

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

« 13 » червня 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Управління, захист та автоматизація енергосистем»

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та автомеханіка»

на тему: «Регулювання реактивної потужності на підстанції 35кВ»

Виконав:

студент 4 курсу, групи ЕК-91

Бомблюк Владислав Петрович _____

Керівник:

к.т.н., доц., Хоменко О.В. _____

Рецензент:

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

Студент _____

Київ – 2023 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 автомеханіка»**

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій МАРЧЕНКО

« 13 » червня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Бомблюку Владиславу Петровичу

1. Тема проєкту **«Регулювання реактивної потужності на підстанції 35кВ»**, керівник проєкту **Хоменко Олег Володимирович к.т.н., доц.**, затверджені наказом по університету від **«25» травня 2023** р. №1969-с
2. Термін подання студентом проєкту _____ 13 червня 2023
3. Вихідні дані до проєкту: Підстанція 35/10кВ, схема підключень електричної підстанції.
4. Зміст пояснювальної записки **«Джерела та засоби регулювання реактивної потужності в електричних мережах, Характеристика об'єкта ПС 35кВ, Компенсація і регулювання реактивної потужності на підстанції.»**
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Наслідки транспортування реактивної потужності. Схема електричних з'єднань підстанції. Схема установки компенсації реактивної потужності. Регулятор реактивної потужності.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 08.02.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз способів регулювання реактивної потужності	21.02.2023	
2	Аналіз балансу реактивної потужності	03.03.2023	
3	Дослідження характеристик підстанції 35кВ	16.03.2023	
4	Дослідження обладнання підстанції 35кВ	29.03.2023	
5	Розрахунок струмів короткого замикання на шині підстанції та перевірочний вибір обладнання	16.04.2023	
6	Аналіз конденсаторів та конденсаторних установок, підбір конденсаторної установки та регулятора реактивної потужності	30.04.2023	
7	Оформлення графічної частини	24.05.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки	05.06.2023	
9	Попередній захист	13.06.2023	

Студент

Владислав БОМБЛЮК

Керівник

Олег ХОМЕНКО

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.ЕК9102.002.ДБ	Пояснювальна записка	58	
3	A1	141.ЕК9102.002.ТК1	Наслідки транспортування реактивної потужності. Статистика споживачів реактивної потужності по країні та промислового підприємстві. Характеристики холостого ходу, зовнішньої характеристики, регульовальної характеристики та U-Подібної характеристики	1	
4	A1	141.ЕК9102.002.ТК2	Схема електричних з'єднань підстанції 35/10кВ	1	
5	A1	141.ЕК9102.002.ТК3	Принципова схема установки компенсації реактивної потужності УКРМ-0,4. Приклад підключення NOVAR 1414.	1	

					141.ЕК9102.002.ДБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Бомблюк В.П.				Відомість дипломного проекту	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Хоменко О.В.						3	1
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-91		
Н. Контр.	Настенко Д.В.							
Утвердив	Марченко А.А.							

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

на тему «Регулювання реактивної потужності на підстанції 35кВ»

РЕФЕРАТ

Дипломний проект був виконаний на 64 аркушах та містить 26 рисунків, 7 таблиць, 3 листи графічної частини та 17 літературних посилань.

Актуальність теми — Види регулювання та установки реактивної потужності.

Мета дослідження — Аналіз електричної системи та вибір обладнання для регулювання реактивної потужності на підстанції.

Об'єкт дослідження — Електрична підстанція 35/10кВ

Ключові слова — ЗАСОБИ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, КОНДЕНСАТОРНА УСТАНОВКА.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRAKT

Die Diplomarbeit wurde auf 64 Blättern angefertigt und enthält 26 Abbildungen, 7 Tabellen, 4 Blätter des grafischer Teils und 17 Literaturhinweise.

Relevanz des Themas — Arten der Blindleistungsregelung und Blindleistungsanlagen.

Ziel der Studie —die Analyse des elektrischen Systems und die Auswahl der Ausrüstung zur Blindleistungsregelung im Umspannwerk.

Das Forschungsobjekt — 35/10-kV-Umspannwerk

Schlüsselwörter — BLINDLEISTUNGSGERÄTE, KURZSCHLUSS, REGELUNG DER BLINDLEISTUNG, KONDENSATORANLAGE.

					141.EK9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП	11
1 ДЖЕРЕЛА ТА ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	12
1.1 Теоретичні засади компенсації реактивної потужності.....	12
1.2 Вплив реактивної потужності на режими роботи електричної мережі.	16
1.3 Основні споживачі реактивної потужності в електричних мережах	19
1.4 Синхронні генератори	20
1.5 Синхронні компенсатори.....	24
1.6 Статичні тиристорні компенсатори	26
1.7 Конденсаторні батареї	30
1.8 Статичні вентильні джерела реактивної потужності	33
1.9 Шунтуючі реактори	34
1.10 Баланс реактивної потужності в електричній мережі.....	36
1.11 Керування компенсуючими установками	37
ВИСНОВКИ	39
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПС 35/10 КВ	40
2.1 Схема електричних з'єднань підстанції. Загальна характеристика. Склад обладнання підстанції.	40
2.2 Силові трансформатори підстанції.....	41
2.3 Збірні шини підстанції.....	43
2.4 Комутаційне обладнання підстанції	44
2.5 Захисне обладнання	45
2.6 Вимірювальні трансформатори напруги і струму підстанції	46

						141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			8

2.7	Вимірювальні прилади	47
2.8	Власні потреби підстанції	50
2.9	Засоби релейного захисту і автоматики підстанції	51
2.10	Розрахунок струмів короткого замикання на шинах підстанції	52
2.11	Перевірочний вибір обладнання підстанції	54
	ВИСНОВКИ	55
3	КОМПЕНСАЦІЯ І РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПІДСТАНЦІЇ	56
3.1	Схеми з'єднання конденсаторних установок	56
3.2	Умови роботи конденсаторних установок	57
3.3	Конструкції конденсаторів та їх технічні характеристики	58
3.4	Способи регулювання потужності конденсаторних установок	58
3.5	Вибір кількості і потужності ступенів регулювання конденсаторних установок.....	59
3.6	Регулятор реактивної потужності.....	60
	ВИСНОВКИ	61
	ВИСНОВКИ	62
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	63

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АД – асинхронний двигун;
КБ – конденсаторні батареї;
КРМ – компенсація реактивної потужності;
КУ – конденсаторна установка
ЛЕП – лінії електропередач;
ОПН – обмежувач перенапруги;
ПБЗ – перемикання без збудження;
ПС – підстанція;
РП – розподільчий пристрій;
РПН – регулювання під навантаженням;
СГ – синхронний генератор;
ТН – трансформатор струму;
ТС – трансформатор струму;
ЯЕ – якість електроенергії.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ВСТУП

Електричні підстанція — група обладнання або ж електричний пристрій, який є частиною електричної системи. Основною метою підстанції являється генерація, перетворення, розподіл та регулювання електричної енергії. Вони повинні регулювати рівень напруги електричної мережі, задля ефективної передачі та розподілу електричної енергії.

Одним із методів підвищення ефективності передачі електричної енергії є регулювання реактивної потужності. Передача реактивної потужності має деякі негативні наслідки, такі як втрати напруги, втрати активної потужності та інші. Хоч реактивна потужність і має негативні сторони для мережі, вона все ще потрібна для споживача.

Щоб уникнути даних мінусів реактивну потужність виготовляють не на електростанціях, а у місцях ближчих до споживача, за допомогою таких джерел реактивної потужності, як синхронний генератор так і компенсуючих пристроїв, як компенсаторів, конденсаторних батарей, та іншого обладнання.

Тема компенсації реактивної потужності досить актуальна і в наш час. Так як співвідношення спожитої активної потужності до реактивної може бути різним. На підприємствах частіш за все переважає споживання реактивної потужності. Через це впроваджується автоматичне регулювання потужності конденсаторних установок. Завданням компенсації реактивної потужності являється підтримка напруги в заданих межах.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ДЖЕРЕЛА ТА ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

1.1 Теоретичні засади компенсації реактивної потужності

Електричні кола мають три види потужностей: активна, реактивна, повна.

З трикутника потужності можна знайти потужності.

Трикутник потужності

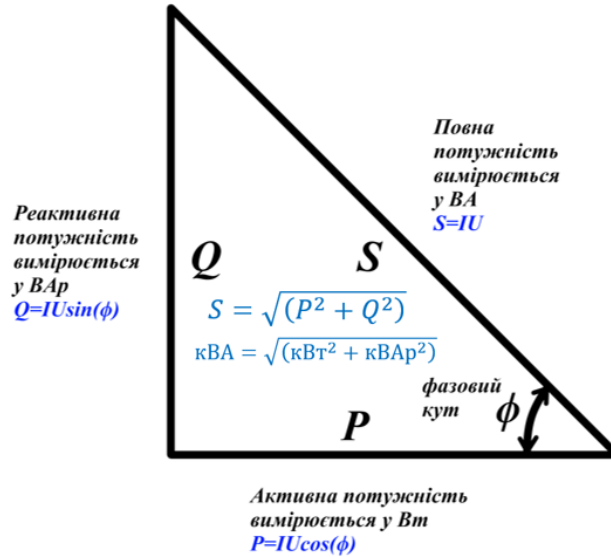


Рисунок 1.1 - Трикутник потужності

Повна потужність S може бути виражена як добуток струму і напруги в електричному колі, а також як корінь суми квадратів активної та реактивної потужності.

$$S = IU \quad (1.1)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1.2)$$

Дана потужність вимірюється в вольт-амперах (ВА).

Активна потужність визначається як добуток струму, напруги та косинуса кута між ними.

					141.ЕК9102.002.ДБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Бомблюк В.П.				Джерела та засоби регулювання реактивної потужності в електричних мережах	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Хоменко О.В.						12	64
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-91		
Н. Контр.	Настенко Д.В.							
Утвердив	Марченко А.А.							

$$P=IU\cos(\phi). (1.3)$$

Реактивна потужність виражається, як добуток струму, напруги і синуса кута між ними і вимірюється в вольт-амперах.

$$Q=IU\sin(\phi). (1.4)$$

В електричній мережі наявність реактивної складової потужності пояснюється конструктивними особливостями елементів мережі і підстанцій, що також обумовлене електричними колами електроприймачів і наявністю в них реактивних опорів.

Дані реактивні опори слугують перешкодою зміні параметрів електричної енергії. Наприклад, ємності перешкоджають зміні напруги в електричній енергії, індуктивності в свою чергу зміні струму в ній. Це обумовлено накопиченням, та виділенням реактивної потужності елементами.

Ця обставина призводить до коливального процесу обміну енергією між реактивними елементами, що знаходяться між елементами підстанцій, лініями електропередач, електроприймачами та станціями, при передачі, споживанні, виробленні та перетворенні енергії.

Даний коливальний процес обміну енергією супроводжується рухом реактивної енергії. До того ж дана енергія не перетворюється в інші типи енергії, хоча її потоки за елементами електричних кіл доповнюються додатковим завантаженням елементів та втратами активної енергії на активних опорах.

Прийнято, що реактивності ємнісного характеру являють собою джерела реактивної енергії, а індуктивного характеру є споживачами реактивної енергії.

Компенсацією реактивної потужності називають установку джерел реактивної потужності в вузлах електричної мережі чи безпосередньо у споживачів.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Компенсація реактивної потужності являється однією із частин потрібних для підвищення ефективності роботи електричної мережі. Навіть зараз здійснюються пошуки ефективних способів керування пристроями компенсації. Тому проблема компенсації реактивної потужності перебуває на одному з важливих місць під час вирішенні питань присвячених розподілу, передачі і споживанні електроенергії.

В нормальних умовах електричні споживачі зустрічаються з виникненням та зникненнями магнітних полів, споживають не тільки активну потужність, а також індуктивну реактивну. Дана реактивна потужність потребується для роботи обладнання, хоча і розглядається як небажане навантаження для мережі. При передачі струму намагаються досягнути мінімальної частки реактивної потужності.

Це потрібно для:

- Підвищення якості електричної енергії та доведення до норми рівня напруги
- Зменшення навантаження на силові трансформатори і лінії електропередач
- Забезпечення можливості підключення заявленої потужності
- Оптимізація енергетичних втрат і потужності в силових трансформаторах та лініях електропередач

В наш час для компенсації реактивної потужності в низьковольтних і міських електричних мережах найбільш поширеними стали окремі конденсатори чи конденсаторні установки через економічність та практичність вигідних показників.

