

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій Марченко

“10” червня 2025 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Управління, захист та автоматизація енергосистем»

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему: Регулювання реактивної потужності на підстанції 110/35/10 кВ

Виконав:

Студент IV курсу, групи ЕК-з11

Ковальчук Сергій Юрійович

Керівник:

к.т.н., доцент,

Хоменко Олег Володимирович

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент,

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2025 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ
Кафедра автоматизації енергосистем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма – «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

«10» червня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Ковальчуку Сергію Юрійовичу

1. **Тема проєкту** «Регулювання реактивної потужності на підстанції 110/35/10 кВ», керівник проєкту Хоменко Олег Володимирович, доц., к.т.н., затверджені наказом по університету від «26»05 2025р. №1751-с
2. **Термін подання** студентом проєкту 10 червня 2025р.
3. **Вихідні дані до роботи:** Схема підстанції. Матеріали науково-дослідних та проєктних організацій. Каталоги виробників обладнання. Довідкова література
4. **Перелік питань, які мають бути розроблені:** Аналіз джерел та засобів регулювання реактивної потужності в електричних мережах. Опис схеми ПС напругою 110/35/10 кВ та розрахунок струмів КЗ. Компенсація і регулювання реактивної потужності на підстанції.
5. Перелік графічного матеріалу *1- Однолінійна схема електричних з'єднань підстанції; 2 - Розрахунок струмів КЗ; 3 - Регулювання і компенсація реактивної потужності*
6. **Дата видачі завдання** “ 26 ” травня 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Джерела та засоби регулювання реактивної потужності в електричних мережах	27.05.2025	
2	Аналіз схеми та обладнання	28.05.2025	
3	Розрахунки струмів короткого замикання	31.05.2025	
4	Перевірочний вибір обладнання підстанції	02.06.2025	
5	Регулювання реактивної потужності на підстанції 110/35/10 кВ	06.06.2025	
6	Графічна частина. Оформлення роботи	09.06.2025	

Студент

(підпис)

Сергій КОВАЛЬЧУК

Керівник

(підпис)

ОЛЕГ ХОМЕНКО

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.ЕКз1107.004.ДБ	Пояснювальна записка	69	
3	A1	141.ЕКз1107.004.ТК1	Однолінійна схема електричних з'єднань підстанції	1	
4	A1	141.ЕКз1107.004.ТК2	Розрахунок струмів КЗ	1	
5	A1	141.ЕКз1107.004.ТК3	Регулювання і компенсація реактивної потужності	1	

					141.ЕКз1107.004.ДБ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Ковальчук С.Ю.			Відомість дипломного проекту	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>		Хоменко О.В.					4	1
<i>Н. Контр.</i>		Шполянський О.Г.			КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-311			
<i>Затв.</i>		Марченко А. А.						

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Регулювання реактивної потужності на підстанції
110/35/10 кВ »

Київ – 2025 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 69 аркушах, 12 рисунків, 15 таблиць, 3 листи графічної частини, 18 літературних посилань.

Актуальність теми – забезпечення ефективного функціонування електроенергетичних систем. У зв'язку зі зростанням частки відновлюваних джерел енергії та зміною структури навантаження питання ефективного управління реактивною потужністю набуває особливої актуальності.

Об'єкт дослідження – Електрична мережа та підстанція напругою 110/35/10 кВ.

Предмет дослідження – Методи та засоби регулювання реактивної потужності в електричних мережах, а також їх вплив на режимні параметри системи. Обладнання релейного захисту та автоматики підстанції напругою 110/35/10 кВ.

Мета дослідження – Розробити та обґрунтувати ефективні технічні рішення щодо регулювання реактивної потужності для підвищення енергоефективності та надійності електричної мережі. Дослідити релейний захист та автоматику підстанції 110/35/10 кВ.

У дипломному проекті досліджується підстанція напругою 110/35/10 кВ, розраховані струми короткого замикання.

Ключові слова: РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, КОМПЕНСУЮЧІ ПРИСТРОЇ, ПІДСТАНЦІЯ, КОРОТКІ ЗАМИКАННЯ, ТРАНСФОРМАТОР, РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ, АВТОМАТИКА, РЕГУЛЮВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ABSTRACT

The diploma project is made on 69 sheets, 12 figures, 15 tables, 3 sheets of graphic part, 18 literary references.

The relevance of the topic is ensuring the effective functioning of electric power systems. Due to the increase in the share of renewable energy sources and changes in the load structure, the issue of effective reactive power management is becoming particularly relevant.

The object of the study is the electrical network and substation with a voltage of 110/35/10 kV.

The subject of the study is methods and means of regulating reactive power in electric networks, as well as their impact on the operating parameters of the system. Relay protection and automation equipment of a substation with a voltage of 110/35/10 kV.

The purpose of the study is to develop and substantiate effective technical solutions for regulating reactive power to increase energy efficiency and reliability of the electric network. To investigate relay protection and automation of a 110/35/10 kV substation.

The diploma project investigates a 110/35/10 kV substation, calculates short-circuit currents.

Keywords: REACTIVE POWER, COMPENSATING DEVICES, SUBSTATION, SHORT CIRCUITS, TRANSFORMER, RELAY PROTECTION, AUTOMATION, REGULATION, ENERGY EFFICIENCY.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 ДЖЕРЕЛА ТА ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ.....	12
1.1 Теоретичні основи компенсації реактивної потужності.....	12
1.2 Вплив на режими роботи електричної мережі реактивної потужності ...	14
1.3 Основні споживачі в електричних мережах реактивної потужності.....	15
1.4 Синхронні генератори.....	17
1.5 Синхронні компенсатори.....	19
1.6 Статичні тиристорні компенсатори.....	21
1.7 Конденсаторні батареї.....	23
1.8 Статичні вентильні джерела реактивної потужності.....	25
1.9 Шунтуючі реактори.....	26
1.10 Баланс в електричній мережі реактивної потужності.....	27
1.11 Керування компенсуючими установками.....	27
Висновки до розділу 1.....	29
2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ – ПС 110/35/10 КВ.....	30
2.1 Структура і основні енергетичні характеристики	30
2.2 Електрична мережа – загальна характеристика	30
2.3 Компенсуючі пристрої в електричній мережі	31
2.4 Підстанція напругою 110/35/10 кВ.....	33
2.4.1 Схема електричних з'єднань підстанції напругою 110/35/10 кВ. Загальна характеристика. Склад основного обладнання підстанції.....	33
2.4.2 Силові трансформатори підстанції	35

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

2.4.3 Збірні шини підстанції	36
2.4.4 Комутаційне обладнання підстанції.....	37
2.4.5 Захисне обладнання.....	39
2.4.6 Вимірювальні трансформатори напруги і струму підстанції.....	43
2.4.7 Вимірювальні прилади.....	44
2.4.8 Власні потреби підстанції.....	45
2.4.9 Засоби релейного захисту і автоматики підстанції.....	46
2.4.10 Розрахунок струмів короткого замикання на шинах підстанції.....	49
2.4.11 Перевірочний вибір обладнання підстанції.....	54
Висновки до розділу 2.....	56
3 РЕГУЛЮВАННЯ І КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА	
ПС 110/35/10 КВ	58
3.1 Батареї статичних конденсаторів (БСК).....	58
3.2 Шунтуючі реактори.....	59
3.3 Статичні компенсатори реактивної потужності (SVC – Static Var Compensator).....	60
3.4 Регулятор реактивної потужності.....	61
Висновки до третього розділу.....	63
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	68

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АВР – автоматичний ввід резерву;
ВН – висока напруга;
ВРП – відкритий розподільчий пристрій;
ЗРП – розподільчий пристрій закритого типу;
КЗ – коротке замикання;
КРУ – комплектна розподільча установка;
ЛЕП – лінії електропередачі;
МСЗ – максимальний струмовий захист;
НН – низька напруга;
ПЛ- повітряні лінії;
ПС – підстанція;
ПУЕ – правила улаштування електроустановок;
РЗ – релейний захист;
РЗА – релейний захист та автоматика;
СВ – струмова відсічка;
СК – синхронний компенсатор;
ТН – трансформатор напруги;
ТС – трансформатор струму.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		10

ВСТУП

Сучасна електроенергетика характеризується динамічним розвитком та підвищеними вимогами до ефективності, надійності й якості електропостачання. Однією з ключових складових забезпечення стабільної роботи електроенергетичної системи є підтримання балансу реактивної потужності в мережі. Нерегульовані потоки реактивної потужності призводять до перевантаження елементів мережі, підвищення втрат електроенергії, погіршення напруги та, як наслідок, зниження надійності енергопостачання.

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю впровадження ефективних технічних рішень для компенсації реактивної потужності та оптимізації режимів роботи електричних мереж, особливо на рівні підстанцій, де розміщуються основні засоби регулювання — конденсаторні батареї, шунтуючі реактори, статичні компенсатори тощо.

Метою дипломної роботи є дослідження стану регулювання реактивної потужності в електричних мережах, зокрема на підстанції напругою 110/35/10 кВ, аналіз існуючих компенсуючих засобів та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності їх використання.

Об'єктом дослідження є електрична мережа з підстанцією напругою 110/35/10 кВ, яка відіграє важливу роль у забезпеченні електропостачання споживачів.

Предметом дослідження виступають технічні та режимні аспекти компенсації реактивної потужності в електричних мережах, зокрема в умовах функціонування підстанції.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи регулювання реактивної потужності, характеристику основних джерел та компенсуючих пристроїв.

У другому — детально проаналізовано об'єкт дослідження, його структурну схему, енергетичні характеристики та особливості електрообладнання.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

1 ДЖЕРЕЛА ТА ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ТА НА ПС 110/35/10 КВ

1.1 Теоретичні основи компенсації реактивної потужності

Реактивна потужність виникає в електричних мережах змінного струму внаслідок наявності індуктивних або ємнісних елементів, які спричиняють зсув фаз між напругою та струмом. Такий зсув зумовлює передачу енергії, що коливається між джерелом і споживачем, не здійснюючи при цьому корисної роботи. Втім, ця енергія є необхідною для нормального функціонування елементів електрообладнання, зокрема для створення магнітних полів у трансформаторах, електродвигунах та реакторах.

Наявність надлишкової або недостатньої реактивної потужності в мережі викликає ряд негативних явищ. До них належать: зниження або підвищення рівня напруги, збільшення струмів, зростання втрат потужності та енергії, перевантаження елементів мережі, нестабільність режиму роботи генераторів і трансформаторів. У зв'язку з цим регулювання реактивної потужності є важливим технічним завданням, особливо для систем з розгалуженою мережею та значною кількістю змінних споживачів.

Компенсація реактивної потужності передбачає зменшення її небажаного впливу шляхом впровадження спеціальних пристроїв, здатних генерувати або поглинати реактивну складову струму. До таких пристроїв належать: синхронні компенсатори, статичні компенсуючі установки (SVC, STATCOM), шунтуючі реактори, батареї конденсаторів та інші. Вибір конкретного засобу компенсації залежить від типу навантаження, характеристик мережі, рівня напруги, техніко-економічних вимог та динаміки режимів.

Основними завданнями компенсації реактивної потужності є:

- забезпечення стабільного рівня напруги в контрольних точках мережі;
- зменшення технічних втрат потужності в лініях та трансформаторах;

					141.ЕКз1107.004.ДБ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Ковальчук С.Ю.			ДЖЕРЕЛА ТА ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ТА НА ПС 110/35/10 КВ	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Хоменко О.В.					12	34
<i>Н. Контр.</i>		Шполянський О.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-311		
<i>Затв.</i>		Марченко А. А.						

- підвищення коефіцієнта потужності, що дозволяє зменшити перерізи провідників та трансформаторів;
- підвищення надійності та стійкості енергосистеми;
- оптимізація розподілу потоків потужності в мережі.

З огляду на перехід до інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), які мають нестабільний характер генерації, питання регулювання реактивної потужності набуває ще більшої актуальності. Саме тому сучасні системи електропостачання все частіше використовують інтелектуальні пристрої регулювання, які забезпечують автоматичне та швидкодієне управління реактивними потоками в режимі реального часу.

Способи компенсації реактивної потужності наведені на рис.1.1.

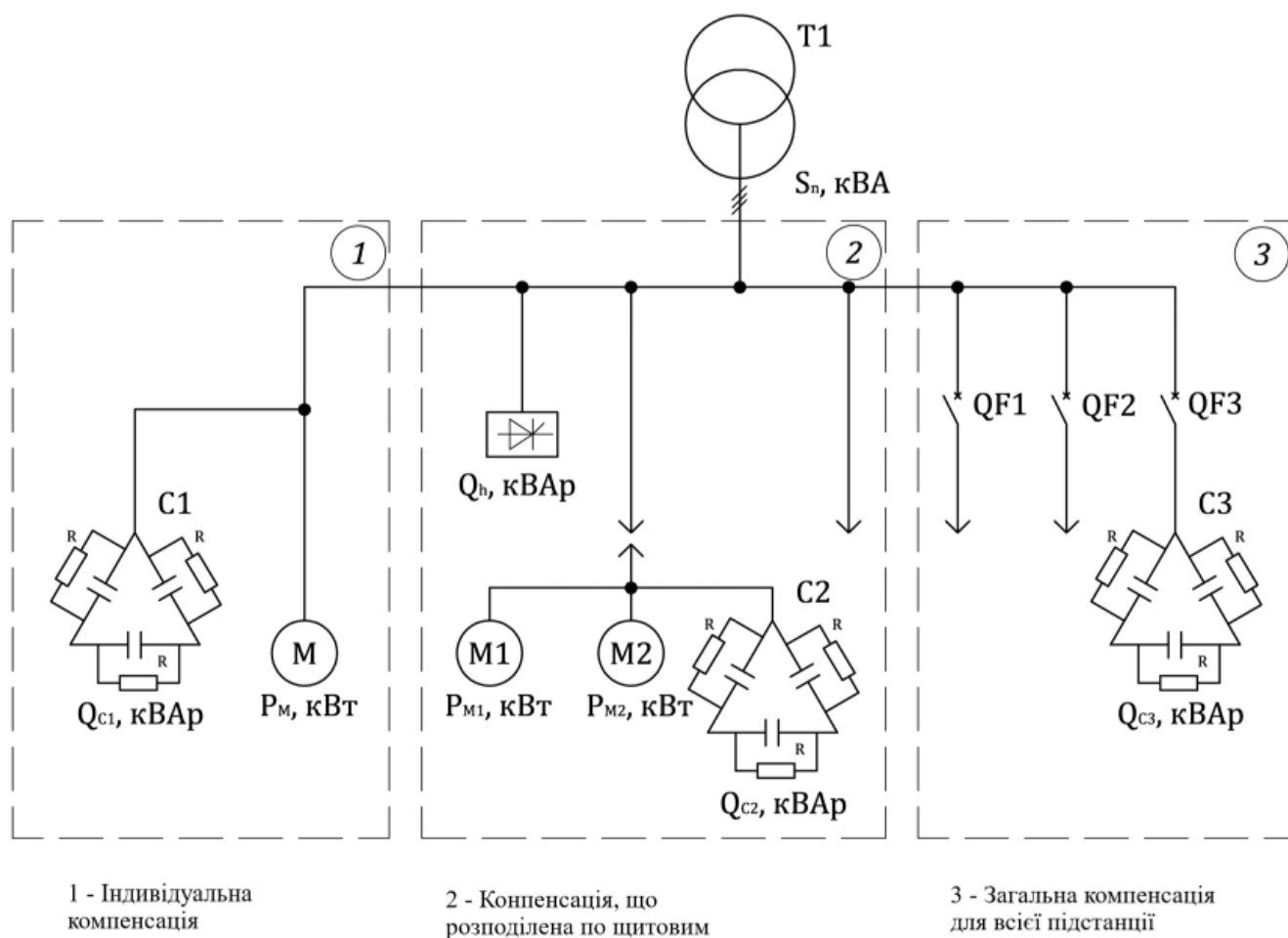


Рисунок 1.1 - Способи компенсації реактивної потужності

Схема компенсації реактивної потужності на базі контролера DCRK наведена на рис.1.2.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

