

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: Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на
тяговій підстанції «Н»

за освітньою програмою Енергетичні та електромеханічні системи на
транспорті

зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав: студент групи: EE2221

I Роман БАЙДЮК I

Керівник: I доцент Дмитро БОСИЙ I

Нормоконтролер: I доцент Ірина ПОТАПЧУК I

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

Студент - - - - -

Дніпро - 2024 рр

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Energy and economic processes management

Intellectual power supply systems

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: ~~Modernization of electric power compensation at traction~~
substation "H"

according to educational curriculum Energy and electromechanical systems in
transport

in the Specialty: 141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics

Done by the student of the group EE2221 I Roman Baidiuk I

Scientific Supervisor: I Ass.Prof. Dmytro Bosyi I
(position, name, surname)

Normative controller: I Iryna Potapchuk I
(position, name, surname)

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

кафедри ІС

ідувач Дмитро БОСІИ

Дата Іс. О; 2Л

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

магістр з електроенергетики, електротехніки
та електромеханіки

студенту Байдюку Роману Вячеславовичу

1. Тема роботи: «Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на тяговій підстанції Н »

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

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджую наказом віс

"At" Qj_ 202ь р. № Ъьсг

2. Строк подання студентом роботи: С%. .оі .202д_ р.

3. Вихідні дані до роботи:

Характеристика пристроїв компенсації реактивної потужності

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

4.1 Теоретичні відомості про компенсацію реактивної потужності

4.2 Аналіз сучасного стану пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях

---1J_ Технічний аналіз можливостей модернізації пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): ілюстрований опис результатів досліджень

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	09.09	5%
2	Теоретичні відомості про компенсацію реактивної потужності	20.10	25%
3	Аналіз сучасного стану пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях	16.11	30%
4	Технічний аналіз можливостей модернізації пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях	22.12	30%
5	Висновок, список використаних джерел	1.01	10%
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	16.01	

Студент


(підпис)

Роман БАЙДЮК
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

Дмитро БОСИЙ
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 67 сторінок, складається з 3 розділів та містить 12 ілюстрації, 2 таблиць, 12.бібліографічне джерело.

Об'єкт дослідження- тягова підстанція змінного струму

Мета роботи - Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на тяговій підстанції «Н».

Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на тяговій підстанції є актуальною темою в контексті постійного розвитку транспортних систем та удосконалення електроенергетичних мереж. Цей процес спрямований на підвищення ефективності енергоспоживання та забезпечення стабільності системи живлення. Сучасні технології дозволяють впроваджувати інтелектуальні системи керування, які можуть динамічно адаптуватися до змін у споживанні електроенергії та оптимізувати роботу компенсаційних пристроїв. Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на тяговій підстанції сприяє стабільності роботи електроенергетичних систем, зниженню витрат електроенергії та підвищенню загальної ефективності тягових систем. Цей процес відіграє важливу роль у розвитку сучасних транспортних та енергетичних інфраструктур, сприяючи економії ресурсів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Одним із важливих аспектів модернізації є використання сучасних матеріалів та компонентів, які забезпечують ефективну роботу пристроїв при мінімальних втратах енергії. Також акцентується увага на підвищенні надійності та довговічності обладнання.

Метод дослідження - Аналіз та обробка результатів експериментальних досліджень виконаних на тяговій підстанції

Ключові слова: КОМПЕНСАЦІЯ, ТЯГОВІ ПІДСТАНЦІЇ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, КОМПЕНСАЦІЙНІ УСТАНОВКИ, ЕЛЕКТРИЧНА ТЯГА.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОМПЕНСАЦІЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	9
1.1 Поняття реактивної потужності	9
1.2 Методи компенсації реактивної потужності	9
1.3 Вплив реактивної потужності на електричні системи	11
1.4 Використання компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях. ІЗ	
1.5 Переваги та обмеження різних методів компенсації.....	18
2 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ.....	25
2.1 Технічне обладнання на тягових підстанціях	28
2.2 Переваги та недоліки існуючих систем	33
2.3 Ефективність сучасних пристроїв компенсації.....	35
2.4 Потреби у вдосконаленні та можливі напрямки розвитку	40
3 ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ	44
3.1 Огляд сучасних технологій	47
3.2 Аналіз переваг модернізації	50
3.3 Модель тягової підстанції змінного струму	55
3.4 Підвищення продуктивності та надійності	61
3.5 Переваги модернізації для тягових підстанцій	64
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70

Реферат

Пояснювальна записка має обсяг 67 сторінок, складається з 3 розділів та містить 12 ілюстрації, 2 таблиць, 12 бібліографічне джерело.

Об'єкт дослідження – Тягова підстанція змінного струму

Мета роботи - Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності.

Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на тяговій підстанції є актуальною темою в контексті постійного розвитку транспортних систем та удосконалення електроенергетичних мереж. Цей процес спрямований на підвищення ефективності енергоспоживання та забезпечення стабільності системи живлення. Сучасні технології дозволяють впроваджувати інтелектуальні системи керування, які можуть динамічно адаптуватися до змін у споживанні електроенергії та оптимізувати роботу компенсаційних пристроїв. Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на тяговій підстанції сприяє стабільності роботи електроенергетичних систем, зниженню витрат електроенергії та підвищенню загальної ефективності тягових систем. Цей процес відіграє важливу роль у розвитку сучасних транспортних та енергетичних інфраструктур, сприяючи економії ресурсів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Одним із важливих аспектів модернізації є використання сучасних матеріалів та компонентів, які забезпечують ефективну роботу пристроїв при мінімальних втратах енергії. Також акцентується увага на підвищенні надійності та довговічності обладнання.

Метод дослідження – Аналіз та обробка результатів експериментальних досліджень виконаних на тяговій підстанції

Ключові слова: КОМПЕНСАЦІЯ, ТЯГОВІ ПІДСТАНЦІЇ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, КОМПЕНСАЦІЙНІ УСТАНОВКИ, ЕЛЕКТРИЧНА ТЯГА.

ВСТУП

Актуальність роботи. Розробка критеріїв оцінки якості функціонування пристроїв регульованої компенсації реактивної потужності є актуальною у зв'язку з неефективністю дискретних пристроїв компенсації в умовах нестационарного навантаження. Запропонована проблематика виявляє важливість дослідження в сучасному енергетичному секторі. Зростання електротехнічних систем, особливо систем тягового 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.

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

Об'єкт дослідження – Тягова підстанція змінного струму

Предмет дослідження – Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Методи дослідження – Аналіз та обробка результатів експериментальних досліджень виконаних на тяговій підстанції.

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.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 в 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. Використання конденсаторів: Конденсатори вважаються найпоширенішим засобом компенсації реактивної потужності. Вони

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

поглинають реактивну потужність і підвищують коефіцієнт потужності, сприяючи оптимізації роботи електричних мереж та зменшенню втрат електроенергії.

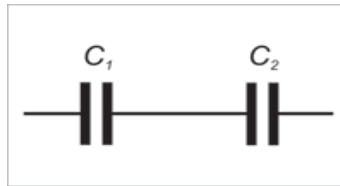


Рисунок 1 - Конденсатор постійної ємності

2. Статичні компенсатори: Це устаткування, що включає електронні пристрої (наприклад, статичні компенсатори потужності, статичні реактивні компенсатори), які автоматично регулюють реактивну потужність у системі, враховуючи поточні умови.
3. Синхронні компенсатори: 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.

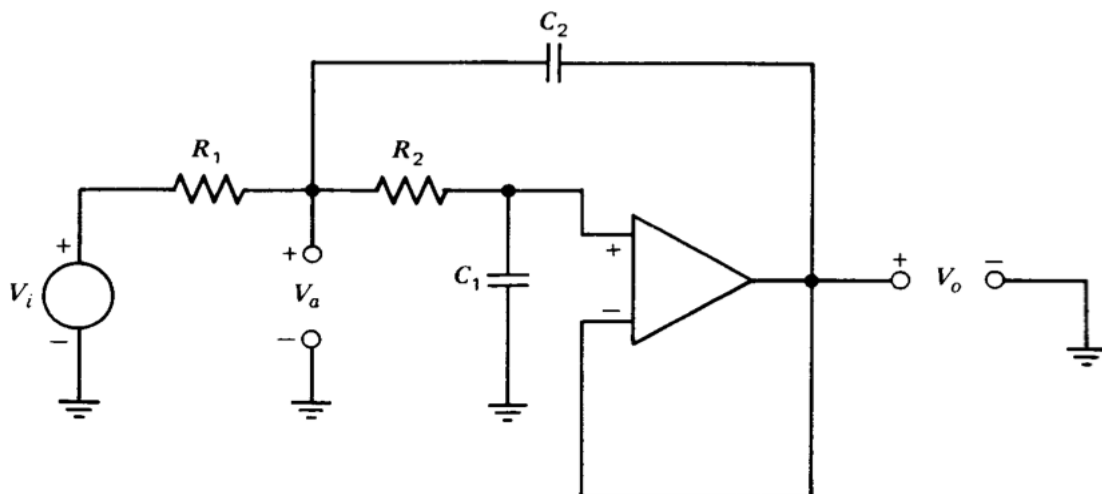


Рисунок 1.1 - Активний фільтр нижніх частот другого порядку

5. Гібридні системи компенсації: 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. Збільшення втрат електроенергії: 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. Погіршення коефіцієнта потужності: Низький коефіцієнт потужності, що виникає внаслідок великої реактивної потужності, може стати причиною неефективного використання електроенергії та підвищення споживання активної потужності.