Необхідність передачі реактивної потужності спричиняє деякі незручності, збільшення струму в мережі, втрати активної потужності, втрати напруги, залежність стійкості вузлів навантаження[1]. Дані проблеми потребують капіталовкладення для їх урегулювання.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

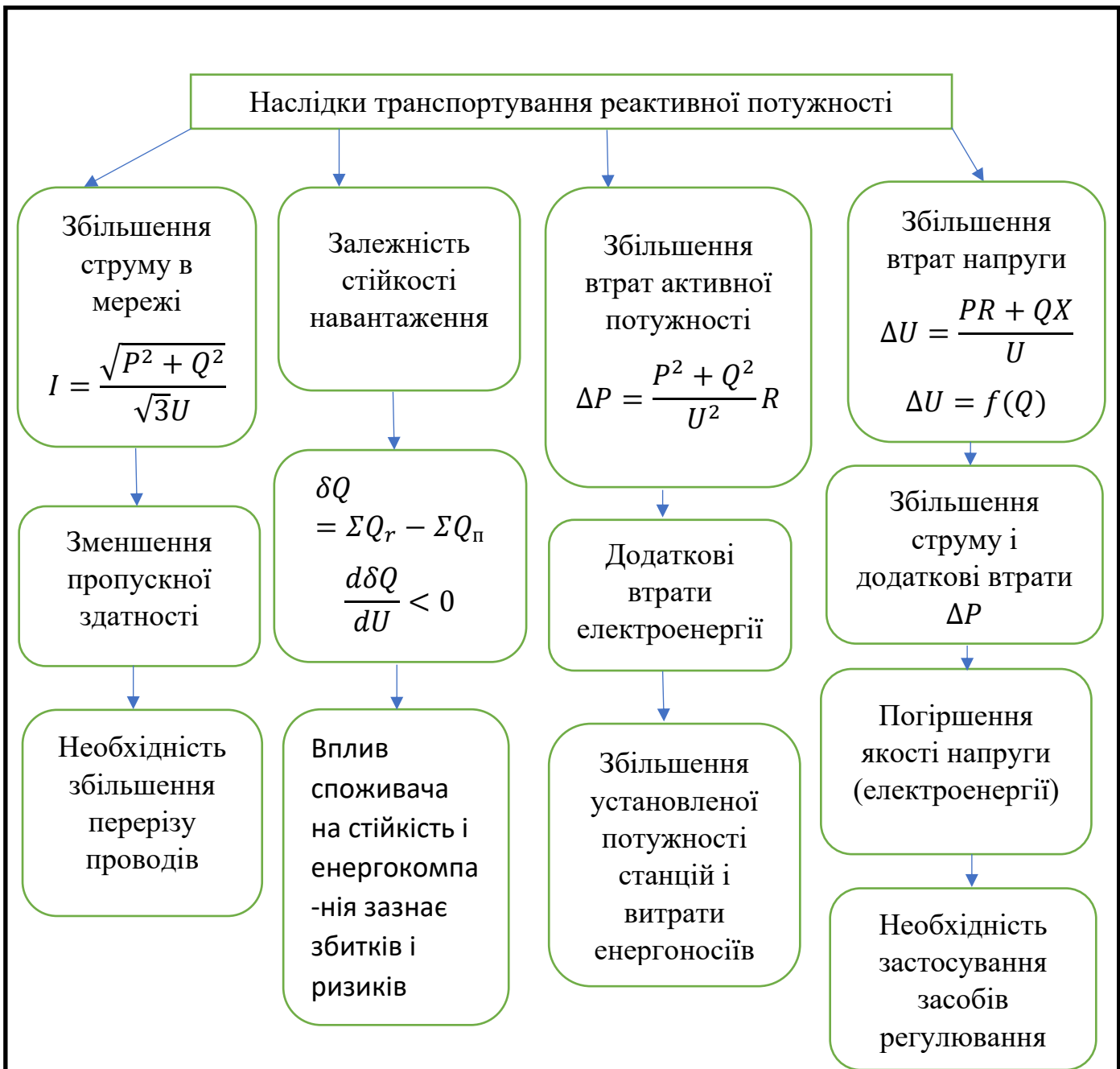


Рисунок 1.2 - Наслідки транспортування реактивної потужності

Конденсаторна установка це електроустановка, склад якої це конденсатори, ошиновка та допоміжне електроустаткування. Призначенням якої є регулювання коефіцієнта потужності в симетричних розподільних мережах змінного струму. Принцип дії наступний. Якщо індуктивний та ємнісні опори рівні, то дії їх струмів будуть взаємно компенсуватися. Реактивна потужність може бути знижена або ж взагалі відсутня, хоча частіш за все повністю компенсувати її не виходить. Так як з'являється ризик перекомпенсації. В загальному намагаються досягти значення в діапазону 0.90-0.95.

Процес компенсації реактивної потужності полягає у зрівнюванні кількості енергії конденсатора (електричного поля) і індуктивності (магнітного поля).

Конденсаторні батареї виробляючи реактивну потужність можуть підвищувати величину напруги у місці встановлення. Отже вони можуть використовуватися не лише в цілях зменшення втрат електроенергії, а також для регулювання напруги споживачів. Як приклад може бути споживач розташований на значній відстані від вузла живлення, що має проблеми з падінням напруги нижче номінальної, для вирішення даної проблеми можна встановити конденсаторну батарею і з її допомогою підвищувати напругу.



Рисунок 1.3 - Конденсаторні батареї

І оскільки окремі конденсатори не дуже потужні, то в цілому їх паралельно з'єднують та розміщують в шафах

1.2 Вплив реактивної потужності на режими роботи електричної мережі.

Основний напрям в експлуатації електромережі робиться на її безпечну та надійну роботу. Потік реактивної потужності має вплив на умови напруги в окремих вузлах системи передачі. Дані потоки можуть приводити до підвищення напруги вище допустимої. Що може призводити до спрацювання пристроїв захисту від напруги.

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9102.002.ДБ				

Тому нормальне використання електричних мереж потребує постійного підтримання одного рівня напруги в вузлах мережі, для цього зазвичай використовують установку компенсуючих пристроїв.

Існує залежність, якщо струм перевищує по фазі напругу, то це має ємнісний характер навантаження і реактивна потужність генерується, в іншому ж випадку, коли струм відстає від напруги це індуктивний характер навантаження і реактивна потужність споживається.

Між генерацією і споживанням реактивної та реактивної потужності є значна різниця. Активна потужність споживається споживачами і лише мала частка втрачається на елементах мережі та обладнання. Реактивна потужність же порівну споживається приймачами та втрачається в елементах мережі.

Генерація активної потужності відбувається такими джерелами

- Генератори електростанцій

Генерація реактивної потужності відбувається за допомогою

- Генератори електростанції
- Синхронні двигуни
- Повітряні та кабельні лінії

Також встановлюються пристрої компенсації:

- Синхронні компенсатори
- Батареї конденсаторів
- Статичні джерела реактивної потужності

Виготовлення реактивної потужності генераторами електростанції не вигідне через додаткові втрати активної потужності, при протіканні реактивної потужності в мережі, через це потрібно зменшувати виготовлення реактивної потужності. Однією з можливостей є переміщення джерела реактивної потужності до споживача та зменшення від потужного генератора.

						141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			17

Передача значної кількості реактивної потужності по мережі призводить до падіння напруги, що недоречно.

Присутність великої кількості реактивної потужності в мережі зменшує пропускну здатність та потребує збільшення номінальної потужності, кількості трансформаторів підстанції і збільшення перетинів проводів.

Керування напругою відбувається за допомогою компенсації реактивної потужності, що може називатися впливом на баланс реактивної потужності на вузол електроенергетичної системи. А за допомогою компенсуючих пристроїв в розподільній мережі зменшуються втрати електроенергії.[2]

Компенсація реактивної потужності використовується задля зменшення втрат електроенергії та активної потужності в елементах електричної мережі, покращення якості електроенергії, через пониження втрати напруги в елементах мережі.

В основному компенсація реактивної потужності дає можливість:

- Запобігання пониженню якості електроенергії, через зниження коефіцієнту потужності.
- Покращення якості електроенергії, що споживається у електроприймачів.
- Підвищення терміну служби трансформатора через зменшення навантаження.
- Зменшити струми у ланцюгах задля пониження навантаження на комутаційне обладнання.
- Вибір меншого діаметру проводів і електричного обладнання при проектуванні, через пониження навантаження на дроти і кабелі.

Коли активно-індуктивне навантаження вмикається в електричну мережу, струм відстає від напруги на певний кут зсуву ϕ . Косинус даного кута $\cos\phi$ має назву коефіцієнт потужності.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.3 Основні споживачі реактивної потужності в електричних мережах

За статистикою основними споживачами реактивної потужності у країні являються[1] :

- Асинхронні двигуни 35%
- Трансформатори 45%
- Лінії електропередач 13%
- Освітлювальні та інші електроприймачі 7%

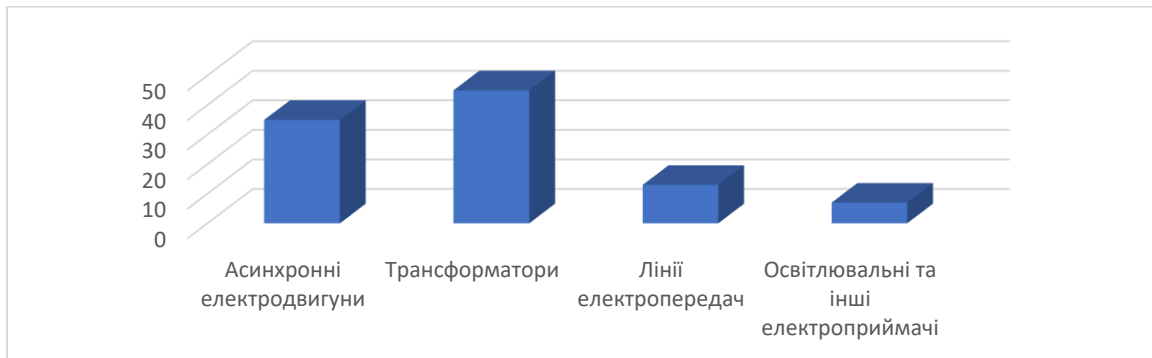


Рисунок 1.4 - Статистика споживачів реактивної потужності по країні

Статистика для промислового підприємства є трохи іншою:

- Асинхронні двигуни 70%
- Трансформатори 20%
- Освітлювальні та інші електроприймачі 10%

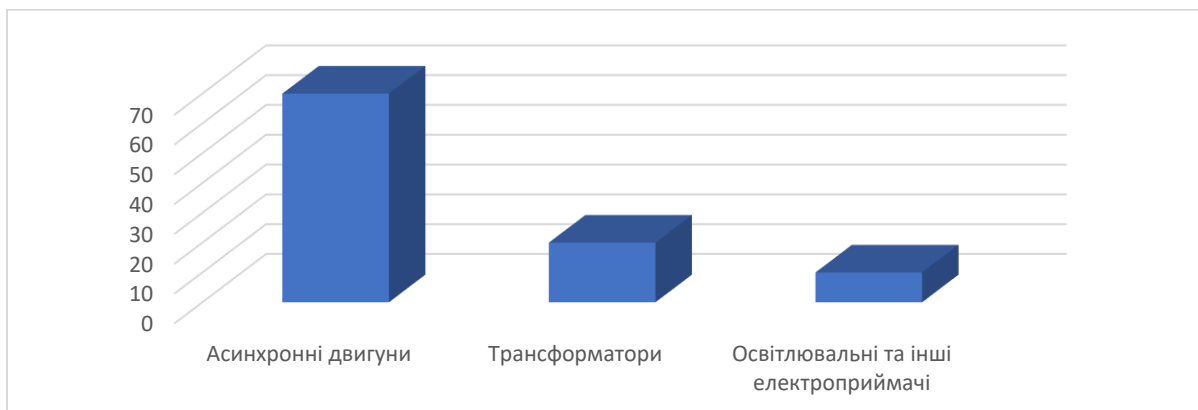


Рисунок 1.5 - Статистика споживачів реактивної потужності в мережах промислового підприємства

Є деякі заходи що допомагають знизити споживання реактивної потужності, серед них штучна компенсація, що часто зветься просто компенсацією, та природна компенсація, що досягається без використання спеціальних компенсуючих пристроїв.