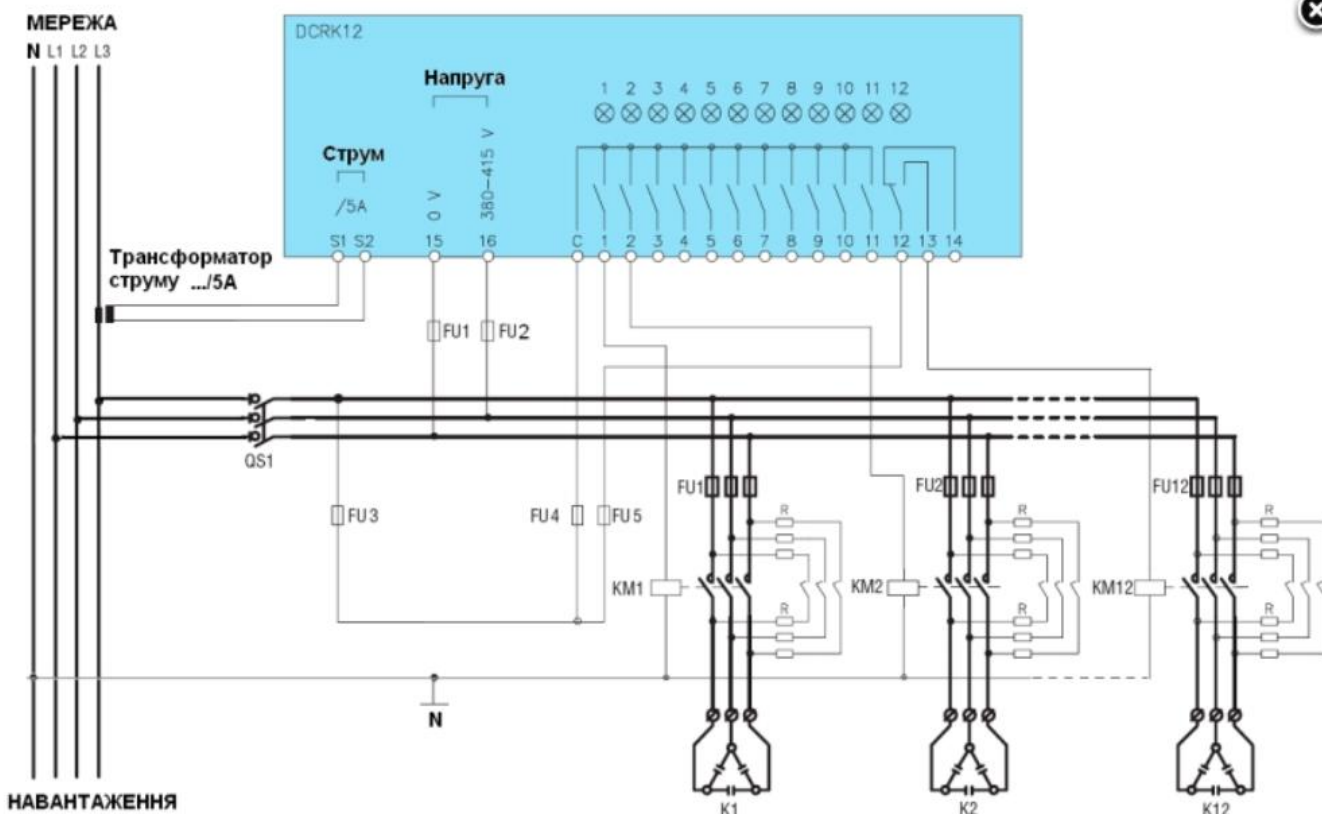


Рисунок 1.2 - Схема компенсації реактивної потужності на базі контролера DCRK

Таким чином, компенсація реактивної потужності є одним із найважливіших напрямів оптимізації роботи електроенергетичних систем, що сприяє підвищенню ефективності використання енергетичних ресурсів і забезпеченню високої якості електроенергії для споживачів.

1.2 Вплив на режими роботи електричної мережі реактивної потужності

Наявність значної кількості реактивної потужності в мережі може призводити до зниження напруги, перевантаження трансформаторів і ліній електропередачі. Нестача реактивної потужності викликає падіння напруги, тоді як її надлишок — перенапруги. Ефективне регулювання дозволяє забезпечити заданий профіль напруги, уникнути аварійних режимів і зменшити енергетичні витрати.

Реактивна потужність суттєво впливає на режими роботи електричних мереж. Її надлишок або дефіцит призводить до:

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

Збільшення струмів. Надлишкова реактивна потужність спричиняє підвищення струмів у мережі, що призводить до додаткових втрат енергії та зменшення ефективності системи.

Падіння напруги: Недостатня реактивна потужність може викликати значне падіння напруги, особливо в кінцевих точках мережі, що негативно впливає на роботу електрообладнання.

Зниження коефіцієнта потужності. Низький коефіцієнт потужності свідчить про неефективне використання електроенергії, що може призвести до додаткових витрат для споживачів.

Нестабільність режимів роботи. Нерівномірний розподіл реактивної потужності може спричинити нестабільність в роботі генераторів та інших елементів мережі. Особливо це актуально при змінних навантаженнях та підключенні великих споживачів.

Для підтримання стабільної роботи електричної мережі необхідно здійснювати компенсацію реактивної потужності за допомогою спеціальних пристроїв, таких як конденсаторні батареї, синхронні компенсатори та інші. Це дозволяє зменшити втрати потужності, стабілізувати напругу та підвищити ефективність роботи мережі.

Таким чином, ефективне управління реактивною потужністю є ключовим для забезпечення надійної та економічної роботи електричних мереж.

1.3 Основні споживачі в електричних мережах реактивної потужності

У системах електропостачання реактивна потужність споживається переважно тими елементами, які мають індуктивний або ємнісний характер навантаження. Такі навантаження не перетворюють усю спожиту енергію в корисну роботу, але використовують її частину для створення електромагнітного поля. Це є необхідною умовою нормального функціонування багатьох видів електрообладнання, однак створює додаткове навантаження на мережу.

Основні категорії споживачів реактивної потужності включають:

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Асинхронні електродвигуни. Це найбільш розповсюджений тип електроприводів у промисловості, на транспорті та в комунальному господарстві. Вони мають індуктивний характер навантаження, тому споживають значну кількість реактивної потужності для створення магнітного поля ротора. Чим більша потужність та кількість двигунів — тим вищі обсяги споживаної реактивної потужності.

Трансформатори. При роботі на холостому ході або при зниженому навантаженні трансформатори споживають реактивну потужність на намагнічування сердечника. Особливо це помітно в мережах з великою кількістю силових трансформаторів середньої та високої напруги.

Електричні печі та зварювальні установки. Індукційні та дугові печі, а також зварювальні агрегати створюють великі реактивні навантаження з динамічно змінною потужністю, що викликає не лише реактивне споживання, але й порушення якості електроенергії (гармоніки, несиметрія фаз).

Освітлювальні установки. Люмінесцентні лампи та натрієві світильники оснащені дроселями, які створюють індуктивне навантаження. Без відповідної компенсації (наприклад, через паралельне підключення конденсаторів) такі системи знижують коефіцієнт потужності мережі.

Довгі лінії електропередачі. Повітряні та особливо кабельні лінії мають ємнісний характер, тобто здатні виробляти реактивну потужність. У разі надлишку цієї потужності, особливо в нічні години, виникає потреба в її поглинанні (наприклад, шунтуючими реакторами).

Електропобутова техніка. У побуті реактивну потужність споживають холодильники, кондиціонери, пральні машини та інші прилади з електродвигунами. Хоча індивідуальний внесок незначний, у масштабах міста чи регіону він може бути відчутним.

Таким чином, більшість реактивної потужності в електромережах споживається промисловими підприємствами, системами електроприводу, а також електротехнічним обладнанням, яке має індуктивний характер. Знання структури та обся-

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

гів споживання реактивної потужності дозволяє здійснювати ефективне проектування, управління й оптимізацію режимів роботи мережі, що знижує втрати та підвищує енергоефективність.

1.4 Синхронні генератори

Синхронний генератор є ключовим елементом сучасних електричних мереж, виконуючи подвійну функцію: джерела та засобу регулювання реактивної потужності. Ця його властивість має вирішальне значення для забезпечення стабільності напруги та ефективної роботи енергосистеми в цілому.

Синхронний генератор як джерело реактивної потужності:

Основна функція синхронного генератора полягає у перетворенні механічної енергії (від турбіни) на електричну. При цьому він генерує не лише активну потужність (яка виконує корисну роботу), але й може генерувати або споживати реактивну потужність.

Здатність синхронного генератора виступати джерелом реактивної потужності пов'язана з процесами електромагнітного збудження. Реактивна потужність, яку генерує або споживає генератор, залежить від співвідношення між електромагнітною рушійною силою (ЕРС), що наводиться обмоткою збудження, та напругою мережі.

Режим перезбудження: Якщо струм збудження генератора є достатньо високим, ЕРС генератора перевищує напругу мережі. У цьому випадку генератор працює з випереджальним коефіцієнтом потужності і генерує реактивну потужність в мережу. Цей режим використовується для підтримки рівня напруги у вузлі підключення генератора та в прилеглий мережі, особливо при зростанні індуктивного навантаження.

Режим недозбудження: Якщо струм збудження знижений, ЕРС генератора стає меншою за напругу мережі. Генератор працює з відстаючим коефіцієнтом потужності і споживає реактивну потужність з мережі. Цей режим може використовуватися для зниження рівня напруги в мережі або при надлишку генерації реактивної потужності в системі.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Режим синхронного компенсатора: Синхронний генератор може працювати без первинного двигуна, лише зі збудженням. У такому режимі він не генерує активну потужність, але може генерувати або споживати значну реактивну потужність, виконуючи функцію синхронного компенсатора для регулювання напруги та компенсації реактивних навантажень.

Синхронний генератор як засіб регулювання реактивної потужності:

Найважливішим аспектом є використання синхронного генератора як активного засобу регулювання реактивної потужності. Це досягається шляхом зміни струму збудження ротора генератора.

Автоматичне регулювання збудження (АРЗ): Сучасні синхронні генератори оснащені системами АРЗ, які автоматично регулюють струм збудження залежно від параметрів режиму мережі (насамперед, напруги). При зниженні напруги в мережі АРЗ збільшує струм збудження генератора, що призводить до збільшення генерації реактивної потужності та, відповідно, підвищення напруги. При зростанні напруги АРЗ зменшує струм збудження, зменшуючи генерацію реактивної потужності або переводячи генератор у режим її споживання.

Ручне регулювання: У певних випадках можливе ручне регулювання струму збудження оператором для досягнення необхідного рівня реактивної потужності або напруги.

Значення регулювання реактивної потужності синхронними генераторами:

Регулювання реактивної потужності за допомогою синхронних генераторів має життєво важливе значення для стабільної роботи електричних мереж:

Підтримка рівня напруги: Реактивна потужність безпосередньо впливає на рівень напруги в мережі. Генерація реактивної потужності підтримує напругу, компенсуючи її падіння на індуктивних опорах ліній електропередачі та обладнання.

Забезпечення стійкості енергосистеми: Належне регулювання реактивної потужності допомагає запобігти лавиноподібному падінню напруги та втраті стійкості енергосистеми, особливо при значних навантаженнях або коротких замиканнях.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

Зниження втрат активної потужності: Передача реактивної потужності на великі відстані призводить до додаткових втрат активної потужності в лініях. Генерація реактивної потужності безпосередньо біля споживачів (наприклад, промислових підприємств з великою кількістю індуктивних навантажень) дозволяє знизити ці втрати.

Оптимізація режимів роботи обладнання: Підтримка номінального рівня напруги забезпечує ефективну роботу електроприймачів та іншого обладнання.

Таким чином, синхронний генератор є не тільки основним джерелом електричної енергії, але й потужним, гнучким засобом регулювання реактивної потужності, відіграючи центральну роль у забезпеченні надійності та якості електропостачання.

1.5 Синхронні компенсатори

Синхронні компенсатори є спеціальним типом синхронних машин, які використовуються виключно для регулювання реактивної потужності в електричних мережах. На відміну від звичайних синхронних генераторів, синхронні компенсатори не виробляють активну потужність. Їх ротор обертається, але не приводить в рух турбіною. Основна мета синхронного компенсатора – генерувати або споживати реактивну потужність для підтримки напруги в мережі та покращення її стабільності. Синхронний компенсатор на підстанції 750 кВ показаний на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Синхронний компенсатор на підстанції 750 кВ

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

Синхронний компенсатор як джерело та засіб регулювання реактивної потужності:

Джерело реактивної потужності: Синхронний компенсатор, подібно до синхронного генератора, може працювати в режимі перезбудження (генеруючи реактивну потужність) або в режимі недозбудження (споживаючи реактивну потужність). Кількість генерованої або спожитої реактивної потужності регулюється зміною струму збудження.

Засіб регулювання реактивної потужності: Головною функцією синхронного компенсатора є швидке та плавне регулювання реактивної потужності. Це робиться за допомогою системи автоматичного регулювання збудження (АРЗ), яка постійно відстежує напругу в мережі та автоматично змінює струм збудження компенсатора для підтримки напруги на заданому рівні.

Переваги використання синхронних компенсаторів:

Швидке реагування: Синхронні компенсатори можуть дуже швидко змінювати свою генерацію/споживання реактивної потужності, що робить їх ефективними для підтримки стабільності напруги навіть при швидких змінах навантаження або аваріях.

Плавне регулювання: Реактивна потужність змінюється плавно, без стрибків, що важливо для якості електроенергії.

Незалежність від активної потужності: Компенсатор працює незалежно від генерації активної потужності іншими станціями. Це дозволяє розміщувати їх в місцях, де потрібне регулювання реактивної потужності, незалежно від розташування електростанцій.

Покращення стабільності: Допомагають підвищити межу статичної та динамічної стійкості енергосистеми.

Зменшення втрат: За рахунок регулювання реактивної потужності, вони можуть допомогти зменшити втрати активної потужності в лініях передачі.

Застосування синхронних компенсаторів:

Підтримка напруги: У вузлах електричної мережі зі змінним навантаженням.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Підвищення пропускної здатності ліній електропередачі: Зменшуючи кут між напругами в різних точках мережі, дозволяють передавати більшу активну потужність.

Покращення стабільності: Особливо у слабких мережах або при великих відстанях передачі електроенергії.

Компенсація реактивної потужності промислових навантажень: Наприклад, великих електродвигунів.

Головна відмінність від синхронних генераторів – синхронний компенсатор не виробляє активну потужність, а призначений виключно для регулювання реактивної. Синхронний генератор виробляє обидва види потужності, і регулювання реактивної потужності для нього є додатковою, хоч і важливою, функцією.

