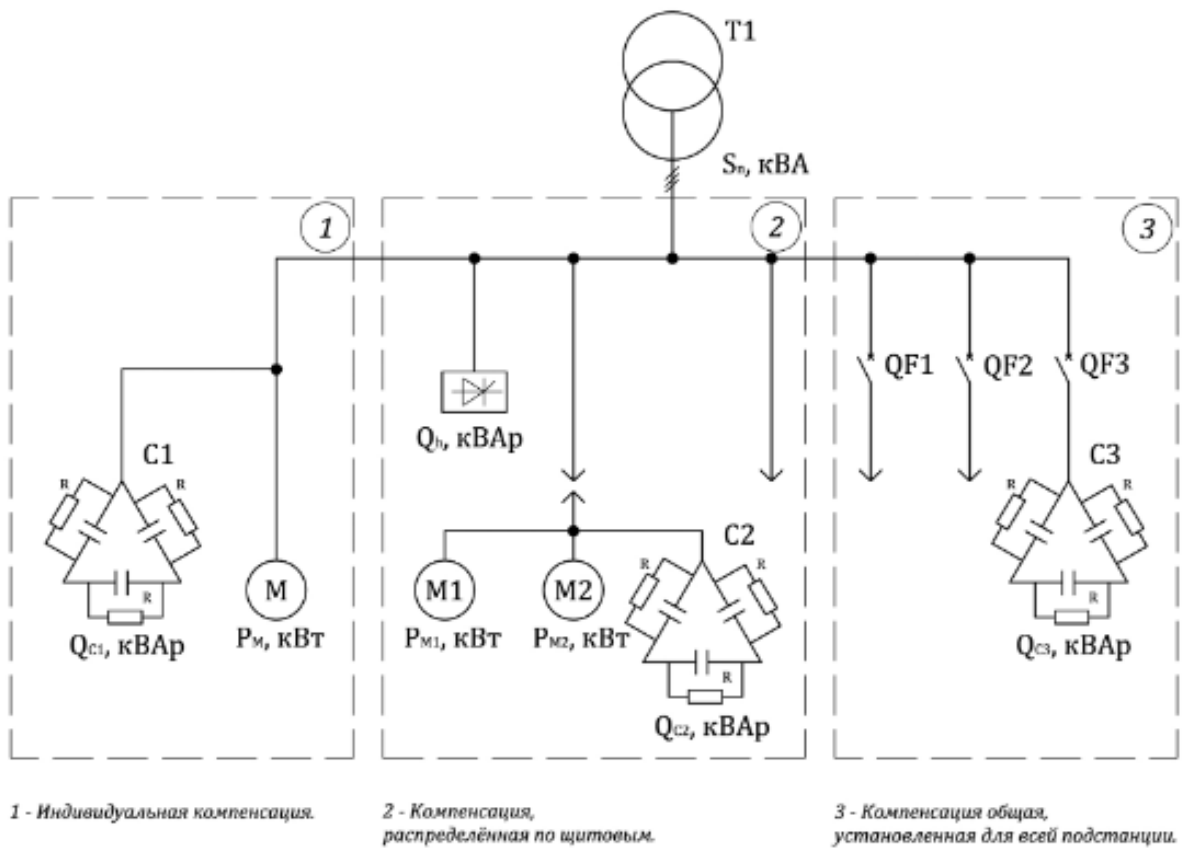


Рис. 3.2 Однолінійна схема підключення установки компенсації реактивної потужності