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

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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

концентраціями електричного споживання, де може бути велика кількість устаткування, що вимагає реактивної потужності. Відповідно, для забезпечення стабільності та ефективності системи електропостачання необхідно активно 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 тягових підстанціях

Компенсація реактивної потужності має велике значення для тягових підстанцій залізничного транспорту, оскільки електрична система, яка живить залізничну мережу, часто має високу реактивну потужність. Застосування методів компенсації реактивної потужності у тягових підстанціях має кілька ключових переваг:

1. Підвищення ефективності систем електропостачання: Компенсація реактивної потужності дозволяє підвищити коефіцієнт потужності у системі електропостачання тягових підстанцій. Це сприяє оптимізації роботи електричних мереж, зниженню втрат енергії та підвищенню ефективності використання електричної енергії.
2. Зменшення фінансових витрат: Ефективне вирівнювання реактивної потужності може допомогти уникнути штрафних виплат за низький коефіцієнт потужності, які часто встановлюються за нормативами для споживачів електроенергії.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3. Підвищення надійності системи: Використання компенсації реактивної потужності може сприяти підвищенню стабільності та надійності роботи електричних систем тягових підстанцій.

4. Зниження впливу на електромережу: Ефективна компенсація реактивної потужності допомагає уникнути негативного впливу на загальну електричну мережу та забезпечити її стабільність.

Ураховуючи велику потужність, яку використовують тягові підстанції, важливо мати ефективну систему компенсації реактивної потужності для забезпечення стійкої, ефективної та економічно доцільної роботи електричної мережі, яка живить залізничний транспорт. Використання компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях залізничного транспорту є критично важливим для забезпечення ефективної роботи електричних систем, які живлять залізничні мережі. Транспортна інфраструктура використовує значні обсяги електричної енергії для живлення потягів, моторних рухомих складів 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 залізничного транспорту. Додатково, ефективне використання компенсації реактивної потужності дозволяє покращити якість постачання електроенергії для тягових підстанцій, 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 тягових підстанціях забезпечує оптимальне функціонування електричних систем, забезпечуючи енергоефективність,

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

стабільність та надійність постачання електроенергії для залізничного транспорту.

Застосування компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях залізничного транспорту є ключовим аспектом для оптимізації електропостачання та забезпечення його ефективності. Зважаючи на значний обсяг споживаної електроенергії в тягових мережах, які живлять електричний транспорт, управління реактивною потужністю є критично важливим для забезпечення стабільності та ефективності цих систем.

Компенсація реактивної потужності дозволяє підвищити коефіцієнт потужності та знизити рівень реактивної потужності у системах електропостачання тягових підстанцій. Це сприяє оптимізації використання електроенергії та зниженню витрат електроенергії шляхом зменшення втрат у електричних мережах. Відповідно, це може мати позитивний вплив на економічні показники, забезпечуючи ефективніше використання ресурсів.

Також, впровадження компенсації реактивної потужності може допомогти уникнути штрафних санкцій за низький коефіцієнт потужності, які можуть бути застосовані в деяких системах тарифікації електроенергії. Це сприяє ефективній експлуатації систем та забезпеченню їхньої фінансової стійкості.

Додатково, управління реактивною потужністю сприяє підвищенню надійності та стабільності системи, уникненню перенапруги та перенавантажень, що може мати важливе значення для безперебійної та надійної роботи залізничного транспорту.

У цілому, використання компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях забезпечує оптимізацію роботи електричних систем, покращення ефективності та надійності електропостачання для залізничного транспорту, а також сприяє зменшенню експлуатаційних витрат та підвищенню енергоефективності системи.

Застосування компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях є необхідним для оптимізації використання електроенергії та забезпечення стійкості електричних мереж. Одним із ключових аспектів використання таких

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

систем є їх можливість управління навантаженням та підтримка стабільності електричного транспорту, особливо в періоди пікового споживання.

Важливою перевагою впровадження компенсації реактивної потужності є підвищення потужності та продуктивності електричних мереж у тягових підстанціях. Це дозволяє оптимізувати розподіл електроенергії та запобігати перевантаженням у системах живлення, забезпечуючи надійність та безперебійність електропостачання для рухомого складу та великих об'єктів транспортної 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 тягових підстанціях залізничного транспорту не лише сприяє оптимізації енергоефективності, але й забезпечує стабільність та надійність електричних мереж, що є критичними аспектами для безперебійної та ефективної роботи транспортної системи.

Зазначена технологія компенсації реактивної потужності у тягових підстанціях залізничного транспорту є значним кроком у покращенні інфраструктури та оптимізації системи електропостачання. Вона дозволяє ефективно керувати великим обсягом енергії, яку використовують рухомі склади, зменшуючи втрати енергії та підвищуючи загальну продуктивність електричних систем. Додатково, впровадження компенсації реактивної потужності у тягових підстанціях 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 транспорту. Компенсація реактивної потужності в тягових підстанціях дозволяє враховувати та забезпечувати високу ефективність у використанні електроенергії, що є ключовим аспектом у сталому розвитку та зменшенні негативного впливу на довкілля.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 залізничного транспорту.

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

Інтеграція сучасних рішень у сфері компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях 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 транспортних мережах.

Отже, продовження досліджень та вдосконалення систем компенсації реактивної потужності у тягових підстанціях є стратегічно важливим для підвищення ефективності, стійкості та розвитку інфраструктури залізничного транспорту, 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

енергоефективних технологій, що сприятимуть оптимізації електропостачання тягових 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 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 транспортних 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 тягових підстанцій залізничного транспорту.

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):

- Ефективність: Забезпечують швидку та ефективну компенсацію реактивної потужності, поліпшуючи коефіцієнт потужності.
- Економічність: Вважаються відносно бюджетними та досить надійними у використанні.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Гнучкість: Легко відкоригувати рівень компенсації залежно від потреб.

2. Динамічні компенсатори (STATCOM, SVC):

- Точність: Дозволяють більш точне й швидке управління рівнем компенсації та реагувати на зміни навантаження.

- Модульність: Можуть бути більш гнучкими в установці та використанні.

- Універсальність: Здатні працювати при різних умовах навантаження та мережі.

Обмеження:

1. Статичні компенсатори:

- Необхідність регулярного планового обслуговування: Можуть потребувати періодичного підтримуючого обслуговування для підтримки ефективності.

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

2. Динамічні компенсатори:

- Вища вартість: Мають більш високу вартість в порівнянні зі статичними компенсаторами.

- Складність управління: 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 тягових підстанцій, де потрібна

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 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 транспортні системи. У залізничній галузі, де навантаження може бути дуже змінним залежно від часу, маршруту та пасажирського обслуговування, вибір методу компенсації реактивної потужності повинен бути відповідно адаптований.

Динамічні методи компенсації, такі як 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.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

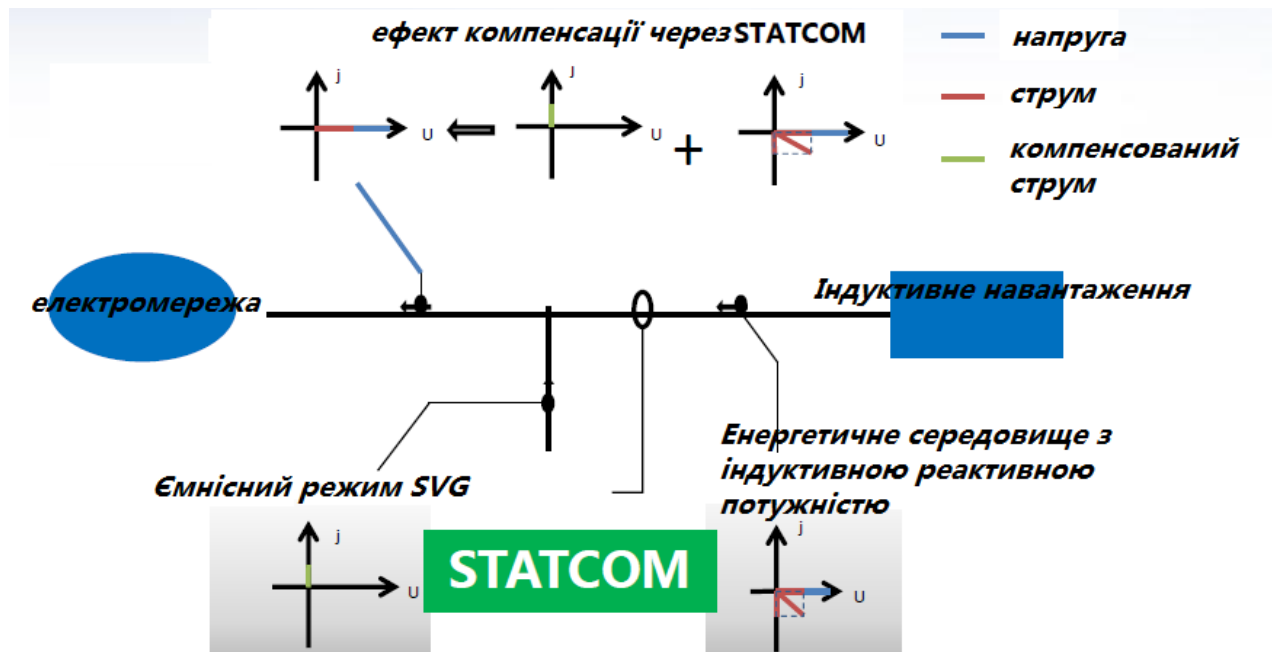


Рисунок 1.2 - Методи компенсації STATCOM

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 тягових підстанцій залізничного транспорту. При обранні методу компенсації реактивної потужності для тягових підстанцій на залізничному транспорті 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 залізничного транспорту 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 ураховувати 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 тягових підстанціях залізничного транспорту, 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 тягових підстанціях для забезпечення її безперебійної та ефективної роботи. Це включає в себе регулярну перевірку технічного стану обладнання, аналіз ефективності його роботи та вчасне вжиття заходів щодо підтримки оптимальної роботи системи.