1.6 Статичні тиристорні компенсатори

Синхронні генератори відіграють фундаментальну роль в сучасних електричних мережах, виступаючи не лише основним джерелом активної потужності, яка безпосередньо живить споживачів, але й важливим джерелом реактивної потужності. Здатність синхронного генератора генерувати або споживати реактивну потужність визначається рівнем його електромагнітного збудження. При перезбудженні, коли струм збудження високий, генератор працює з випереджальним коефіцієнтом потужності, віддаючи реактивну потужність в мережу. Навпаки, при недозбудженні, зі зниженим струмом збудження, він працює з відстаючим коефіцієнтом потужності, споживаючи реактивну потужність. Ця гнучкість робить синхронні генератори первинним засобом регулювання напруги в енергосистемі через зміну їх збудження, часто автоматизовану за допомогою систем АРЗ, які оперативно реагують на коливання напруги.

Окремим класом синхронних машин, спеціально призначених для керування реактивною потужністю, є синхронні компенсатори. Ці машини працюють без зв'язку з первинним двигуном, не виробляючи активної потужності, але їх ротор обертається, і їх збудження регулюється для генерації або споживання реактивної потужності. Синхронні компенсатори забезпечують плавне та динамічне регулю-

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		21

вання реактивної потужності, сприяючи стабілізації напруги та підвищенню стійкості мережі, особливо у вузлах зі значними коливаннями навантаження або на кінцях довгих ліній електропередачі. Їхньою перевагою є здатність до перевантажень та участь у підтримці напруги при коротких замиканнях.

Тиристорна конденсаторна установки УКРМТ 0,4 наведена на Рис.1.3.



Рисунок 1.3 - Тиристорна конденсаторна установка УКРМТ 0,4

Поряд з обертовими машинами, статичні тиристорні компенсатори (СТК), або SVC, є ключовими статичними пристроями для регулювання реактивної потужності, що базуються на силовій електроніці. СТК зазвичай складаються з комбінації тиристорно-керованих реакторів (TCR) та тиристорно-комутованих батарей конденсаторів (TSC), а також фільтрів вищих гармонік. Регулювання реактивної потужності в ТРГ здійснюється шляхом зміни кута відмикання тиристорів, що плавно змінює індуктивний опір. ТКБ дозволяють ступінчасто підключати ємнісні батареї. Таке поєднання забезпечує швидке та плавне регулювання обміну реактивною потужністю з мережею, що робить СТК надзвичайно ефективними для динамічної компенсації реактивних навантажень, стабілізації напруги в місцях з різко

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

змінним навантаженням (наприклад, металургійні підприємства) та покращення якості електроенергії за рахунок фільтрації гармонік. Висока швидкодія та відсутність рухомих частин є основними перевагами СТК порівняно із синхронними машинами, хоча вони вимагають фільтрів для боротьби з гармоніками.

Синхронні генератори, синхронні компенсатори та статичні тиристорні компенсатори є взаємодоповнюючими засобами управління реактивною потужністю в електричних мережах. Синхронні генератори є основним джерелом та забезпечують базове регулювання, синхронні компенсатори надають більш динамічну підтримку напруги та стійкості, а статичні тиристорні компенсатори забезпечують високошвидкісне та гнучке регулювання, особливо важливе для компенсації швидкозмінних навантажень та покращення якості електроенергії. Спільне використання цих технологій дозволяє ефективно керувати режимами роботи енергосистеми, забезпечуючи надійність, стабільність та якість електропостачання споживачів.

1.7 Конденсаторні батареї

Конденсаторні батареї, на відміну від синхронних машин, є статичними пристроями, що базуються на накопиченні електричного заряду. Конденсаторні батареї є джерелом ємнісної реактивної потужності. Принцип їх дії полягає у тому, що при підключенні до мережі змінного струму конденсатор "віддає" в мережу реактивну потужність, компенсуючи індуктивну реактивну потужність, яку споживають такі елементи, як електродвигуни та трансформатори.

Використання конденсаторних батарей для компенсації реактивної потужності є досить поширеним завдяки їх відносно невисокій вартості, простоті конструкції та монтажу, а також низьким втратам активної енергії під час роботи. Вони можуть встановлюватися як централізовано на підстанціях, так і децентралізовано безпосередньо біля споживачів реактивної потужності.

Однак, конденсаторні батареї мають і певні обмеження як засіб регулювання. Вони забезпечують ступінчасту, а не плавне регулювання реактивної потужності, оскільки компенсація відбувається шляхом підключення або відключення окремих секцій батареї. Це може призводити до стрибків напруги в мережі при їх

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

комутації, особливо у слабких системах. Крім того, традиційні конденсаторні установки не мають високої швидкодії і не можуть динамічно реагувати на швидкі зміни навантаження або аварійні режими, як це роблять синхронні компенсатори чи статичні тиристорні компенсатори. Також існує ризик виникнення резонансних явищ при наявності вищих гармонік у мережі, що може призвести до перенапруг та пошкодження обладнання.

Конденсаторна батарея CNC NEO БКЕ 3Ф 0.4кВ 7.5кВАр наведена на рис.1.4.



Рисунок 1.4 - Конденсаторна батарея CNC NEO БКЕ 3Ф 0.4кВ 7.5кВАр

Не зважаючи на ці недоліки, конденсаторні батареї залишаються ефективним та економічно вигідним рішенням для базової компенсації реактивної потужності та підтримки коефіцієнта потужності на стабільному рівні, особливо в мережах з відносно стабільним навантаженням або на низьковольтній стороні систем електропостачання. Автоматизовані конденсаторні установки, які використовують контактори або тиристорні ключі для комутації секцій, дозволяють певною мірою адаптуватися до змін навантаження, але їхня швидкодія все одно нижча, ніж у ста-

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

тичних тиристорних компенсаторів. Таким чином, конденсаторні батареї є важливим компонентом систем управління реактивною потужністю, доповнюючи можливості більш складних та динамічних пристроїв.

1.8 Статичні вентильні джерела реактивної потужності

Статичні вентильні джерела реактивної потужності (СВДРП) — це сучасні пристрої, призначені для динамічного керування реактивною потужністю в електричних мережах. Вони забезпечують швидке та точне регулювання, що дозволяє підтримувати стабільність напруги, зменшувати втрати енергії та покращувати якість електропостачання.

Основу СВДРП складають два типи пристроїв:

Конденсатори, що комутуються тиристорами (ККТ): використовуються для додавання ємнісної реактивної потужності до мережі. Тиристори дозволяють швидко вмикати або вимикати конденсаторні групи, забезпечуючи дискретне регулювання потужності.

Реактори, керовані тиристорами (РКТ): застосовуються для споживання надлишкової реактивної потужності, зменшуючи індуктивне навантаження в мережі. Керування тиристорами дозволяє плавно змінювати індуктивну потужність.

Ці компоненти можуть працювати окремо або в комбінації, утворюючи гібридні системи компенсації реактивної потужності.

Переваги:

- Тиристорне керування забезпечує миттєву реакцію на зміни навантаження.
- Можливість точного налаштування рівня компенсації.
- Відсутність рухомих частин зменшує знос і потребу в обслуговуванні.

Недоліки:

- У випадку ККТ можливе лише ступеневе регулювання потужності.
- Затримка вмикання: підключення наступних ступенів можливе лише на певних фазах напруги, що може викликати затримки.
- Висока ціна обладнання та необхідність складного керування.

СВДРП широко використовуються в: промислових підприємствах, енергетичних системах, транспортній інфраструктурі.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.9 Шунтуючі реактори

Шунтуючі реактори використовуються для компенсації ємнісної потужності, що виникає внаслідок роботи довгих повітряних або кабельних ліній. Вони обмежують перенапруги і стабілізують рівень напруги. Шунтуючі реактори широко використовуються в мережах високої напруги для забезпечення стабільної роботи електрообладнання.

Керований шунтуючий реактор наведений на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 - Керований шунтуючий реактор

У довгих повітряних лініях електропередачі, особливо при низькому навантаженні, виникає надлишок ємнісної реактивної потужності, що може призвести до підвищення напруги понад допустимі межі. Шунтуючі реактори, підключені паралельно до мережі, споживають цю надлишкову реактивну потужність, знижуючи рівень напруги до нормативного значення. Це забезпечує стабільну роботу електрообладнання та зменшує втрати енергії в мережі.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

1.10 Баланс в електричній мережі реактивної потужності

В електричній мережі підтримання балансу реактивної потужності є необхідною умовою забезпечення сталості параметрів режиму. Баланс реактивної потужності у будь-якому вузлі системи або її частині визначається як рівність між сумою генерованої та надходженням реактивної потужності від суміжних елементів і сумою споживаної реактивної потужності навантаженнями та втратами в елементах мережі. Недотримання цього балансу безпосередньо впливає на рівень напруги: дефіцит реактивної потужності призводить до провалів напруги, що може спричинити порушення роботи електроприймачів, збільшення технічних втрат активної потужності та, за певних умов, розвиток лавини напруги з подальшою втратою стійкості системи. Надлишок реактивної потужності викликає неприпустиме підвищення напруги.

Підтримання необхідного балансу реактивної потужності реалізується шляхом регулювання генерації та споживання реактивної потужності різноманітними компенсувальними пристроями. Основними джерелами керованої реактивної потужності є синхронні генератори електростанцій, які здійснюють її генерацію або споживання шляхом зміни струму збудження, забезпечуючи первинне регулювання напруги у вузлах видачі потужності.

Враховуючи значні втрати реактивної потужності при її передачі на великі відстані, ефективне керування балансом вимагає децентралізованого розміщення компенсувальних засобів, максимально наближених до центрів її споживання. Надійне функціонування та розвиток електричних мереж значною мірою залежить від ефективної системи централізованого та децентралізованого моніторингу та автоматичного регулювання балансу реактивної потужності.

1.11 Керування компенсуючими установками

Керування компенсуючими установками є невід'ємною частиною системи регулювання реактивної потужності в електроенергетичних мережах і відіграє вирішальну роль у забезпеченні стабільної та ефективної роботи енергосистеми. Реактивна потужність не виконує корисної роботи, однак є необхідною для нормаль-

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

ного функціонування електротехнічного обладнання, особливо з індуктивним навантаженням. Її надлишок або дефіцит призводить до порушення режимів напруги, зростання втрат потужності та погіршення якості електроенергії.

Сучасні компенсуючі пристрої (конденсаторні батареї, шунтуючі реактори, статичні компенсатори типу SVC або STATCOM) забезпечують можливість гнучкого регулювання реактивної потужності залежно від потреб мережі. Ефективне керування цими пристроями може здійснюватися вручну, за допомогою релейних схем, або в автоматичному режимі за допомогою контролерів реактивної потужності. Особливої актуальності набуває застосування мікропроцесорних пристроїв, які дозволяють в режимі реального часу аналізувати параметри мережі та автоматично змінювати режими компенсації.

Автоматизоване керування компенсуючими установками підвищує енергоефективність, зменшує експлуатаційні витрати, знижує навантаження на обслуговуючий персонал і сприяє підтриманню заданих параметрів якості електроенергії відповідно до стандартів. Такі системи можуть працювати за різними алгоритмами: підтримання напруги, утримання коефіцієнта потужності, реакція на зміну навантаження тощо. Інтеграція засобів керування в систему SCADA або АСКУЕ дозволяє централізовано відслідковувати стан обладнання та оперативно втручатися у разі потреби.

Отже, впровадження сучасних систем керування компенсуючими установками є одним з ключових напрямів модернізації електроенергетичної галузі, що забезпечує підвищення надійності, безпеки та економічної ефективності роботи електричних мереж.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Висновки до розділу 1

Значна частка електроприймачів, зокрема індуктивного типу, є основними споживачами реактивної потужності, що призводить до необхідності її компенсації для уникнення надмірних втрат активної потужності та підтримання якості електроенергії.

Розглянуті джерела та засоби регулювання реактивної потужності, включаючи синхронні генератори, синхронні компенсатори, статичні тиристорні компенсатори (СТК), конденсаторні батареї, статичні вентильні джерела реактивної потужності та шунтуючі реактори, демонструють різноманітність технічних рішень для вирішення завдань компенсації та регулювання.

Кожен з цих засобів має специфічні характеристики щодо швидкодії, діапазону регулювання та економічної доцільності, що визначає області їх оптимального застосування. Зокрема, синхронні машини забезпечують гнучке регулювання та участь у підтримці стійкості, тоді як статичні компенсатори та батареї конденсаторів пропонують ефективні рішення для локальної та динамічної компенсації. Важливість підтримання балансу реактивної потужності вказує на необхідність скоординованого управління цими компенсуючими установками.

Таким чином, ефективне керування реактивною потужністю, досягнуте завдяки комплексному використанню та належному керуванню розглянутими джерелами та засобами, є фундаментальною передумовою забезпечення надійності, стабільності та економічності роботи сучасних електричних мереж.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ – ПС 110/35/10 КВ

2.1 Структура і основні енергетичні характеристики

Предметом дослідження є фрагмент електричної мережі, що отримує живлення від енергосистеми на напрузі 110 кВ. Основною вузловою точкою цієї мережі є підстанція напругою 110/35/10 кВ. На бік 110 кВ підстанція підключена до двох незалежних ліній електропередачі 110 кВ, що забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання.

Розглядувана електрична мережа має ієрархічну структуру з центральною підстанцією 110/35/10 кВ, яка виконує функції приймання електроенергії від висковольтної мережі, її трансформації та розподілу на нижчих класах напруги для живлення різноманітних споживачів.

2.2 Електрична мережа – загальна характеристика

Енергетичні характеристики розглядуваної електричної мережі визначаються характером та величиною підключених навантажень, а також параметрами елементів мережі – ліній електропередачі та трансформаторів. Навантаження мережі є комбінованим і включає промислових споживачів (з переважанням індуктивного характеру навантаження через наявність великої кількості електродвигунів), комунально-побутових споживачів (з меншим, але присутнім індуктивним та значним активним навантаженням) та комерційних споживачів.

Сумарне навантаження мережі змінюється протягом доби, тижня та пори року, маючи типові піки споживання у ранкові та вечірні години. Ця змінність безпосередньо впливає на потоки активної та реактивної потужності в елементах мережі та рівні напруги у вузлах. Характерною особливістю багатьох промислових та комунальних навантажень є значне споживання реактивної потужності, що призводить до низького коефіцієнта потужності ($\cos\phi$) та, як наслідок, до збільшення втрат активної потужності в лініях та трансформаторах, а також до значних

					141.ЕКз1107.004.ДБ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Ковальчук С.Ю.			ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ – ПС 110/35/10 КВ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>		Хоменко О.В.					30	11
<i>Н. Контр.</i>		Шполянський О.Г.				КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-з11		
<i>Затв.</i>		Марченко А. А.						

падінь напруги.

Рівні напруги в різних точках мережі мають підтримуватися в межах допустимих відхилень згідно з відповідними стандартами. Падіння напруги від джерела живлення до споживача зумовлене перетіканням як активної, так і реактивної потужності через індуктивні та активні опори ліній та трансформаторів. Реактивна потужність має особливо значний вплив на падіння напруги, особливо у мережах високої та середньої напруги, де індуктивний опір ліній є домінуючим.

Коефіцієнт потужності на різних рівнях мережі, особливо на стороні 10 кВ та 0.4 кВ, часто є значно нижчим за нормативні значення без використання засобів компенсації. Це зумовлено переважанням асинхронних двигунів, трансформаторів та іншого індуктивного обладнання у структурі навантаження.

Таким чином, електрична мережа, центром якої є підстанція 110/35/10 кВ, характеризується комбінованим, змінним у часі навантаженням зі значною індуктивною складовою. Це призводить до суттєвих перетоків реактивної потужності, падінь напруги та втрат активної потужності, що робить завдання ефективного регулювання реактивної потужності актуальним та економічно обґрунтованим для забезпечення надійності та якості електропостачання.