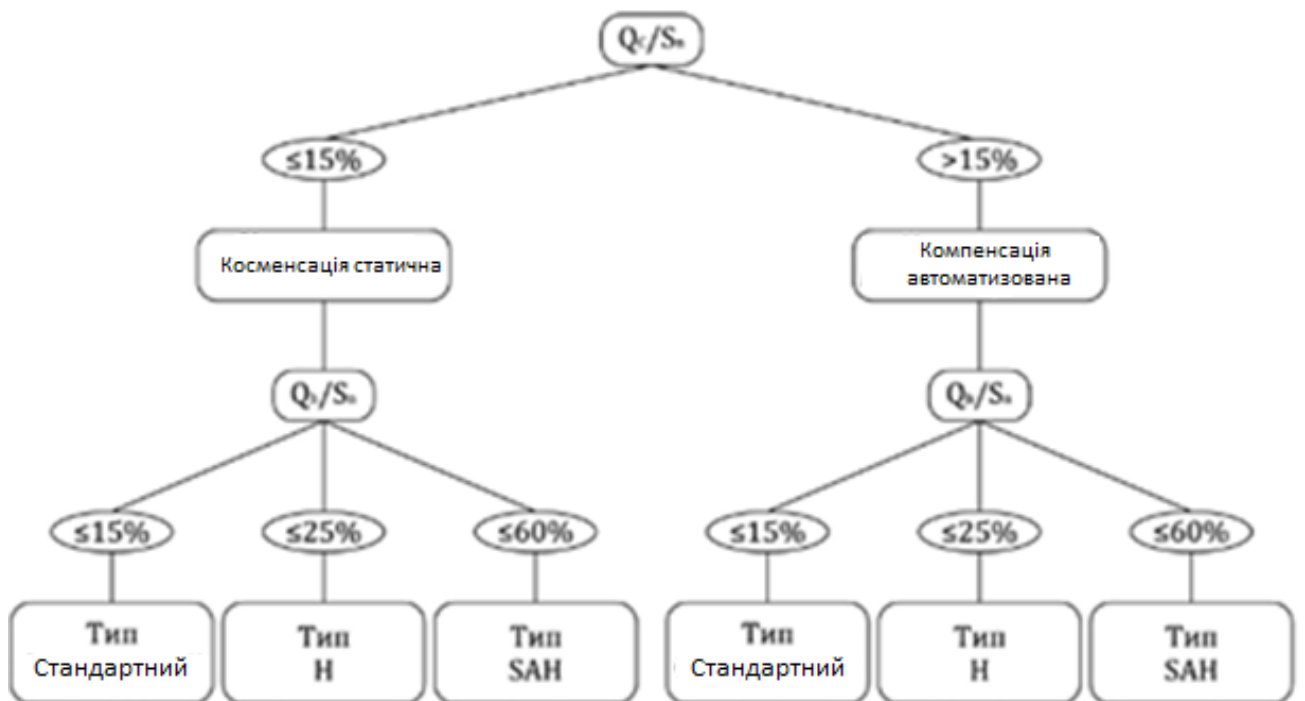


Рис. 3.3 Вибір типів компенсаційного обладнання



Рис. 3.4 Склад компенсаційної установки

Корекція коефіцієнта потужності є однією з найкращих інвестицій для скорочення витрат на електроенергію з короткою окупністю. У великій кількості випадків роботи з проектування та визначення розмірів ускладнювалися тим фактом, що у внутрішній низьковольтній установці компанії, а також у системі середньої напруги, що її постачає, частка мережових гармонік зростає, все частіше за останні кілька років.

Перетворювачі електроенергії, приводи з електронним керуванням, статичні перетворювачі частоти, холодильне обладнання, вентиляційне обладнання, телевізори та комп'ютери подають гармонічні струми в мережу живлення. Ці гармоніки можуть бути посилені опором мережі та встановленими конденсаторами. Відсутність гармонік також мінімізує перешкоди для інших пристроїв, що живляться від того самого джерела.