Компенсація реактивної потужності природним шляхом не призводить до великих економічних втрат та повинна відбуватися на підприємствах в першу чергу.

До неї відноситься:

- Замінити на менш потужні малозавантажені трансформатори та двигуни
- Покращити якості ремонту електродвигунів та зменшення перехідних контактних з'єднань
- Понизити напруги у постійно завантажених двигунів
- Відключити частину силових трансформаторів при малій загрузці
- Обмежити тривалість холостого ходу двигунів та трансформаторів , скоротити тривалість та розподіл під час пуску великих електроприладів.
- Замість асинхронного двигуна використовувати синхронний двигун, якщо можливо за технологічним процесом
- Зниження ступенів трансформації задля оптимізації схеми електропостачання

1.4 Синхронні генератори

Синхронна машина має властивість зворотності, тобто може працювати у різних режимах, як генератора або ж двигуна. Маємо що конструкція синхронного генератора та двигуна є однаковою. Синхронний генератор або ж альтернатор, спеціальний пристрій, призначенням якого є перетворення механічної чи іншого виду енергії в змінний струм[3].

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дана машина має дві основні частини:

- Ротор (Рухома частина, що обертається, буває явнополюсна або неявнополюсна)
- Статор (Нерухома частина)

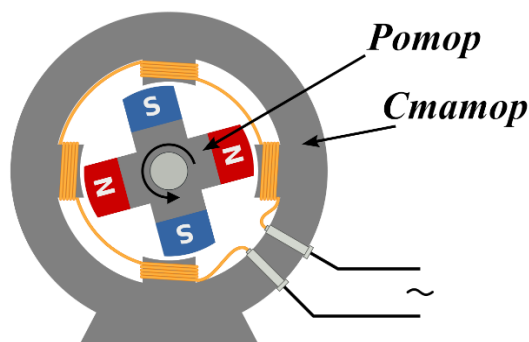


Рисунок 1.6 - Однофазний генератор змінного струму

Щодо принципу дії, то він наступний, магнітна рамка обертається задля створення електричного поля, під час даних обертань виникають магнітні лінії, що перетинають її контури і цей перетин в свою чергу допомагає утворенню електричного струму.

У генераторному режимі обмотка ротора збуджується за допомогою постійного струму. За допомогою стороннього привода з однаковою швидкістю обертається вал ротора. Разом з ротором обертається і його магнітний потік, що призводить до індукції зміни ЕРС в обмотці статора.

Від застосування пристрою залежить і вид механізму що буде приводити в рух якір. Це можуть бути як двигуни внутрішнього згорання, парові чи водяні турбіни.

Характеристиками синхронного генератора описуються його властивості, а саме такими характеристиками:

- Холостого ходу (Залежність ЕРС статора від сили струму збудження

$$E_1 = f(I_2)(1.5)$$

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- Зовнішня (Залежність напруги від сили струму навантаження $U_1 = f(I_H)(1.6)$, при постійній силі струму збудження $I_2 = const$)
- Регульовальна (Залежність сили струму збудження від сили струму статора $I_2 = f(I_H)(1.7)$, при постійній напрузі на навантаженні $U_1 = const$)
- U-подібна (Залежність сили струму статора від сили струму збудження $I_1 = f(I_2)(1.8)$)

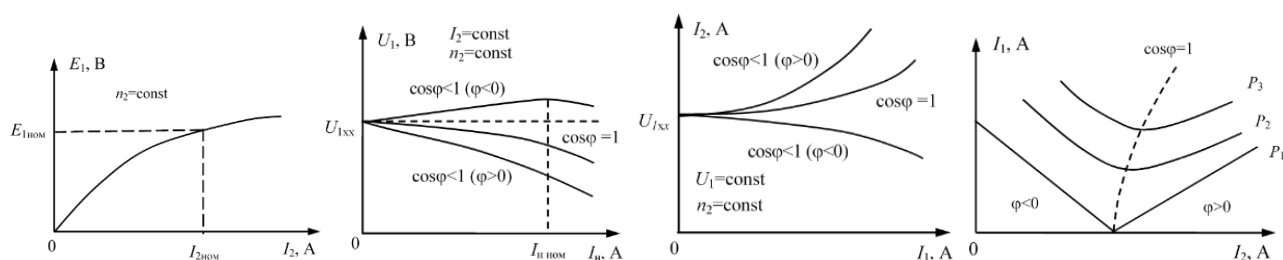


Рисунок 1.7—Вид характеристики холостого ходу, зовнішньої характеристики, регульовальної характеристики та U-подібної характеристики

В загальну класифікацію синхронних генераторів можна включити такі пристрої як:

- Працюючий на паровій турбіні паротурбінний генератор, найбільш поширеними серед яких є двополюсні та чотиріполюсні. В даному випадку ротор великого розміру циліндр з прямокутними пазами, а в додаткових пазах з внутрішньої сторони статора знаходиться обмотка змінного струму. В повільно працюючих машинах використовують ротор у формі зірки чи колеса. В замкнутій системі охолодження розміщують під генератором.

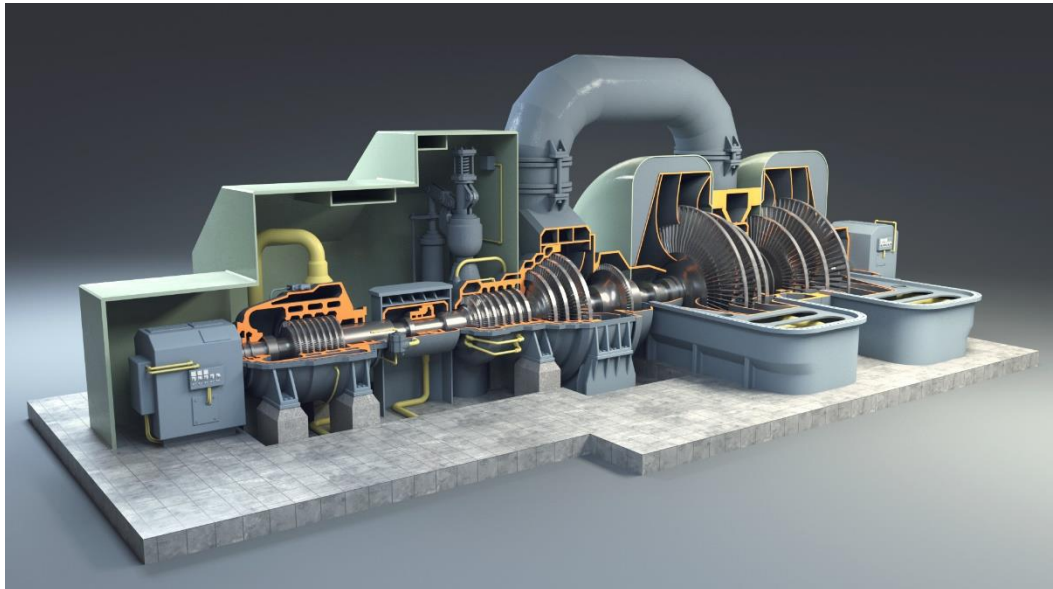


Рисунок 1.8 - Паротурбінний генератор

- Для перетворення механічної енергії в електрику високої частоти використовують високочастотні генератори, дані пристрої працюють за рахунок впливу обертового ротора на статичний ротор задля зміни магнітного потоку. Між собою вони різняться на ті що підвищують струм за допомогою статичних перетворювачів, та ті що виготовляють енергію безпосередньо в машинах.
- За рахунок гідравлічної турбіни працює гідротурбінний генератор, в даних пристроях ротор розміщується на однім валу з турбінним колесом. Значно більший аналогічних пристроїв. Діаметр ротора даного апарату може наближатися до 15 метрів. Великий вплив має швидкість обертання, маховий момент та довжина ЛЕП на потужність даного генератора. Явний полюсний ротор закріплюється на валу, його в свою чергу охоплює статор з прикріпленою на ньому обмоткою.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23



Рисунок 1.9 - Гідротурбінний генератор типу турбіни Френсіс

Широко розповсюдженими стали синхронні трифазні генератори, потужність котрих може змінюватися від мінімальних чисел до кількох мегават. Принцип дії класичних генераторів ґрунтується на тому, що на роторі кріпляться кільця і щітки, що перебувають у контакті зі статором, але оскільки в багатьох випадках даний механізм небезпечний, так як щітки швидко зношуються, а колектор якоря потребує постійного обслуговування в робочому стані. Тому розробили безщіткові синхронні генератори, що усувають всі дані недоліки.

1.5 Синхронні компенсатори

Синхронний компенсатор являє собою синхронний двигун, який працює без механічного навантаження, тобто $E_0 > U_1$. Даний пристрій може як споживати так і генерувати реактивну потужність, за допомогою зміни збудження відповідної обмотки.

									Арк.
									24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9102.002.ДБ				

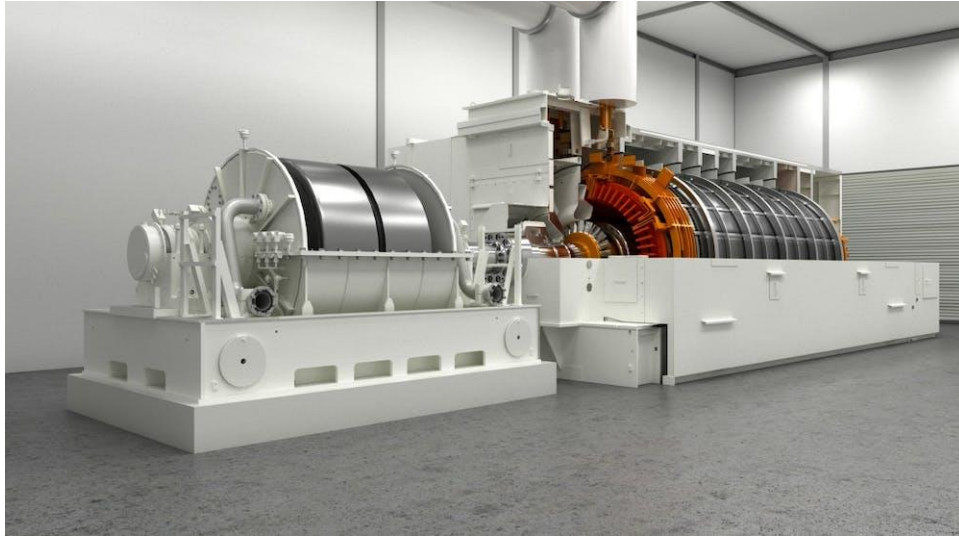


Рисунок 1.10 - Синхронний компенсатор із маховиком

Електричну енергію поділяють на такі складові, як активну потужність і реактивну потужність. Так до числа споживачів реактивної потужності для створення та підтримки магнітного потоку відносять асинхронні двигуни, індукційні печі, трансформатори та інші. Через це розподільні мережі в більшості випадків працюють з відстаючим струмом.

Генерація реактивної потужності відбувається з найменшими втратами, головною ж проблемою являються додаткові втрати при передачі по лініям передач та в трансформаторах.

Синхронний компенсатор може працювати у двох режимах, а саме компенсація реактивної потужності та стабілізація напруги[4].

- Режим стабілізації

Оскільки напруга в мережі завжди коливається, то для її стабілізації струм збудження змінюється так, щоб ЕРС, що створюється в фазній обмотці статора була рівна номінальній фазній напрузі мережі $E_0 = U_{\varphi N}$

Якщо напруга мережі підвищується, то ЕРС буде меншим за фазну напругу мережі і компенсатор перейде в режим недозбудження та почне віддавати реактивний індуктивний струм в мережу. Через це на затискачах трансформатора буде зменшуватись напруга.

									Арк.
									25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9102.002.ДБ				

Якщо ж напруга мережі зменшується, то ЕРС буде більшим за фазну напругу мережі і компенсатор перейде в режим перезбудження та почне віддавати реактивний ємнісний струм в мережу. В наслідок цього на затискачах трансформатора напруга буде зростати.

Якщо потужність компенсатора та мережі приблизно рівні, то ним можна буде регулювати напругу мережі у діапазоні $\pm 1\%$.