2.3 Компенсуючі пристрої в електричній мережі

Для забезпечення необхідного балансу реактивної потужності, підтримки рівнів напруги у допустимих межах та оптимізації режимів роботи електричної мережі застосовуються різноманітні компенсуючі пристрої. Вибір типу, потужності та місця встановлення цих пристроїв визначається структурою мережі, характером навантажень, вимогами до якості електроенергії та техніко-економічними показниками. У розглядуваній електричній мережі з підстанцією 110/35/10 кВ можуть використовуватися наступні типи компенсуючих пристроїв.

Одним з найбільш поширених та економічно доцільних засобів компенсації реактивної потужності є конденсаторні батареї. Ці пристрої генерують ємнісну реактивну потужність, яка компенсує індуктивну складову навантаження та втрати в елементах мережі. Конденсаторні батареї можуть бути встановлені на різних рівнях напруги. На стороні 10 кВ та 0.4 кВ підстанцій та промислових підприємств часто

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

застосовуються автоматизовані конденсаторні установки зі ступінчастим регулюванням потужності шляхом підключення окремих секцій за допомогою контакторів або тиристорів.

Таке розміщення дозволяє компенсувати реактивну потужність безпосередньо біля її споживачів, зменшуючи перетоки в розподільчій мережі та розвантажуючи трансформатори. На стороні 35 кВ або 110 кВ також можуть встановлюватися батареї статичних конденсаторів більшої потужності для централізованої компенсації та підтримки напруги у вузлах вищого класу напруги.

Синхронні компенсатори, будучи обертовими машинами, історично відігравали значну роль у регулюванні реактивної потужності у потужних вузлах енергосистем. Вони здатні забезпечувати плавне та динамічне регулювання як генерації, так і споживання реактивної потужності за рахунок зміни струму збудження, а також підвищувати стійкість системи. У мережі з підстанцією 110/35/10 кВ синхронні компенсатори можуть бути встановлені на шинах 110 кВ або 35 кВ у випадку значної протяжності ліній або наявності великих динамічних навантажень, які потребують швидкої реакції.

Сучасним та високоефективним рішенням для динамічного регулювання реактивної потужності є статичні тиристорні компенсатори (СТК). Ці пристрої, що базуються на силовій електроніці, забезпечують майже безінерційне, плавне регулювання реактивної потужності у широкому діапазоні від індуктивного до ємнісного. СТК особливо ефективні для компенсації швидкозмінних навантажень, таких як дугові сталеплавильні печі, та для стабілізації напруги у вузлах з високими вимогами до якості електроенергії. У розглядуваній мережі СТК можуть бути встановлені на стороні 10 кВ або 35 кВ для компенсації реактивної потужності потужних промислових споживачів або на стороні 110 кВ для покращення стійкості та регулювання напруги в системі вищого класу напруги.

Вибір конкретного типу та комбінації компенсуючих пристроїв для електричної мережі з підстанцією 110/35/10 кВ є комплексним завданням, що враховує технічні вимоги до режимів роботи мережі, графіки навантажень, економічні показ-

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ники та необхідну швидкодію системи регулювання реактивної потужності. Ефективне використання цих пристроїв дозволяє оптимізувати потоки потужності, зменшити втрати, підтримати стабільний рівень напруги та підвищити загальну надійність електропостачання.

2.4 Підстанція напругою 110/35/10 кВ

2.4.1 Схема електричних з'єднань підстанції напругою 110/35/10 кВ. Загальна характеристика. Склад основного обладнання підстанції

Підстанція включає в себе три ступені напруги – 110 кВ, 35 кВ і 10 кВ. Підстанція підключена двома повітряними лініями 110 кВ до загальної енергосистеми. Від РУ НН проходять відгалудження 10 кабельних ліній для живлення споживачів, від РУ СН відходять 4 кабельні лінії.

Схема електричних з'єднань підстанції наведена на рис. 2.1.

До основного обладнання підстанції можна віднести: збірні шини, силові трансформатори, комутаційне обладнання підстанції, захисне обладнання підстанції, вимірювальні трансформатори напруги та струму підстанції, вимірювальні прилади, трансформатори власних потреб, релейного захисту і автоматики підстанції.

На підстанції встановлено два силові трансформатори ТДТН-25000/110/35/10, які здійснюють трансформацію напруги зі 110 кВ на 35 кВ та 10 кВ. На стороні 35 кВ від підстанції відходять фідерні лінії, що живлять менші розподільчі підстанції 35/10 кВ у прилеглих населених пунктах та крупних сільськогосподарських споживачів. Напруга 10 кВ є основним розподільчим рівнем для живлення промислових підприємств середньої потужності, комунальних об'єктів та трансформаторних підстанцій 10/0.4 кВ, які, в свою чергу, забезпечують електроенергією житловий сектор, об'єкти соціальної інфраструктури та дрібних комерційних споживачів. Розподільча мережа 10 кВ, виконана за комірковою схемою.

Опис основного обладнання наведений в розділах 2.4.2-2.4.9. Перевірочний вибір обладнання підстанції виконаний в розділі 2.4.11.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2.4.2 Силові трансформатори підстанції

На підстанції встановлено два силові трансформатори типу ТДТН-25000/110/35/10. Ці трансформатори призначені для пониження напруги з рівня 110 кВ до розподільчих рівнів 35 кВ та 10 кВ, забезпечуючи надійне енергоживлення споживачів.

Технічні параметри встановлених трансформаторів наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні параметри трансформаторів ТДТН-25000/110/35/10

Тип	Sном	U (кВ)			Рк кВт	Рхх кВт	Uк%			Iхх %
	МВА	ВН	СН	НН	В-Н		В-С	В-Н	С-Н	
ТДТН-25000/ 110	25	115	38,5	10,5	140	28,5	10,5	17,5	6,5	0,7

Силові трансформатори ТДТН-25000/110/35/10 відіграють ключову роль у забезпеченні надійності електропостачання, знижуючи високовольтну напругу до рівня, придатного для розподілу в мережі. Завдяки наявності пристрою регулювання напруги під навантаженням, трансформатори здатні компенсувати коливання вхідної напруги, що сприяє стабільній роботі електроспоживачів.

Трансформатори ТДТН-25000/110/35/10 мають стрижневу конструкцію остова, виготовлену з холоднокатаної електротехнічної сталі з жаростійким ізоляційним покриттям. Обмотки виготовлені з мідного проводу з паперовою ізоляцією та мають циліндричну форму. Головна ізоляція — маслобар'єрного типу.

Бак трансформатора колокольного типу, розрахований на залишковий тиск 50 кПа, оснащений поворотними катками для продольного та поперечного переміщення по рейкових шляхах. На баку встановлено вводи ВН, СН та НН, маслорасширювач, охолоджувальні радіатори з електровентиляторами, а також пристрої контролю та захисту: маслоуказувачі, трансформатори струму, газове та струминне реле, запобіжний клапан, датчики температури масла, термосифонний фільтр для видалення вологи з трансформаторного масла та повітроосушувачі.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

2.4.3 Збірні шини підстанції

Збірні шини є ключовим елементом у структурі електричної підстанції, забезпечуючи об'єднання та розподіл електроенергії між силовими трансформаторами, лініями електропередачі та комутаційною апаратурою. На підстанції 110/35/10 кВ реалізовано багатошинову систему, що забезпечує гнучкість і надійність електропостачання.

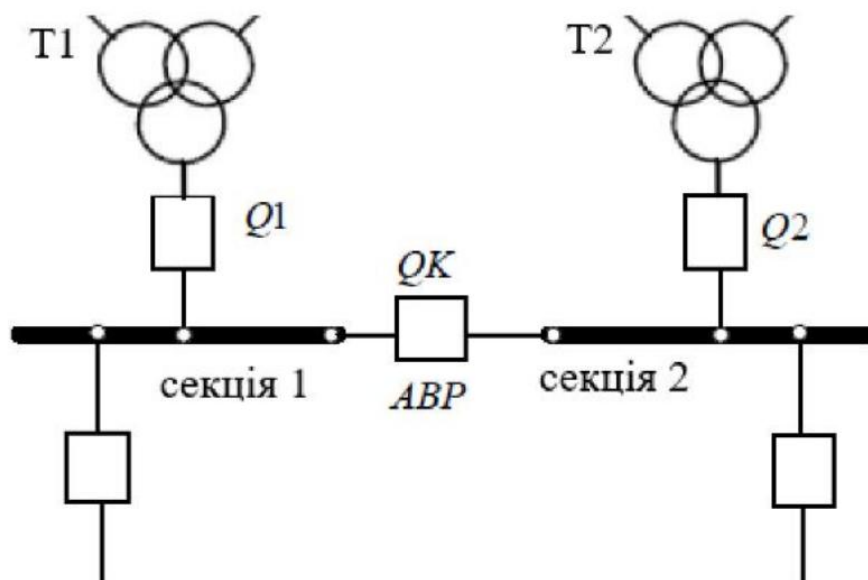


Рис. 2.2 - Схема системи шин

Секції шин 110 кВ.

Конструкція: Двосекційна система збірних шин із секційним вимикачем.

Матеріал: Алюмінієві або сталеві труби з антикорозійним покриттям.

Кількість приєднань: До шин підключено трансформатори, вимикачі ліній 110 кВ, а також пристрої захисту.

Комутаційна апаратура: Елегазові або масляні вимикачі, роз'єднувачі з заземлювачами.

Шини 35 кВ.

Тип: Одинарна або подвійна система шин з секціонуванням.

Особливості: Обслуговуються за допомогою роз'єднувачів і вакуумних вимикачів; передбачена можливість резервного живлення від другої секції.

Монтаж: Як правило, в закритому розподільчому пристрої (КРУН-35 кВ).

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

Шини 10 кВ

Розташування: В середині розподільчого пристрою 10 кВ (КРУ).

Тип виконання: Одинарні шини з можливістю секціонування.

Матеріал: Мідні або алюмінієві шини з ізоляційним покриттям.

Призначення: Подача електроенергії до споживачів, резервне з'єднання з іншими підстанціями.

Основні вимоги до шин: витримування струму короткого замикання без деформації, забезпечення електричної безпеки (ізоляція, заземлення), вогнестійкість, антикорозійна обробка та зручність технічного обслуговування, забезпечення високої механічної стійкості при комутаційних і аварійних режимах.

2.4.4 Комутаційне обладнання підстанції

Комутаційне обладнання на стороні 110 кВ підстанції забезпечує надійне та безпечне керування електричними колами, включаючи вмикання, вимикання та ізоляцію окремих ділянок мережі. Основними елементами цього обладнання є висковольтний вимикач ВГБУ-110У1 та роз'єднувач РГ-110/1000 УХЛ1.

Основні технічні характеристики обладнання показані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. - Основні технічні характеристики ВГБУ-110У1 та РГ-110/1000 УХЛ1

№	Умова встановлення	Каталожні дані	
		ВГБУ-110У1	РГ-110/1000 УХЛ1
1	$U_{н.вмк} > U_{роб}$ кВ	126кВ	110кВ
2	$I_{н.в} > I_{р.м.}$ А	2000	1000
3	$I_{вмк} \geq I_{пт}$	20,36	-
4	$I_{пр} \geq I_{по}$ кА	50	31,5
5	$i_{пр.с} \geq i_{yo}$ кА	125	80
6	$I_T^2 \times t_T \geq BK$ кА ² ·с	50 ² ·3=7500	40 ² ·3=4800
7	Привід	Моторний	ПРГ-6

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вимикач ВГБУ-110У1 є елегазовим вимикачем зовнішньої установки, призначеним для комутації електричних кіл напругою 110 кВ. Цей вимикач забезпечує швидке та надійне відключення струмів короткого замикання, а також оперативне керування електричними колами підстанції.

Роз'єднувач РГ-110/1000 УХЛ1 є трьохполюсним роз'єднувачем зовнішньої установки з горизонтальним поворотом контактних ножів. Роз'єднувачі цього типу використовуються для створення видимого розриву в електричному колі, що забезпечує безпечне проведення ремонтних та профілактичних робіт на обладнанні підстанції

На стороні 35 кВ підстанції встановлено сучасне комутаційне обладнання, яке забезпечує надійне та безпечне керування електричними колами. Основними елементами цього обладнання є вакуумний вимикач ВБС-35Ш-25/1000 УХЛ1 та роз'єднувач РГ-35/1000 УХЛ1.

Таблиця 2.3. - Основні технічні характеристики ВБС-35Ш-25/1000 УХЛ1 та РГ-35/1000 УХЛ1

№	Умови встановлення	Каталожні дані	
		ВБС-35Ш-25/630 УХЛ1	РГ-35/1000 УХЛ1
1	$U_{н.вимк} > U_{роб}$ кВ	35	35
2	$I_{н.в} > I_{р.м.}$ А	1000	1000
3	$I_{вимк} \geq I_{пт}$	11.1	-
4	$I_{пр} \geq I_{по}$ кА	31,5	40
5	$i_{пр.с} \geq i_{уд}$ кА	64	63
6	$I_T^2 \times t_T \geq BK$ кА ² ·с	25 ² ·4=2500	16 ² ·4=1024
7	Привід	Моторний	ПРГ-01-5 УХЛ1

Вимикач ВБС-35Ш-25/1000 УХЛ1 забезпечує швидке та надійне відключення струмів короткого замикання, а також оперативне керування електричними колами підстанції.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Роз'єднувачі типу РГ-35/1000 УХЛ1 використовуються для створення видимого розриву в електричному колі, що забезпечує безпечне проведення ремонтних та профілактичних робіт на обладнанні підстанції.

На стороні 10 кВ підстанції встановлено сучасне комутаційне обладнання, яке забезпечує надійне та безпечне керування електричними колами. Основним елементом цього обладнання є вакуумний вимикач Siemens 3AH5.

Вакуумні вимикачі відомі своєю високою надійністю, тривалим терміном служби та низькою потребою в обслуговуванні, оскільки дугогасіння відбувається у вакуумних камерах. Прилад забезпечує надійне розмикання та замикання електричних кіл, захищаючи обладнання від перевантажень та коротких замикань. Він може інтегруватися в електромагнітні або коміркові блокування для забезпечення безпечної експлуатації.

За даними Siemens, вакуумні вимикачі 3AH5 є "необслуговуваними" (maintenance-free) за нормальних умов експлуатації, що значно знижує експлуатаційні витрати.

Таблиця 2.3. - Основні технічні характеристики Siemens 3AH5

№	Умови вибору	Разрахункові дані	Каталожні дані
			Сіменс 3AH5-122-2
1	$U_{н.вимк} > U_{роб}$ кВ	10	12
2	$I_{н.в} \geq I_{р.м.}$ А	625	1250
3	$I_{по} \geq I_{вимк.}$	7,2	40
4	$i_a \geq i_{вимк.ном.}$ кА	4,57	22.5
5	$I_{пр} \geq I_{по}$ кА	7,2	16
6	$i_{пр.с} \geq i_{уд}$ кА	18,47	100
7	$I_T^2 \times t_T \geq B_K$ кА ² ·с	27,4	$31,5^2 \cdot 1 = 992,5$
	Привід		Ел.моторний

2.4.5 Захист від перенапруг

На сучасних підстанціях 110-35-10 кВ основним засобом захисту від усіх видів перенапруг є Обмежувачі перенапруг нелінійні (ОПН).

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ОПН здатні поглинати значно більшу енергію імпульсу перенапруги без руйнування. Реагують на перенапругу майже миттєво, ефективно обмежують перенапруги до безпечного рівня для ізоляції обладнання. На відміну від вентиляних розрядників, ОПН не викликають супроводжуючий струм після спрацьовування, що зменшує навантаження на систему.