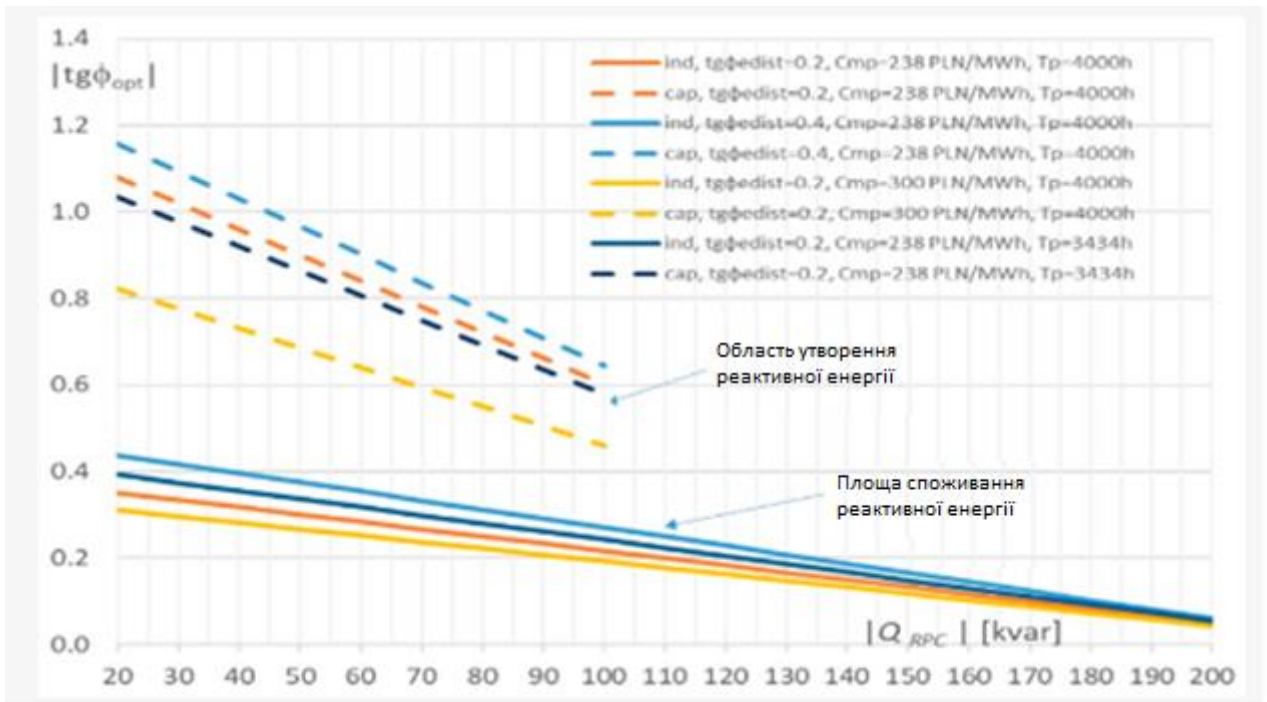


Рис. 3.5 Оптимальні значення  $\text{tg}\phi$  від номінальної потужності

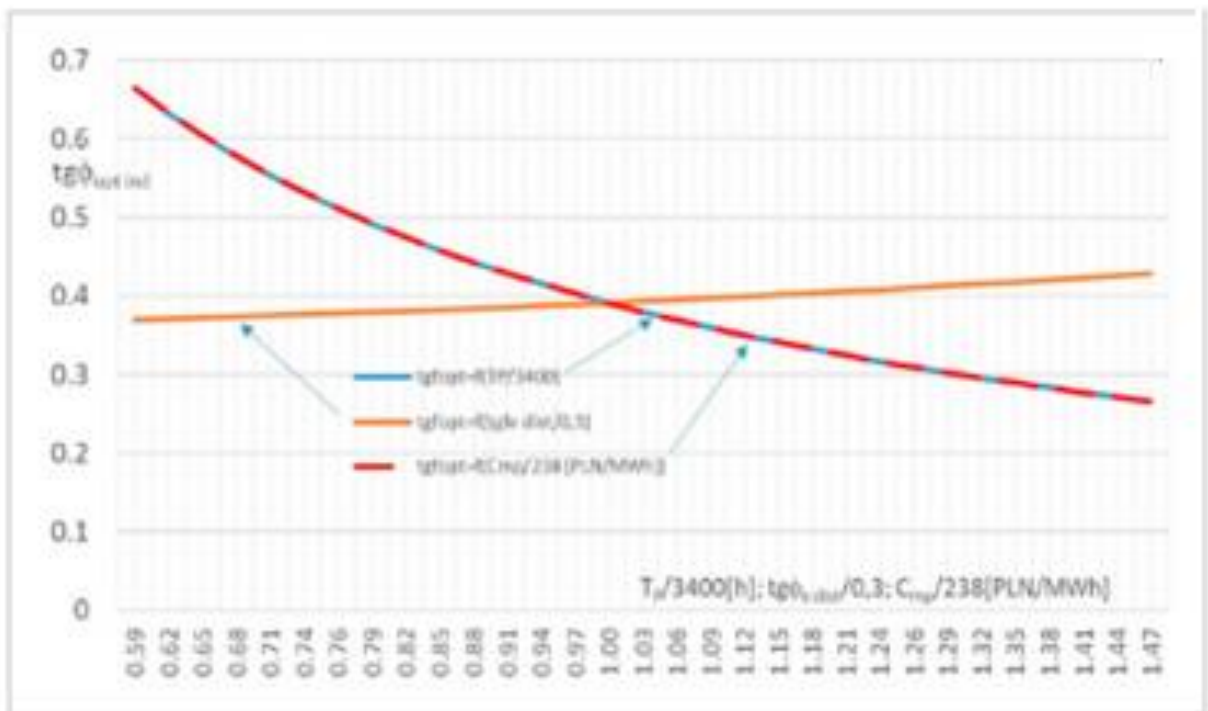


Рис. 3.6 Зміни значення  $\text{tg}\phi$ , як функція відносних змін  $T_r$ ,  $\text{tg}\phi$  і  $C_{mp}$

Рівні реактивної потужності змінювалися в різних фазах живлення, тому номінальна потужність DVR мала відповідати найвищій показник реактивної

потужності всіх трьох фаз. Найбільший рівень потужності  $Q=3,5$  кВАр виявлено на лінії L1 (рис. 3.7). Цього було достатньо, щоб визначити 10 кВАр DVR (з 3,33 кВАр/лінія). На заводі виробника були заплановані проекти CAPEX із більшим навантаженням потужності, і було вирішено, що DVR на 15 кВАр (5 кВАр/лінія) буде кращим, щоб мати резерв потужності на майбутнє.