- Режим компенсації

Працюючи в режимі компенсації реактивної потужності компенсатор знаходиться в перезбудженні. Генерує реактивну потужність для її споживачів. До вмикання компенсатора в мережу, струм складається з активної та реактивної індуктивної частини.

Після вмикання компенсатор вводить в мережу реактивний струм, що зменшує реактивний струм в мережі. Дана зміна зменшує повний струм мережі, а активна частина не змінюється. Таким чином піднімається коефіцієнт потужності до 0,95-0,98. До одиниці не доводять, так як розміри компенсатора будуть недоцільно збільшені.

Внаслідок даного режиму зменшується навантаження на генератори електростанції, збільшується ККД генераторів, зменшуються втрати, а також зменшується навантаження та втрати на лініях електропередач.

1.6 Статичні тиристорні компенсатори

В наш час основне навантаження на електричну мережу відбувається асинхронними двигунами, різними розподільчими чи перетворюючими трансформаторами або напівпровідниковими перетворювальними апаратами та іншими.

Дане навантаження є споживачем реактивної потужності, за допомогою якого створюється електромагнітне поле та додаткове навантаження виробничого обладнання. Причиною коливання напруги у вузлах навантаження являється різко-змінний характер споживання електроенергії.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Негативний вплив на електричну мережу здійснює навантаження з нелінійною вольт-амперною характеристикою, через створення несинусоїдальних спотворень, серед них:

- Виникнення електромагнітних завад в вимірювальній апаратурі і пристроях керування
- Виникнення вібрацій та нестабільної роботи двигунів
- Виникнення резонансних явищ через компенсацію реактивної потужності
- Виникнення хибних спрацьовувань пристроїв РЗіА
- Виникнення збільшеного нагріву апаратури розподілу і передачі електроенергії та збільшених втрат у діелектричних та провідникових матеріалах
- Виникнення хибних спрацьовування комутаційної апаратури.

Статичні тиристорні компенсатори є одними із захисних механізмів, за допомогою яких відбувається підвищення ефективності енергозбереження і роботи передачі та розподілу електричної енергії.

Складаються статичні тиристорні компенсатори з некерованої батареї, керованого реактора та пристрою керування[5].

Статичні тиристорні компенсатори можуть як споживати реактивну потужність так і генерувати. Також їх поділяють за з'єднанням реактора та батареї конденсаторів таким чином:

- Паралельне з'єднання

$$Q_{\text{СТК}} = \pm \left(\frac{U^2}{x_L} - \frac{U^2}{x_C} \right) (1.9)$$

- Послідовне з'єднання

$$Q_{\text{СТК}} = \frac{U^2}{x_L - x_C} (1.10)$$

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

141.ЕК9102.002.ДБ



Рисунок 1.11 - Статичний тиристорний компенсатор

Основними видами статичних тиристорних компенсаторів є промислові установки типу дугових сталеплавильних печей, для високовольтних ліній електропередач та тиристорні приводи прокатних станів. Для тягових підстанцій електрифікованих залізниць існує спеціальна модифікація статичних тиристорних компенсаторів.

В залежності від виконуваних функцій розрізняють:

Функції для ліній електропередач

- Стабілізація напруги
- Зменшення внутрішніх перенапруг
- Збільшення статичної і динамічної стійкості передачі
- Зменшення похибки напруги при великих збуреннях в мережі
- Фільтрування струмів вищих гармонік
- Підвищення можливості передачі через покращення стійкості при великій переданій потужності.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Функції для дугових сталеплавильних печей

- Збільшення продуктивності печі
- Зменшення коливань напруги у мережі
- Зменшення використання електродів
- Збільшення середнього коефіцієнта потужності
- Нормалізація напруги на шинах навантаження
- Змога підключення печей до низькопотужних систем

Функції для тягових підстанцій залізниць та промислових установок

- Зменшення струмів вищих гармонік
- Зменшення коливань напруги
- Збільшення коефіцієнта потужності
- Балансування навантажень

За допомогою статичних тиристорних компенсаторів здійснюють розвантаження мережевих трансформаторів та живлять лінії електропередач від реактивної потужності через що знижується величина активних втрат та чинного струму. Це надає змогу збільшити пропускну здібність не встановлюючи нове обладнання. Терміном окупності даного пристрою являється від одного до трьох років.



Рисунок 1.12 - Статичні тиристорні компенсатори

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Тобто статичні тиристорні компенсатори являються очисними системами в енергетичному середовищі. Дані пристрої підвищують якість електроенергії, зменшують активні втрати на передачу.

Головними ефектами від статичних тиристорних компенсаторів являються:

- Збільшення показників виробництва
- Покращення надійності роботи мережі
- Покращення терміну служби обладнання
- Зменшення втрат при розподілі і передачі електроенергії
- Покращення коефіцієнта потужності
- Зменшення завантаження устаткування розподілу і передачі електроенергії

1.7 Конденсаторні батареї

Конденсаторна батарея це простий і надійний статичний пристрій. Пристрій складається з окремих конденсаторів, котрі виготовляються на різні номінальні напруги і потужності з'єднаних між собою.



Рисунок 1.13 - Конденсаторні батареї

						141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			30

Конденсатор формується з двох провідників поділених діелектриком. Пристрій має змогу як розряджатися, тобто віддавати заряд, так і заряджатися, коли до нього прикладена напруга. Його заряд збільшується разом із ємністю та напругою прикладеною до провідника. Ємність залежить від внутрішньої поверхні провідників та відстанню між ними, котрі складають конденсатор. Більше площа, та менша відстань збільшують ємність.

За допомогою діелектрика заповнюється прошарок між провідниками. Діелектриком в свою чергу являється матеріал з низькою електропровідністю або ж високою ізоляційною властивістю. Повітря, синтетичну плівку, кераміку, конденсаторний папір, дані матеріали можна віднести до діелектриків.

Діелектрик для конденсатора повинен при високій напрузі та невеликій товщині зберігати ізолюючі властивості. Якість діелектрика рахується кращою, в випадку вищої діелектричної проникності або ж здатністю акумулювати електричний заряд.

Як і будь-який елемент мережі конденсатор має втрати активної потужності, вони призводять до нагріву. Втрати збільшуються по мірі збільшення прикладеної напруги, частоти та ємності. Залежать втрати також і від діелектрика, а саме тангенса кута діелектричних втрат. Втрати можуть варіюватися в залежності від типу та призначення конденсатора, так вони коливаються від 0,5 до 4 Вт/кВАр.

Конденсаторну установку складає конденсаторна батарея разом із засобами захисту та комутаційною апаратурою. Так конденсаторні батареї без цього являються нерегульованими та мають негативний регулюючий ефект, що являється недоліком. З цього виходить, що зі зменшенням прикладеної напруги знижується і потужність конденсаторних батарей, що протирічить нашій меті її збільшувати.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



Рисунок 1.14 - Конденсаторна установка або ж установка компенсації реактивної потужності

Щоб позбутися даного негативного ефекту використовують конденсаторні батареї з декількома секціями, кожна з яких підключається до мережі окрема через свій вимикач та має регулятор напруги і потужності.



Рисунок 1.15 - Високовольтна конденсаторна установка

									Арк.
									32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9102.002.ДБ				

В даному випадку потрібна зона нечутливості в регуляторі напруги, оскільки при зменшенні напруги і ввімкненні додаткової секції відбудеться підвищення напруги і спрацює уставка спрацювання на відімкнення даної секції. Що неприпустимо, оскільки це призводить до нестійкої роботи конденсаторної установки. Можливість даного випадку збільшується в залежності від потужності секції та зони нечутливості.

Конденсаторні батареї повинні мати розрядні пристрої, котрі можуть бути відсутні, якщо конденсаторна установка під'єднана до мережі через трансформатор, а також між трансформатором і конденсатором немає комутаційного обладнання. Установки до 1кВ при відсутності розрядних резисторів оснащуються розрядними резисторами. Від 1кВ трансформаторами напруги[6].

Час розряду конденсаторів визначається за наступною формулою

$$t_p = R_p \cdot C \cdot \ln \frac{U_k}{U_t} \quad (1.11)$$

В якій R_p розрядний опір, C ємність установки, U_k напруга конденсаторів після вимкнення, U_t безпечна напруга.

1.8 Статичні вентильні джерела реактивної потужності

Самими простими пристроями компенсації реактивної потужності являються конденсатори комутовані тиристорами та реактори керовані тиристорами[7].

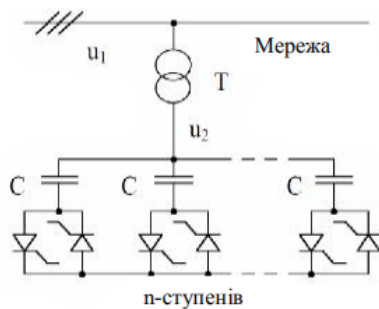


Рисунок 1.16 - Конденсатори комутовані тиристорами

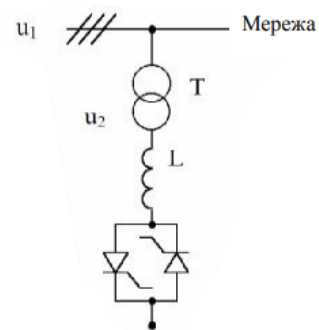


Рисунок 1.17 - Реактори керовані тиристорами

								Арк.
								33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9102.002.ДБ			

Переваги та недоліки даних компенсаторів:

- Простота
- Дискретність регулювання величини реактивної потужності
- Затримка підключення чергових ступенів

Конденсатори, які комутуються тиристорами (рис 1.16) використовують, якщо потрібно в мережу додати ємнісний реактивний струм. Компенсацію ємнісного струму в свою чергу виконують компенсатором індуктивної реактивної потужності, що являє собою реактор керований тиристорами(1.17).

1.9 Шунтуючі реактори

За допомогою шунтуючого реактора компенсують ємнісну реактивну потужність, яка виникає на протяжних слабо навантажених лініях передач[8].

Основні вимоги до нього протягом останнього часу не змінювалися, серед них:

- Синусоїдальна форма споживання струму
- Великий коефіцієнт регулювання
- Можливість безпосереднього підключення до високовольтної мережі
- Висока швидкість відгуку
- Низька втрата активних матеріалів та малий рівень втрат
- Ремонтопридатність, проста конструкція та виробництво

Вимкнення та ввімкнення пристроїв відбувається вимикачами.

Підключається в основному до третинної обмотки трансформатора. Може бути підключеним як до лінії так і до шини підстанції.

Призначенням реакторів являється компенсація надлишку заряду потужності, стабілізація напруги у вузлах навантаження та зменшення втрат електроенергії в мережі.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.18 - Керований шунтуючий реактор

Цим досягається:

- Обмеження коливання напруги
- Зниження втрат при розподілі та транспортуванні енергії до споживачів
- Зменшення рівня зносу комутаційного обладнання

Шунтуючі реактори розраховані для напруг 35-750кВ. У використанні є регульовані та нерегульовані реактори. За конструкцією шунтуючі реактори схожі на силові трансформатори.

За допомогою регульованих реакторів відбувається зміна споживаної реактивної потужності за сигналами управління. Дане керування здійснюється шляхом зміни параметрів через підмагнічування, що можливо лише за феромагнітного магнітопроводу. Від конструкції та напруги залежить і діапазон керування. Даний реактор показує свою ефективність в обмеженні коливань напруги в мережах.

Нерегульований в свою чергу має лише два стани, споживання близької до номінальної реактивної потужності або не споживає. Поглинання варіюється в межах 0.8-1.1.

Розподіл напруги та струму в будь-якій точці лінії можна дізнатися за наступними формулами:

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$U_x = U \cdot \frac{\cos\left(\frac{\lambda}{4 - \lambda_x}\right)}{\cos\left(\frac{\lambda}{4}\right)} \quad (1.12)$$

$$I_x = j \frac{U}{Z_{S1}} \cdot \frac{\sin\left(\frac{\lambda}{4 - \lambda_x}\right)}{\cos\left(\frac{\lambda}{4}\right)} \quad (1.13)$$

В яких $\lambda, \lambda_x, \frac{\lambda}{4}$ довжина частини лінії, відлік йде від кінця лінії, Z_{S1} імпульсний опір лінії без врахування втрат.