Окрім того, важливо врахувати можливість майбутнього розвитку та розширення інфраструктури, коли обирається метод компенсації реактивної потужності. Гнучкість та масштабованість обраної системи важлива для забезпечення її сумісності та працездатності в умовах росту потреб та змін в електричних мережах.

Таким чином, впровадження методів компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях залізничного транспорту є складним процесом, що вимагає комплексного підходу та уважного розгляду різних факторів для забезпечення оптимальної ефективності та надійності системи.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Враховуючи постійні зміни технологій та вимог до енергоефективності, важливо підкреслити значення постійного вдосконалення методів компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях. Це включає в себе не лише вибір оптимального методу, а й постійне вдосконалення та узгодження з технологічними новаціями та вимогами до сталості, ефективності та безпеки електричних систем. Попри переваги та обмеження кожного з методів компенсації, постійний розвиток інтелектуальних систем управління, сенсорних технологій та аналізу даних може сприяти розумній оптимізації роботи систем компенсації. Це відкриває можливості для створення автономних систем, які максимально точно реагують на зміни в електричних мережах та забезпечують оптимальну роботу систем компенсації. Підтримка та стимулювання наукових досліджень у сфері енергоефективності та розвиток нових матеріалів для виготовлення компонентів систем компенсації можуть відкривати нові перспективи для підвищення продуктивності та довговічності електричних систем тягових підстанцій.

Таким чином, стеження за технологічними новаціями та постійне підтримування наукових досліджень у цій області буде визначальним для розвитку майбутніх систем компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях, що сприятиме підвищенню ефективності, стійкості та сталості електричних мереж у транспорті. На тлі постійного технологічного прогресу і стрімкого розвитку технічних можливостей, сучасні тягові підстанції 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 електротранспортної інфраструктури. Таким чином, постійне покращення систем компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях є невід'ємною складовою розвитку сучасних електричних мереж, спрямованих на оптимізацію ресурсів, збереження енергії та створення стабільних умов для розвитку сучасного електротранспорту. В сучасному світі, коли питома вага технологій у всіх сферах життя постійно зростає, електротранспорт визнається однією з ключових складових сталого розвитку суспільства. Забезпечення ефективного та стабільного електропостачання для транспортних потреб 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 тягових підстанцій стають актуальною відповіддю на зростаючу потребу у стабільному та ефективному електропостачанні для транспорту. Постійний технологічний прогрес відкриває нові можливості для розробки та 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 тягових підстанцій, а й зменшенню впливу на довкілля, створюючи більш сталі умови для розвитку та експлуатації транспортних мереж.

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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ

На сучасний момент, пристрої компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях є ключовим елементом для забезпечення ефективності та стабільності електричних систем транспорту. 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.

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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ефективних рішень для забезпечення стабільності та ефективності електричних систем у сфері транспорту. Новітні тенденції в області тягових підстанцій 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 транспортних системах набуває все більшої ваги. Це сприяє спільному розумінню та впровадженню оптимальних практик у сфері транспортної енергетики, 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.

Зокрема, додатковий акцент робиться на розвиток "зелених" технологій у сфері тягових підстанцій, 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 транспорту з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності та екологічної безпеки.

Сучасний етап розвитку тягових підстанцій 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.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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" тягових підстанцій, 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 тягових підстанцій та покращення стабільності електричних систем транспорту. На сьогоднішній день спостерігається інтенсивний розвиток методів компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях, 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

підвищенню надійності та стійкості електричних систем, що є критично важливим для безперебійної роботи транспортних 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 тягових підстанціях, спрямований на досягнення високої продуктивності, ефективності та енергоефективності у сучасних електричних мережах транспорту.

2.1 Технічне обладнання на тягових підстанціях

Технічне обладнання на тягових підстанціях включає різноманітні елементи, спрямовані на забезпечення електропостачання для систем транспорту. Деякі з ключових складових цього обладнання включають:

1. Трансформатори: Це один з основних елементів підстанції, який використовується для зниження або підвищення напруги в електричних мережах. Трансформатори забезпечують передачу електроенергії від постачальника до споживача з врахуванням необхідних параметрів напруги та потужності.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 2 – Силовий трансформатор 110 кВ

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.



Рисунок 2.1 - Комплектна компенсаційна установка

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



Рисунок 2.2 – Перетворювач частоти

5. Акумуляторні батареї: Використання акумуляторних батарей у тягових підстанціях може забезпечити можливість зберігати та використовувати електроенергію в періоди пікових навантажень або для резервного живлення.



Рисунок 2.3 – Акумуляторна батарея

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Технічне обладнання на тягових підстанціях є важливою складовою систем електричного транспорту, спрямованою на забезпечення ефективної та безперебійної роботи.

Загальний огляд технічного обладнання на тягових підстанціях 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. Трансформаторні підстанції: Це комплексні системи, що включають трансформатори, вимикачі та інше обладнання для перетворення напруги та подачі електроенергії на потрібні лінії електропередачі.

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 на тягових підстанціях складається з різних компонентів, які спільно працюють для забезпечення стабільності та ефективності електричної системи транспорту. Відповідно до специфіки та потреб конкретної підстанції, використовуються різноманітні технічні рішення та обладнання.

Безперервна модернізація технічного обладнання на тягових підстанціях 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.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 тягових підстанцій, щоб вони відповідали сучасним вимогам до ефективності та надійності електричних систем.

Розвиток технічного обладнання на тягових підстанціях 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.

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

Технічне обладнання на тягових підстанціях піддається постійному вдосконаленню і еволюції, зокрема, шляхом впровадження новітніх технологій, застосування передових матеріалів та розробки компактних та більш ефективних систем, що сприяє підвищенню продуктивності та стійкості електричних мереж транспорту.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2.2 Переваги та недоліки існуючих систем

Системи компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях 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 реактивної потужності, яка б найкращим чином відповідала вимогам ефективності та надійності. Однією з ключових переваг систем компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях є їх можливість підтримувати

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

стабільність напруги в електричних мережах. Це особливо важливо для систем електропостачання транспорту, 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 транспорту.

Розвиток систем компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях 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 транспорту. Забезпечення стабільності напруги та оптимізація роботи системи допомагають уникнути аварійних ситуацій та забезпечують безперебійну роботу електротранспорту.

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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Враховуючи ці аспекти, впровадження та постійне вдосконалення систем компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях має великий потенціал у поліпшенні якості електропостачання, збереженні енергоресурсів та сприяє збереженню навколишнього середовища. Зокрема, однією з важливих переваг систем компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях є їх вплив на підвищення продуктивності та зниження витрат на обслуговування обладнання. 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 електричного транспорту. Наприклад, збільшення автоматизації та впровадження "розумних" систем управління може покращити ефективність та динаміку роботи тягових підстанцій, а також забезпечити більш точні дані для аналізу енергозабезпечення. Загальна концепція застосування компенсації реактивної потужності в тягових підстанціях 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 транспортних мереж.

2.3 Ефективність сучасних пристроїв компенсації

Сучасні пристрої компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях є ключовим елементом оптимізації роботи електропередачі в системах транспорту. Ефективність цих пристроїв полягає у їх здатності активно реагувати на зміни потреб у виробництві та споживанні електроенергії. Давайте розглянемо основні аспекти, які визначають ефективність сучасних пристроїв компенсації реактивної потужності.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Динамічне регулювання: 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.
- Висока точність регулювання: Сучасні системи мають високу точність у вимірюванні реактивної потужності та ефективності компенсації. Це дозволяє мінімізувати втрати енергії та забезпечувати оптимальне управління потужністю системи.
- Автоматизоване управління: Багато пристроїв компенсації мають вбудовані системи автоматизованого управління, що дозволяє їм самостійно реагувати на зміни параметрів мережі без постійного втручання оператора.
- Гнучкість налаштувань: Сучасні пристрої зазвичай мають гнучкі налаштування, що дозволяє їм пристосовуватися до різноманітних умов роботи та потреб системи, забезпечуючи оптимальну роботу у будь-яких умовах.
- Енергоефективність: 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 електротранспорту, 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.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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

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 тягових підстанцій, що є ключовим елементом сучасних транспортних систем.