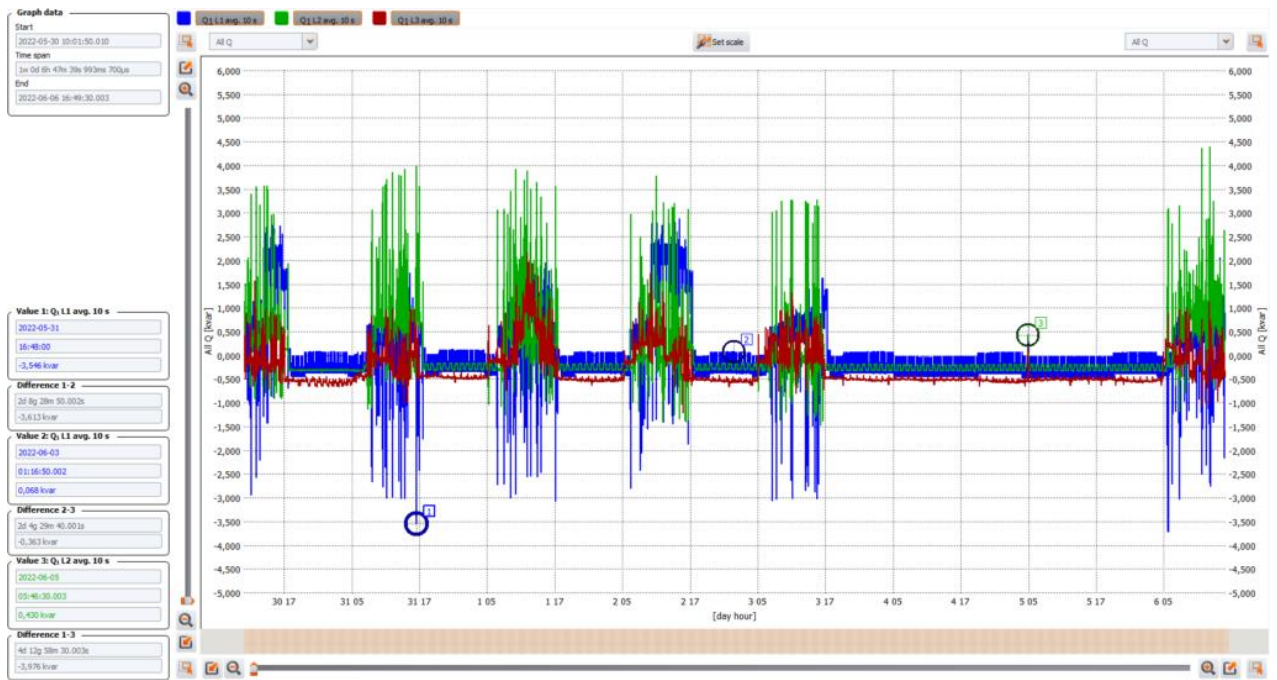


Рис. 3.7 Щотижневі заміри реактивної потужності на фазу, до DVR

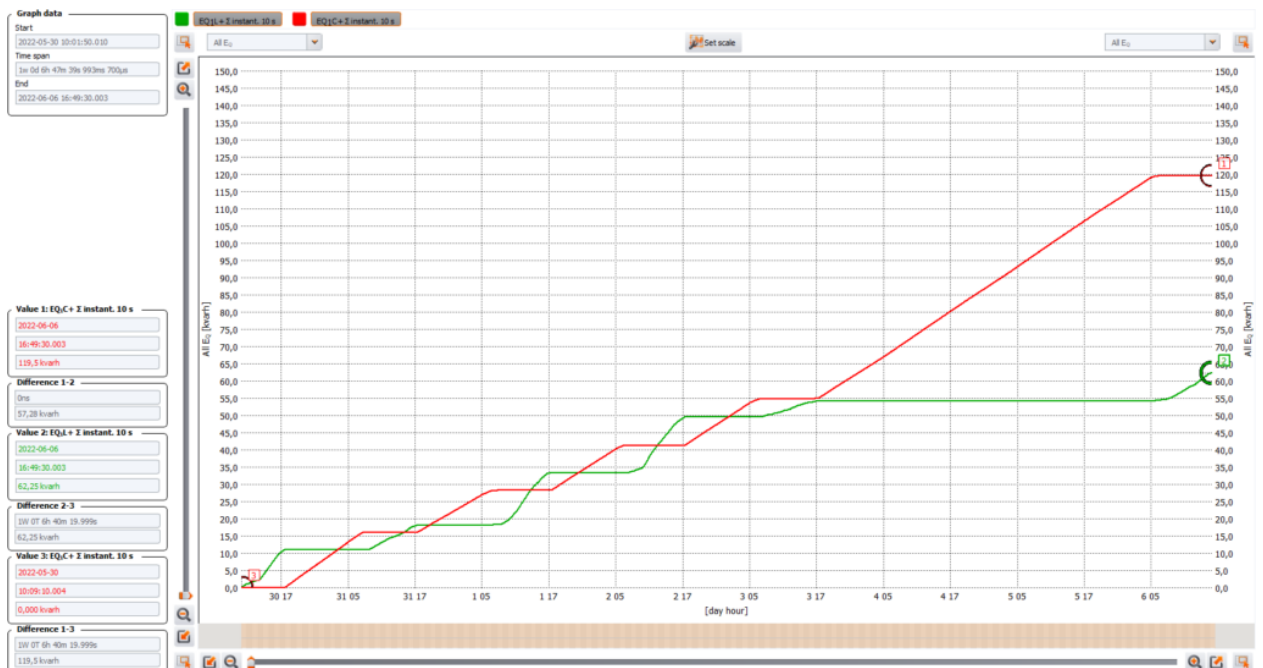


Рис. 3.8 Тижневий графік трифазної реактивної потужності, до DVR (Зелений – індуктивна потужність; червоний – ємнісна потужність)