1.10 Баланс реактивної потужності в електричній мережі

Споживання та генерація електричної енергії нерозривно зв'язані, оскільки передача енергії, як і її споживання відбувається майже миттєво. Кількість переданої енергії завжди залежить від потреб споживача. Отже для нормальної роботи електричної мережі потрібен зв'язок між споживачем і виробництвом. І важливою частиною цього є баланс активних та реактивних потужностей[9].

$$\Sigma P_r = \Sigma P_c + \Sigma \Delta P \quad (1.14)$$

ΣP_r - генерація активної потужності

ΣP_c - споживання навантаженням активної потужності

$\Sigma \Delta P$ - втрати активної потужності в мережі

$$\Sigma Q_r = \Sigma Q_c + \Sigma \Delta Q \quad (1.15)$$

ΣQ_r - генерація реактивної потужності

ΣQ_c - споживання навантаженням реактивної потужності

$\Sigma \Delta Q$ - втрати реактивної потужності в мережі

Математично доведено наступне:

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Баланс активних потужностей в більшій мірі впливає на змінний стрім та меншій на напругу у вузлах системи
- Баланс реактивних потужностей має великий вплив на напругу у вузлах системи

Основною нашою задачею являється підтримання частоти та напруги згідно нормативних показників якості електроенергії та забезпечення балансу потужностей.

В кожному вузлі системи напруга різна, оскільки це локальний параметр. Так як на нього впливає реактивна потужність, то будь-яка в ній зміна призведе до установки нового режиму при іншому значенні напруги.

Маємо два види небалансу напруги у вузлі мережі

- Збільшення кількості згенерованої реактивної потужності або ж зменшення її споживання призводить до такого небалансу $Q_r > Q_c$. В даному випадку частота змінного струму у системі зростає.
- Зменшення згенерованої реактивної потужності чи збільшення її споживання призведе до небалансу виду $Q_r < Q_c$. Тут будемо спостерігати падіння напруги у вузлі

1.11 Керування компенсуючими установками

За допомогою пристроїв автоматичного чи ручного керування компенсуючі установки використовуються більш економно. Ними можна частково чи повністю керувати потужністю компенсуючих установок в різні періоди навантаження, що дозволяє виключити перекомпенсацію реактивної потужності, що впливає на збільшення втрат та напруги мережі.

Синхронний двигун зазвичай має пристрій автоматичного керування збудженням, що дає йому змогу працювати як споживач реактивної потужності при недозбудженні так і генератором реактивної потужності при перезбудженні, коли в мережі максимум навантаження.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конденсаторні батареї великої потужності поділяються на секції заради здійснення одноступінчатого чи багатоступінчатого регулювання.

- Одноступінчате регулювання використовується коли графік споживання рівномірний. При такому керуванні вся потужність вмикається або вимикається в деякий час або при деякому рівні напруги.

- Багатоступінчате дозволяє керувати секціями конденсаторних батарей, проте частина батарей повинна завжди бути ввімкненою.

Використовується при нерівномірних графіках споживання.

Вибір способу автоматичного керування реактивної потужності, параметрів та схеми керування залежить від таких параметрів як реактивні струми, рівень напруги та час доби.

Зазвичай на підприємствах використовують керування за часом доби та рівнем напруги. Регулювання за часом доби використовується коли реактивна потужність не здійснюється чи міняється в часі. І залежачи від ступінчатості використовують один чи систему годинників ЕВЧС-24.

По напрузі керується при живленні від нерегульованого силового трансформатора, коли потрібно одночасно змінювати напругу та реактивну потужність. Також потрібне реле часу для захисту від тимчасових навантажень.

Деколи використовують комбіноване керування, час доби з напругою. Для того щоб конденсаторні батареї не підключалися в зарядженому стані використовують реле часу з витримкою в кілька хвилин, котрі необхідні для розрядки батареї.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

ВИСНОВКИ

В даному розділі розглянуто основи компенсації реактивної потужності. Негативні наслідки передачі реактивної потужності такі як зменшення пропускної здатності, збільшення втрат активної потужності та напруги, та вирішення цих проблем за допомогою капіталовкладення.

Були розглянуті споживачі та джерела генерації реактивної потужності та описані плюси компенсації реактивної потужності, такі як підвищення терміну служби трансформаторів, покращення якості електроенергії, зменшення струму у ланцюгах та інше.

Побудовані графіки основних споживачів реактивної потужності в цілому в країні та на підприємствах, описані заходи, які можуть прийматися на підприємстві задля компенсації реактивної потужності.

Були розглянуті синхронні генератори, їх види в залежності від механізму що приводить в рух якір.

Режими синхронного компенсатора, стабілізації та компенсації, збудження та недозбудження.

З'єднання статичних тиристорних конденсаторів та їх головні ефекти, такі як покращення надійності роботи мережі, покращення терміну служби обладнання, зменшення втрат при розподілі і передачі електроенергії та інше.

Ознайомлення з конденсаторними батареями та конденсаторними установками, особливістю їх виготовлення на різні потужності і номінальні напруги.

Розглянули аспекти автоматичного та ручного керування компенсуючими установками, одноступінчате та багаступінчате регулювання секціями конденсаторних батарей.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ПС 35/10 КВ

2.1 Схема електричних з'єднань підстанції. Загальна характеристика. Склад обладнання підстанції.

Схема електричних з'єднань підстанції являється комплексом основного електроустаткування, комутаційного обладнання, збірних шин та інших елементів.

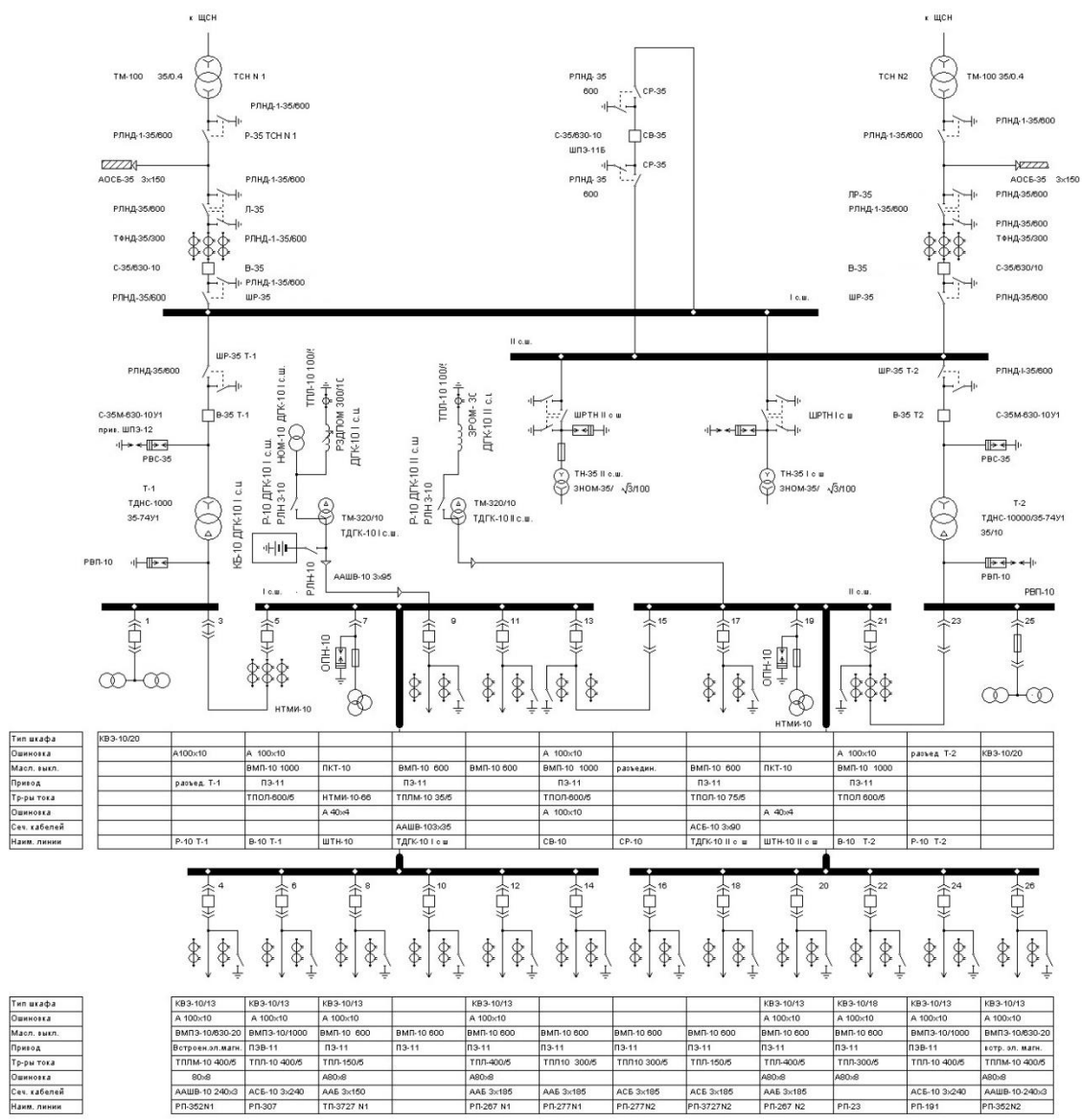


Рисунок 2.1 - Схема електричних з'єднань підстанції 35/10 кВ

141.ЕК9102.002.ДБ				
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Бомблюк В.П.			
Перевірив	Хоменко О.В.			
Реценз.				
Н. Контр.	Настенко Д.В.			
Утвердив	Марченко А.А.			
Характеристика об'єкта ПС-35/10кВ				
		Літ.	Аркуш	Аркушів
		40	64	
КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-91				

В даній роботі було використано електричну мережу ПС 35/10 кВ.

Ми маємо схему головної знижувальної підстанції.

РУ-35кВ система збірних шин з секційним вимикачем.

РУ-10кВ система збірних шин з секційним вимикачем.

Живлення підстанції відбувається по двом кабельним лініям 35кВ, кабелем ОСБ-35 3*150.

В якості джерел живлення основного обладнання використовуються два трансформатори власних потреб з переключенням без збудження ТМ-100 35/0,4

Встановлені два трансформатори ТДНС 10000 35-74У1 , це силові трансформатори, трифазні, двообмоткові , з примусовою циркуляцією повітря, природньою циркуляцією масла, регулюванням напруги під навантаженням. Понижують напругу з 35кВ до 10кВ.

Використовуються вимірювальні трансформатори, шинні і лінійні роз'єднувачі, обмежувачі перенапруг, вентиляльні розрядники, масляні вимикачі, дугогасні реактори.

Також важливою частиною є релейний захист та автоматика.

2.2 Силові трансформатори підстанції

Трансформатором називають статичний електромагнітний пристрій, що має дві чи більше індуктивно-пов'язаних обмоток та призначення якого перетворення за допомогою первинної та вторинної системи змінного струму[10].

За призначенням ділять на силові спеціального та загального використання. До спеціальних відносять пічні, випрямні, вимірювальні, випробувальні трансформатори. До загального ж відносяться ті, що використовують у розподілі електроенергії та лініях електропередачі.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

На даній підстанції встановлено два силових трансформатора ТДНС-10000/35-74У1 напругою 35/10кВ, потужність 10МВА кожен.