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.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Реалізація цих новаторських підходів у сучасних пристроях компенсації реактивної потужності відкриває шлях до створення інтелектуальних, високоефективних та надійних систем, які можуть забезпечити стабільне електропостачання в умовах зростаючих потреб та забезпечити стає функціонування транспортних мереж. З інноваційними досягненнями в області електротехніки та електроенергетики, сучасні пристрої компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях постійно вдосконалюються для забезпечення оптимального функціонування електричних мереж. Розробники зосереджують увагу на новітніх матеріалах, що мають високу електротехнічну стійкість та ефективність у використанні. Використання таких матеріалів дозволяє створювати пристрої компактніші та менш енергоефективні, що має важливе значення в умовах обмеженого простору на тягових підстанціях та розвитку міського транспорту.

Також, розвиток цифрових технологій управління та моніторингу дозволяє вдосконалювати функціональні можливості сучасних пристроїв компенсації. Впровадження систем автоматизованого моніторингу стану електричних мереж, обробка великих обсягів даних та розумний аналіз інформації дозволяють підтримувати оптимальний рівень реактивної потужності та забезпечувати стабільність роботи систем електропостачання.

Постійне вдосконалення технічних характеристик, зменшення впливу на довкілля та підвищення ефективності використання енергії - це основні напрямки розвитку сучасних пристроїв компенсації реактивної потужності. Ці нововведення спрямовані на покращення якості електропостачання та відповідь на зростаючі потреби у сталому та надійному енергозабезпеченні у сфері транспорту. Сучасні технології в електроенергетиці й електротехніці спрямовані на розробку більш ефективних інженерних рішень для тягових підстанцій. Одним із перспективних напрямків в удосконаленні пристроїв компенсації реактивної потужності є використання технологій промислового Інтернету речей (ІІоТ). Застосування ІІоТ дозволяє створювати розумні системи моніторингу та управління, які можуть автоматично аналізувати та

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

оптимізувати роботу пристроїв компенсації. Вони можуть збирати та обробляти великі обсяги даних про роботу мережі, аналізувати їх у реальному часі та 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 тягових підстанціях, що є важливим кроком у напрямку сталого розвитку транспортних систем. На сьогоднішній день, разом із зростанням вимог до ефективності та стійкості електричних систем тягових підстанцій, 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

та екологічно чистих пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях, сприяючи зростанню якості електропостачання транспортних систем.

2.4 Потреби у вдосконаленні та можливі напрямки розвитку

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

- Ефективність та енергоефективність: Напрямок розвитку полягає в створенні пристроїв, які будуть максимально ефективними у компенсації реактивної потужності при мінімальних енерговитратах.
- Гнучкість та адаптивність: Розвиток систем, які здатні адаптуватися до змін у вимогах та умовах роботи, що дозволить ефективно пристосовувати роботу пристроїв до змін в електричних мережах.
- Інтелектуальне управління: Розробка систем, які можуть автоматично прогнозувати та оптимізувати компенсацію реактивної потужності на основі зібраних даних, використовуючи алгоритми штучного інтелекту.
- Стійкість та надійність: Створення пристроїв, які володіють високою стійкістю до електричних перенапруг та інших внутрішніх або зовнішніх впливів, забезпечуючи надійну роботу систем електропостачання.
- Екологічна сумісність: 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

реактивної потужності на тягових підстанціях 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.

Окрім цього, велика увага приділяється розробці технологій, спрямованих на використання відновлювальних джерел енергії для компенсації реактивної потужності. Інтеграція сонячних батарей, вітрових установок або систем зберігання енергії дозволяє знижувати витрати на електроенергію та зменшувати негативний вплив на довкілля. Дослідження в галузі використання новітніх матеріалів, таких як наноматеріали та нові полімери, також є одним із ключових напрямків. Вони можуть дозволити створити більш компактні, легші та ефективніші пристрої компенсації, що відповідатимуть сучасним вимогам до енергоефективності та маневреності у використанні.

Загалом, поєднання цих інноваційних напрямків розвитку в електроенергетичній галузі сприятиме створенню більш продуктивних, стійких та екологічно чистих систем електропостачання, що є ключовим для забезпечення сталого розвитку та ефективного функціонування транспортних мереж.

Вдосконалення пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях також включає розробку гібридних систем, які комбінують різні методи компенсації для досягнення оптимальної ефективності. Наприклад, поєднання статичних компенсаторів реактивної потужності (SVC) та активних фільтрів може забезпечити комплексне управління реактивною потужністю, що дозволить знизити втрати енергії та підтримувати стабільність електричних мереж. Важливим напрямком є розробка систем, які були б більш адаптивними до різних умов роботи. Це означає створення алгоритмів управління, які можуть реагувати на зміни в навантаженні та умовах мережі в реальному часі, забезпечуючи оптимальну компенсацію реактивної потужності в будь-яких ситуаціях.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Розробка більш ефективних та економічних рішень, спрямованих на використання інноваційних технологій у виробництві пристроїв компенсації, може допомогти підвищити їхню доступність та впровадження у різноманітних електромережах тягових підстанцій. У цілому, розвиток нових гібридних систем, збільшення їхньої адаптивності та пошук ефективних технологічних рішень є ключовими факторами для забезпечення надійного та ефективного електропостачання у сучасних транспортних 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.

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 тягових підстанцій. Один із перспективних напрямків у вдосконаленні пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 тягових підстанціях 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 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.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3 ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИБОРІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ТЯГОВИХ ПІДСТАНЦІЯХ

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

- Оновлення технічного обладнання: Заміна застарілих компенсаторів реактивної потужності на більш сучасні пристрої з використанням передових технологій управління, що дозволить підвищити ефективність та точність компенсації.
- Використання інтелектуальних систем: Впровадження інтелектуальних систем управління на базі штучного інтелекту та аналізу даних для автоматизації процесів компенсації та підвищення їхньої точності.
- Розвиток енергоефективних рішень: Використання новітніх технологій, що спрямовані на зменшення енерговитрат та оптимізацію роботи систем, які використовують компенсацію реактивної потужності.
- Аналіз параметрів мережі: 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.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ці аспекти враховуються при технічному аналізі, спрямованому на оптимізацію та покращення функціональності пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях. Розглядаючи можливості модернізації пристроїв компенсації реактивної потужності, важливо зазначити наявність новітніх розробок у сфері технологій збереження енергії. Використання сучасних батарейних систем, зокрема літій-іонних акумуляторів або інших типів акумуляторів з високою ємністю та енергоефективністю, може бути включено в систему компенсації реактивної потужності. Це дозволить використовувати накопичену енергію для компенсації реактивної потужності під час піків споживання.

Крім того, розробка гібридних рішень, що комбінують різні методи компенсації, такі як статичні компенсатори, активні фільтри та активні стабілізатори напруги, спрямована на створення комплексних систем, що мають більш широкий діапазон функціональності та можливостей реагування на зміни у мережі. Також варто звернути увагу на можливість використання розумних сенсорів та аналітики даних для більш точного моніторингу електричної мережі, що дозволяє оперативно виявляти проблеми та оптимізувати роботу пристроїв компенсації. Інтеграція таких технологій у систему підстанції може підвищити рівень надійності та ефективності всієї електропостачальної системи.

При розгляді можливостей модернізації пристроїв компенсації реактивної потужності важливо врахувати перспективи розвитку сонячної та вітрової енергетики. Інтеграція альтернативних джерел енергії у систему електропостачання може стати однією з основних стратегій для підвищення стабільності та зниження навантаження на пристрої компенсації. Регулювання потужності, що надходить від альтернативних джерел, може бути використане для більш точної компенсації реактивної потужності у реальному часі.

Зосередження на розвитку мережевої топології також є ключовим аспектом. Застосування розумних мережевих рішень, таких як мікромережі або

децентралізовані системи електропостачання, може допомогти покращити забезпечення стабільності та ефективності електричних систем.

Надалі, розробка інноваційних технологій для зберігання енергії, таких як технології з використанням масивів акумуляторів, потужних конденсаторів чи систем з використанням теплоакумуляції, 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 тягових підстанціях.

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 тягових підстанціях.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

3.1 Огляд сучасних технологій

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

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 кожному 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 тягових підстанціях, 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,

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 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 тягових підстанціях, 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 тягових підстанціях. Нові рішення в цій сфері, включаючи розвиток більш ефективних батарейних систем, теплоакumuляційні 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 тягових підстанціях 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.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 тягових підстанціях полягає в застосуванні технологій розподіленого зберігання енергії. Це означає використання різних джерел зберігання енергії (батареї, конденсатори, системи управління енергією тощо) на різних рівнях електричної мережі.

Наприклад, наявність установок зберігання енергії безпосередньо на тягових підстанціях 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 напруженням 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 тягових підстанціях.

Під час вивчення сучасних можливостей у сфері компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 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 тягових підстанціях відображає значний потенціал у вдосконаленні та покращенні роботи електричних мереж.