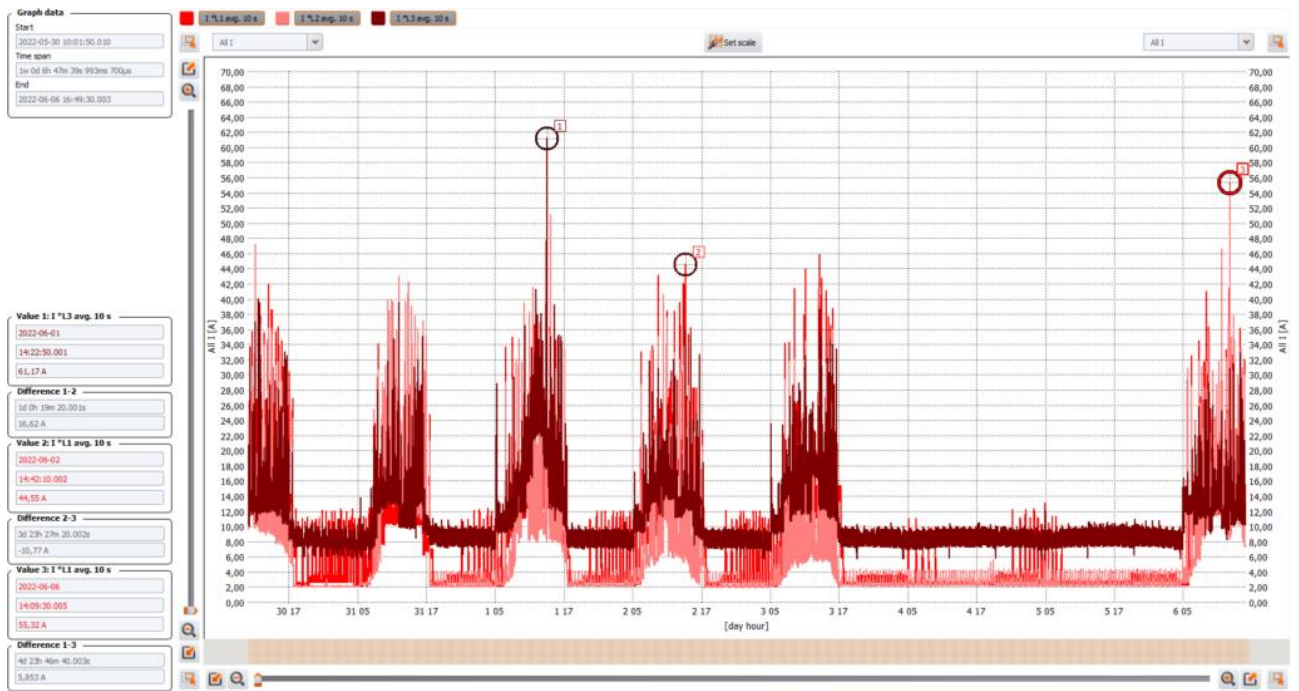


Рис. 3.9 Щотижневі поточні заміри на фазу, до DVR

Дослідження режиму з компенсацією та режим без компенсації

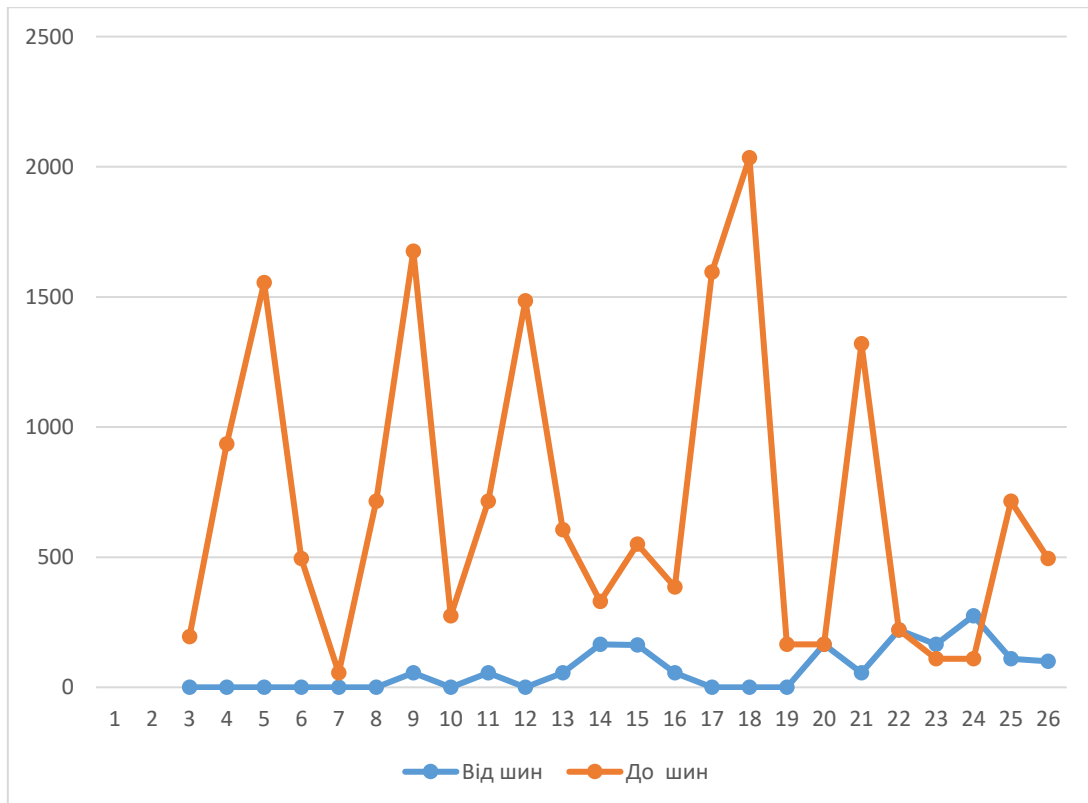


Рисунок 3.10 Графік залежності активної потужності від зміни часу без компенсації

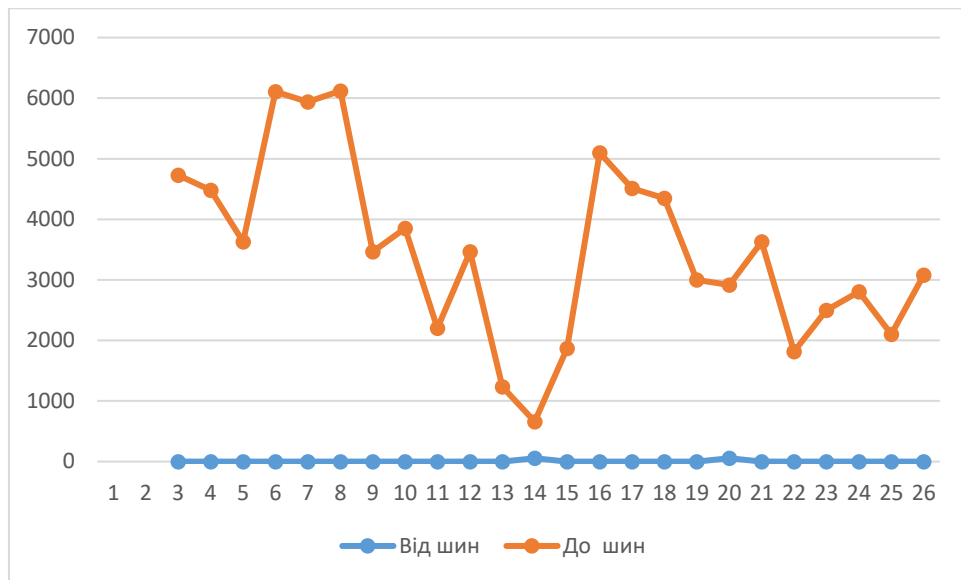


Рисунок 3.11 Графік залежності реактивної потужності від зміни часу з компенсацією

### 3.4 Підвищення продуктивності та надійності

Для досягнення підвищення продуктивності та надійності систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж, важливо розглянути кілька ключових аспектів.

- Розробка та використання продуктивних і технологічно вдосконалених пристроїв компенсації, зокрема розумних компенсаторів реактивної потужності, які мають широкий діапазон регулювання та високу точність управління.
- Впровадження нових матеріалів у виробництво компонентів систем компенсації для покращення їхньої продуктивності, мінімізації втрат енергії та підвищення тривалості роботи.
- Використання систем моніторингу та дистанційного керування, що дозволяють в реальному часі відстежувати стан обладнання та оптимізувати роботу систем компенсації.
- Розробка та впровадження інтелектуальних алгоритмів управління енергією, які дозволяють ефективніше використовувати електричну енергію та зменшувати втрати під час трансформації та передачі.



Також, перехід до використання мережевих технологій Інтернету речей (IoT) може забезпечити більш ефективне та зміцнене моніторинг обладнання та систем компенсації. Віддалений доступ до даних та можливість автоматизованого управління забезпечують оперативність та точність в реагуванні на будь-які зміни у мережі.