Структура умовного позначення ТДНС-10000/35-74У1

Т-трансформатор трифазний

Д- примусова циркуляція повітря та природна циркуляція масла

Н-керування напругою під навантаженням

С-використовується для власних потреб

10000- номінальна потужність кВА

35-клас напруги обмотки ВН

74-рік розробки

У1-кліматичне виконання і категорія розміщення

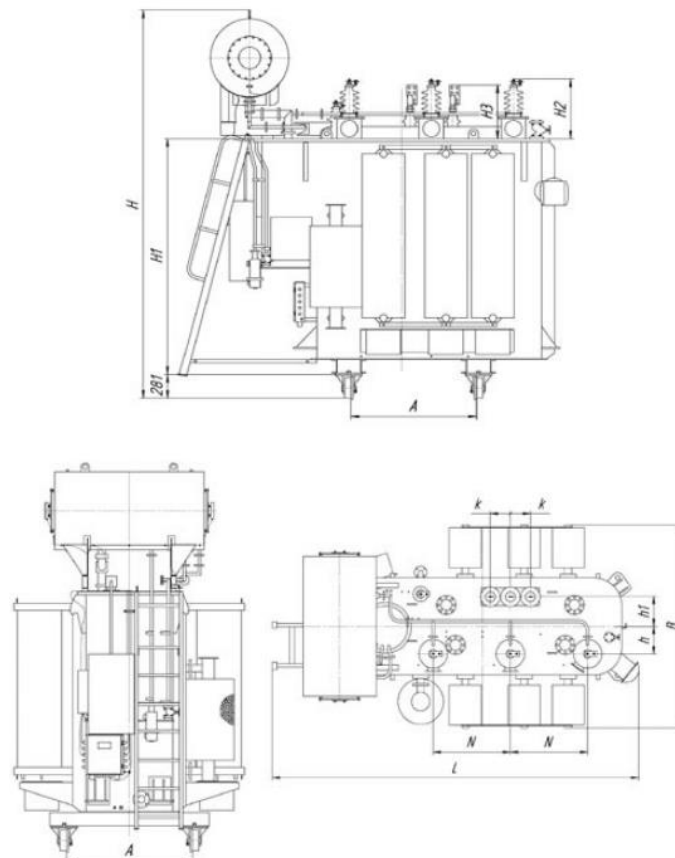


Рисунок 2.2 - Трансформатор типу ТДНС-10000/35 У1

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Трансформатор силовий, трифазний, двообмотковий, з примусовою циркуляцією повітря, природньою циркуляцією масла, регулюванням напруги під навантаженням, з діапазоном керування $\pm 8 * 1,5\%$ зі сторони ВН

Умови використання:

- Висота над рівнем моря до 1000м
- Температура для помірного клімату від -45°C до $+30^{\circ}\text{C}$
- Відносна вологість повітря не більше 80% при $+25^{\circ}\text{C}$

Технічні характеристики трансформатора ТДНС-10000/35-74У1

Таблиця 2.1 - Параметри трансформатора

Номінальна потужність, кВА	Напруга, кВ		Схема і група приєднань	Втрати кВТ		Напруга К.З. %	Струм Х.Х. %	Маса, кг
	ВН	НН		Х.Х.	К.З.			
10000	36,75	10,5	Ун/Д-11	8,5	60	8	0,3	20500

2.3 Збірні шини підстанції

Генератори, трансформатори, вводи і відводи ліній, це все приєднується до збірних шин. Збірні шини можна назвати вузловим пунктом схеми, так як через них протікає вся потужність станції[11].

Маємо схему двох одиничних секціонованих вимикачами системи шин.

Ошиновка сторони 10кВ виконана різними марками проводів

Таблиця 2.2 - Параметри проводів

Марка проводу	Переріз, мм ²	Матеріал електропровідних жил	Максимальний робочий струм, А	Діапазон температур експлуатації
А-100	100	алюміній	205	-60...+40
А-80	80	алюміній	180	-60...+40

									Арк.
									43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9102.002.ДБ				

Продовження таблиці 2.2.

A-40	40	алюміній	110	-60...+40
------	----	----------	-----	-----------

2.4 Комутаційне обладнання підстанції

Комутаційне обладнання підстанції призначене для відключення чи включення ділянок електричної мережі, силового обладнання або навантаження, що залежить від необхідності[12].

Комутаційна апаратура поділяється на роз'єднувачі, вимикачі, короткозамикачі, відокремлювачі, реле та інші.

Роз'єднувачі використовуються для швидкого розмикання електромережі. Так називають комутаційні апарати, що створюють видимий ізоляційний повітряний проміжок між контактами. Використовують для безпечного проведення ремонтних та профілактичних робіт на енергетичних об'єктах.

Вимикачі часто використовують автоматичні. Вимикачі можуть вимикати та вмикати робочі струми навантаження. Можуть деякий час витримувати К.З. та вимикати його.

Таблиця 2.3 - Комутаційне обладнання підстанції

Вид обладнання	Тип обладнання	Кількість обладнання
Вимикач	C-35/630-10	3
	C-35M-630-10У1	2
	ВМП-10 600	11
	ВМП-10 1000	3
	ВМПЭ-10/1000	2
	ВМПЭ-10/630-20	2
	Роз'єднувач	РЛНД-1-35/600
РЛНД-35/600		12
РЛНЗ-10		2

2.5 Захисне обладнання

Захисне обладнання необхідно для забезпечення безпеки електричного обладнання та апаратури. Серед них обмежувачі перенапруг, розрядники та заземлювачі.

Таблиця 2.4 - Параметри розрядників

Модель розрядника	РВС-35
Тип розрядника	Вентильний
Клас напруги, кВ	35
Номінальна напруга, кВ	40,5
Напруга пробою, сухо і під дождем, кВ	
не менше	78
не більше	98
Імпульсна напруга пробою	125
Залишкова напруга	
при амплітуді 5кА	130
при амплітуді 10кА	143
Струм витоку, мкА	
Маса, кг	73
Висота, мм	1280
Кількість на ПС, шт	2
Модель розрядника	РВП-10
Тип розрядника	вентильний
Клас напруги, кВ	10
Номінальна напруга, кВ	12,7
Напруга пробою, сухо і під дождем , кВ	
не менше	
не більше	26
	30,5
Імпульсна напруга пробою	48

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

Залишкова напруга при амплітуді 3кА	43
при амплітуді 5кА	45
Струм витоку, мкА	6
Маса, кг	4,2
Висота, мм	411
Кількість на ПС, шт	2

Обмежувач перенапруги пристрій для захисту від комутаційних та грозових стрибків високої напруги. Основа його дії в іскровому проміжку, в саме вольт амперній характеристиці варисторів, що в ньому встановлені.

При спрацюванні, коли виникає перенапруга, утворюється імпульс струму, який знижує перенапругу до безпечної для використання.

Таблиця 2.5 - Параметри обмежувача напруги

Тип ОПН	Клас мережі, кВ	Номінальна напруга, кВ	Залишкова напруга, кВ	Кількість на ПС, штук
ОПН-10	10	9	26-20-38	2

2.6 Вимірювальні трансформатори напруги і струму підстанції

Вимірювальні трансформатори напруги і струму використовуються для збільшення меж вимірювання, вони забезпечують безпеку обслуговування та спрощують ізоляцію струмопровідних частин[1]. Трансформатори струму використовуються для включення амперметрів та кіл струму вимірювальних приладів та реле. Трансформатори напруги в свою чергу для ввімкнення вольтметрів, ватметрів, фазометрів, реле та інших приладів.

В нашій схемі використовується трансформатор НТМИ-10 це трифазний маслонаповнений вимірювальний трансформатор напруги. Призначений для зменшення високої первинної напруги до значень придатних до вимірів та виробляє сигнал для вимірювальних приладів електричної енергії та слугує для живлення реле захисту, автоматики та сигналізації.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розшифровується дана аббревіатура наступним чином

Н-трансформатор напруги

Т-трифазний

М-масляний (природнього масляного охолодження)

И-вимірювальний з додатковою обмоткою

Таблиця 2.6 - Параметри вимірювального трансформатора

Назва трансформатора	НТМИ-10
Номінальна первинна напруга, кВ	10
Найбільша робоча напруга, кВ	12
Номінальна вторинна напруга, кВ	0,1
Найбільша потужність ВА	1000
Похибка по напрузі, %	0,5
Маса, кг	81
Охолодження трансформатора	Природньо-масляне

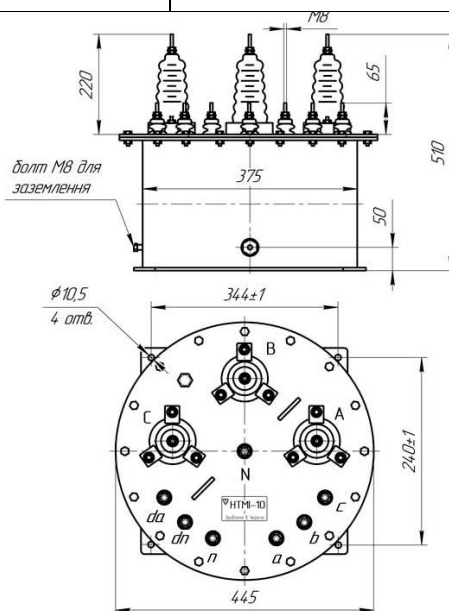


Рисунок 2.3—Трансформатор типу НТМИ-10

2.7 Вимірювальні прилади

Технічні засоби, які генерують сигнали вимірювальної інформації у вигляді, яка доступна спостерігачу називаються електровимірювальними

									Арк.
									47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9102.002.ДБ				

приладами. Вони надають можливість вимірювати як неелектричні так і електричні величини. На шкалах приладів виноситься або назва приладу, або є одиниця котру він вимірює.

Прилади класифікують за наступними чинниками

- Рід струму
- Рід величини, що вимірюється
- Клас точності
- Фізичний принцип дії механізму вимірювання
- Тип пристрою відліку
- Захист від зовнішніх електричних та магнітних полів
- Стійкість приладу до механічних впливів

В залежності від роду струму прилади поділяють на трифазну, несиметричну трифазну систему, змінний струм, постійний або змінний і постійний.

Від вимірювальної величини прилади розділяють на:

- Ватметр
- Амперметр
- Вольтметр
- Омметр
- Частотомір
- Фазометр
- Лічильник енергії

Вимірювальні прилади виготовляються з наступними класами точності: 0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; 4,0 . Лічильники електроенергії мають такі класи точності: 0,5 ; 1,0 ; 2,0 ; 2,5 .

В залежності від фізичного принципу дії існують такі системи вимірювальних приладів:

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Електромагнітна
- Електродинамічна
- Електростатична
- Магнітоелектрична
- Феродинамічна
- Індукційна
- Вібраційна

Вимірювальні прилади в залежності від призначення поділяють на такі типи:

- Інтегруючі
- Показуючі
- Самопишучі
- Друкуючі
- Підсумовуючі
- Реєструючі

Захист вимірювальних приладів від зовнішніх електричних і магнітних потоків відбувається за допомогою екранів. В залежності від даного захисту прилади поділяють на I і II категорії.

Від здатності приладів переносити механічний вплив, їх класифікують наступним чином:

- Удароміцні
- Віброміцні
- Трясінняміцні
- Підвищеної міцності
- Нечутливі до вібрацій
- Нечутливі до трясіння

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.8 Власні потреби підстанції

Витрати на власні потреби підстанції рахуються як спожита підстанцією енергія з енергосистеми та врахована лічильниками трансформаторів власних потреб[13].

В власні потреби входить наступне:

- Обігрів приводів роз'єднувачів, відокремлювачів, баків масляних вимикачів, розмикачів, шаф управління, приміщень.
- Живлення ланцюгів управління і оперативних ланцюгів
- Освітлення території, приміщень.
- Вентиляція приміщень
- Охолодження трансформаторів
- Інше

На даній нам підстанції встановлено два трансформатори власних потреб, а саме ТМ-100 35/0,4 .

Це стаціонарний силовий масляний трифазний двообмотковий понижуючий трансформатор загального призначення. Має масляне природне охолодження і вбудований в трансформатор прилад для регулювання напругою методом переключення без збудження.

Таблиця 2.7 - Параметри трансформатора власних потреб ТМ-100/35

Тип трансформатора	Номінальна потужність, кВА	Номінальна напруга, кВ		Схема і група з'єднань	Напруга К.З., %	Струм Х.Х., %	Втрати	
		ВН	НН				Х.Х.	К.З.
ТМ-100/35	100	35	0,4	У/У _Н -0	6	2,1	380	1970-
				У/З _Н -11				2270

2.9 Засоби релейного захисту і автоматики підстанції

Враховуючи важливу роль підстанцій в енергосистемі, вони повинні бути добре захищеними та надійними. З цим допомагають пристрої протиаварійної автоматики та релейного захисту[14].

Основним засобом релейного захисту і автоматики являється автоматичне повторне ввімкнення.

Воно допомагає при непостійних коротких замиканнях. Коли внаслідок КЗ релейний захист дає сигнал на вимкнення вимикача, уражена ділянка знеструмлюється, а КЗ внаслідок непостійності зникає, через деякий час витримки АПВ надає команду на ввімкнення вимикача. Це допомагає зменшити втручання людини, так як в випадку відсутності АПВ потрібно було б викликати робочу бригаду, що ще вимагає часу.

Автоматичне частотне розвантаження відіграє велику роль, воно запобігає виникненню лавини частоти. Основною метою являється відключення найменш важливих споживачів для підтримання нормального рівню частоти і напруги на важливих ділянках. Дана ситуація може виникнути внаслідок дефіциту активної енергії, через відключення джерела енергії.

