

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

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра автоматизації енергосистем

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І. Толочко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«11» червня 2020 р

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності (спеціалізації) 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії)
на тему: Регулювання реактивної потужності в електричній мережі.

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕК-г61-1

(шифр групи)

Луцкай Віталій Богданович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник к.т.н., доц., Хоменко О.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант _____

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра автоматизації енергосистем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (Системи управління виробництвом і розподілом електроенергії)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.І. Толочко_
(підпис) (ініціали, прізвище)
«11» червня 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Луцаю Віталію Богдановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Регулювання реактивної потужності в електричній мережі

Керівник проекту Хоменко Олег Володимирович к.т.н., доц., _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «28» квітня 2020 р. № 1048-с

2. Термін подання студентом проекту «11» червня 2020 р.

3. Вихідні дані до проекту: Підстанція 110/35/10 кВ «Біличі», схема підключень електричної підстанції

4. Зміст пояснювальної записки «Джерела та засоби регулювання реактивної потужності в електричних мережах, Характеристика об'єкта — електричні мережі «Біличі», Компенсація і регулювання реактивної потужності на підстанції «Біличі»».

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) Методи і засоби регулювання напруги в електричній мережі. Схема електричних з'єднань підстанції. Регулювання реактивної потужності в електричній мережі

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

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

7. Дата видачі завдання 3 квітня 2020 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз засобів регулювання реактивної потужності в електричній мережі	10.03.2020	
2	Аналіз балансу реактивної потужності в електричній мережі	12.03.2020	
3	Дослідження характеристик підстанції «Біличі»	12.04.2020	
4	Дослідження силових обладнень підстанції «Біличі»	20.04.2020	
5	Разрахунок струмів КЗ на шинах підстанції	10.05.2020	
6	Аналіз компенсації і регулювання реактивної потужності	15.05.2020	
7	Оформлення графічної частини	10.06.2020	
8	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2020	
9	Попередній захист	11.06.2020	

Студент

(підпис)

В.Б. Луцай

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

О.В. Хоменко

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	141.6102.002.ДБ	Пояснювальна записка	69	
3	A1	141.6104.004.ТК1	Регулювання реактивної потужності в мережі Загальні питання регулювання реактивної потужності	1	
4	A1	141.6104.004.ТК2	Регулювання реактивної потужності в електроенергетичних мережах Схема електричних з'єднань підстанції "Біличі".	1	
5	A1	141.6104.004.ТК3	Компенсація і регулювання реактивної потужності на підстанції "Біличі"	1	

					141.6104.004.ДБ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Відомість дипломного проекту		Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Лушай В.Б.		11.06					
Перевір.		Хоменко О.В.		11.06				3	1
							КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр.ЕК-г61-1		
Н. Контр.		Настенко Д.В.							
Затверд.		Толочко О.І.							

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: «Регулювання реактивної потужності в електричній мережі»

Київ – 2020 рік

РЕФЕРАТ

Дипломний проект був виконаний на 69 аркушах та містить 23 рисунків, 4 таблиць, 3 листи графічної частини та 21 літературних посилань.

Актуальність теми – Види регулювання та установки реактивної потужності.

Мета дослідження – Аналіз параметрів електричної системи зі зміною характеристик.

Об'єкт дослідження – Електрична підстанція «Біличі» 110-35-10 кВ.

Результат роботи – Розглянути джерела та засоби регулювання реактивної потужності в електричних мережах; Здійснити характеристику об'єкта електричної мережі «Біличі»; Проаналізувати компенсацію і регулювання реактивної потужності на підстанції «Біличі»

Ключові слова: ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ, КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ, МЕТОДИ РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

The diploma project was presented on 69 sheets and contained 23 drawings, 4 tables, 3 letters of the graphic part and 21 literary publications.

Relevance of the topic – Types of regulation and installation of reactive power.

The aim – Analysis of electrical system parameters with changing characteristics.

Object of study – Electrical substation "Bilychi" 110-35-10 kV.

The results of the work– Consider sources and means of regulating reactive power in electrical networks; Describe the object of the electric network "Bilychi"; Analyze the compensation and regulation of reactive power at the substation "Bilychi"

Key words: MEANS OF REACTIVE POWER CONTROL, SHORT CIRCUIT, METHODS OF REACTIVE POWER CONTROL.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП	10
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.....	15
1.3 Основні споживачі реактивної потужності в електричних мережах.....	16
1.4 Синхронні генератори	17
1.5 Синхронні компенсатори	19
1.6 Статичні тиристорні компенсатори.....	23
1.7 Конденсаторні батареї.....	28
1.8 Статичні вентильні джерела реактивної потужності.....	28
1.9 Шунтуючі реактори	31
1.10 Баланс реактивної потужності в електричній мережі.....	32
1.11 Керування компенсуючими установками.....	34
Висновки.....	36
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА — ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ «БІЛИЧІ»...	37
2.1 Електрична мережа - загальна характеристика	37
2.2 Структура і основні енергетичні характеристики мережі	38
2.2.1 Компенсуючі пристрої в електричній мережі.....	39
2.3 Підстанція 110-35-10кВ «Біличі»	40
2.3.1 Схема електричних з'єднань підстанції «Біличі». Загальна характеристика. Склад основного обладнання підстанції.....	40
2.3.2 Силові трансформатори підстанції	41
2.3.3 Збірні шини підстанції.....	42
2.3.4 Комутаційне обладнання підстанції.....	43
2.3.5 Захисне обладнання	45
2.3.6 Вимірювальні трансформатори напруги і струму підстанції.....	46

					141.6104.004.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

2.3.7	Вимірювальні прилади	49
2.3.8	Власні потреби підстанції	51
2.3.9	Засоби релейного захисту і автоматики підстанції	52
2.3.10	Розрахунок струмів короткого замикання на шинах підстанції ...	53
2.3.11	Перевірочний вибір обладнання підстанції	57
	Висновки	58
3	КОМПЕНСАЦІЯ І РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПІДСТАНЦІЇ «БІЛИЧІ»	59
3.1	Схеми з'єднання конденсаторних установок.....	59
3.2	Умови роботи конденсаторних установок	60
3.3	Конструкції конденсаторів та їх технічні характеристики.....	62
3.4	Способи регулювання потужності конденсаторних установок	62
3.5	Вибір кількості і потужності ступенів регулювання конденсаторних установок.....	63
3.6	Регулятор реактивної потужності	64
	Висновки	66
	ВИСНОВКИ.....	67
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
	Додаток А.....	70
	Додаток Б.....	71
	Додаток В.....	72
	Додаток Г.....	73

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АВР – автоматичне ввімкнення резерву;
АПВ – автоматичне повторне включення;
АРЗ – автоматичний регулятор збудження;
АЧР – автоматичне частотне розвантаження;
ГРН – групове регулювання напруги;
ДН – датчик напруги;
ДС – датчик струму;
ЛЕП – лінії електропередачі;
МСЗ – максимальний струмовий захист;
ОПН – обмежувач перенапруги;
ПБЗ – перемикання без збудження;
ПС – підстанція;
ПУЄ – правила улаштування електроустановок;
КБ – конденсаторні батареї
КРМ – компенсації реактивної потужності
КУ – конденсаторна установка
РЕМ – районні електричні мережі;
РП – розподільчий пристрій;
РПН – регулювання під навантаженням;
СВ – струмова відсічка;
ТЕЦ – теплоелектроцентрально;
ТН – трансформатор напруги;
ТС – трансформатор струму;
ЯЕ – якість електроенергії.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Електричною мережею називається сукупність електроустановок, призначених для передачі і розподілу електроенергії від електростанції до споживача.