- Підвищення ефективності: Модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності дозволяє підвищити ефективність систем електропостачання за рахунок зменшення втрат енергії та оптимізації роботи мережі.
- Забезпечення стабільності мережі: Оновлені системи компенсації допомагають зберігати стабільність напруги та знижують ризик перенапружень у мережі, що покращує надійність енергопостачання.
- Ефективне використання ресурсів: Модернізація дозволяє більш ефективно використовувати електроенергію та збільшує загальну

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

продуктивність системи за рахунок оптимізації роботи пристроїв компенсації.

- Спрощення управління та моніторингу: Нові системи забезпечують більші можливості для автоматизації та віддаленого контролю за компенсацією реактивної потужності, що спрощує управління електричною мережею.
- Підтримка екологічних ініціатив: Модернізація сприяє зменшенню впливу на навколишнє середовище через ефективніше використання електроенергії та зниження енерговитрат.

Аналіз показує, що модернізація систем компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях 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.

Інноваційні модернізаційні рішення в галузі компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях 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 сонячні панелі або вітряні турбіни, для виробництва додаткової електроенергії. Це може допомогти зменшити залежність від традиційних джерел енергії та сприяти зниженню викидів CO₂.

Також, важливим фактором в удосконаленні систем компенсації є використання високоефективних матеріалів у виробництві пристроїв. Розвиток нових матеріалів з високою стабільністю, якістю та здатністю працювати при високих навантаженнях, може підвищити продуктивність пристроїв компенсації.

Крім того, наукові дослідження в сфері розробки нових алгоритмів керування системами компенсації можуть покращити точність та швидкодію реакції систем на зміни у мережі. Це дасть можливість ефективніше управляти

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

реактивною потужністю та підтримувати стабільність електромережі в умовах зростаючого попиту на електроенергію.

Помітним напрямком розвитку в удосконаленні систем компенсації реактивної потужності є застосування концепцій інтелектуальних мереж (Smart Grids). Це передбачає використання передових технологій зв'язку та автоматизації для створення більш розумних електричних мереж. Системи Smart Grids можуть активно контролювати та регулювати енергетичний потік у мережі, включаючи компенсацію реактивної потужності в реальному часі, що підвищує їх ефективність та стабільність. Крім того, розвиток систем зберігання енергії, зокрема розробка більш продуктивних та надійних батарейних технологій, може сприяти оптимізації роботи компенсаційних систем. Використання більш ефективних та стабільних систем зберігання може допомогти у балансуванні електромережі та забезпеченні стабільності під час зміни навантаження.

Також, нові підходи до розробки та впровадження дистанційних систем моніторингу та управління можуть забезпечити більшу доступність та ефективність у контролі за системами компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях. Використання технологій Internet of Things (IoT) та cloud-систем дозволяє проводити дистанційний моніторинг та управління системами компенсації, що сприяє оперативності та швидкості реакції на зміни у мережі.

Ці технологічні рішення можуть значно покращити ефективність та надійність систем компенсації реактивної потужності, забезпечуючи оптимальну роботу електромереж та впроваджуючи принципи енергоефективності в сучасні тягові підстанції. Одним із перспективних напрямків в удосконаленні систем компенсації реактивної потужності є використання гібридних рішень. Такі системи поєднують у собі різні методи компенсації, наприклад, паралельне застосування статичних компенсаторів, активних фільтрів та схем зберігання енергії. Це дозволяє забезпечити більш гнучке та ефективне управління реактивною потужністю, адаптуючи систему компенсації до різних умов електромережі та підвищуючи її надійність.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Також, значний потенціал у поліпшенні ефективності компенсації реактивної потужності має використання розумних алгоритмів для прогнозування споживання електроенергії. Розвиток аналітичних моделей та штучних інтелектуальних систем дозволяє точніше передбачати піки споживання електроенергії та планувати оптимальне використання систем компенсації відповідно до цих прогнозів. Розробка нових матеріалів для компонентів систем компенсації реактивної потужності, їх оптимізація на молекулярному рівні, може призвести до створення більш ефективних та енергоефективних пристроїв компенсації, зменшуючи витрати та підвищуючи продуктивність систем.

Ці інноваційні підходи до модернізації систем компенсації реактивної потужності мають потенціал покращити ефективність та надійність електричних мереж, забезпечуючи більш оптимальне та енергоефективне функціонування тягових підстанцій.

На сьогоднішній день актуальною стає тема використання інноваційних рішень у вирішенні проблеми компенсації реактивної потужності. Одним з перспективних напрямків є розробка гібридних систем, які комбінують у собі різні технології компенсації. Наприклад, поєднання статичних компенсаторів, що мають високу швидкодію та ефективність, з активними фільтрами, спрямованими на фільтрацію шумів та гармонік, може забезпечити комплексний підхід до управління реактивною потужністю.

Велике значення набуває впровадження систем штучного інтелекту, які в змішаній системі з аналітичними моделями можуть забезпечити прогнозування споживання електроенергії з високою точністю. Це дозволить оптимізувати 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 тягових підстанціях. Ці інноваційні підходи сприяють не лише

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 тягових підстанціях. Впровадження батарейних установок, заснованих на технологіях літій-іонних акумуляторів або розумних схем зберігання, може забезпечити додаткові можливості для 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арх
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 Модель тягової підстанції змінного струму

На тяговій підстанції «Н» Придніпровської залізниці протягом доби проводились вимірювання споживання електроенергії.

На рисунку 3.3 приведена однолінійна схема підключення.

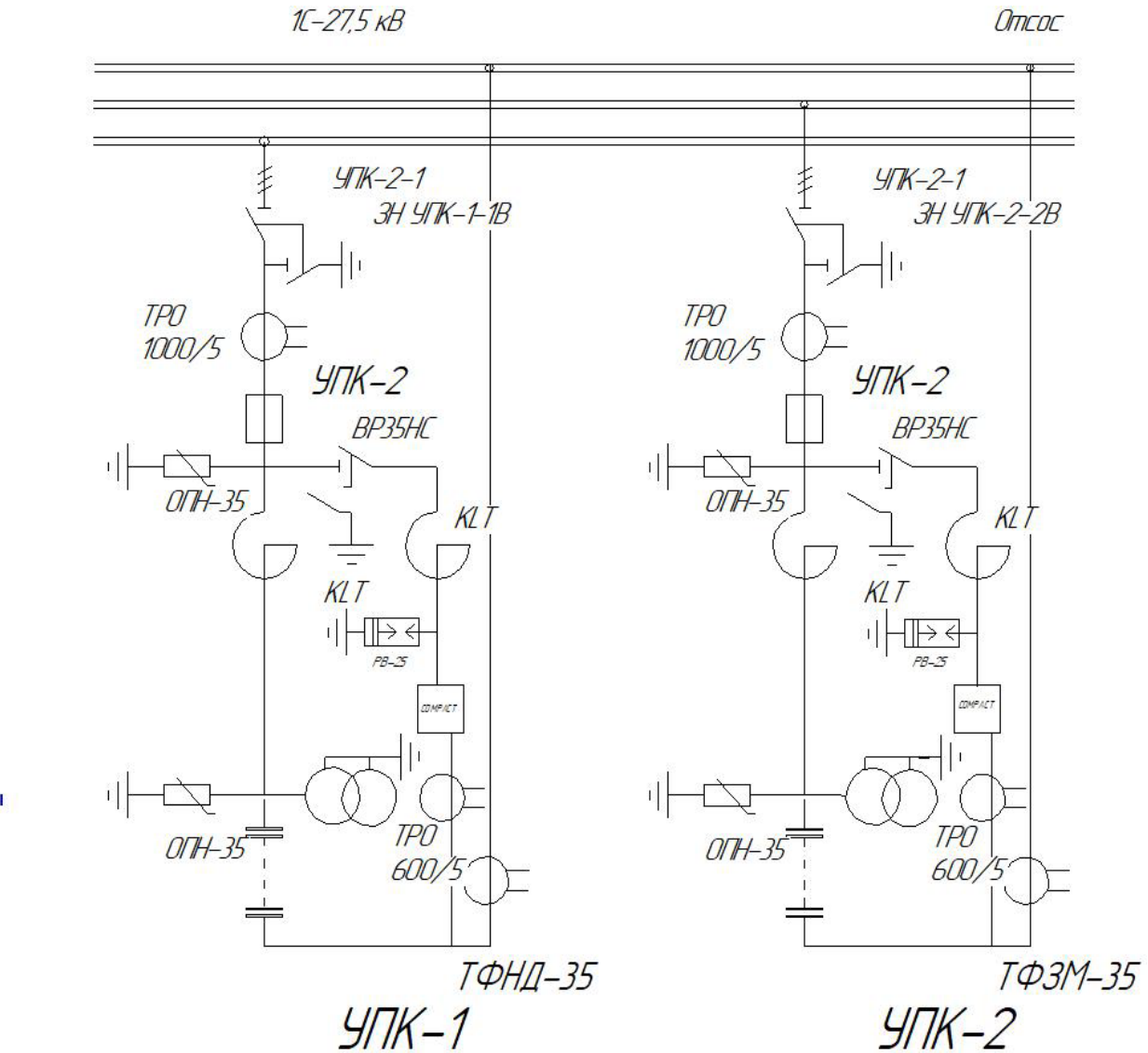


Рисунок 3.3 – Однолінійна схема тягової підстанції Н

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Дослідження режиму з компенсацією та режим без компенсації