Також важливим засобом автоматики є регулювання під навантаженням трансформатора. Це надає можливість змінювати коефіцієнт трансформації без його відімкнення від мережі.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

2.10 Розрахунок струмів короткого замикання на шинах підстанції

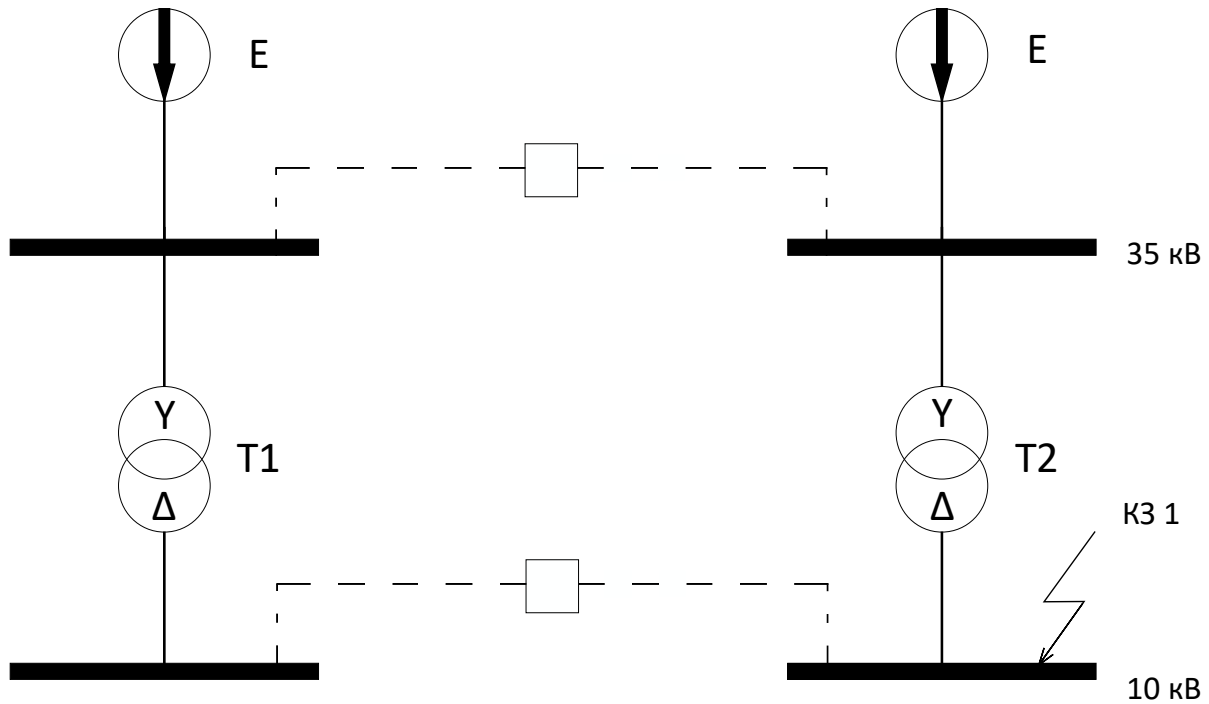


Рисунок 2.4 - Спрощена схема підстанції

Розглянемо випадок короткого замикання у точці КЗ 1 на шинах підстанції. Так як у нашій електричній установі напруга вище 1кВ, то розрахунок струму короткого замикання ведемо у відносних одиницях.

Розрахунок проводимо у відносних одиницях. Маємо наступні базові величини:

$$S_6 = 100\text{MVA}$$

$$U_6 = 10\text{кВ}$$

Після спрощення розрахункової схеми, маємо схему заміщення:

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

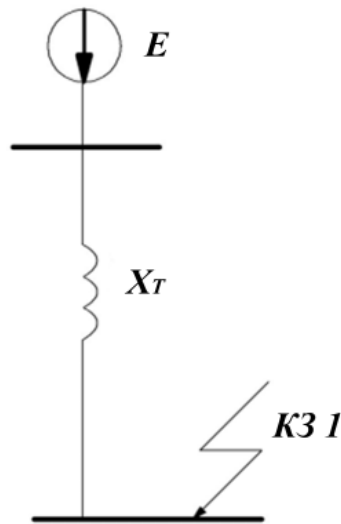


Рисунок 2.5 - Схема заміщення мережі

Базисний струм рахуємо за формулою $I_{\delta} = \frac{S_{\text{баз}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{баз}}}$, виходячи з того, що джерело живлення є нескінченно потужним.

$$I_{\delta} = \frac{S_{\text{баз}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{баз}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,77 \text{ кА} (2.1)$$

Наступним визначимо опір елементів:

$$X_{T\%} = u_k = 8\%$$

$$X_T = \frac{X_{T\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_T} = \frac{8}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,8 \text{ Ом} (2.2)$$

Визначаємо значення періодичної складової трифазного ударного струму КЗ у точці К1

$$I_k = \frac{E}{X_T} \cdot I_{\delta} = \frac{1}{0,8} \cdot 5,77 = 7,2125 \text{ кА} (2.3)$$

Знайдемо значення ударного струму при $K_{уд} = 1,85$ взятого з таблиці

$$K_{удК1} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_k = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,2125 = 18,87 \text{ кА} (2.4)$$

									Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	141.ЕК9102.002.ДБ				

2.11 Перевірочний вибір обладнання підстанції

Одним із важливих етапів проектування та експлуатації є перевірка обладнання. Це потрібно для правильного вибору обладнання для об'єкту, щоб воно могло працювати без проблем в нормальному режимі, витримувати термічний вплив і буде в змозі відключити з малими наслідками струм короткого замикання.

Ми проведемо перевірку вимикача.

Вона буде ґрунтуватися на таких умовах:

- Напруга установки $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{мережі.ном}}$.
- Тривалий номінальний струм $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{ном.розр}}; I_{\text{вкл}} \geq I_{n0}; i_{\text{вкл}} \geq i_{\text{уд}};$
 $i_{\text{пр.скв}} \geq i_{\text{уд}}$.
- Термічна стійкість $I_T^2 t_T \geq B_h$

Будемо перевіряти вимикач котрий найбільше використовується на нашій підстанції, а саме ВМП-10/600

$$U_{\text{н}} = 10\text{кВ}$$

$$I_{\text{н}} = 630\text{А}$$

$$I_{\text{відкл}} = 30\text{кА}$$

$$I_{\text{терм}} = 30\text{кА}$$

$$T_{\text{н}} = 1\text{с}$$

Зробимо перевірку на електродинамічну стійкість

$$18,87\text{кА} \leq 30\text{кА}$$

Зробимо перевірку на термічну стійкість

$$B_{\text{розр}} \leq I_{\text{терм}}^2 \cdot T_{\text{терм}} \quad (2.5)$$

$$B_{\text{розр}} = I_{\text{п.фак}}^2 \cdot (T_{\text{відкл}} + T_{\text{а}}) = 18,87^2 \cdot (0,05 + 0,03) = 28,486\text{кА}^2 \cdot \text{с}$$

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$B_{\text{кат}} = I_{\text{терм}}^2 \cdot T_{\text{терм}} = 31,5^2 \cdot 1 = 992,25 \text{кА}^2 \cdot \text{с} \quad (2.6)$$

$$28,486 \text{кА}^2 \cdot \text{с} \leq 992,25 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$$

Це все входить в допустимі межі нормальної роботи даного вимикача.

ВИСНОВКИ

У даному розділі була зроблена характеристика об'єкта електричної мережі підстанція 35/10кВ.

Підстанція має два джерела живлення. На ній встановлено два силових трансформатора ТДНС-10000/35-74У1. Схема з двома одиничними секціонованими вимикачами системами шин. Встановлені два трансформатори власних потреб ТМ-100 35/0,4. Серед комутаційного обладнання це вимикачі та роз'єднувачі. З захисного обладнання розрядники станційні та підстанційні.

Були проведені розрахунки короткого замикання на шинах підстанції 10кВ. Також проведено перевірочний вибір обладнання, а саме вимикача, перевірили його на термічну стійкість та електродинамічну стійкість.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОМПЕНСАЦІЯ І РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПІДСТАНЦІЇ

3.1 Схеми з'єднання конденсаторних установок

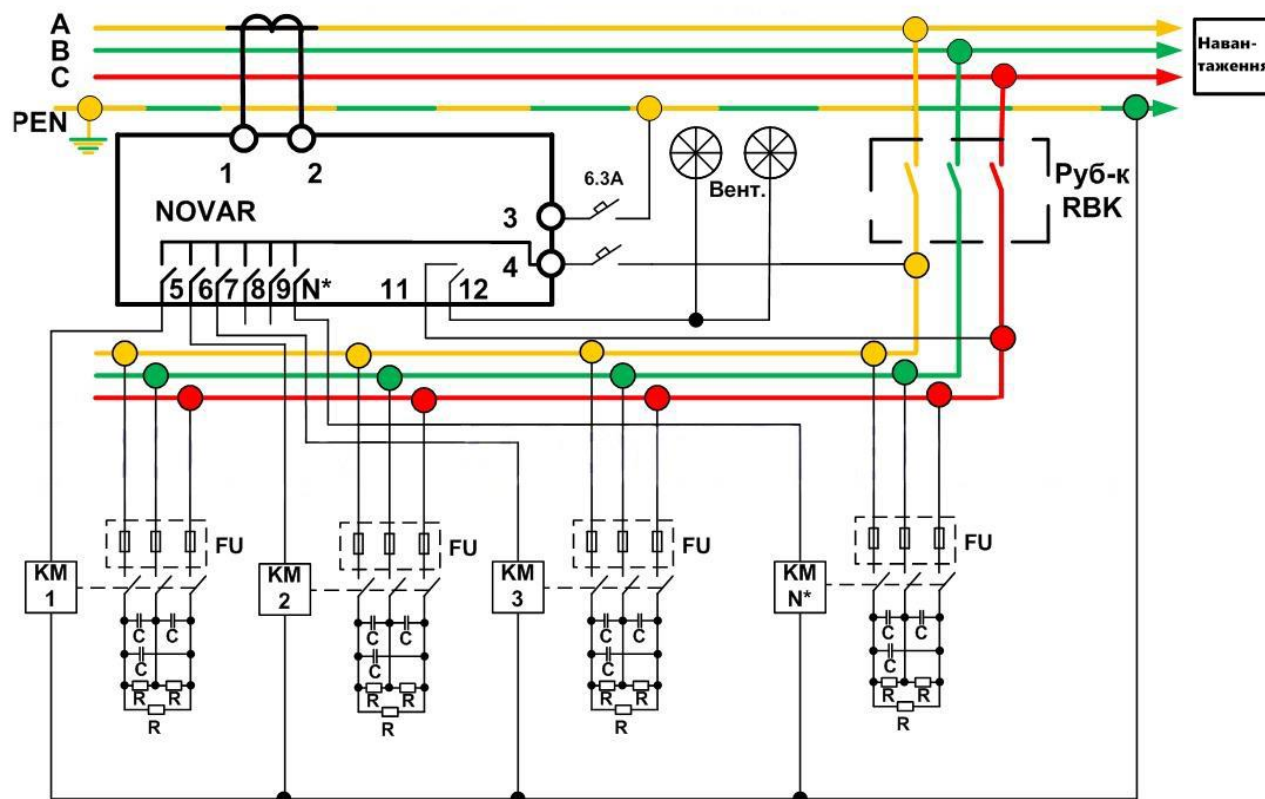


Рисунок 3.1 - Принципова схема установки компенсації реактивної потужності УКРМ-04

Конденсаторні установки використовуються для компенсації реактивної потужності, шляхом збільшення коефіцієнта потужності.

Керування коефіцієнтом потужності відбувається за допомогою мікропроцесорних регуляторів «PFC-6DA» чи «NOVAR», що надає можливість використовувати по максимуму конденсатори та чітко керувати коефіцієнтом потужності.

					141.ЕК9102.002.ДБ			
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Бомблюк В.П.				Компенсація і регулювання реактивної потужності на підстанції	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Хоменко О.В.						56	64
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр. ЕК-91		
Н. Контр.	Настенко Д.В.							
Утвердив	Марченко А.А.							

Для ввімкнення конденсаторної установки потребується зовнішній трансформатор струму, котрий призначений за допомогою регуляторів «PFC-6DA» чи «NOVAR» вимірювати струм.