Щоб розібратися з поняттям реактивної потужності, згадаємо спочатку, що таке електрична потужність. Електрична потужність - це така фізична величина, що описує швидкість генерації, передачі або споживання електричної енергії на одиницю часу.

Чим більше потужності, тим більше роботи може зробити електроустановка на одиницю часу. Вимірюється потужність в ватах (твір Вольт х Ампер). Миттєвою потужністю називається сума значень напруги і сили струму.

Миттєва і середня потужність на ланцюгах постійного струму за певний інтервал часу збігаються. Тут реактивної потужності не має бути. А миттєва і середня потужність на ланцюгах змінного струму існує тільки тоді, коли навантаження чисто активне. При активному навантаженні в ланцюзі змінного струму вся потужність передається в навантаження так як фаза напруги і струму збігаються.

Струм буде відставати по фазі від при індуктивному навантаженні як у трансформатора і електродвигуна. Якщо струм по фазі випереджає напругу то навантаження місткісне. Так як струм і напруга незбігаються по фазі (реактивне навантаження), то в навантаження (споживачеві) передається тільки частина потужності (повної потужності), яка могла б бути передана в навантаження, якби зрушення фаз дорівнювало нулю (активне навантаження).

Частина повної потужності, яку вдалося передати в навантаження за період змінного струму, називається активною потужністю. Вона дорівнює добутку діючих значень струму і напруги на косинус кута зсуву фаз між ними ($\cos \varphi$).

Потужність, яка не була передана в навантаження, а привела до втрат на нагрівання і випромінювання, називається реактивною потужністю. Вона

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дорівнює добутку діючих значень струму і напруги на синус кута зсуву фаз між ними ($\sin \varphi$).

Актуальність теми регулювання реактивної потужності в електричній мережі пов'язана з тим, що згідно з діючими правилами користування електричною і тепловою енергією при їх використанні необхідно витримувати певну величину споживання реактивної потужності, задану енергосистемою. Невиконання цієї вимоги тягне за собою значне збільшення плати за електроенергію, втрат потужності і зниження якості електроенергії. Споживання електроенергії на виробничих підприємствах може характеризуватися високим відношенням реактивної потужності до активної, тому дуже важливо правильно виконати компенсацію реактивної потужності. У зв'язку з цим реактивна потужність може носити нерівномірний характер, тому актуальним є і впровадження автоматичного регулювання потужності конденсаторних установок. Великий вплив в наш час приділяється питанням якості електричної енергії. Компенсація реактивної потужності впливає на найважливіші показники якості електричної енергії - відхилення і коливання напруги в вузлах навантаження. Тому завдання компенсації реактивної потужності потрібно вирішувати в комплексі із завданням підтримки напруги в заданих межах.

					141.6104.004.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

В електричних ланцюгах змінного струму розрізняють три види потужності: активну, реактивну і повну.

Повна потужність S являє собою напругу в електричному ланцюзі:

$$S = UI, (1.1)$$

Ця потужність вимірюється в вольт-ампер (ВА).

Реактивна потужність Q дорівнює добутку напруги, струму та синусу кута φ між напругою і струмом і вимірюється в вольтамперах.

$$Q = UI \sin \varphi, (1.2)$$

Наявність реактивної складової потужності в електричній мережі обумовлено конструктивними особливостями елементів електричних мереж і підстанцій, а також електричних ланцюгів електроприймачів і пов'язане з наявністю в них реактивних опорів (індуктивностей і ємностей). Такі реактивні опори перешкоджають зміні параметрів електричної енергії. Так, індуктивності перешкоджають будь-якій зміні струму в них, а ємності - зміні напруги. Зазначена перешкода виражається в тому, що ці елементи в певні інтервали часу «запасують» і «віддають» електричну енергію. При виробленні, перетворенні, передачі та споживанні електричної енергії на змінній напрузі ця обставина призводить до коливального процесу обміну енергією між реактивними елементами, розміщеними між елементами електричних станцій, підстанцій, ліній електропередачі і електроприймачами.

Описана частка електричної енергії називається реактивною енергією. При цьому реактивна енергія не перетворюється в інші види енергії, але її потоки за елементами електричних ланцюгів супроводжуються додатковим завантаженням цих елементів, а також додатковими втратами активної енергії на її активних опорах.

					141.6104.004.ДБ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Джерела та засоби регулювання реактивної потужності в електричних мережах	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Лушай В.Б.		11.06				
Перевір.		Хоменко О.В.		11.06			12	25
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.		Настенко Д.В.		11.06		ФЕА, гр.ЕК-г61-1		
Затверд.		Толочко О.І.		11.06				

Загальноприйнято, що реактивності індуктивного характеру є споживачами реактивної енергії, а реактивності ємнісного характеру - джерелами реактивної енергії. Установка джерел реактивної потужності безпосередньо у споживачів або в вузлах електричної мережі носить назву компенсації реактивної потужності (КРМ).

Компенсація реактивної потужності являє собою один з найбільш важливих і відповідальних заходів щодо підвищення енергоефективності. У комплексі питань, присвячених передачі, розподілу та споживання електроенергії, проблема КРМ завжди перебувала на одному з найбільш важливих місць.

При нормальних робочих умовах всі електричні споживачі, режим яких супроводжується постійним виникненням і зникненням магнітних полів (наприклад, індукційні двигуни, обладнання для зварювання), забирають від мережі не тільки активну, а й індуктивну реактивну потужність. Ця реактивна потужність необхідна для роботи обладнання і, в той же час, може бути розглянута як небажане додаткове навантаження мережі. При передачі струму непотрібна реактивна частина повинна бути по можливості мінімальною. Таким чином, забезпечується:

- зниження втрат електроенергії і потужності в силових трансформаторах і лініях електропередач
- зниження завантаження силових трансформаторів і ліній електропередач
- можливість підключення в межах заявленої потужності
- підвищення якості електричної енергії, нормалізація рівня напруги.