Для встановлення вибрано ОПН типу Siemens серії ЗЕК4, ЗЕК7, ЗЕК8.

Ці серії охоплюють широкий діапазон напруг і призначені для захисту енергетичного обладнання від атмосферних і комутаційних перенапруг.

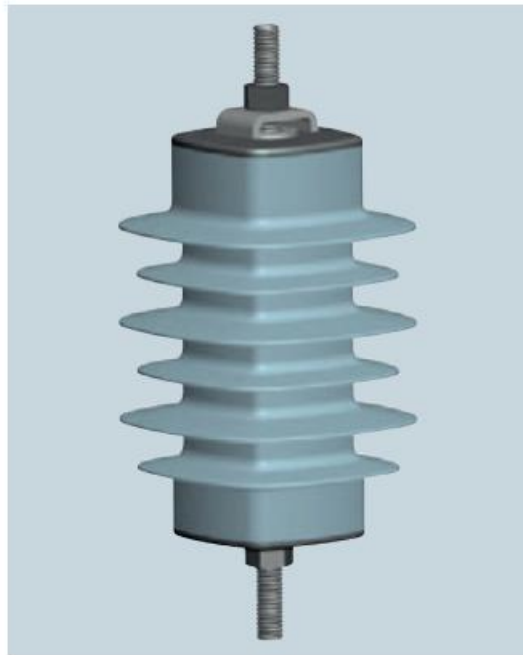


Рис. 2.3 – Зовнішній вигляд ОПН типу ЗЕК4

ОПН встановлюються в ключових точках підстанції для захисту найбільш відповідального та дорогавартісного обладнання:

- На лінійних порталах (вводах) 110 кВ, 35 кВ, 10 кВ;
- На шинах розподільних пристроїв 110 кВ, 35 кВ, 10 кВ;
- На вводах силових трансформаторів 110/35 кВ та 35/10 кВ;
- На нейтралях силових трансформаторів;
- На вводах трансформаторів напруги (ТН) та трансформаторів струму (ТС).

Крім ОПН, для захисту від атмосферних перенапруг на підстанції застосовуються:

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Блискавковідводи (стрижневі, тросові): Встановлюються над розподільними пристроями та іншим відкритим обладнанням для прямого відведення блискавки в землю. Вони створюють захисну зону, всередині якої обладнання захищене від прямих влучень блискавки.

Заземлюючі пристрої: Розвинена система заземлення підстанції (контур заземлення) є невід'ємною частиною блискавкозахисту та захисту від перенапруг, забезпечуючи надійний відвід струмів у землю.

2.4.6 Вимірювальні трансформатори напруги і струму підстанції

На ПС встановлені такі струму:

1. ТВ-110 (Трансформатор Вбудований на 110 кВ).

Призначення: Це високовольтні трансформатори струму, призначені для роботи в мережах 110 кВ.

Де встановлені: Як вбудовані, вони, швидше за все, знаходяться у прохідних ізоляторах (бушингах) силових трансформаторів 110/35 кВ або у високовольтних вимикачах на 110 кВ.

Характеристики: Залежно від конкретної модифікації, ТВ-110 можуть мати різні коефіцієнти трансформації (наприклад, 500/5 А, 1000/5 А) та кілька вторинних обмоток з різними класами точності (наприклад, 0.2S, 0.5S для комерційного обліку та 5P, 10P для релейного захисту). Наприклад, ТВ-110-ІХ-І.1 або ТВ-СВЕЛ-110.

2. ТФЗМ-35-А-600/5

Тип: ТФЗМ-35-А-600/5 (Трансформатор Фарфоровий Заповнений Маслом на 35 кВ).

Призначення: Це вимірювальні трансформатори струму для мереж 35 кВ. "А" у назві може вказувати на модифікацію або особливості конструкції.

Основні параметри:

Номінальна напруга 35 кВ.

600/5: Коефіцієнт трансформації: 600 А (первинний струм) / 5 А (вторинний струм). Це означає, що при первинному струмі 600 А, на вторинній обмотці буде 5 А.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Де встановлені: Встановлені на лініях 35 кВ або на вводах силових трансформаторів 110/35 кВ з боку 35 кВ (як окремі апарати, або, можливо, вбудовані у вимикачі чи роз'єднувачі 35 кВ, хоча ТФЗМ зазвичай є окремими масляними ТТ).

Конструкція: ТФЗМ масляні ТТ з порцеляною ізоляцією, що забезпечує надійність та стійкість до зовнішніх впливів. Вони мають декілька вторинних обмоток для підключення приладів обліку, вимірювальних приладів та пристроїв релейного захисту.

3. ТОЛ-10-400/5

Тип: ТОЛ-10-400/5 (Трансформатор Опорний Литий на 10 кВ).

Призначення: Це вимірювальні трансформатори струму для мереж 10 кВ. "Опорний" вказує на його конструкцію, яка дозволяє йому стояти самостійно (опорний ізолятор). "Литий" означає, що ізоляція виконана з епоксидного компаунду.

Основні параметри:

10: Номінальна напруга 10 кВ.

400/5: Коефіцієнт трансформації: 400 А (первинний струм) / 5 А (вторинний струм).

Де встановлені: встановлюються у розподільних пристроях 10 кВ (КРУ, КСО) на фідерних лініях, на вводах силових трансформаторів 35/10 кВ з боку 10 кВ, або на шинах 10 кВ.

Конструкція: ТОЛ-10 є сучасними ТТ, які мають компактні розміри, не вимагають обслуговування (оскільки залиті компаундом) і забезпечують високу точність вимірювань.

Загальне призначення всіх цих ТТ на підстанції:

Вимірювання струму: Для контролю навантаження в електричних колах, визначення споживання електроенергії (комерційний облік) та технічного обліку. Для цього використовуються обмотки класів точності 0.2S, 0.5S, 0.2, 0.5.

Релейний захист: Для подачі струму на термінали релейного захисту, які виявляють аварійні режими (короткі замикання, перевантаження) та дають команду на відключення пошкоджених ділянок. Для цього використовуються обмотки класів точності 5P, 10P, 5PS, 10PS.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Автоматика та керування: Для систем автоматики та керування (наприклад, АВР, АПВ), які також потребують інформації про струм.

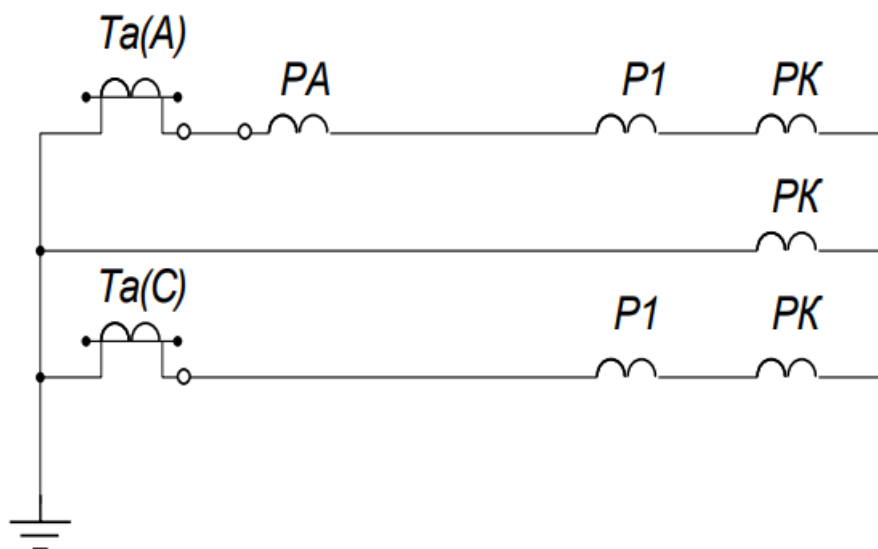


Рис. 2.4 – Схема з'єднання для вторинних кіл ТС

На ПС передбачено наявність трансформаторів напруги (ТН) ЗНОМ-35-65У1 і ЗНОЛ.06-10УЗ на підстанції 110-35-10 кВ доповнює картину її вимірювальної інфраструктури. Ці пристрої, разом з трансформаторами струму, є основою для роботи систем обліку, вимірювань, релейного захисту та автоматики.

Вони трансформують високу напругу електричної мережі (наприклад, 35 кВ або 10 кВ) до стандартних, безпечних рівнів (зазвичай 100 В або $100/\sqrt{3}$ В) для підключення вимірювальних приладів, лічильників, пристроїв релейного захисту та автоматики.

Забезпечують електричну ізоляцію вторинних кіл від високої напруги первинних кіл, що підвищує безпеку експлуатаційного персоналу та чутливої апаратури.

Застосування ЗНОМ-35-65У1 на ПС 110-35-10 кВ: вимірювання напруги на шинах 35 кВ, живлення вимірювальних приладів та лічильників комерційного обліку на 35 кВ, забезпечення напругою кіл релейного захисту та автоматики, що працюють з напругою 35 кВ, використання для контролю ізоляції в мережах з ізолюваною або компенсованою нейтраллю (наприклад, для захисту від однофазних замикань на землю).

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Застосування ЗНОЛ.06-10УЗ на ПС 110-35-10 кВ: вимірювання напруги на шинах 10 кВ, живлення вимірювальних приладів та лічильників комерційного обліку на 10 кВ, забезпечення напругою кіл релейного захисту та автоматики, що працюють з напругою 10 кВ, використання для контролю ізоляції в мережах з ізольованою або компенсованою нейтраллю.

Встановлені на підстанції ТН ЗНОМ-35-65У1 і ЗНОЛ.06-10УЗ забезпечують необхідну інформацію про напругу для всіх ключових систем на рівнях 35 кВ та 10 кВ відповідно. Це дозволяє здійснювати точний облік електроенергії, надійний захист від аварійних режимів та ефективно керування електроенергетичним об'єктом.

Ці ТН представляють різні покоління вимірювальних трансформаторів: масляні (ЗНОМ) та з литою ізоляцією (ЗНОЛ), що є типовим для підстанцій, які модернізувалися поетапно.

2.4.7 Вимірювальні прилади на ПС

На сучасній підстанції 110/35/10 кВ вимірювальні прилади є невід'ємною частиною інфраструктури, забезпечуючи життєво важливі дані для моніторингу, керування та комерційного обліку. Вони отримують необхідну інформацію від вимірювальних трансформаторів струму та напруги, перетворюючи її на зрозумілі показники. В основі вимірювального комплексу лежать прилади для контролю базових електричних величин: амперметри для вимірювання струму, що протікає через лінії та обладнання, та вольтметри для моніторингу рівня напруги на різних шинах. Ці дані критично важливі для оцінки навантаження системи та забезпечення стабільної якості електроенергії.

Окрім базових показників, підстанція обладнана приладами для вимірювання активної та реактивної потужності – ватметрами та варметрами. Ці вимірювання дозволяють контролювати перетоки електроенергії, оптимально розподіляти навантаження та підтримувати необхідний коефіцієнт потужності, що має прямий вплив на ефективність роботи мережі. Надзвичайно важливим елементом є лічильники електроенергії, які забезпечують точний комерційний та технічний облік спожитої або згенерованої енергії. Сучасні електронні лічильники є багатотарифними

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

та можуть інтегруватися в автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) для віддаленого збору даних та їх аналізу.

Сучасні тенденції в енергетиці зумовлюють широке впровадження цифрових багатофункціональних приладів та мікропроцесорних терміналів релейного захисту та автоматики (РЗА). Ці пристрої не тільки замінюють традиційні аналогові вимірювальні прилади, але й значно розширюють їхні можливості. Вони здатні одночасно вимірювати широкий спектр параметрів (струм, напругу, потужність, частоту, гармоніки), реєструвати аварійні події з високою точністю (осцилографування) та передавати всі дані до єдиної системи керування (SCADA). Це забезпечує підвищену надійність, швидкість реагування на зміни в мережі та можливість детального аналізу роботи обладнання, що є ключовим для ефективної та безпечної експлуатації підстанції.

2.4.8 Власні потреби підстанції

Для встановлення вибрано трансформатори власних потреб ТСЗ-40 кВА 10/0,4 кВ - сухі (без масляного наповнення) трифазні трансформатори, призначені для живлення власних потреб підстанції.

Наявність двох таких трансформаторів вказує на високий рівень надійності системи живлення власних потреб. Зазвичай вони працюють в режимі один робочий, один резервний з автоматичним включенням резерву (АВР). Це означає, що якщо один трансформатор вийде з ладу, другий автоматично увімкнеться, забезпечуючи безперебійне живлення критично важливих систем підстанції. Це особливо важливо для функціонування систем релейного захисту та автоматики, які потребують постійного живлення.

Також встановлені ПКТ-10 –запобіжники з кварцовим наповнювачем, призначені для захисту трансформаторів та ліній напругою 10 кВ. Запобіжники ПКТ-10 є надійним та широко розповсюдженим засобом захисту. Вони встановлюються на первинній стороні трансформаторів (зі сторони 10 кВ) перед їхніми вводами.

Призначення запобіжників ПКТ-10 на ПС:

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Захист трансформаторів ТСЗ-40 кВА від струмів короткого замикання з боку 10 кВ, захист мережі 10 кВ від наслідків внутрішнього пошкодження ТВП. У разі виникнення короткого замикання на трансформаторі або за ним, плавка вставка запобіжника перегорає, відключаючи пошкоджену ділянку та захищаючи дорожче обладнання.

2.4.9 Засоби релейного захисту і автоматики підстанції

На підстанції 110/35/10 кВ засоби релейного захисту та автоматики (РЗА) формують складний комплекс, який забезпечує безперебійну роботу енергосистеми, оперативно реагуючи на будь-які відхилення від норми. Ця система постійно моніторить електричні параметри — струми, напруги, частоту, — і в разі виявлення аварійних режимів, таких як короткі замикання чи перевантаження, миттєво локалізує пошкоджену ділянку, відключаючи її від решти мережі. Це запобігає поширенню аварії, мінімізує збитки для обладнання та скорочує час перерв в електропостачанні для споживачів.

Сучасні підстанції переважно використовують мікропроцесорні термінали РЗА, які витіснили застарілі електромеханічні реле, забезпечуючи значно вищу швидкість спрацьовування, точність вимірювань, гнучкість налаштувань, можливість самодіагностики та інтеграції у загальну систему керування.

Система РЗА охоплює всі ключові елементи підстанції, включаючи силові трансформатори, лінії електропередачі та збірні шини. Для силових трансформаторів застосовуються комплексні захисти, такі як диференційний захист, що реагує на внутрішні пошкодження, а також газовий захист для масляних трансформаторів, який сигналізує про проблеми всередині бака.

Додатково використовуються максимальні струмові захисти та захисти від перевантажень. Лінії електропередачі захищаються за допомогою дистанційного захисту для високих напруг (110 кВ, 35 кВ), який визначає місце пошкодження за електричним опором лінії, а також максимальних струмових захистів та направлених захистів від замикань на землю для всіх класів напруги, забезпечуючи селективне відключення тільки пошкодженої ділянки. Для збірних шин, які є централь-

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

ними вузлами розподілу електроенергії, застосовується високошвидкісний диференційний захист шин, а також резервні захисти, що забезпечуються захистами приєднань.

Крім основних функцій захисту, комплекс РЗА включає в себе автоматику, що підвищує надійність та стабільність роботи енергосистеми. Серед найважливіших автоматичних функцій – автоматичне повторне включення (АПВ), яке після спрацьовування захисту автоматично включає вимикач, якщо пошкодження на лінії було тимчасовим, наприклад, через перекриття ізоляції блискавкою.