Час	Напруга на шинах вольтметром		Активний баланс потужності		Реактивний баланс потужності		Компенсація реактивної потужності	1 - УПК	
	27,5кВ		Обмотки 27,5кВ		Обмотки 27,5кВ		Обмотки 27,5кВ		
			Від шин	До шин	Від шин	До шин	tg	Струм УПК за ампер- метру, А	U УПК за вольт- метру, кВ
0	27,5	27							
1	27	27	0	7 250	0	195	0,458	180	34
2	27,6	27,5	0	9 900	0	935	0,228	250	33
3	27,5	27,5	0	12 265	0	1555	0,257	240	33
4	27,52	27,6	0	11 440	0	495	0,231	240	33
5	27,5	27,1	0	6 710	0	55	0,549	240	33
6	27,5	27,5	0	10 800	0	715	0,361	220	33
7	27,53	27,7	0	15 950	55	1675	0,248	220	33
8	27,5	27,5	0	10 120	0	275	0,488	240	33
9	27,5	27,5	0	8 030	55	715	0,233	250	33
10	27,5	27,5	0	8 195	0	1485	0,201	220	33
11	27,6	27,4	0	6 820	55	605	0,331	250	33
12	27,5	27,5	0	6 545	165	330	0,459	240	33
13	27,5	27,5	0	8 910	162	550	0,377	200	33
14	27,65	27,65	0	10 010	55	385	0,236	240	33
15	27,5	27,5	0	12 705	0	1595	0,165	250	32
16	27,5	27,5	0	16 390	0	2035	0,205	240	32
17	27,5	27,5	0	5 115	0	165	0,677	210	33
18	27,5	27,5	0	5 390	165	165	0,704	200	34
19	27,8	27,8	0	10 230	55	1320	0,145	200	33
20	27,7	28,2	0	8 000	220	220	0,404	200	34
21	27,8	28	0	8 965	165	110	0,546	240	32,5
22	28	28,1	0	6 642	275	110	0,542	220	33
23	28	27,8	0	9 405	110	715	0,304	200	33
24	27,2	27,5	0	9 955	100	495	0,378	220	33
Всього			0	225 742	1637	16900	0,364	230	33

Таблиця 3.1 – Режим з увімкненою компенсацією

Час	Напруга на шинах за вольтметром		Активний баланс потужності		Реактивний баланс потужності		Компенсація реактивної потужності	1 - УПК	
	27,5кВ		Обмотки 27,5кВ		Обмотки 27,5кВ		Обмотки 27,5кВ		
	Напруга лівого плеча	Напруга правого плеча	Від шин	До шин	До шин+AD17:AE33	До шин	tg	Струм УПК за амперметру, А	U УПК за вольтметру, кВ
			Сума, кВт	Сума, кВт	Від шин	До шин			
0	26,8	26,8							
1	26,1	26,3	0	9 295	0	4730	0,509	130	33,5
2	26,3	26,8	0	9 295	0	4479	0,479	130	32,5
3	26,1	25,5	0	8 140	0	3630	0,446	130	33,1
4	26,1	26,1	0	11 500	0	6105	0,555	130	32,6
5	26	26,5	0	12 650	0	5940	0,47	130	32,4
6	26,5	26,7	0	10 010	0	6120	0,473	130	32,1
7	26,4	26,9	0	8 500	0	3465	0,414	130	33
8	27	27	0	8 085	0	3850	0,574	140	33,1
9	26,6	27	0	6 512	0	2200	0,404	140	33,3
10	27,1	27,3	0	8 000	0	3465	0,457	140	33,9
11	27,4	27,5	0	3 795	0	1235	0,246	130	34,3
12	27,5	27,1	0	3 465	55	660	0,321	130	34
13	27,9	27,1	0	6 000	0	1870	0,366	130	34,3
14	26,7	27	0	10 175	0	5100	0,492	130	33,4
15	27,1	26,9	0	9 735	0	4510	0,463	130	34
16	27,4	27,3	0	9 460	0	4345	0,459	130	34,3
17	26,6	26,8	0	6 875	0	3000	0,245	130	33,3
18	27,3	26,5	0	7 513	55	2915	0,442	130	33,1
19	27	27,4	0	8 470	0	3630	0,429	120	33,8
20	25,2	27,1	0	5 005	0	1815	0,363	120	33,1
21	26,7	27,1	0	4 785	0	2500	0,335	120	33,4
22	28	27	0	4 587	0	2805	0,421	130	33,9
23	27,1	27,2	0	4 235	0	2100	0,52	130	33,8
24	27,1	26,7	0	5 487	0	3080	0,544	130	33,4
Всього			0	181 574	110	83549	0,434	130	33,4

Таблиця 3.2 – Режим з вимкненою компенсацією

З даних таблиць 3.1 та 3.2 побудуємо графік зміни напруги від зміни часу для різних режимів роботи.

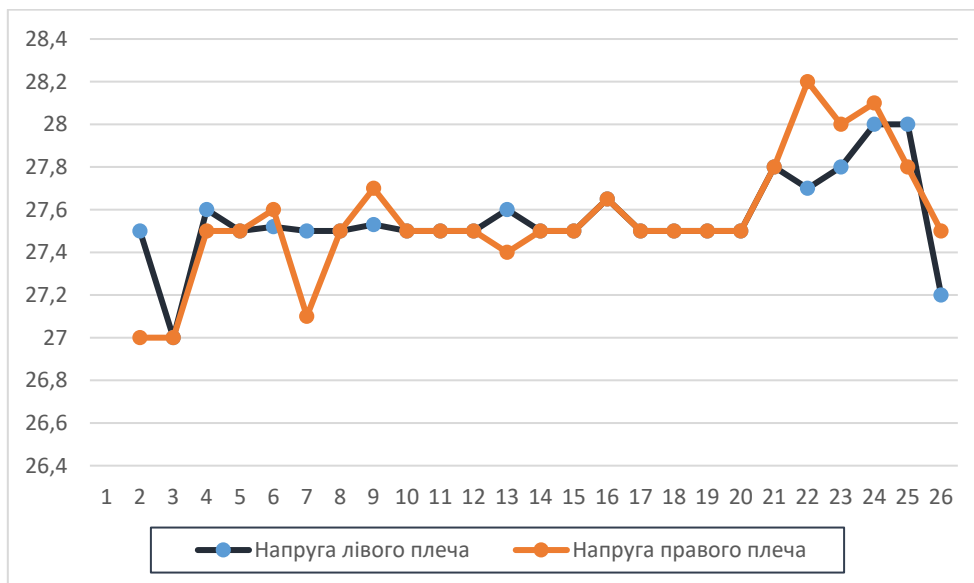


Рисунок 3.4 Графік залежності напруги від зміни часу з компенсацією

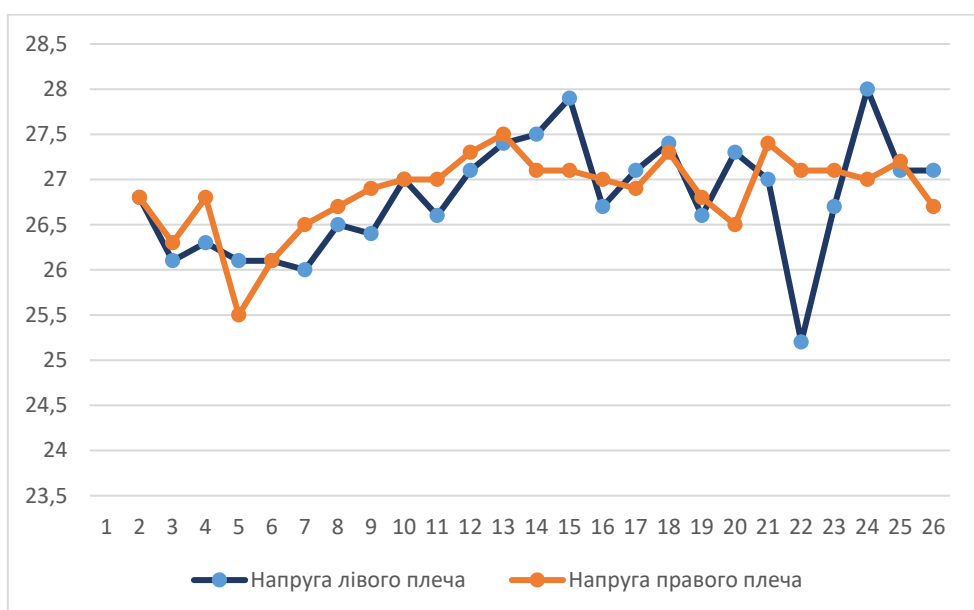


Рисунок 3.5 Графік залежності напруги від зміни часу без компенсації

Для цих режимів ми також встановлюємо баланси активної та реактивної потужності.