У сучасних умовах для компенсації реактивної потужності в низьковольтних промислових і міських електричних мережах найбільшого поширення набули окремі конденсатори або конденсаторні установки через їх найбільш економічно і практично вигідних показників.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 - Наслідки транспортування реактивної потужності

Принцип дії конденсаторних установок в наступному. Якщо ємнісний опір одно за величиною індуктивному, то дії їх струмів взаємно компенсуються. Споживана реактивна потужність може бути знижена або взагалі відсутній. Але найчастіше, реактивна потужність повністю не компенсується, так як з'являється ризик до перекомпенсації (через змінних величин активної потужності навантаження, а також інших випадкових факторів). В основному, намагаються досягти значення в діапазоні 0,90 ... 0,95.

Процес такого зрівнювання кількості енергії електричного поля (конденсатора) і магнітного поля (індуктивності) і є компенсацією реактивної потужності.

Виробляючи реактивну потужність, конденсаторні батареї підвищують величину напруги в точці їх установки, тому вони застосовуються не тільки в цілях зменшення втрат електроенергії, а й для регулювання напруги у споживачів. Наприклад, якщо споживач знаходиться на значній відстані від вузла живлення, то за рахунок падіння напруги в лінії споживача напруга у споживача може знизитися нижче нормально допустимого для роботи цього обладнання. Ефективним вирішенням цієї проблеми є установка у споживача зі зниженою напругою конденсаторної батареї для підвищення напруги .

Так як потужність окремих конденсаторів порівняно невелика, то зазвичай їх з'єднують паралельно в батареї, що розміщуються в комплектних шафах.

1.2 Вплив реактивної потужності на режими роботи електричної мережі

При експлуатації електричних мереж необхідно безперервне підтримання бажаного рівня напруги в вузлах електричної мережі. Одним із заходів для забезпечення бажаного рівня напруги є установка компенсуючих пристроїв.

Вважають, що якщо струм відстає по фазі від напруги (індуктивний характер навантаження), то реактивна потужність споживається, а якщо струм випереджає напругу (ємнісний характер навантаження), реактивна потужність генерується. З зору генерації та споживання між реактивною та активною потужністю є значні відмінності. Якщо більшу частину активної потужності споживають приймачі і лише незначна губиться на елементах мережі і електрообладнання з реактивною потужністю споживаної приймачами електроенергії порівнюють втрати реактивної потужності в елементах мережі.

Активна потужність генерується електростанціями; джерелами реактивної потужності є як генератори електростанції, так і синхронні двигуни, повітряні та кабельні лінії, а також додатково встановлюються пристрої, що компенсують - синхронні компенсатори, батареї конденсаторів, статичні джерела реактивної потужності.

Виробництво великої кількості реактивної потужності генераторами електростанцій в багатьох випадках економічно недоцільно через те, що додаткові втрати активної потужності, викликані протіканням реактивної потужності по мережі, пропорційні її квадрату. Великі втрати електроенергії змушують наскільки це технічно можливо наближати джерела реактивної потужності до місць її споживання і зменшувати її від потужних генераторів.

Також передача значної кількості реактивної потужності по мережі, що не може бути здійснена у зв'язку з неприпустимим падінням напруги. Завантаження реактивною потужністю систем електропостачання та трансформаторів зменшує їх пропускну здатність і вимагає збільшення перетинів проводів і кабельних ліній, збільшення номінальних потужностей або числа трансформаторів підстанцій.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулювання напруги компенсацією реактивної потужності можна назвати вплив на баланс реактивної потужності на вузлі електроенергетичної системи, а зменшення втрат електроенергії на розподільних мережах відбувається з допомогою компенсуючих пристроїв.

Компенсація реактивної потужності необхідна для зниження втрат активної потужності і електроенергії в елементах електричних мереж, поліпшення якості електроенергії по відхиленню напруги за рахунок зменшення втрат напруги в елементах електричних мереж.

Компенсація реактивної потужності дозволяє:

- зменшити навантаження на трансформатор, тим самим збільшити термін служби
- зменшується навантаження на дроти, кабелі, що дозволяє при проектуванні вибрати менший діаметр дротів та електричного обладнання
- поліпшити якість електроенергії у електроприймачів
- зменшити навантаження на комутаційну апаратуру за рахунок зниження струмів в ланцюгах
- не допустити зниження якості електроенергії зниженням коефіцієнту потужності.

При підключенні до електричної мережі активно-індуктивного навантаження струм відстає від напруги на кут зсуву φ . $\cos\varphi$ -називається коефіцієнтом потужності.

1.3 Основні споживачі реактивної потужності в електричних мережах

Основним споживачем реактивної потужності індуктивного характеру на промислових підприємствах є трансформатори, включаючи зварювальні (20-25%), вентильні, реактори та інші ЕП.

Заходами щодо зниження споживання реактивної потужності є:

- Природна компенсація (природний $\cos\varphi$) без застосування спеціальних компенсуючих пристроїв (КУ)
- штучна компенсація, звана частіше просто компенсацією.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Природна компенсація реактивної потужності не вимагає великих матеріальних витрат і повинна проводитися на підприємствах в першу чергу. До природної компенсації відносяться:

- зниження напруги у двигунів, які систематично працюють з завантаженням;
- створення раціональної схеми електропостачання за рахунок зменшення ступенів трансформації
- заміна малоавантажених трансформаторів і двигунів трансформаторами і двигунами меншої потужності і їх повне завантаження
- застосування синхронного двигуна (СД) замість АТ, коли це допускається умовами технологічного процесу
- обмеження тривалості холостого ходу двигуна і зварювальних трансформаторів, скорочення тривалості і розосередження під час пуску великих ЕП
- поліпшення якості ремонту електродвигунів, зменшення перехідних контактних з'єднань
- відключення при малому навантаженні (наприклад, в нічний час, у вихідні та святкові дні) частини силових трансформаторів.

1.4 Синхронні генератори

Синхронний генератором, альтернатором називається пристрій, за допомогою якого здійснюється перетворення механічної або інших видів енергії в змінний струм.

Стандартний синхронний генератор обов'язково має в своєму складі наступні компоненти:

- провідник струму;
- «якір» (магнітопровід);
- магнітна система (звичайна, електрична).

Електрика відправляється з якоря, завдяки вугільних щіток, які прилягають до кільця. Додатково до нього приєднані кінці провідника, що забезпечує повноцінну роботу пристрою.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якір є рухомою (що обертається) частиною генератора, а статор - статичний (нерухомий) елемент, в якому утворюється магнітне поле. Якщо воно формується за допомогою електрики, то паралельно повинен працювати ще один генератор, який буде порушувати дію. Збудник оснащений стандартними магнітами.