Розташовувати трансформатор струму потрібно на шинопроводі між фідером силового трансформатора та місцем підключення конденсаторної установки. Конденсаторна установка встановлюється паралельно до головного шинопроводу силового трансформатора[15].

3.2 Умови роботи конденсаторних установок

Режим роботи системи залежить від місця установки[16]. Є чотири варіанти компенсації реактивної потужності:

- Централізована компенсація на стороні високої напруги (Приєднання УКРМ здійснюється до шин 6-10кВ, внаслідок чого розвантажуються лише вищі ланки мережі)
- Централізована компенсація на стороні низької напруги (Приєднання УКРМ здійснюється до шин 0,4кВ, внаслідок чого зменшується навантаження, як на вищі ланки так і трансформатори)
- Групова компенсація є самим поширеним варіантом (Приєднання УКРМ здійснюється до шин і розподільних пунктів безпосередньо, навантаження розподільного пункту повинно бути в два рази більшим потужності конденсаторної установки)
- Індивідуальна компенсація являється найефективнішою (Приєднання УКРМ здійснюється до електроприймачів, дає можливість саморегулювання реактивної потужності)

В залежності від характеристик обладнання та складності керування є три варіанти установки компенсації реактивної потужності

- Автоматичні (подають живлення через додавання ступенів регулювання)
- Динамічні (використовуються для компенсації мінливих навантажень)

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Нерегульовані (використовуються в системах низької реактивної потужності, <15% від номінальної)

3.3 Конструкції конденсаторів та їх технічні характеристики

Виготовлення конденсаторів відбувається в залежності від потрібної номінальної напруги. Наприклад при номінальній напрузі 0,22-0,66кВ виконання відбувається як у трифазному так і однофазному, а при номінальній напрузі 1,05-10кВ конденсатори тільки однофазного виконання. Конденсатори $\pm 40^{\circ}\text{C}$.

Конденсатори однофазного виконання виконуються з двома ізольованими висновками, або ж із висновком приєднаним до корпусу.

Конденсатори трифазного виконання виконуються за схемою трикутника. Та мають зазначені відхилення ємності від номінальної, при температурі 20°C від -5% до +10%.

Конденсатори можуть виготовлятися як із вбудованими резисторами, так і без них.

У випадку коли конденсатор має висновок приєднаний до корпусу плавкий запобіжник встановлюється рядом з ізольованим виведенням.

Поодинокі конденсатори напруги 1,05кВ і нижче мають вбудовані плавкі запобіжники всередині корпусу, які з'єднанні по одному на кожну секцію.

3.4 Способи регулювання потужності конденсаторних установок

Регулювання потужності конденсаторної установки може бути ручним та автоматичним.

Ручне регулювання виконується персоналом чи за допомогою дистанційних пристроїв диспетчером.

Автоматичне регулювання забезпечує підтримку реактивного чи повного струму, коефіцієнта напруги чи потужності на заданому рівні. Є два види автоматичного регулювання. В залежності від кількості секцій конденсаторної

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

установки розрізняють одноступінчате (одна секція) та багатоступінчате регулювання.

У випадку багатоступінчатого регулювання керування конденсаторною установкою відбувається за допомогою вимикача та перемикачів. Якщо у нас є декілька конденсаторних установок з одноступінчатим регулюванням, то за допомогою послідовної схеми можна автоматично виконати їх відключення та включення, отже таким чином можна зробити багатоступінчате регулювання конденсаторних установок.

3.5 Вибір кількості і потужності ступенів регулювання конденсаторних установок

Для підбору конденсаторної установки потрібно порахувати сумарну потужність за формулою

$$Q_{\text{сум}} = P \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad (3.1)$$

Де P споживана активна потужність, $tg\varphi_1 - tg\varphi_2$ коефіцієнт потужності до і після установки компенсуючого приладу

Формулу можна скоротити до наступного вигляду

$$Q_{\text{сум}} = P \cdot k \quad (3.2)$$

Де k коефіцієнт перерахунку з таблиці в залежності від $tg\varphi_1$ та $tg\varphi_2$

Припустимо, що активна потужність нашої мережі 1400кВт, чинний $\cos\varphi=0.65$ до компенсації, а необхідний $\cos\varphi=0.94$, так як $\cos\varphi=1$ може призвести до перекомпенсації[17]. Отже за таблицею знаходимо $k=0.806$. Підставляємо дані в формулу (2.8) і отримуємо

$$Q_{\text{сум}} = P \cdot k = 1400 \cdot 0.806 = 1128.4 \text{кВАр} \quad (3.3)$$

Для наших даних підходить УКРМ-0,4-1200. Це конденсаторна установка з автоматичним регулюванням реактивної потужності призначена для автоматичного та ручного регулювання коефіцієнта потужності $\cos\varphi$.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частота 50Гц. Має захист від перевищення номінального струму та від перенапруги.

3.6 Регулятор реактивної потужності



Рисунок 3.2 - Лицьова сторона NOVAR 1414

Даний регулятор є високоточним автоматичним приладом , який може виконувати оптимальне регулювання компенсацією реактивної потужності.

Головними технічними характеристиками даного регулятора є число ступенів 14. Може вимірювати струм трьох фаз. Із виміряних однофазних значень вираховує трифазний косинус, який потім і використовується для регуляції. Вимірює температури, керує вентилятором та підігрівом.

						141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			60

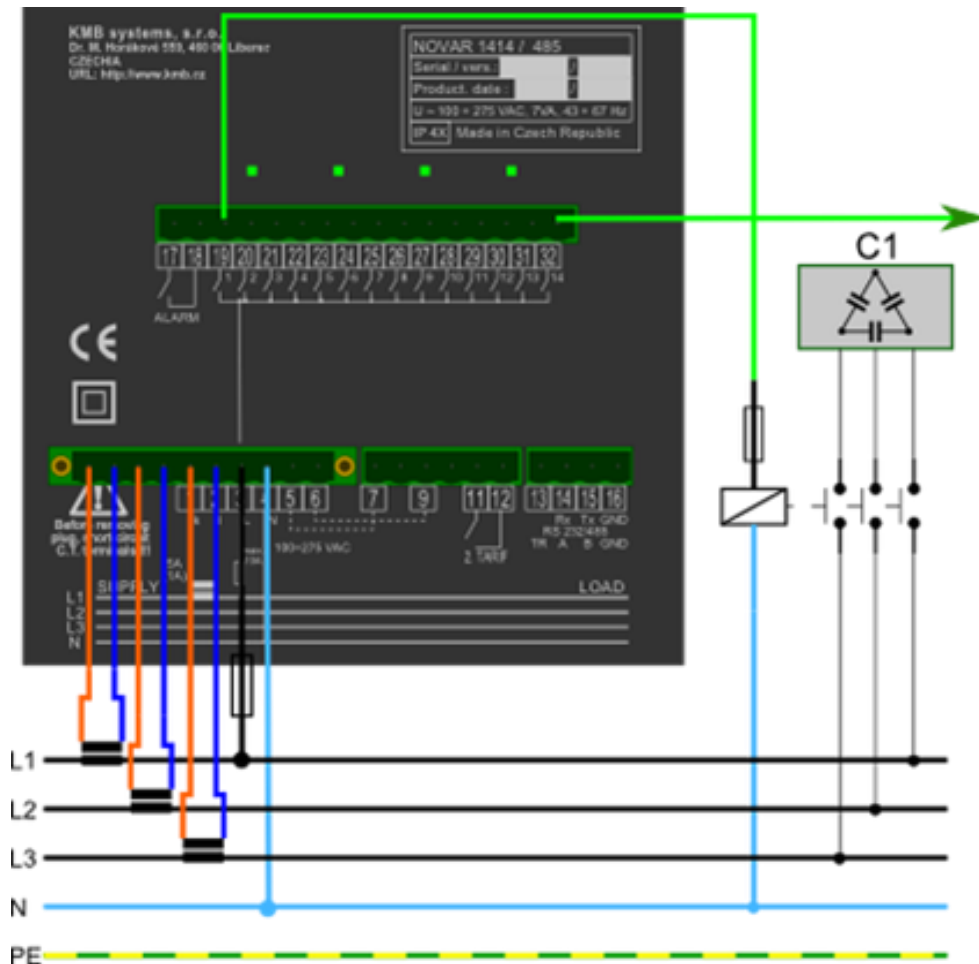


Рисунок 3.3 - Приклад підключення NOVAR 1414

ВИСНОВКИ

В даному розділі розглянуто компенсацію та регулювання реактивної потужності на підстанції 35/10кВ.

В залежності від місця споживання вибирається місце для компенсування реактивної потужності, від характеристик обладнання вибирається варіант установки серед яких автоматична, динамічна та нерегульована.

Конденсатори бувають, як трифазного виконання так і однофазного. Описані температурні умови роботи.

Способи регулювання бувають ручні та автоматичні, які в свою чергу поділяються на одноступінчаті та багатоступінчаті.

Були проведені розрахунки та вибрано конденсаторну установку УКРМ-0.4-1200-50. Також обрано регулятор установки компенсації NOVAR 1414.

					141.EK9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ВИСНОВКИ

Після виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

У першому розділі ми розглянули теоретичні засади компенсації реактивної потужності та її вплив на режими роботи мережі. Описали основних споживачів реактивної потужності в країні та на підприємствах.

Охарактеризували синхронні генератори, статичні тиристорні компенсатори, конденсаторні батареї, статичні вентильні джерела та шунтуючі реактори.

З'ясували способи керування компенсуючими установками та баланс реактивної потужності в мережі.

У другому розділі зробили характеристику підстанції 35/10кВ, її основного обладнання. Було розраховано КЗ на шинах 10кВ, та здійснено перевірочний вибір обладнання. А саме на термічну та електродинамічну стійкість.

У третьому розділі дослідили компенсацію і регулювання реактивної потужності на підстанції 35/10кВ. Описано схему з'єднань конденсаторних установок, умови роботи конденсаторів, їх характеристики та конструкції. Були проведені розрахунки задля вибору конденсаторної установки та регулятора реактивної потужності. Були обрані УКРМ-0.4 та NOVAR1414.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств / Шестеренко В.Є., «Нова книга», 2004. 656с.
2. SCIENCE AND PRACTICE OF TODAY / International Science Group, Primedia eLaunch LLC, 2020. 695с.
3. Електричні машини / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко, «О.:Наука і техніка», 2012. 481с.
4. Електричні машини і трансформатори / М.О. Осташевський, О.Ю. Юр'єва, «Каравела», 2018. 454с.
5. Статичні тиристорні компенсатори / Стадніченко А.С., Шеїна Г.О., Форум «ТАК», ДонНТУ, Покровськ, 2021. 3с.
6. Електропостачання промислових підприємств / Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В., «Нова книга», 2013. 424с.
7. Порівняльний аналіз вентильних компенсаторів реактивної потужності / І.І. Соловйова, 2009. 6с.
8. Magnetically-Controlled Shunt Reactors / G.A. Evdokunin, M.V. Dmitriev, A.S. Карпов, E.B. Sheskin, A.G. Dolgopolov, D.V. Kondratenko, Springer International Publishing, 2023. 255с.
9. Розрахунок та аналіз усталених режимів електроенергетичних систем / Сулейманов В.М., Кацадзе Т.Л., 2016. 284с.
10. Theoretical and science bases of actual tasks / International Science Group, Primedia eLaunch LLC, 2022. 677с.
11. Substations / Western Area Power Administration, Electric Power Training Center, 1991. 18с.
12. Електричні апарати, електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту / Клименко Б.В., 2012. 320с.
13. Елементи витрат електроенергії на власні потреби електростанцій та підстанцій [Електронний ресурс] URL:
<https://leg.co.ua/instrukcii/energonadzor/instrukciya-pro-poryadok-kommerciynogo-obliku-elektrichnoyi-energiyi-8.html>

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

14. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем / Козярський Д.П., Майструк Е.В., Козярський І.П., 2019. 133с.
15. Комплектні конденсаторні установки [Електронний ресурс] URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/kondensatornye-ustanovki-aku-04>
16. Пристрої компенсації реактивної потужності [Електронний ресурс] URL: <https://avr.com.ua/kompensacziya-reaktyvnoyi-potuzhnosti/>
17. Методичні вказівки «Комплексне керування енерговикористанням» / Волошко А. В., 2016. 36с.

					141.ЕК9102.002.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64