Автоматичне включення резерву (АВР) забезпечує швидке перемикання живлення споживачів на резервне джерело у разі відмови основного, що є критично важливим для безперебійного електропостачання. Також реалізуються елементи протиаварійної автоматики, які спрямовані на запобігання розвитку системних аварій у мережі. Сучасні термінали РЗА часто оснащені функціями реєстрації аварійних подій, що дозволяє детально аналізувати причини та хід аварій, оптимізуючи роботу захисту та покращуючи експлуатаційну надійність підстанції.

Для комплексного захисту силових трансформаторів, які є одними з найважливіших елементів підстанції, Siemens пропонує передові рішення. Основний захист від усіх видів внутрішніх пошкоджень, таких як міжфазні чи виткові замикання, реалізується за допомогою диференційного захисту, представленого терміналами Siemens SIPROTEC 7UT85 або 7UT86 (серія SIPROTEC 5).

Ці пристрої забезпечують надшвидке та селективне відключення при виникненні будь-яких відхилень у струмах на різних сторонах трансформатора. Додатково, для масляних трансформаторів обов'язково встановлюється газове реле Бухгольца, яке підключається до дискретних входів терміналу РЗА і сигналізує про виникнення газоутворення або зниження рівня масла, що є ознакою початкових стадій пошкодження.

В якості резервного захисту та для реагування на зовнішні короткі замикання використовуються максимальні струмові захисти, які можуть бути реалізовані як інтегровані функції в терміналах диференційного захисту або окремими при-

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

строями, такими як Siemens SIPROTEC 7SJ82. Ці ж термінали забезпечують і захист від перевантажень, що спрацьовує при тривалому перевищенні допустимих струмів, запобігаючи перегріву обмоток. Для контролю та захисту від однофазних замикань на землю, особливо на нейтралі трансформатора, можуть бути задіяні спеціальні функції в терміналах серії SIPROTEC, або ж окремі пристрої.

Захист ліній електропередачі, що живлять підстанцію та відходять від неї, також реалізується за допомогою перевірених рішень Siemens. Для високовольтних ліній 110 кВ та 35 кВ основним засобом захисту від міжфазних коротких замикань є дистанційний захист. Він вимірює імпеданс до місця пошкодження та має кілька зон дії з різними витримками часу для забезпечення високої селективності. Для цих цілей ідеально підходять термінали Siemens SIPROTEC 7SA85 для ліній 110 кВ та SIPROTEC 7SA82 або 7SA86 для ліній 35 кВ.

Ці пристрої, крім дистанційного захисту, інтегрують у себе також максимальні струмові захисти (з направленістю та без) та різні види захисту від замикань на землю, включаючи направлений захист нульової послідовності, що є важливим у мережах з ізольованою або компенсованою нейтраллю.

Для ліній 10 кВ, що живлять споживачів, основним захистом слугують максимальні струмові захисти та струмові відсічки, які забезпечуються терміналами Siemens SIPROTEC 7SJ80, 7SJ81 або 7SJ82. Ці універсальні пристрої також включають функції захисту від замикань на землю, дозволяючи надійно захистити розподільчу мережу 10 кВ.

Критично важливим є захист збірних шин, які є центральними розподільчими вузлами на підстанції. Для їхнього надшвидкого та селективного захисту від коротких замикань застосовується диференційний захист шин, представлений терміналами Siemens SIPROTEC 7SS85. Цей захист безперервно контролює суму струмів, що входять та виходять з кожної секції шин, і при найменшому дисбалансі миттєво відключає пошкоджену ділянку, мінімізуючи наслідки аварії. Для захисту секційних вимикачів та вводів, які також є невід'ємною частиною схеми, використовуються максимальні струмові захисти та захисти від замикань на землю, реалізовані за допомогою тих самих терміналів Siemens SIPROTEC 7SJ80/81/82.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

Система власних потреб підстанції, яка забезпечується трансформаторами ТСЗ-40 кВА 10/0,4 кВ, захищається на первинній стороні запобіжниками ПКТ-10, що є ефективним засобом від коротких замикань. На вторинній стороні 0,4 кВ захист забезпечується автоматичними вимикачами серій Siemens SENTRON 3VL або подібними, що встановлюються на головному щиті власних потреб та на окремих відхідних лініях. Цей комплексний підхід до захисту, заснований на передових рішеннях Siemens, гарантує високий рівень безпеки та надійності функціонування підстанції 110/35/10 кВ.

2.4.10 Розрахунок струмів короткого замикання на шинах підстанції

Розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) на шинах підстанції 110/35/10 кВ передувє вибору всього комутаційного, захисного та вимірювального обладнання. Ці розрахунки дозволяють визначити максимальні струми, які можуть виникнути в мережі при різних видах КЗ, що є критично важливим для забезпечення надійності, безпеки та економічності енергосистеми.

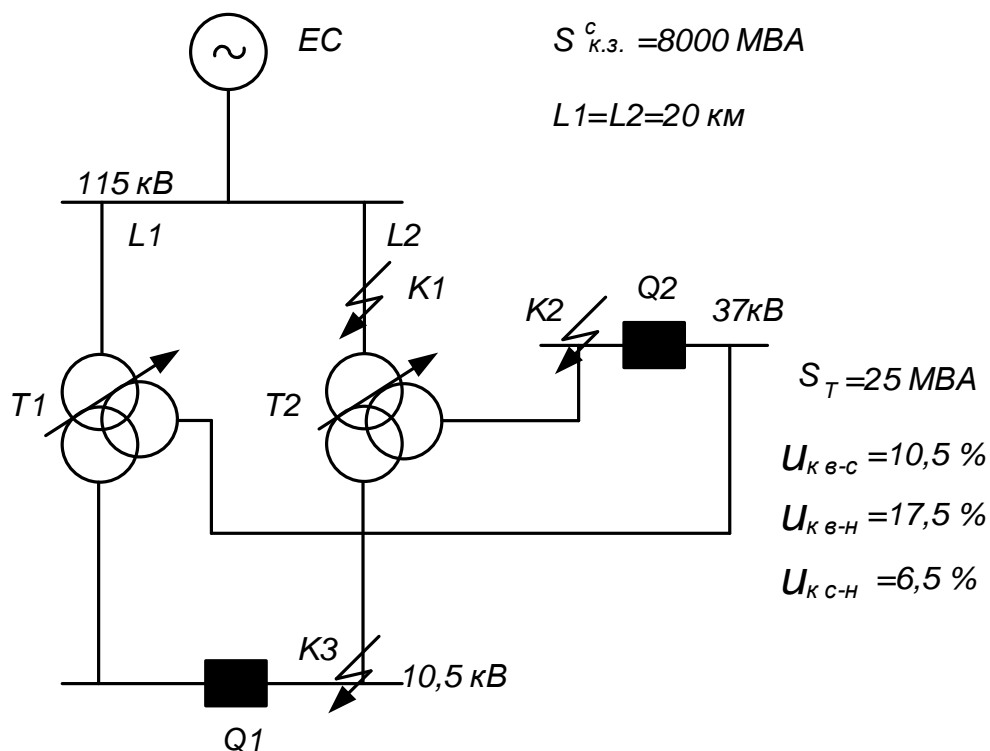


Рис. 2.10 - Схема заміщення для ПС розрахунку струмів КЗ

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

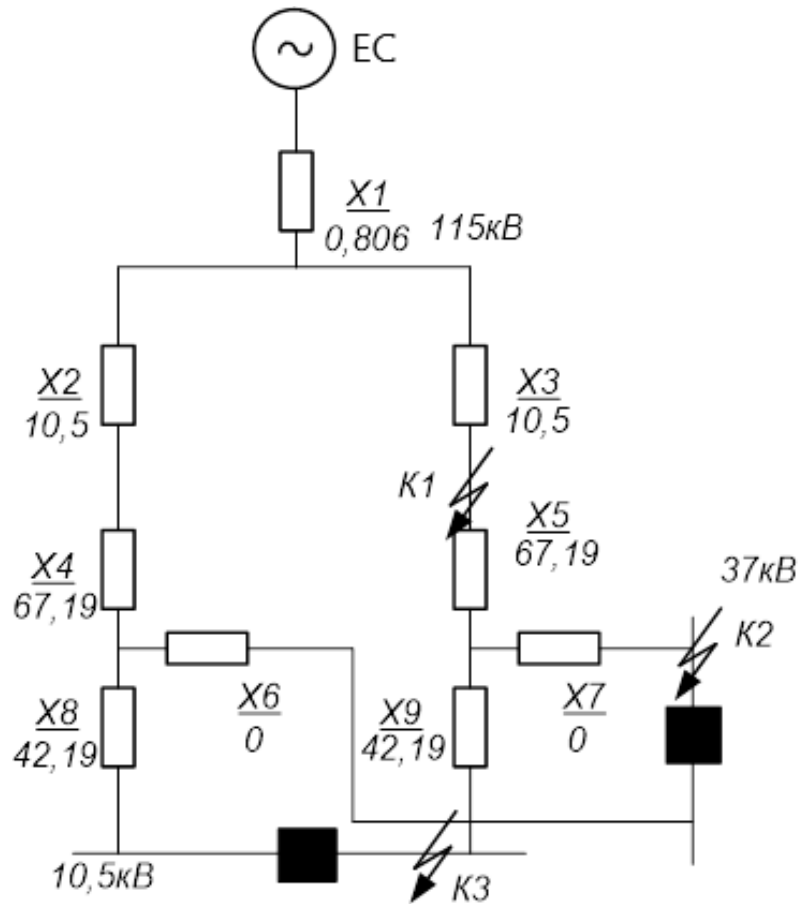


Рис. 2.11 - Схема заміщення при визначених параметрах

Базові величини:

Потужність $S_B = 10000 \text{ MVA}$

Напруги $U_{B1} = 115 \text{ kV}$, $U_{B2} = 37 \text{ kV}$, $U_{B3} = 10,5 \text{ kV}$

Базовий струми

$$I_{B1} = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{B3}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 50,2 \text{ кА}$$

$$I_{B2} = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{B2}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 156 \text{ кА}$$

$$I_{B3} = \frac{S_{B1}}{\sqrt{3}U_{B1}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 550 \text{ кА}$$

Розрахунок опорів ведеться у в. о.

ЕС:

$$X_1 = \frac{S_B}{S_{кз}} = \frac{10000}{8000} = 1,25$$

ЛЕП:

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$X_2 = X_3 = l * x_0 * \frac{S_B}{U_{cp}^2} = 20 * 0,4 * \frac{10000}{115^2} = 6$$

Трансформатор:

$$X_{TB} \% = 0,5(u_{кВ-С} \% + u_{кВ-Н} \% - u_{кС-Н} \%) = 0,5(10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75 \%$$

$$X_{TC} \% = 0,5(u_{кВ-С} \% + u_{кС-Н} \% - u_{кВ-Н} \%) = 0,5(10,5 + 6,5 - 17,5) = -0,5 \approx 0$$

$$X_{TH} \% = 0,5(u_{кВ-Н} \% + u_{кС-Н} \% - u_{кВ-С} \%) = 0,5(17,5 + 6,5 - 10,5) = 6,75 \%$$

$$X_4 = X_5 = \frac{X_{TB} \%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{ном}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{10000}{25} = 43$$

$$X_6 = X_7 = 0$$

$$X_8 = X_9 = \frac{X_{TH} \%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{ном}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{10000}{25} = 27$$

Q₁ і Q₂ відключені, тому опори X₂, X₄, X₆, X₈ – не враховуються.

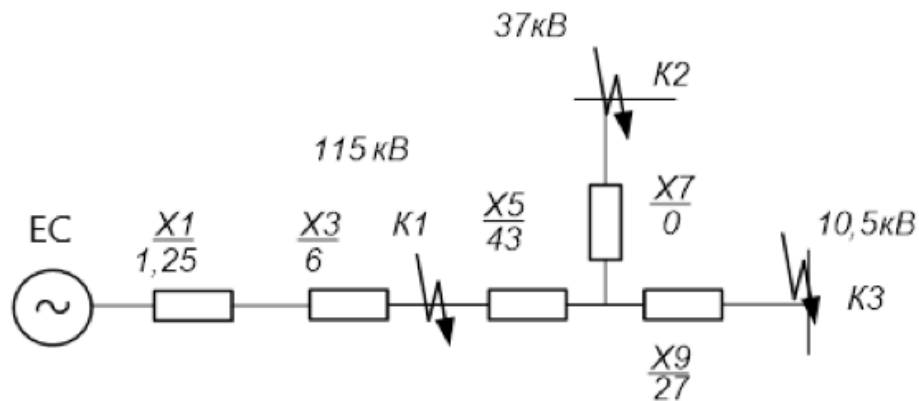


Рис. 2.12 - Схема заміщення після еквівалентування

Схема заміщення спрощується до точки К1 із рис.2.13:

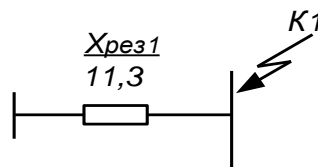


Рис. 2.13 – Схема заміщення після еквівалентування відносно К-1

$$X_{рез1} = X_1 + X_3 = 1,25 + 6 = 7,25$$

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		51

Схема заміщення спрощується до точки К-2 із рис.2.14:

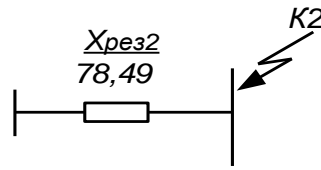


Рис. 2.14 – Схема заміщення після еквівалентування відносно К-2

$$X_{рез2} = X_1 + X_3 + X_5 + X_7 = 1,25 + 6 + 43 + 0 = 50,25$$

Схема заміщення спрощується до точки К-3 із рис.2.15:

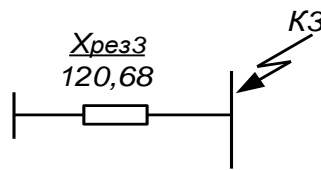


Рис. 2.15 – Схема заміщення після еквівалентування відносно К-3

$$X_{рез3} = X_{рез1} + X_5 + X_9 = 1,25 + 6 + 43 + 27 = 77,25$$

Розрахунок струмів К3 :

Початкова періодична складова короткого замикання:

$$\text{К-1 } I_{по} = \frac{E_C^{II}}{X_{рез}} * I_{Б1} = \frac{1 * 50,2}{7,25} = 6,9 \text{ кА} .$$

$$\text{К-2 } I_{по} = \frac{E_C^{II}}{X_{рез}} * I_{Б2} = \frac{1 * 156}{50,25} = 3,1 \text{ кА}$$

$$\text{К-3 } I_{по} = \frac{E_C^{II}}{X_{рез}} * I_{Б3} = \frac{1 * 550}{77,25} = 7,2 \text{ кА}$$

де $E_C^{II} = 1$ в.о. - ЕРС джерела

Миттєве амплітудне значення уд. струму К3:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot K_y, \text{ де } K_y - \text{ ударний коеф.}$$

$$\text{К-1 } i_y = \sqrt{2} \cdot 6,9 \cdot 1,608 = 15,6 \text{ кА}$$

$$\text{К-2 } i_y = \sqrt{2} \cdot 3,1 \cdot 1,82 = 8 \text{ кА}$$

$$\text{К-3 } i_y = \sqrt{2} \cdot 7,2 \cdot 1,82 = 18,47 \text{ кА}$$

Діюче значення уд. струму К3:

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		52

$$I_y = I_{по} \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}$$

$$K-1 \quad I_y = 6,9 \cdot \sqrt{1 + 2(1,608 - 1)^2} = 9 \text{ кА}$$

$$K-2 \quad I_y = 3,1 \cdot \sqrt{1 + 2(1,82 - 1)^2} = 4,74 \text{ кА}$$

$$K-3 \quad I_y = 7,2 \cdot \sqrt{1 + 2(1,82 - 1)^2} = 11 \text{ кА}$$

Значення струмів КЗ для перехідного процесу КЗ

$$\text{Для К-1 } i_{a\tau} = \sqrt{2} \times I_{по} \times e^{-\frac{\tau}{T_a}} = 1,41 \times 6,9 \times 0,44 = 4,3 \text{ кА}$$

$$T_a = 0,03$$

$$\tau = t_{св} + 0,01 = 0,035 + 0,01 = 0,045 \text{ с}$$

$$e^{-\frac{\tau}{T_a}} = 0,44$$

$$\text{Для К-2 } i_{a\tau} = \sqrt{2} \times I_{по} \times e^{-\frac{\tau}{T_a}} = 1,41 \times 3,1 \times 0,42 = 1,84 \text{ кА}$$

$$e^{-\frac{\tau}{T_a}} = 0,38$$

$$\text{Для К-3 } i_{a\tau} = \sqrt{2} \times I_{по} \times e^{-\frac{\tau}{T_a}} = 1,41 \times 7,2 \times e^{-\frac{0,04}{0,05}} = 4,57 \text{ кА}$$

$$e^{-\frac{0,04}{0,05}} = 0,45$$

Імпульс квадратичного струму КЗ:

$$B_k = I_{по}^2 \times (t_{відкл} + T_a) \text{ кА}^2 \text{ с}$$

$$\text{Де } t_{відкл} = t_{рз} + t_{св}$$

Отримані результати струмів КЗ зведено в таблицю 2.4.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.4 – Отримані результати струмів КЗ

	U_{cp}	I_{δ}	$I_{по}$	$i_{уд}$	I_y	$\tau_{ат}$	B_k
КЗ точка 1	115	50,2	6,9	15,6	9	4,3	25,47
КЗ точка 2	37	156	3,1	8	4,74	1,84	5,14
КЗ точка 3	10.5	550	7,2	18,47	11	4,57	27,4

2.11 Перевірка комутаційного обладнання

Перевірка комутаційного обладнання виконується в табличній формі (табл.2.5-2.8).