Постійний розвиток систем штучного інтелекту в електроенергетиці, таких як розумні алгоритми та системи прогнозування, може визначити нові стандарти ефективного управління реактивною потужністю та оптимізації енергетичних процесів на магазинах торгових мереж. Ці напрямки дозволяють розширити можливості систем компенсації реактивної потужності, спрямовуючи їх на більш гнучке та інтелектуальне управління енергетичними процесами, що є важливим аспектом у підвищенні ефективності електричних мереж.

Розробка модульних систем компенсації реактивної потужності може стати перспективною стратегією. Такі системи базуються на модульних компонентах, які можна легко налаштовувати та розширювати в залежності від потреб мережі. Це дозволяє забезпечити більш гнучку адаптацію до змін у навантаженні та ефективну роботу в різних умовах.

Одним з інноваційних напрямків також є застосування технологій блокчейну для систем управління електроенергією. Технологія блокчейн може забезпечити безпеку, конфіденційність та автономію в обміні даними між різними електроенергетичними об'єктами, сприяючи покращенню процесів моніторингу та управління системами компенсації. Інтеграція рішень з використанням енергоефективних технологій у будівництві, таких як сонячні панелі чи системи зберігання енергії, може стати новим кроком у забезпеченні енергетичної ефективності на рівні магазинів торгових мереж та сприяти зниженню впливу на навколишнє середовище.

Впровадження та постійний розвиток таких інноваційних рішень в області компенсації реактивної потужності можуть забезпечити не лише підвищення їхньої ефективності, а й сприяти загальному розвитку сталої та ефективної

						02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата			66



аспектом для їхнього ефективного використання в магазинах торгових мереж та інших електроенергетичних системах.

### 3.5 Переваги модернізації для магазинів торгових мереж

Модернізація систем компенсації реактивної потужності для магазинів торгових мереж відкриває передбачувані переваги та можливості, що можуть виявитися важливими для стабільності та ефективності електромереж:

- Оптимізація компенсації реактивної потужності дозволить знизити втрати електроенергії, що покращить загальну енергоефективність системи.
- Впровадження новітніх технологій компенсації може призвести до економії електроенергії та витрат на обслуговування та утримання обладнання.
- Модернізовані системи компенсації реактивної потужності забезпечать більш стабільні та надійні умови роботи для магазинів торгових мереж, що може знизити вірогідність виникнення аварій та збільшити термін їхньої безперебійної роботи.
- Модернізовані системи компенсації зможуть більш ефективно відповідати на зростаючий попит на електроенергію та пристосовуватись до змін у навантаженні.
- Оптимізовані системи компенсації забезпечать кращу стабільність напруги та струму, що покращить якість електропостачання для споживачів та зменшить можливість виникнення проблем з електрообладнанням.

Ці переваги в сукупності можуть забезпечити більш ефективне та стабільне електропостачання для магазинах торгових мереж, що в свою чергу позитивно вплине на функціонування торгівельних мережах та підвищить загальний рівень безпеки та комфорту клієнтів та користувачів. Новітні дослідження та розробки в галузі електроенергетики вказують на можливість використання

										Арк
										68
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ					



навантаження. Такий комплексний підхід до модернізації систем компенсації реактивної потужності має потенціал покращити ефективність електромереж та сприяти створенню більш надійних, енергоефективних та стійких до змін систем електропостачання для магазинів торгових мереж.

Розробка та впровадження "інтелектуальних" систем діагностики та прогнозування можуть стати ключовим етапом в модернізації компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж. Ці системи здатні моніторити стан обладнання в реальному часі, аналізувати дані та робити прогнози стосовно можливих відмов. Це дозволяє вчасно виявляти проблеми та уникати несправностей, що сприяє підвищенню надійності та тривалості служби систем компенсації.

Технології "інтернету речей" (IoT) можуть забезпечити можливість підключення різноманітних датчиків та пристроїв до мережі для збору великої кількості даних. Аналіз цих даних за допомогою алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту може надати цінну інформацію щодо оптимальної роботи системи компенсації та запобігання можливих проблем. Впровадження системи керування енергоефективністю дозволить активно реагувати на навантаження та зміни в електромережі, оптимізуючи роботу системи компенсації реактивної потужності та забезпечуючи ефективне використання енергоресурсів.

Ці інновації можуть значно підвищити рівень автоматизації, надійності та продуктивності магазинів торгових мереж, сприяючи впровадженню більш стабільних та енергоефективних систем компенсації реактивної потужності. Подальший розвиток технологій у сфері енергетики може сприяти вдосконаленню систем компенсації реактивної потужності. Впровадження сучасних алгоритмів оптимізації роботи системи компенсації, заснованих на принципах штучного інтелекту та аналізу даних, дозволить розробляти більш точні моделі прогнозування та керування енергетичними потоками. Використання розумних гібридних систем, які комбінують різні типи компенсації (статичні, динамічні, активні фільтри), може забезпечити більш

										02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата							70

гнучкий підхід до розв'язання проблем реактивної потужності. Це дозволить налаштувати роботу системи з урахуванням специфіки кожного випадку, забезпечуючи оптимальні результати.