Залежно від способу застосування пристрою і його різновиду якір приводиться в рух різними механізмами. На електростанціях цю функцію виконують парові або гідравлічні (водяні) турбіни. У побутових умовах набагато частіше використовуються пристрої, в яких якір приводиться в рух за допомогою двигуна внутрішнього згоряння, який виробляє механічну енергію.

Базова класифікація синхронних генераторів включає в себе наступні типи пристроїв:

1. Високочастотні генератори розраховані на перетворення механічної енергії в електрику високої частоти. Такий пристрій працює за рахунок зміни магнітного потоку за допомогою впливу обертового ротора на статичний статор. Висока частотність досягається збільшенням кількості полюсів і розгоном обертання статора. Застосовується в якості джерела живлення електроенергією для радіотелеграфних станцій на відстань до 3 кілометрів. Для менших проміжків вони не підходять, оскільки потрібне збільшення частотності. Пристрої поділяються на генератори, що виробляють енергію безпосередньо в машині, і агрегати, в яких струм збільшується за рахунок статичних перетворювачів

2. Гідротурбіни-генератори, як стає зрозуміло з назви, функціонують за рахунок руху гідравлічної турбіни. Ротор в таких пристроях розташовується на одному валу з турбінним колесом. Максимальна потужність подібних агрегатів досягає 100 000 кВт, що є значним показником для електростанцій, особливо автономних. За розміром вони відчутно більше аналогічних апаратів. Діаметр одного ротора може досягати п'ятнадцяти метрів. На потужність турбіни сильно впливає швидкість, з якою вона обертається, маховий момент, характерний для ротора, і протяжність ЛЕП (лінії електропередачі). Обмотка

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розміщується безпосередньо на статорі, що охоплює явний полюсний ротор, який закріплений на валу

3. Паротурбінний генератор, що працює за допомогою парової турбіни. Найбільшим поширенням користуються двополюсні і чотириполюсні пристрої. Ротор має форму значного за розміром циліндра з пазами прямокутного типу. У спеціальних пазах на внутрішній стороні статора розміщується обмотка змінного струму. В машинах, що працюють повільно, встановлюється ротор у формі колеса або зірки. Якщо система замкнута, то охолоджувальні елементи розташовуються безпосередньо під генератором. У порівнянні з попереднім типом генераторів двигуни мають значно менші розміри.

Найширше поширення набули синхронні трифазні генератори, потужності яких варіювалися від мінімальних значень до декількох мегават. Робота класичних генераторів заснована на тому, що на роторі розташовувалися кільця і щітки, які перебували в безпосередньому контакті зі статором. У більшості випадків цей механізм був небезпечний, щітки при цьому швидко зношувалися, а колектор якоря вимагав безперервної підтримки в робочому стані, тому були розроблені безщіточні синхронні генератори, які виключили всі ці недоліки.

1.5 Синхронні компенсатори

Синхронний компенсатор - це такий синхронним двигуном полегшеної конструкції, для роботи на холостому ходу.

Основні споживачі електричної енергії, крім активної потужності, споживають від генераторів системи реактивну потужність. До числа споживачів, які вимагають великих реактивних струмів для створення і підтримки магнітного потоку, відносяться асинхронні двигуни, трансформатори, індукційні печі та інші. У зв'язку з цим розподільні мережі зазвичай працюють з відстаючим струмом.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реактивна потужність, що виробляється генератором, виходить з найменшими витратами. Однак передача реактивної потужності від генераторів пов'язана з додатковими втратами в трансформаторах і лініях передач. Тому для отримання реактивної потужності стає економічно вигідним застосування синхронних компенсаторів, які розташовані на вузлових підстанціях системи або безпосередньо у споживачів.

Синхронний двигун через збудження постійного струму може працювати $\cos \varphi = 1$ і не споживати реактивну потужність від мережі, при надмірному збудженні передавати реактивну потужність в мережу. В результаті коефіцієнт потужності мережі покращується, падіння напруги та втрати в ній зменшуються, збільшується коефіцієнт потужності генераторів.

Були визначені синхронні компенсатори для компенсації факторів потужності, які підтримують нормальний рівень напруги в зоні зірки, що зберігається під навантаженням.

Синхронним компенсатор - синхронна машина, яка працює в руховому режимі без навантаження на валу при змінному струмі збудження.

У перезбудженому режимі ток випереджає напруга мережі, тобто є по відношенню до цієї напруги ємнісною, а в недозбудженому - відстаючим, індуктивним. У такому режимі синхронна машина перетворюється в компенсатор - в генератор реактивного струму.

В зв'язку з цим компенсатори, як і необхідні для цих же цілей батареї конденсаторів, що встановлені на підстанціях, також є генераторами реактивної потужності. А періоди спаду споживчих навантажень синхронні компенсатори повинні працювати в недозбудженому режимі, ще необхідно завантажити мережу індуктивними струмами, що призводять до падіння напруги.

Синхронні компенсатори забезпечується автоматичним регулятором, який регулює струм збудження, щоб напруга на затискачах компенсатора була постійною.

Синхронні компенсатори встановлюються на районних підстанціях.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 1.2. наведені схема заміщення і векторні діаграми, що пояснюють принцип дії синхронної машини в режимі синхронного компенсатора. Застосувавши другий закон Кірхгофа для схеми заміщення СК (рис. 1.2.), отримаємо рівняння:

$$E_q U_c = j I x_d$$

з якого знайдемо вираз струму статора

$$I = -j \frac{E_q + U_c}{x_d}$$

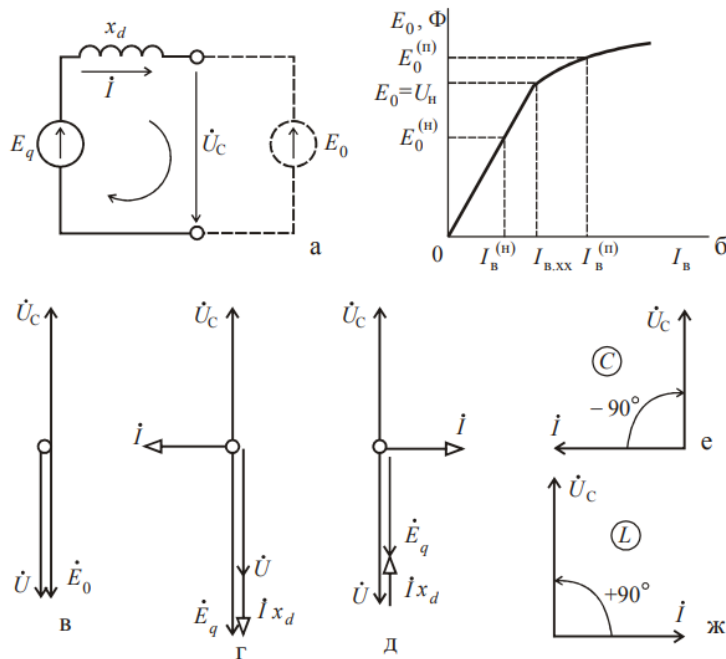


Рисунок 1.2 - Схема заміщення (а), характеристика холостого ходу (б) і векторні діаграми синхронної машини: в - при порушенні холостого ходу; г, е - при збудження; д, ж – при недозбудженні

При навантаженні синхронної машини не тільки реактивної, а й активним навантаженням з'являється активна складова струму I_a .