Таблиця 2.5 - Характеристики вимикача і роз'єднувача на 110 кВ

№	Умова встановлення	Каталожні дані		
		Розрахункові дані	ВГБУ-110У1	РГ-110/1000 УХЛ1
1	$U_{н.вимк} > U_{роб}$ кВ		126кВ	110кВ
2	$I_{н.в} > I_{р.м.}$ А	110	2000	1000
3	$I_{вимк} \geq I_{пт}$	18.5	20,36	-
4	$I_{нр} \geq I_{по}$ кА	4,3	50	31,5
5	$i_{нр.с} \geq i_{уд}$ кА	6,9	125	80
6	$I_T^2 \times t_T \geq BK$ кА ² ·с	15,6	50 ² ·3=7500	40 ² ·3=4800

Перевірка по критерію відключаючої здатності:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{отк.} \cdot \frac{\beta}{100} = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot \frac{36}{100} = 20,36 A$$

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.6 - Характеристики вимикача і роз'єднувача на 35 кВ

№	Умови встановлення	Розрахункові дані	Каталожні дані	
			ВБС-35Ш-25/630 УХЛ1	РГ-35/1000 УХЛ1
1	$U_{н.внмк} > U_{роб}$ кВ	35	35	35
2	$I_{н.в} > I_{р.м.}$ А	305	1000	1000
3	$I_{внмк} \geq I_{пт}$	1,84	11.1	-
4	$I_{нр} \geq I_{по}$ кА	3,1	31,5	40
5	$i_{нр.с} \geq i_{\gamma\delta}$ кА	5,09	64	63
6	$I_T^2 \times t_T \geq BK$ кА ² ·с	5,4	25 ² ·4=2500	16 ² ·4=1024

Перевірка по критерію відключаючої здатності:

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{отк.} \cdot \frac{\beta}{100} = \sqrt{2} \cdot 31.5 \cdot \frac{25}{100} = 11.1 \text{ кА}$$

Таблиця 2.6 - Характеристики вимикача на 10 кВ

№	Умови вибору	Разрахункові дані	Каталожні дані
			Сіменс 3АН5-122-2
1	$U_{н.внмк} > U_{роб}$ кВ	10	12
2	$I_{н.в} \geq I_{р.м.}$ А	625	1250
3	$I_{по} \geq I_{внмк.}$	7,2	40
4	$i_a \geq i_{внмк.ном.}$ кА	4,57	22.5
5	$I_{нр} \geq I_{по}$ кА	7,2	16
6	$i_{нр.с} \geq i_{\gamma\delta}$ кА	18,47	100
7	$I_T^2 \times t_T \geq B_K$ кА ² ·с	27,4	31,5 ² ·1=992,5

Перевірка по критерію відключаючої здатності:

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_{\text{по.}} \cdot \frac{\beta}{100} = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot \frac{40}{100} = 22,5 \text{ кА}$$

Висновки до другого розділу

Предметом дослідження є фрагмент електричної мережі, що отримує живлення від енергосистеми на напрузі 110 кВ. Основною вузловою точкою цієї мережі є підстанція напругою 110/35/10 кВ. На бік 110 кВ підстанція підключена до двох незалежних ліній електропередачі 110 кВ, що забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання.

Розглядувана електрична мережа має ієрархічну структуру з центральною підстанцією 110/35/10 кВ, яка виконує функції приймання електроенергії від високовольтної мережі, її трансформації та розподілу на нижчих класах напруги для живлення різноманітних споживачів.

Підстанція включає в себе три ступені напруги – 110 кВ, 35 кВ і 10 кВ. Підстанція підключена двома повітряними лініями 110 кВ до загальної енергосистеми. Від РУ НН проходять відгалудження 10 кабельних ліній для живлення споживачів, від РУ СН відходять 4 кабельні лінії.

На підстанції встановлено два силові трансформатори ТДТН-25000/110/35/10, які здійснюють трансформацію напруги зі 110 кВ на 35 кВ та 10 кВ. На стороні 35 кВ від підстанції відходять фідерні лінії, що живлять менші розподільчі підстанції 35/10 кВ у прилеглих населених пунктах та крупних сільськогосподарських споживачів. Напруга 10 кВ є основним розподільчим рівнем для живлення промислових підприємств середньої потужності, комунальних об'єктів та трансформаторних підстанцій 10/0.4 кВ, які, в свою чергу, забезпечують електроенергією житловий сектор, об'єкти соціальної інфраструктури та дрібних комерційних споживачів. Розподільча мережа 10 кВ, виконана за комірковою схемою.

На підстанції 110/35/10 кВ засоби релейного захисту та автоматики (РЗА) формують складний комплекс, який забезпечує безперебійну роботу енергосистеми, оперативно реагуючи на будь-які відхилення від норми. Ця система постійно моніторить електричні параметри — струми, напруги, частоту, — і в разі виявлення

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

аварійних режимів, таких як короткі замикання чи перевантаження, миттєво локалізує пошкоджену ділянку, відключаючи її від решти мережі. Це запобігає поширенню аварії, мінімізує збитки для обладнання та скорочує час перерв в електропостачанні для споживачів.

Основним приладом мікропроцесорного захисту на станції є Siemens SIPROTEC 7UT85.

Розраховані струми КЗ на шинах ПС, вибрано та перевірено комутаційне обладнання.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3 РЕГУЛЮВАННЯ І КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПС 110/35/10 КВ

3.1 Батарей статичних конденсаторів (БСК)

Для підстанції 110/35/10 кВ БСК найбільш доцільно встановлювати на стороні 35 кВ або 10 кВ, де відбувається безпосереднє живлення споживачів з індуктивним характером навантаження. Це дозволяє компенсувати реактивну потужність максимально близько до її споживання, зменшуючи втрати в трансформаторах та лініях підстанції.

Виберемо для встановлення обладнання фірми "EnergoCompensator" (Україна). Вона пропонує конденсаторні установки типу УКРМ (Установка Компенсації Реактивної Потужності Модульна) для мереж до 35 кВ.

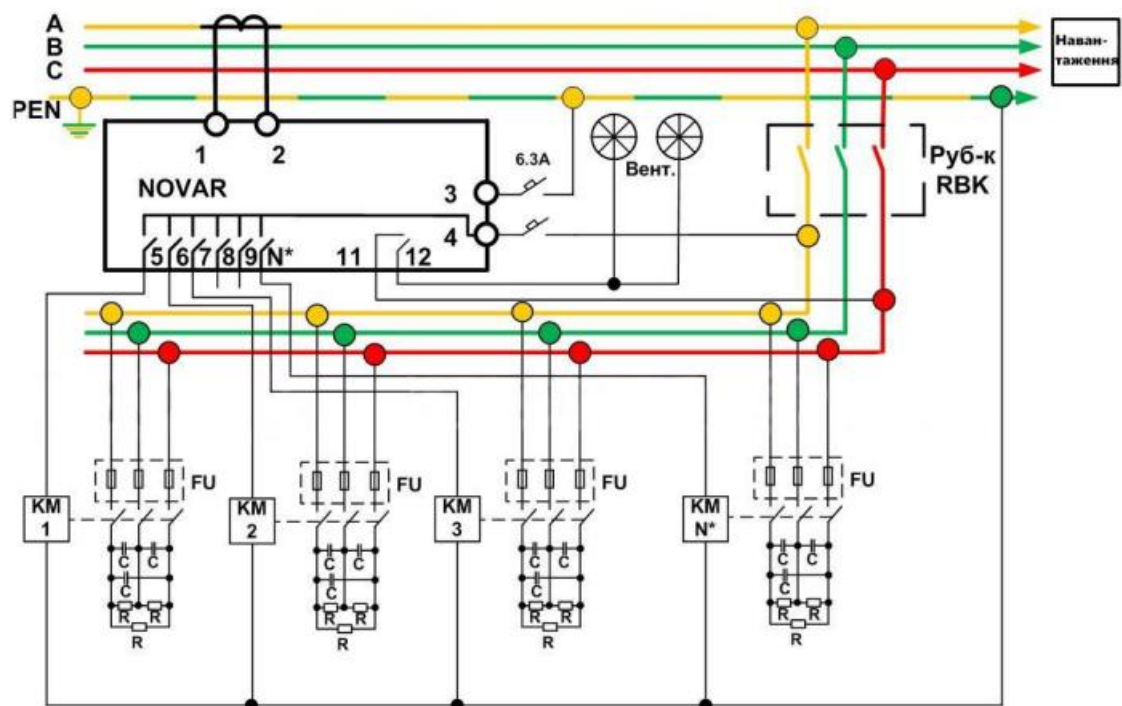


Рисунок 3.1 – Схема установки УКРМ

141.ЕКз1107.004.ДБ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕГУЛЮВАННЯ І КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПС 110/35/10 КВ	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.	Ковальчук С.Ю.						58	70
Перевір.	Хоменко О.В.							
Н. Контр.	Шполянський О.Г.							
Затв.	Марченко А. А.					КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-311		

Ці установки є оптимальним рішенням для підстанції 110/35/10 кВ, особливо для шин 35 кВ та 10 кВ, де відбувається безпосереднє живлення споживачів з індуктивним характером навантаження. Це дозволить ефективно компенсувати індуктивне навантаження, знизити втрати та покращити якість електроенергії. Управління системою буде здійснюватися за допомогою сучасних мікропроцесорних реле та SCADA-системи, що забезпечить надійність та оперативність керування.

3.2 Шунтуючі реактори

Реактори від "Siemens Energy" є індуктивними елементами і споживають індуктивну реактивну потужність. Їх застосовують для компенсації надлишку ємнісної реактивної потужності, що виникає в мережах з великою довжиною повітряних ліній електропередачі (наприклад, на стороні 110 кВ підстанції) в режимах малих навантажень.

Шунтуючі реактори на підстанції 110/35/10 кВ встановлені на стороні 110 кВ, якщо підстанція є кінцевим або проміжним вузлом для протяжних повітряних ліній, де спостерігається значний ємнісний ефект (ефект Ферранті) при малих навантаженнях. Це дозволить підтримувати стабільний рівень напруги в магістральній мережі.

Компанія "Siemens Energy" пропонує широкий спектр індуктивних шунтуючих реакторів для високовольтних застосувань. Ці реактори можуть бути як некерованими (постійної потужності), так і ступінчасто керованими (з можливістю підключення/відключення окремих секцій за допомогою вимикачів).

Виберемо обладнання серії: Siemens Energy Shunt Reactor, Type TR.

Реактори Siemens Energy серії TR є високотехнологічним обладнанням, що поєднує багаторічний досвід виробника та інноваційні розробки.

Реактори серії TR, особливо для високих напруг (110 кВ і вище), зазвичай є маслонаповненими (oil-immersed) і мають залізне осердя з повітряними проміжками (gapped core). Така конструкція мінімізує втрати, шум та вібрацію, а також забезпечує ефективне охолодження. Залізне осердя з повітряними проміжками також має демпфуючий ефект, що запобігає насиченню осердя та забезпечує стабільну роботу.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд шунтуючого реактора Siemens Energy серії TR

Обирано ступінчасто керований шунтуючий реактор Siemens Energy серії TR. Це означає, що реактор складається з декількох секцій (або має відводи на обмотці), які можуть підключатися або відключатися за допомогою високовольтних вимикачів

3.3 Статичні компенсатори реактивної потужності (SVC – Static Var Compensator)

SVC – це гнучкий компенсатор реактивної потужності, що складається з тиристорно-керованого реактора (TCR) та/або тиристорно-комутованих конденсаторів (TSC). Шляхом зміни кута відкриття тиристорів у TCR або комутації TSC, SVC може плавно та швидко регулювати реактивну потужність, як генеруючи, так і споживаючи її.

SVC доцільно встановлено на стороні 110 кВ підстанції, бо вона є ключовим вузлом мережі, вимагає динамічного регулювання напруги (наприклад, при значних коливаннях навантаження, приєднанні великих промислових споживачів або відновлюваних джерел енергії з нестабільним характером генерації – вітрових чи сонячних електростанцій).

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Виберемо для встановлення обладнання компанії "Siemens Energy" (Німеччина) - статичний синхронний компенсатор (STATCOM) – SVC PLUS. STATCOM є більш сучасною та гнучкою альтернативою SVC. Він базується на технології інвертора напруги (Voltage Source Converter - VSC), використовуючи IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) транзистори та технологію багаторівневого перетворювача (Modular Multilevel Converter - MMC). STATCOM генерує або поглинає реактивну потужність шляхом зміни амплітуди та фази вихідної напруги інвертора щодо напруги мережі.