Розробка енергоефективних та екологічно чистих технологій, таких як системи зберігання енергії, може стати ключовим фактором вдосконалення систем компенсації реактивної потужності. Використання таких технологій дозволить зменшити втрати енергії та підвищити ефективність систем управління електропостачанням.

У цілому, поєднання різноманітних інноваційних підходів та технологій може відкрити нові перспективи для модернізації систем компенсації реактивної потужності на магазинах торгових мереж, забезпечуючи більш ефективне та стабільне функціонування електромереж.

									Арк
									71
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.ЕЕ2321.РД.2025-ПЗ				



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сінгх, Б.; Чандра, А.; Аль-Хаддад, К.; Котарі, Д. П. Компенсація реактивної потужності та балансування навантаження в системах розподілу електроенергії. *Міжн. J. Electr. Power Energy Syst.* 1998
2. Фуско, Г.; Руссо, М. *Адаптивне керування напругою в енергосистемах*; Springer London: Лондон, Великобританія, 2007.
3. Dixon, J.W. A Full Compensating System for General Loads, Based on a Combination of Thyristor Binary Compensator, and a PWM-IGBT Active Power Filter [Text] / J.W. Dixon, Valle Y. Del, M. Orchard, M. Ortu'zar, L. Mora' n, C. Maffrand // *IEEE Transactions on Industrial Electronics.* - 2003
4. Shahnian, F. Static Compensators (STATCOMs) in Power Systems [Text] / F. Shahnian, S.Rajakaruna, A. Ghosh. – Singapore: Springer, - 2014.
5. Давидов О.Ю. Аналіз засобів компенсації реактивної потужності в електротехнічних системах / О.Ю. Давидов, О.В. Бялобржеський // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.* – 2010.
6. M. R. Giuseppe Fusco, *Adaptive Voltage Control in Power Systems*, - 2007.
7. Цинь, В.; Ван, П.; Хан, Х.; Ду, Х. Аспекти реактивної потужності в оцінці надійності енергосистем. *IEEE Trans. Power Syst.* - 2011
8. V. Murugesan, *Error Detection and Error Correction for PMU Data as Applied to Power System State Estimators*, ser. M.S. Thesis. Arizona State University, - 2013.
9. Кузьмін В.В., Кирилов І.Г., Малінін С.В. Аналіз засобів компенсації реактивної потужності в електричних мережах України. /*Енергетика №05 (99)*, - 2012.
10. Бісанович, С.; Хайро, М.; Самарджич, М. Один підхід до регулювання реактивної потужності батареї конденсаторів у розподільних і промислових мережах. *Міжн. J. Electr. Power Energy Syst.* - 2014.
11. *Electromagnetic compatibility in electric power systems: textbook for*

										Арк
										73
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	02.15.EE2321.РД.2025-ПЗ					

institutions of higher education from Ukrainian bŮ S.I Kostritska and I.O. Tokar /I.V. Zhezhelenko, Shidlovskiy, G.G. Pivnyak, Yu.L. Saenko, editorship of the English version and terminology bŮ Professor Œ.Ů. Ivanov. - 2 nd edition. - D.: National Mining University. - 2013.

12. Pivnyak G. G. Estimating economic equivalent of reactive power in the systems of enterprise electric power supply / G. G. Pivnyak, I. V. Zhezhelenko, Yu. A. Paraika // Науковий вісник НГУ. – 2016.

13. ЄС. Директива 2009/72/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 13 липня 2009 р. щодо загальних правил внутрішнього ринку електроенергії та скасування Директиви 2003/54/ЄС.

14. ЄС. Директива (ЄС) 2019/944 Європейського Парламенту та Ради від 5 червня 2019 року про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії та внесення змін до Директиви 2012/27/ЄС.

15. Штрбац, Г.; Джапіч, П.; Pudjianto, D.; Константелос, І.; Морейра, Р. *Стратегії зменшення втрат у мережах розподілу*; Імперський коледж Лондона: Лондон, Великобританія, - 2018.

16. Коленц, М.; Папич, І.; Блажіч, Б. Координоване керування реактивною потужністю для досягнення мінімальних експлуатаційних витрат. *Міжн. J. Electr. Power Energy Syst.*- 2014.

17. Табатабей, Н.М.; Aghbolaghi, AJ; Бізон, Н.; Vlaabjerg, F. *Контроль реактивної потужності в системах живлення змінного струму*; Springer International Publishing: Cham, Швейцарія, - 2017.