Між струмом I і напругою U_c кут φ не дорівнює 90° , але реактивна складова струму зберігається. Відповідно зберігаються і властивості синхронної машини як джерела реактивної потужності. Векторні діаграми синхронного генератора, який виробляє і активну, і реактивну потужність, наведені на рис. 1.3

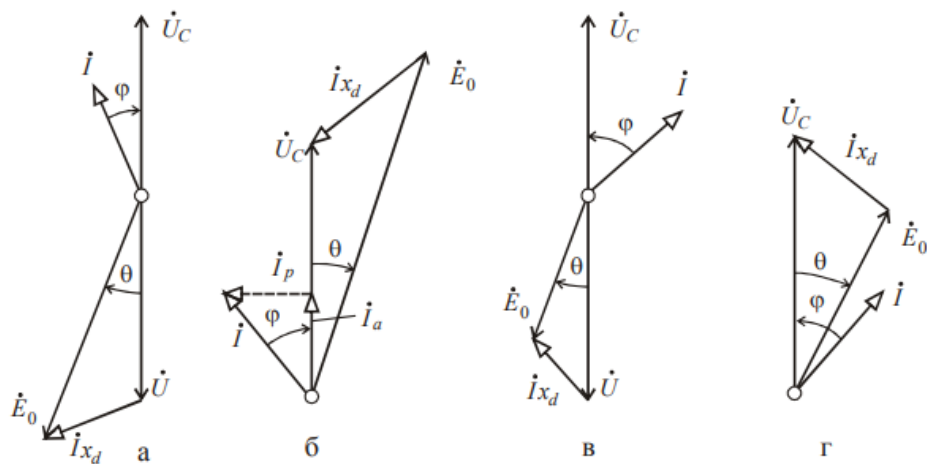


Рисунок 1.3 - Векторні діаграми синхронного генератора при його роботі з перезбудженням (а, б) і недозбудженням (в, г), θ -кут навантаження

Порядок їх побудови і режими збудження ті ж, що і для режиму синхронного компенсатора. Синхронні двигуни в системах електропостачання застосовуються при приводі виробничих механізмів, що не вимагають регулювання частоти обертання. Їх застосування доцільне при потужності понад 50 кВт. Векторні діаграми приведені на Рисунок 1.4

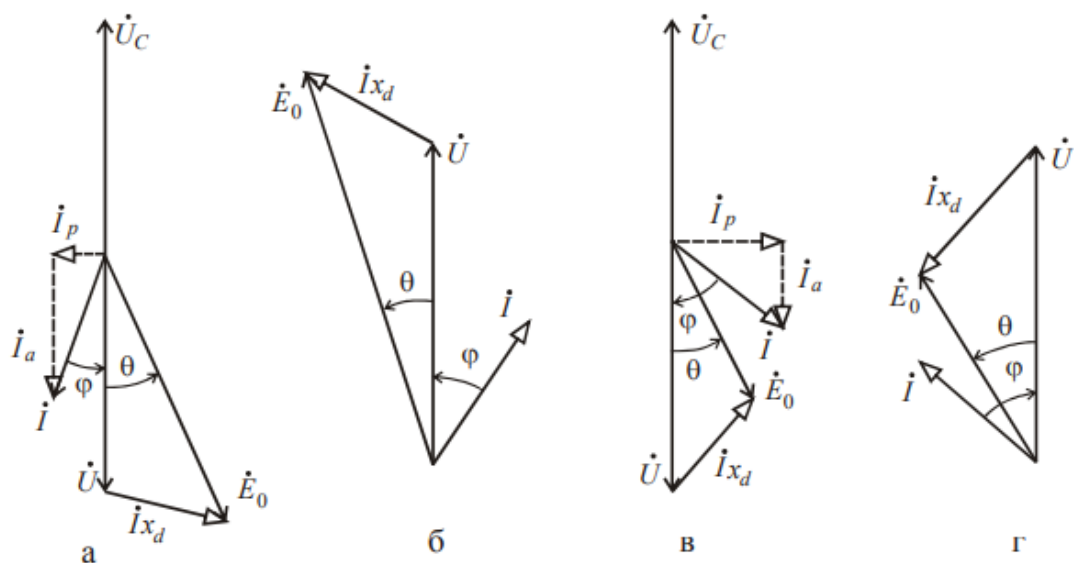


Рисунок 1.4 - Векторні діаграми синхронного двигуна при його роботі з перезбудженням (а, б) і недозбудженням (в, г)

Щоб регулювати напругу транзитних ЛЕП. Створені проміжні підстанції з використаними синхронними компенсаторами, дія яких регулювати та підтримувати напругу незмінною .

Сенс синхронних компенсаторів автоматизується, в зв'язку з чим

створюється можливість плавного автоматичного регулювання.

Для здійснення асинхронного пуску в синхронні компенсатори вмонтовані пускові обмотки. Використовується спосіб прямого і реакторного пуску.

Найбільші значення струму і потужності в недозбудженому режимі виходять при роботі в реактивному режимі.

У ряді випадків в маловодні періоди для роботи в режимі компенсаторів використовуються теж генератори гідроелектростанцій...

Слід мати на увазі, що перезбуджена синхронна машина незалежно від того, чи працює вона генератором або двигуном, може розглядатися щодо мережі як ємність, а недозбуджена - як індуктивність.

Щоб перевести генератор, в режим синхронного компенсатора потрібно закрити доступ пару в турбіну. Це перезбуджений режим турбогенератор почне споживати активну потужність тільки для покриття втрат.

При необхідності турбогенератор може бути використаний в якості синхронного компенсатора як при обертанні турбіни (разом з турбіною), так і при від'єднаній, тобто при розібраній муфті з'єднання.

Обертання парової турбіни з боку генератора, який перейшов в руховий режим, може викликати перегрів хвостовій частині турбіни.

1.6 Статичні тиристорні компенсатори

В даний час основним навантаженням електричних мереж є асинхронні двигуни, різні розподільні або перетворюючі трансформатори, напівпровідникові перетворювальні апарати та інші.