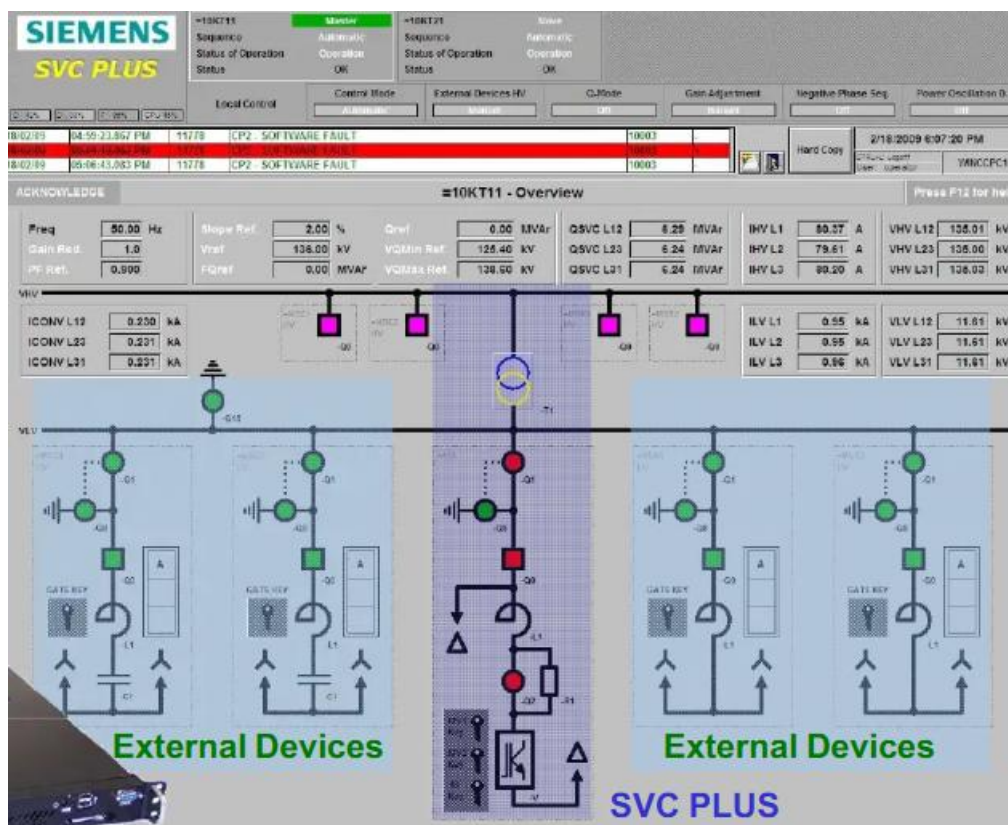


Рисунок 3.2. - Людино-машинний інтерфейс, локальне та віддалене керування пристрою SVC PLUS

3.4 Регулятор реактивної потужності

Для ефективного керування батареями статичних конденсаторів (БСК) УКРМ виробництва "EnergoCompensator" на шинах 35 кВ та 10 кВ підстанції 110/35/10 кВ, буде застосовано регулятор реактивної потужності NOVAR 1414. Цей пристрій є ключовим елементом автоматичної системи компенсації, що забезпечує оптимальний режим роботи БСК.



Рисунок 3.3– Передня панель приладу NOVAR 141

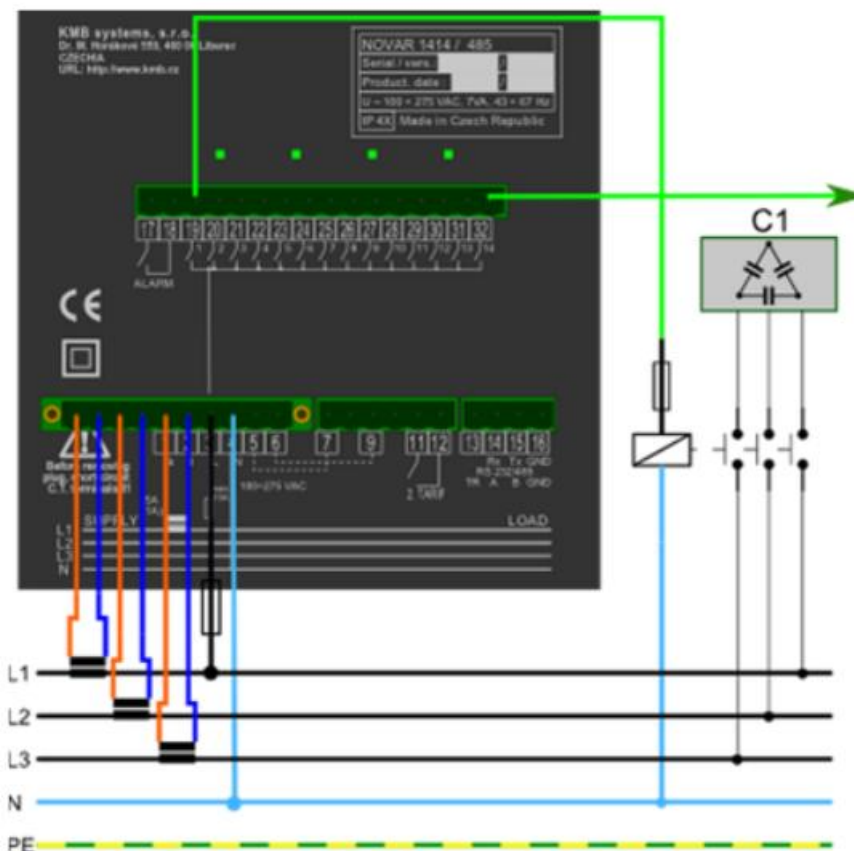


Рисунок 3.5 - Підключення приладу NOVAR 141

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

141.ЕКз1107.004.ДБ

Арк.

62

Регулятор реактивної потужності NOVAR 1414 є інтелектуальним мікропроцесорним пристроєм, призначеним для автоматичного керування багатоступінчастими конденсаторними установками. Його основне завдання – підтримувати заданий коефіцієнт потужності ($\cos\phi$) в електричній мережі шляхом автоматичного підключення та відключення окремих секцій конденсаторних батарей.

NOVAR 1414 буде встановлений в шафах керування батареями статичних конденсаторів УКРМ на сторонах 35 кВ та 10 кВ. Його функції забезпечать:

Автоматичне підтримання заданого коефіцієнта потужності: Регулятор буде постійно контролювати $\cos\phi$ в мережі і, в залежності від його відхилення від заданого значення, автоматично підключати або відключати секції БСК.

Оптимізація роботи БСК: Завдяки гнучким налаштуванням та інтелектуальному алгоритму, NOVAR 1414 мінімізуватиме кількість комутацій, продовжуючи ресурс контакторів та конденсаторів.

Підвищення якості електроенергії: Стабілізація коефіцієнта потужності сприятиме підтримці оптимального рівня напруги на шинах 35 кВ та 10 кВ, що є ключовим для якісного електропостачання споживачів.

Моніторинг та діагностика: Можливість отримання даних про стан БСК та параметри мережі через комунікаційні інтерфейси дозволить диспетчерському персоналу оперативно реагувати на будь-які зміни або несправності.

Висновки до третього розділу

Виходячи з вимог до надійності, економічності для компенсації реактивної потужності на підстанції 110/35/10 кВ пропонується комбіноване рішення:

На сторонах 35 кВ та 10 кВ: Встановлення автоматично регульованих батарей статичних конденсаторів типу УКРМ виробництва "EnergoCompensator". Це дозволить ефективно компенсувати індуктивне навантаження, знизити втрати та покращити якість електроенергії безпосередньо біля споживачів.

На стороні 110 кВ: У разі обґрунтованої необхідності (для компенсації ємнісного ефекту протяжних ліній) – встановлення ступінчасто керованого шунтуючого реактора "Siemens Energy" серії TR. Це дозволить гнучко реагувати на

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

зміни навантаження та підтримувати стабільний рівень напруги в магістральній мережі.

Управління всім комплексом має здійснюватися за допомогою сучасних мікропроцесорних реле та SCADA-системи, що забезпечить надійність та оперативність керування.

На стороні 110 кВ підстанції встановлено статичний синхронний компенсатор (STATCOM) – SVC PLUS.

Для ефективного керування батареями статичних конденсаторів (БСК) УКРМ виробництва "EnergoCompensator" на шинах 35 кВ та 10 кВ підстанції 110/35/10 кВ, буде застосовано регулятор реактивної потужності NOVAR 1414. Цей пристрій є ключовим елементом автоматичної системи компенсації, що забезпечує оптимальний режим роботи БСК.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

Джерела та засоби регулювання реактивної потужності, включаючи синхронні генератори, синхронні компенсатори, статичні тиристорні компенсатори (СТК), конденсаторні батареї, статичні вентильні джерела реактивної потужності та шунтуючі реактори, демонструють різноманітність технічних рішень для вирішення завдань компенсації та регулювання.

Кожен з цих засобів має специфічні характеристики щодо швидкодії, діапазону регулювання та економічної доцільності, що визначає області їх оптимального застосування. Зокрема, синхронні машини забезпечують гнучке регулювання та участь у підтримці стійкості, тоді як статичні компенсатори та батареї конденсаторів пропонують ефективні рішення для локальної та динамічної компенсації. Важливість підтримання балансу реактивної потужності вказує на необхідність скоординованого управління цими компенсуючими установками.

Таким чином, ефективне керування реактивною потужністю, досягнуте завдяки комплексному використанню та належному керуванню розглянутими джерелами та засобами, є фундаментальною передумовою забезпечення надійності, стабільності та економічності роботи сучасних електричних мереж.

Предметом дослідження є фрагмент електричної мережі, що отримує живлення від енергосистеми на напрузі 110 кВ. Основною вузловою точкою цієї мережі є підстанція напругою 110/35/10 кВ. На бік 110 кВ підстанція підключена до двох незалежних ліній електропередачі 110 кВ, що забезпечує необхідний рівень надійності електропостачання.

Розглядувана електрична мережа має ієрархічну структуру з центральною підстанцією 110/35/10 кВ, яка виконує функції приймання електроенергії від високовольтної мережі, її трансформації та розподілу на нижчих класах напруги для живлення різноманітних споживачів.

Підстанція включає в себе три ступені напруги – 110 кВ, 35 кВ і 10 кВ. Підстанція підключена двома повітряними лініями 110 кВ до загальної енергосистеми. Від РУ НН проходять відгалудження 10 кабельних ліній для живлення споживачів, від РУ СН відходять 4 кабельні лінії.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

На підстанції встановлено два силові трансформатори ТДТН-25000/110/35/10, які здійснюють трансформацію напруги зі 110 кВ на 35 кВ та 10 кВ. На стороні 35 кВ від підстанції відходять фідерні лінії, що живлять менші розподільчі підстанції 35/10 кВ у прилеглих населених пунктах та крупних сільськогосподарських споживачів. Напруга 10 кВ є основним розподільчим рівнем для живлення промислових підприємств середньої потужності, комунальних об'єктів та трансформаторних підстанцій 10/0.4 кВ, які, в свою чергу, забезпечують електроенергією житловий сектор, об'єкти соціальної інфраструктури та дрібних комерційних споживачів. Розподільча мережа 10 кВ, виконана за комірковою схемою.

На підстанції 110/35/10 кВ засоби релейного захисту та автоматики (РЗА) формують складний комплекс, який забезпечує безперебійну роботу енергосистеми, оперативно реагуючи на будь-які відхилення від норми. Ця система постійно моніторить електричні параметри — струми, напруги, частоту, — і в разі виявлення аварійних режимів, таких як короткі замикання чи перевантаження, миттєво локалізує пошкоджену ділянку, відключаючи її від решти мережі. Це запобігає поширенню аварії, мінімізує збитки для обладнання та скорочує час перерв в електропостачанні для споживачів.

Основним приладом мікропроцесорного захисту на станції є Siemens SIPROTEC 7UT85.

Розраховані струми КЗ на шинах ПС, вибрано та перевірено комутаційне обладнання.

Виходячи з вимог до надійності, економічності для компенсації реактивної потужності на підстанції 110/35/10 кВ пропонується комбіноване рішення:

На сторонах 35 кВ та 10 кВ: Встановлення автоматично регульованих батарей статичних конденсаторів типу УКРМ виробництва "EnergoCompensator". Це дозволить ефективно компенсувати індуктивне навантаження, знизити втрати та покращити якість електроенергії безпосередньо біля споживачів.

На стороні 110 кВ: У разі обґрунтованої необхідності (для компенсації ємнісного ефекту протяжних ліній) – встановлення ступінчасто керованого шунту-

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ючого реактора "Siemens Energy" серії TR. Це дозволить гнучко реагувати на зміни навантаження та підтримувати стабільний рівень напруги в магістральній мережі.

Управління всім комплексом має здійснюватися за допомогою сучасних мікропроцесорних реле та SCADA-системи, що забезпечить надійність та оперативність керування.

На стороні 110 кВ підстанції встановлено статичний синхронний компенсатор (STATCOM) – SVC PLUS.

Для ефективного керування батареями статичних конденсаторів (БСК) УК-РМ виробництва "EnergoCompensator" на шинах 35 кВ та 10 кВ підстанції 110/35/10 кВ, буде застосовано регулятор реактивної потужності NOVAR 1414.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		67

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Вайнберг А.М. Компенсація реактивної потужності в електричних мережах. Київ: Техніка, 2005. 240 с.
2. Кулик В.В. Основи теорії електричних мереж. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 350 с.
3. Лежик В.П., Щерба А.А. Електричні мережі та системи. Харків : НТУ "ХП", 2017. 412 с.
4. Макаров Е.Ф. Режими електричних систем. Київ : НАУ, 2012. 380 с.
5. Рогоза М.П., Саєнко Ю.Л. Електричні підстанції. Дніпро : НМетАУ, 2019. 310 с.
6. Сєріков С.Б. Керування режимами енергетичних систем. Київ : НТУУ "КП", 2015. 288 с.
7. Черножуков А.В., Федоришин В.І. Якість електричної енергії. Вінниця : ВНТУ, 2016. 250 с.
8. Борисенко О.І., Ковальчук В.С. Оптимізація режимів реактивної потужності в розподільчих електричних мережах. Вісник Національного технічного університету "ХП". Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. 2021. № 1. С. 45–52.
9. Грищенко В.В. Дослідження впливу пристроїв компенсації реактивної потужності на втрати електроенергії в електричних мережах. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2020. № 2. С. 11–16.
10. Денисюк С.П. Проблеми та перспективи впровадження активних фільтрів для покращення якості електроенергії. Електротехнічні та комп'ютерні системи. 2019. № 29. С. 120–127.
11. Іванов П.А., Петренко О.В. Аналіз методів регулювання реактивної потужності на електричних підстанціях 110 кВ. Енергетика та електрифікація. 2022. № 3. С. 34–41.
12. Ковтун Г.І. Використання статичних компенсаторів реактивної потужності для стабілізації напруги в розподільчих мережах. Проблеми загальної енергетики. 2021. № 2. С. 67–75.

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		68

13. Мельник Л.П., Коваленко І.С. Вплив інтелектуальних мереж (Smart Grid) на регулювання реактивної потужності. Відновлювана енергетика. 2023. № 1. С. 58–65.

14. Осадчий А.Г. Оцінка ефективності застосування батарей статичних конденсаторів на підстанціях різних класів напруги. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2018. № 3. С. 89–96.

15. Соколовська Т.П., Клименко Д.С. Вибір оптимального місця встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності в електричній мережі. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2020. № 905. С. 78–84.

16. Федоренко О.В., Кудря В.І. Аналіз сучасних підходів до керування реактивною потужністю в умовах інтеграції відновлюваних джерел енергії. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2022. № 4. С. 15–22.

17. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення. Київ : Мінекономрозвитку України, 2016.

18. ДСТУ EN 61000-4-30:2015. Електромагнітна сумісність (ЕМС). Частина 4-30. Методики випробування та вимірювання. Методи вимірювання параметрів якості електроенергії. Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2017.

19. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. Харків : Фортуна, 2017. 704 с.

20. Siemens AG. SIPROTEC 5 – Protection, Automation and Control. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-smart-grid/protection-relays-and-automation/siprotec-5.html> (Дата звернення: 05.06.2025).

					141.ЕКз1107.004.ДБ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		