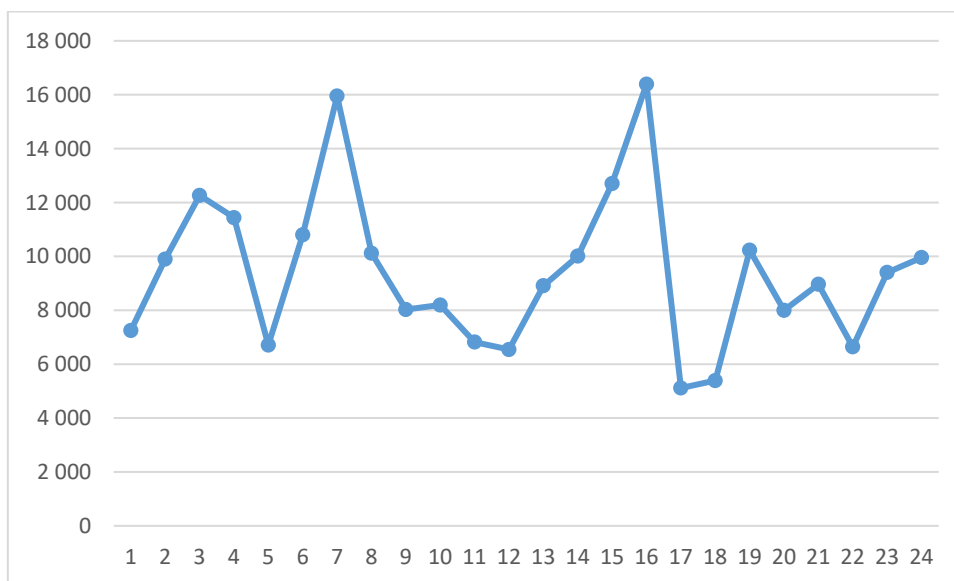


Рисунок 3.6 Графік залежності активної потужності від зміни часу з компенсацією

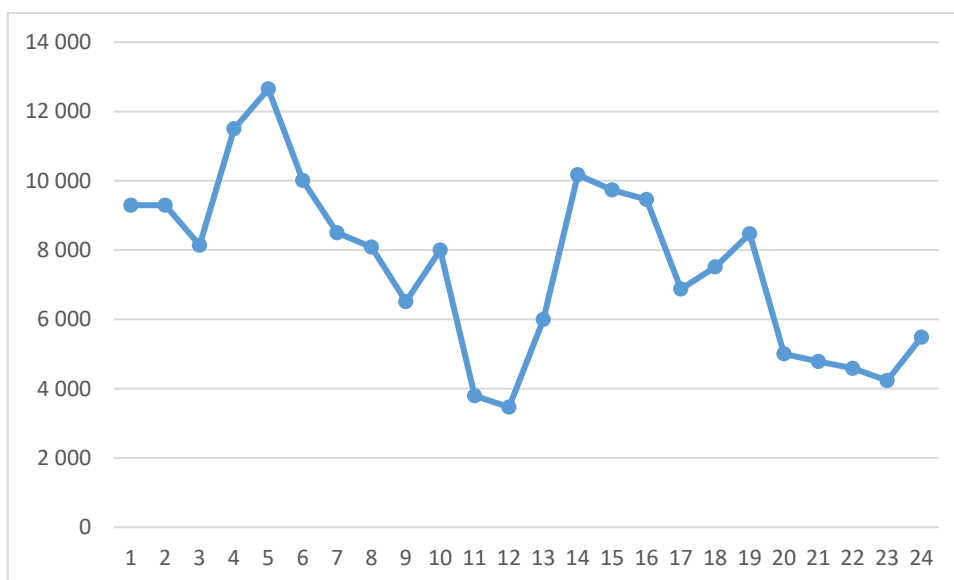


Рисунок 3.7 Графік залежності активної потужності від зміни часу без компенсації

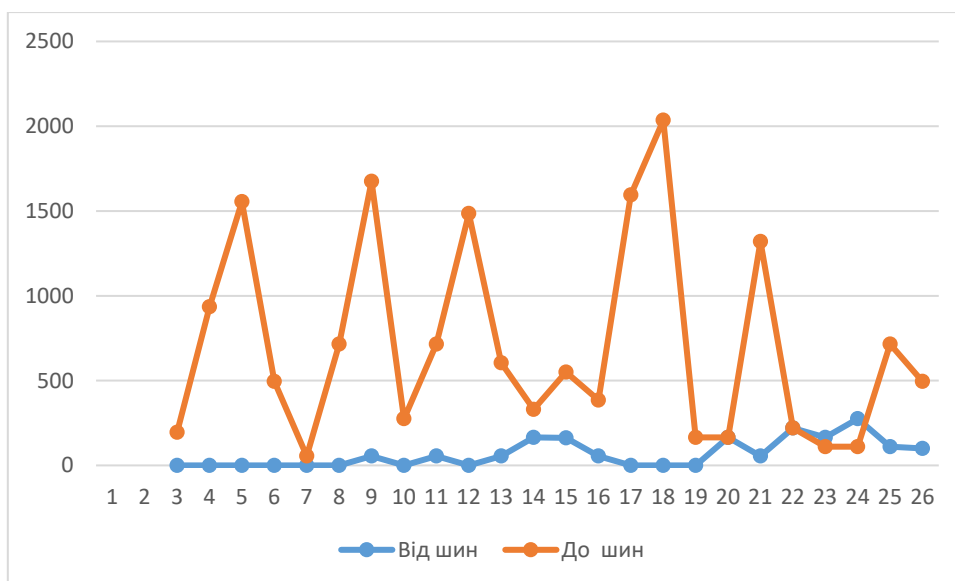


Рисунок 3.8 Графік залежності реактивної потужності від зміни часу з компенсацією

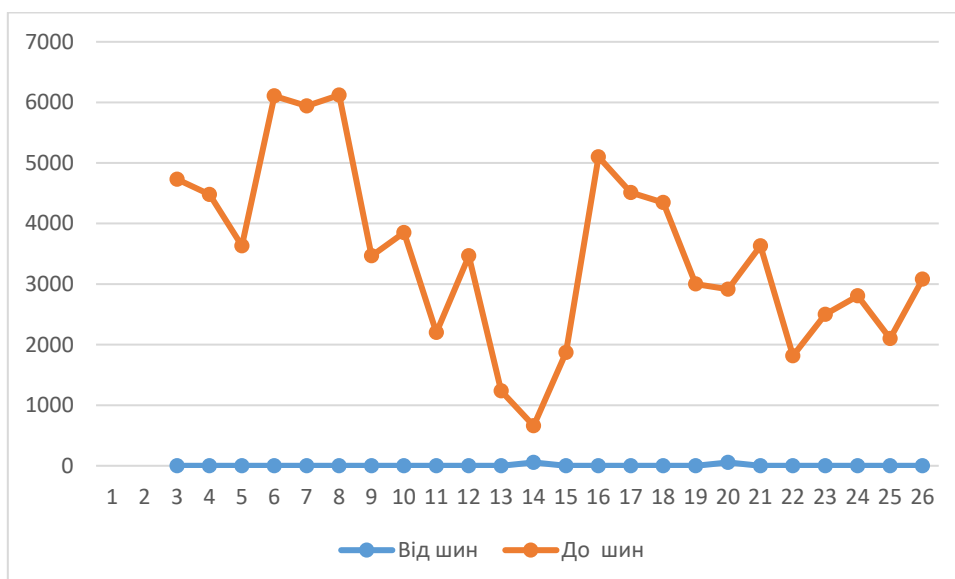


Рисунок 3.9 Графік залежності реактивної потужності від зміни часу без компенсації

3.4 Підвищення продуктивності та надійності

Для досягнення підвищення продуктивності та надійності систем компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях, важливо розглянути кілька ключових аспектів.

- Оптимізація технічних рішень: Розробка та використання продуктивних і технологічно вдосконалених пристроїв компенсації, зокрема розумних компенсаторів реактивної потужності, які мають широкий діапазон регулювання та високу точність управління.
- Використання новітніх матеріалів: Впровадження нових матеріалів у виробництво компонентів систем компенсації для покращення їхньої продуктивності, мінімізації втрат енергії та підвищення тривалості роботи.
- Розумне управління ресурсами: Використання систем моніторингу та дистанційного керування, що дозволяють в реальному часі відстежувати стан обладнання та оптимізувати роботу систем компенсації.
- Стратегії підвищення енергоефективності: Розробка та впровадження інтелектуальних алгоритмів управління енергією, які дозволяють ефективніше використовувати електричну енергію та зменшувати втрати під час трансформації та передачі.
- Безперервність та надійність роботи: Розробка систем резервування та запобігання аваріям для забезпечення безперервності роботи та попередження можливих виробничих перерв.

Застосування таких стратегій та інноваційних підходів може сприяти підвищенню ефективності, надійності та продуктивності систем компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях, що є ключовим для забезпечення стабільності та ефективності електромереж у сучасному світі.

Ще одним фундаментальним аспектом у підвищенні продуктивності та надійності систем компенсації реактивної потужності є впровадження систем

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

діагностики та прогнозування. Розробка і використання інтелектуальних систем моніторингу, заснованих на аналізі даних та штучному інтелекті, дозволяє передбачати можливі несправності у роботі обладнання та уникнути аварійних ситуацій.