Подібна навантаження в процесі роботи є споживачем реактивної потужності, яка, здійснюючи коливання між джерелом, витрачається на створення електромагнітних полів та створює додаткове навантаження устаткуванню для виробництва, передачі і розподілу електроенергії. Різко змінний характер споживання електроенергії супроводжується коливаннями напруги в вузлах навантаження.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання навантаження з нелінійною вольт-амперною характеристикою супроводжується генерацією несинусоїдальних спотворень в мережу живлення, негативно впливаючи на все електрообладнання енергетичного об'єкта:

- підвищене нагрівання апаратури передачі і розподілу електроенергії, збільшення активних втрат в провідникових і діелектричних матеріалах
- вібрації, нестабільна робота двигунів
- помилкові спрацьовування пристроїв РЗіА
- електромагнітні перешкоди в апаратурі вимірювання і пристроях управління
- несанкціоноване спрацьовування комутаційної апаратури
- можливість виникнення резонансних явищ при компенсації реактивної потужності.

Статичні тиристорні компенсатори реактивної потужності є одним з механізмів, які забезпечують зріст ефективності роботи, передачі і розподілу електричної енергії.

Розробляються СТК в двох основних модифікаціях: для промислових установок типу дугових сталеплавильних печей (ДСП) і тиристорних приводів прокатних станів і для високовольних ліній електропередачі. Також є спеціальне виконання СТК для застосування на тягових підстанціях електрифікованих залізниць.

Тиристорні ключі складаються з двох включених зустрічно паралельно тиристорів (рис. 1.5). Їх застосовують для регулювання конденсаторних батарей і реакторів. В силу специфіки комутаційних властивостей конденсаторів і реакторів управління їх потужністю за допомогою тиристорів принципово різне.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

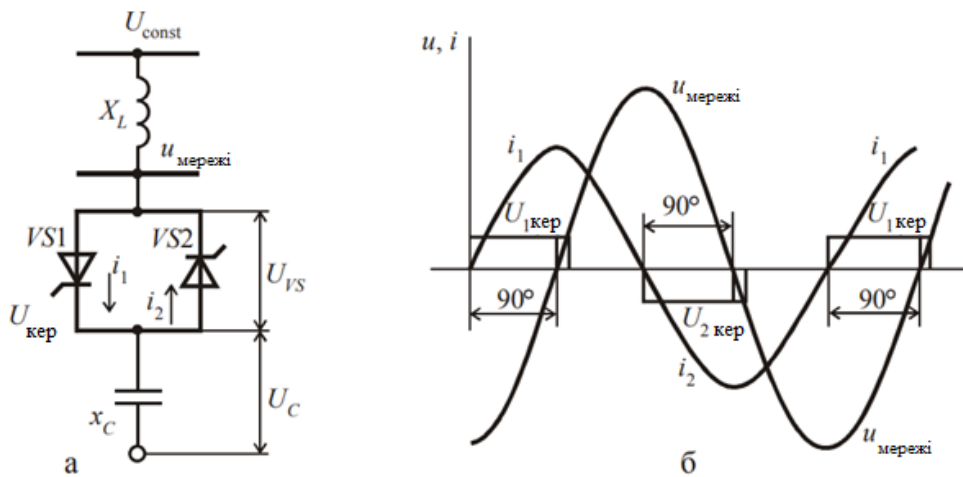


Рисунок 1.5 - Тиристорний вимикач для комутації конденсаторних батарей: а- принципова схема однієї фази; б - струм і напруга на КБ в сталому режимі.

На рис. 1.6. показаний статичний тиристорний компенсатор (СТК) в однофазному виконанні, що складається з трьох секцій КБ, кожна з яких комутується своїм тиристорним ключем.

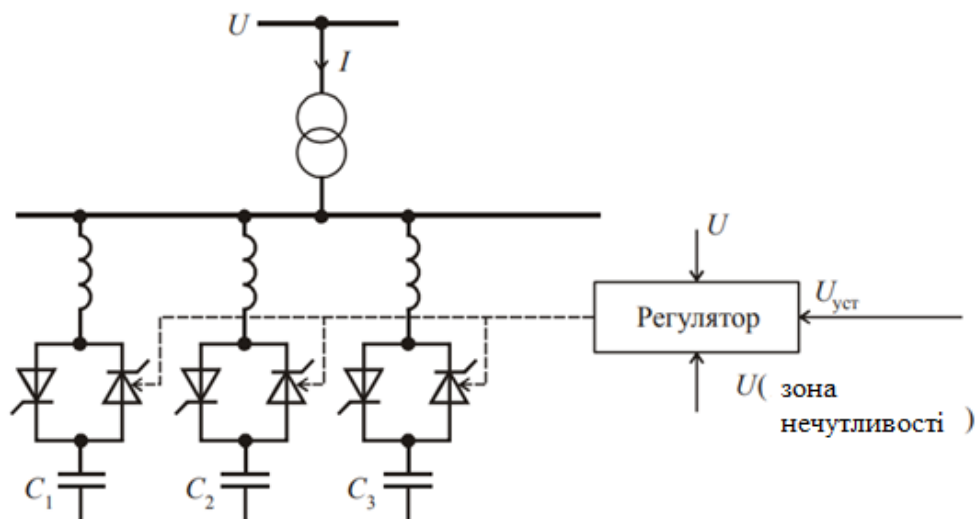


Рисунок 1.6 - Принципова схема СТК, що складається з трьох секцій конденсаторних батарей, комутуваних тиристорами

Ефективність застосування СТК:

Для промислових установок і тягових підстанцій залізниць

- Балансування навантаження
- Зниження струмів вищих гармонік
- Зниження коливань напруги

Для дугових сталеплавильних печей

- Істотне зниження коливань напруги
- Збільшення середнього коефіцієнта потужності
- Можливість підключення печей з низькою потужністю КЗ
- Стабілізація напруги на шинах навантаження
- Зниження витрати електродів і футерування

Для ліній електропередач

- Збільшення передавальної здатності електропередачі
- Підвищення статичної та динамічної стійкості передачі
- Підвищення продуктивності печі
- Зниження відхилень напруги при великих збуреннях в системі
- Обмеження внутрішніх перенапруг
- Стабілізація напруги

Статичний тиристорний компенсатор реактивної потужності (СТК) є одним з механізмів, які забезпечують зріс ефективності роботи систем. Передачі і розподілу електричної енергії.

Розробляються СТК для промислових установок типу дугових сталеплавильних печей (ДСП), тиристорних приводів прокатних станів і для високовольтних ліній електропередачі. Також є спеціальне виконання СТК для застосування на тягових підстанціях електрифікованих залізниць.

Ефективність застосування СТК, в залежності від об'єкта установки, визначається реалізацією ними функцій:

Для промислових установок і тягових підстанцій залізниць

1. Зниження коливань напруги
2. Підвищення коефіцієнта потужності
3. Балансування навантаження
4. Зниження струмів вищих гармонік

Для дугових сталеплавильних печей

1. Істотне зниження коливань напруги (флікера) в мережі живлення
2. Можливість підключення потужних печей до енергосистем з низькою потужністю КЗ
3. Підвищення середнього коефіцієнта потужності

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Зниження струмів вищих гармонік, поточних в енергосистему
5. Симетрування струмів, які споживаються з мережі
6. Стабілізація напруги на шинах навантаження
7. Підвищення продуктивності печі
8. Зниження витрати електродів і футерування

Для ліній електропередачі

1. Підвищення статичної та динамічної стійкості передачі
2. Зниження відхилень напруги при великих збуреннях в системі
3. Стабілізація напруги
4. Обмеження внутрішніх перенапруг
5. Збільшення передавальної здатності електропередачі через покращення стійкості при великій переданій потужності
6. Фільтрація струмів вищих гармонік.

Крім забезпечення вимог діючих стандартів за основними показниками якості електроенергії СТК здійснюють розвантаження мережевих трансформаторів і живлять ліній електропередачі від реактивної потужності і, тим самим, знижують в них величину чинного струму і активних втрат, що дозволяє збільшити пропускну здатність без установки нового обладнання. Термін окупності СТК становить від 1 до 3 років.

Таким чином, за охороною навколишнього середовища, СТК можна назвати "очисними системами" для енергетичного середовища, відновлюючи якість електроенергії, зіпсовану споживачами, і знижуючи активні втрати на її передачу.

Ефектом від впровадження СТК є:

- підвищення коефіцієнта потужності $\cos\varphi$
- зниження втрат при передачі і розподілі електроенергії
- зниження завантаження устаткування передачі і розподілу електроенергії
- зниження впливу вищих гармонійних складових струму і напруги
- поліпшення виробничих показників, стабілізація технологічного процесу

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- збільшення надійності роботи електричних мереж
- збільшення терміну служби енергетичного обладнання.

1.7 Конденсаторні батареї

Конденсаторні батареї (КБ) це простий і надійний статичний пристрій. Конденсаторні батареї будують з конденсаторів, що випускаються на різні потужності і номінальну напругу (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 - Конденсаторна батарея

Конденсатор являє собою пристрій, що складається з двох або більше провідників, розділених діелектриком. Якщо до конденсатора прикладено напругу то він здатний накопичувати електричний заряд а потім віддати його, коли з конденсатор заряджається утворюється електричне поле. Його заряд буде більше, від його ємності і прикладеної до нього напруги. Ємність конденсатора, буде більшою, чим більше внутрішня поверхня провідників, тим менше відстань між цими провідниками. Відстань між провідниками, заповнена діелектриком..

Конденсатор характеризується Втрати активного потужності призводять до його нагріву. Чим вище прикладом напруга тому більш будуть ці втрати. Від діелектрик залежався його Втрати. Від типу і призначення конденсатора Втрати можуть ставати від 0,5 до 4 Вт / квар.

Групу конденсаторів, з'єднаних між собою називають конденсаторної батареєю.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нерегульовані конденсаторна батарея має негативні регулюють ЕФЕКТ, що є їх недоліком. Їх Потужність знижується щодо зниження прикладеної напруги.

Подолання цього недоліку знаходять у формуванні КБ з декількох секцій, підключається до мережі через вимикач, збільшуючи Ємність батареї. Це дозволяє збільшувати потужність КБ при Зниження напруги.

При трифазному виконанні секції в конденсаторі з'єднані в трикутник. Конденсаторна батарея, обладнана комутаційної апаратурою, засобами захисту і управління, утворює конденсаторну установку (КУ).

Регулюючий ефект по реактивної потужності КУ з однієї секції показаний на рис. 1.8а

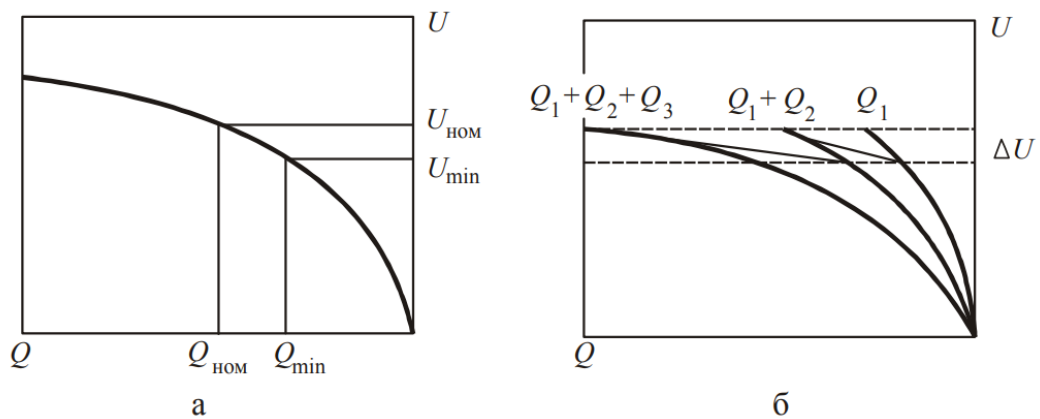


Рисунок 1.8 - Статичні характеристики конденсаторної установки, що складається з однієї (а) і трьох (б) секцій

Статична характеристика конденсаторної установки, що складається з трьох секцій, наведена на рис. 1.8 (б). Потужність КУ при зниженні напруги зростає ступенями (Q_1 ; $Q_1 + Q_2$; $Q_1 + Q_2 + Q_3$). Ступеневе регулювання вимагає введення в регулятор напруги КУ зони нечутливості ΔU . У межах цієї зони при зниженні напруги підключення чергової секції неприпустимо. Невиконання цієї умови призведе до нестійкої роботи КУ. Зона нечутливості повинна бути більше, ніж збільшення напруги, викликане підключенням чергової секції відразу після її включення. В іншому випадку напруга на КУ досягне напруги установки спрацьовування на відключення секції відразу після її включення. Вірогідність такого буде більша, чим більша потужність секції, що підключається і чим менше зона нечутливості регулятора КУ.

32

					141.6104.004.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

1.8 Статичні вентильні джерела реактивної потужності

Генерація реактивної потужності, на відміну від активної, не вимагає витрат енергії. Джерелами реактивної потужності є:

1. Лінії електропередачі
2. Синхронні машини: генератори, двигуни, синхронні компенсатори
3. Батареї статичних конденсаторів (БСК)
4. Вентильні джерела реактивної потужності.