Також, важливим є постійний пошук нових методів оптимізації роботи систем компенсації. Розвиток та впровадження алгоритмів самоналаштування та автоматизації можуть сприяти підвищенню продуктивності обладнання та забезпеченню більш точного та ефективного його використання.

Вдосконалення мережевої інфраструктури та розширення можливостей для інтеграції новітніх рішень та технологій у системи електропостачання може забезпечити більшу гнучкість та сумісність систем компенсації з іншими елементами електричних мереж. Інноваційні напрямки дозволяють забезпечити не лише підвищення ефективності та надійності систем компенсації реактивної потужності, але й покращення загальної стабільності та продуктивності електричних мереж. Розробка і впровадження гібридних рішень в області компенсації реактивної потужності можуть бути перспективними для покращення функціональності систем. Наприклад, поєднання статичних компенсаторів з універсальними засобами активного фільтрування може забезпечити не лише компенсацію реактивної потужності, але й фільтрацію шумів і гармонік у мережі, що сприятиме підвищенню якості електропостачання.

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 тягових підстанціях. Ці напрямки дозволяють

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 тягових підстанцій 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 енергетичної інфраструктури. Сучасний підхід до компенсації реактивної потужності передбачає також використання технологій, спрямованих на енергоефективність та зменшення втрат електроенергії. Наприклад, розробка та використання розумних систем керування електромережею на базі алгоритмів штучного інтелекту дозволяє підтримувати оптимальні умови роботи обладнання та компенсаторів у реальному часі.

Однією з перспективних технологій є також інтеграція систем "зеленої енергії". Використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітрові установки, у поєднанні з пристроями компенсації реактивної

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

потужності може сприяти зменшенню навантаження на традиційні джерела електроенергії, а також забезпечити збереження енергії. Розвиток та впровадження "розумних мереж" (Smart Grids) є ще одним інноваційним напрямком. Вони передбачають використання цифрових технологій для оптимізації виробництва, передачі та споживання електроенергії, що може значно підвищити ефективність компенсації реактивної потужності та загальної працездатності енергетичної системи.

Значний прогрес в електротехнічних технологіях створює нові можливості для ефективної компенсації реактивної потужності. Одним з таких напрямків є використання сучасних напівпровідникових пристроїв, що дозволяє розробляти компактніші, енергоефективніші та менш витратні в утриманні пристрої компенсації. Також, впровадження технологій "декогенерації" може бути важливим кроком у вдосконаленні систем компенсації. Це означає спільне виробництво тепла та електроенергії, що спрямоване на забезпечення електроенергії для власних потреб з одночасним використанням тепла для опалення чи інших потреб, що зменшує навантаження на енергетичну систему загалом.

Разом із тим, розробка нових матеріалів для виготовлення компенсаторів та конденсаторів може призвести до покращення їхніх характеристик, таких як ефективність, стабільність роботи та тривалість служби. Використання таких матеріалів може сприяти зниженню розмірів та ваги пристроїв, що є важливим аспектом для їхнього ефективного використання в тягових підстанціях та інших електроенергетичних системах.

3.5 Переваги модернізації для тягових підстанцій

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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Підвищення ефективності енергосистем: Оптимізація компенсації реактивної потужності дозволить знизити втрати електроенергії, що покращить загальну енергоефективність системи.
- Зменшення витрат: Впровадження новітніх технологій компенсації може призвести до економії електроенергії та витрат на обслуговування та утримання обладнання.
- Підвищення надійності систем електропостачання: Модернізовані системи компенсації реактивної потужності забезпечать більш стабільні та надійні умови роботи для тягових підстанцій, що може знизити вірогідність виникнення аварій та збільшити термін їхньої безперебійної роботи.
- Підтримка росту попиту: Модернізовані системи компенсації зможуть більш ефективно відповідати на зростаючий попит на електроенергію та пристосовуватись до змін у навантаженні.
- Покращення якості електропостачання: 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 тягових підстанцій, що в свою чергу позитивно вплине на функціонування транспортних систем та підвищить загальний рівень безпеки та комфорту користувачів. Новітні дослідження та розробки в галузі електроенергетики вказують на можливість використання концепцій "активного енергоменеджменту". Це означає, що системи компенсації реактивної потужності можуть бути інтегровані в більш широкий контекст енергетичного управління, спрямованого на оптимізацію виробництва та споживання електроенергії.

Використання розумних систем управління дозволяє аналізувати споживання електроенергії та вплив електричних навантажень на систему в реальному часі. Це може відкрити можливості для автоматизованої оптимізації

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

систем компенсації реактивної потужності з урахуванням внутрішніх потреб та зовнішніх умов.

Більш того, розвиток систем зберігання енергії та їхнє поєднання з пристроями компенсації реактивної потужності може забезпечити резервні джерела електроенергії, що дозволить ефективніше управляти енергетичними потоками та забезпечити плавне вирівнювання навантаження на мережу.

Ці інновації можуть стати кроком у напрямку створення більш інтелектуальних та динамічних систем управління енергією, що відповідають викликам сучасного енергетичного ринку та дозволяють оптимізувати використання ресурсів та покращити стабільність електричних мереж.

Розробка та впровадження гібридних систем компенсації реактивної потужності може бути перспективним напрямком для підвищення ефективності та гнучкості електромереж. Ці системи поєднують у собі різні методи компенсації, такі як статичні та динамічні компенсатори, що дозволяє краще враховувати різноманітні умови роботи електромережі. Застосування систем управління на основі інтелектуальних алгоритмів та прогностичних моделей також може покращити ефективність систем компенсації. Це дозволить адаптувати роботу компенсаторів до змін у структурі мережі, погодних умов та споживацьких потреб, забезпечуючи оптимальну роботу системи в реальному часі. Розробка систем управління ресурсами енергопостачання та використання мікромереж може бути перспективною у розвитку тягових підстанцій. Ці системи дозволять гнучко регулювати енергетичні потоки та забезпечувати стабільне електропостачання при різних умовах використання та зміні 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 тягових підстанцій.

Розробка та впровадження "інтелектуальних" систем діагностики та прогнозування можуть стати ключовим етапом в модернізації компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях. Ці системи здатні моніторити

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 тягових підстанцій, 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 гнучкий підхід до розв'язання проблем реактивної потужності. Це дозволить налаштовувати 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

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

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 тягових підстанціях, забезпечуючи більш ефективне та стабільне функціонування електромереж

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

В даній роботі було розглянуто перспективність та важливість модернізації пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях у контексті магістерської роботи, як майбутній фахівець у галузі енергетики та електротехніки, наведені аспекти є надзвичайно важливими.

Модернізація цих пристроїв відображає сучасні тенденції розвитку інфраструктури та енергетики. Вона вимагає не лише технічних знань та розуміння принципів роботи систем електропостачання, враховувати технологічні нововведення та проводити аналізи для вибору оптимального рішення. Як магістр, розуміння та вивчення впливу модернізації пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях має велике значення для підвищення продуктивності та надійності електропостачання, зменшення витрат та оптимізації процесів.

Ця тема відкриває широкий простір для подальших досліджень та розвитку. Розробка більш ефективних технічних рішень, використання новітніх технологій, та впровадження інновацій у сфері енергетики стануть ключовими напрямками для майбутньої роботи у даній галузі. У цілому, робота над даною темою в контексті магістерської програми надала вагомий досвід вивчення та аналізу енергетичних систем. Здобуті знання та вміння стануть в нагоді для подальших досліджень та професійного зростання у сфері електротехніки та енергетики.

Отже, модернізація пристроїв компенсації реактивної потужності на тягових підстанціях є необхідною та перспективною, та вимагає постійного вдосконалення з метою оптимізації електропостачання та створення стійких та ефективних систем енергозабезпечення в транспортній галузі.

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Акімов, О. І. Електричні мережі електрифікованих залізниць [Текст] : навч. посібник/ О. І. Акімов, Д. Л. Сушко. – Харків : УкрДАЗТ, 2012
2. Доманський, І. В. Режими роботи системи тягового електропостачання змінного струму з пристроями компенсації реактивної потужності [Текст] / І. В. Доманський // Електротехніка та електромеханіка.– 2015. – № 3
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. – V. 50. – № 5
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. D. Z. Morris Brenna, Federica Foiadelli, Electrical Railway Transportation Systems, ser. Electric Power Systems. John Wiley & Sons, Ltd, 2018.
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. Босий Д. О. Оптимізація керування регульованою компенсацією реактивної потужності на тягових підстанціях змінного струму. Оптимізація керування регульованою компенсацією реактивної потужності на тягових

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

підстанціях змінного струму / Д. О. Босий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. № 1.

11. Electromagnetic compatibility in electric power systems: textbook for institutions of higher education from Ukraine, edited by S.I. Kostritska and I.O. Tokar / I.V. Zhezhelenko, Shidlovskiy, G.G. Pivnyak, Yu.L. Saenko, editorship of the English version and terminology by Professor G. A. 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. Papiika // Науковий вісник НГУ. - 2016

					02.15.EE2221.РД.2023-ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		