Вентильними джерелами реактивної потужності є пристрої, що складаються з ємності і керованого реактора (індуктивності), з'єднаних послідовно або паралельно.

Вентильні джерела реактивної потужності допускають плавне регулювання реактивної потужності шляхом зміни індуктивності реактора. Якщо сумарний опір вентильного джерела має індуктивний характер, то реактивна потужність споживається; якщо характер сумарного опору - ємнісний, то реактивна потужність генерується.

Дані пристрої являють собою статичний аналог синхронного компенсатора. Вони досить дорогі і використовуються порівняно нечасто. Область їх застосування - мережі надвисокої напруги.

1.9 Шунтуючі реактори

Шунтувальний реактор являє собою пристрій компенсації реактивної потужності, який підвищує ефективність енергосистеми.



Рисунок 1.9 - Шунтуючий реактор

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей компактний пристрій широко використовується для компенсації реактивної потужності в протяжних високовольтних лініях електропередачі і в кабельних системах. Шунтувальний реактор може безпосередньо бути підключений до лінії електропередачі або до третинної обмотки триобмоткового трансформатора.

Шунтуючі реактори на напруги 35 - 750 кВ можуть приєднуватися до лінії (рис. 1.10), так і включатися на шини підстанції.

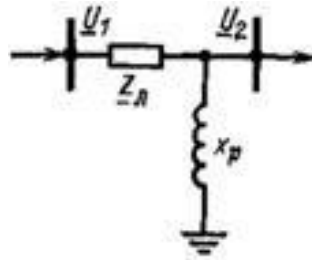


Рисунок 1.10 - Схема заміщення реактора, включеного в лінію

Шунтуючий реактор може бути підключений постійно або включатися через автоматичний вимикач. Щоб поліпшити регулювання споживаної реактивної потужності, реактор може також мати регульовані параметри. Якщо навантаження змінюється повільно, як це зазвичай і буває (сезонно, щодоби або погодинно), керований шунтуючий реактор може бути економним рішенням для деяких видів застосувань.

В основному конструкція маслонаповнених шунтуючих реакторів заснована на застосуванні броньового сердечника з зазором. Така конструкція мінімізує втрати, шуми і вібрацію. Конструктивна схожість з високопродуктивними силовими трансформаторами дозволяє ефективно використовувати такі шунтуючі реактори для таких застосувань, як створення ізоляції, управління виробництвом електроенергії та інших.

1.10 Баланс реактивної потужності в електричній мережі

Під балансом реактивної потужності розуміється рівність потужностей, які генеруються та споживаються при допустимих відхиленнях напруги у приймачів електроенергії. Орієнтовні втрати реактивної потужності для повітряних ЛЕП: 35 кВ приймаються 1 ... 2%; 110 кВ приймаються 4 ... 6%, від

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модуля повної переданої по лінії потужності. Втрати в трансформаторах приймають 5 ... 9% від повної потужності, що проходить через трансформатор.

На відміну від активної потреба в реактивній потужності, зазвичай, не може бути забезпечена тільки генераторами станцій. Генерація і передача необхідної реактивної потужності з урахуванням втрат, власних потреб та резерву реактивної потужності тільки на електростанціях є економічно доцільною. Найефективніше використовувати компенсуючі пристрої, що встановлюються в мережі. Тому метою складання балансу по реактивній потужності є визначення сумарної потужності компенсуючих пристроїв з урахуванням розполагаемой потужності генераторів станцій.

Баланс реактивної потужності в проектованій мережі визначається виразом

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{сн}} + Q_{\text{р}} + DQ_{\text{сеті}} - Q_{\text{ку}},$$

де $Q_{\text{нагр}}$ - задана сумарна реактивна потужність навантажень

$Q_{\text{сн}}$ - витрата реактивної потужності на власні потреби станцій, який можна прийняти рівною 2%, 5%, 6% від повної сумарної повного навантаження споживачів

$Q_{\text{р}}$ - резерв реактивної потужності на станціях, що становить приблизно 10% від $\alpha S_{\text{нагр}}$

$DQ_{\text{мер}}$ - втрати реактивної потужності в мережі (Мвар)

Сумарні реактивні втрати в мережі складаються з втрат в лініях і трансформаторах - $DQ_{\text{сеті}} = DQ_{\text{тр}} + DQ_{\text{леп}}$.

З урахуванням середніх значень коефіцієнта завантаження трансформаторів 0.7-0.85 величина втрат реактивної потужності в трансформаторах складає близько 10% від сумарної переданої через них потужності;

Втрати потужності в лініях електропередачі складаються з двох складових, що мають протилежні знаки $DQ_{\text{леп}} = -DQ_{\text{с}} + DQ_{\text{л}}$;

тут $DQ_{\text{с}}$ - реактивна потужність, що генерується ЛЕП;

$DQ_{\text{л}}$ - втрати реактивної потужності в індуктивних опору ЛЕП.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При орієнтовних розрахунках, при відсутності в мережі ліній 330 кВ і вище допускається приймати, що втрати реактивної потужності в індуктивних опорах ВЛ та генерація реактивної потужності цими лініями в період максимальних навантажень взаємно компенсуються, тобто $DQ_c = DQ_l$. Тоді $DQ_{lep} = 0$. З огляду на це $DQ_{seti} = DQ_{tr} = 0,1 \cdot S_{нагр}$.

$Q_{ку}$ - сумарна потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються в мережі;

Наявна реактивна потужність системи визначається виразом

$$Q_g = P_{tg} \cdot \tan \phi_g$$

де $\tan \phi_g$ системи знаходиться по заданому $\cos \phi_g$ енергосистеми.

З рівняння балансу реактивної навантаження знаходимо сумарну потужність компенсуючих пристроїв, що встановлюються на підстанціях

$$Q_{ку} = S_{нагр} + Q_{сн} + Q_p + DQ_{seti} - Q_g \quad (1.4)$$

Крім того, компенсація реактивної потужності у споживачів розвантажує елементи електричної мережі (ЛЕП, трансформатори), що зменшує втрати потужності в мережі і покращує режим напруги внаслідок зниження падіння напруги в елементах мережі. Розвантаження елементів мережі від реактивної потужності дозволяє завантажити ці елементи додатковою активною потужністю або в деяких випадках зменшити перетину ЛЕП або знизити встановлену потужність трансформаторів.

Вибір і розміщення пристроїв компенсації реактивної потужності в електричних мережах повинен проводитися виходячи з необхідності забезпечення необхідної пропускної спроможності мережі в нормальних і післяаварійних режимах роботи при збереженні необхідних рівнів напруги і запасів стійкості.

1.11 Керування компенсуючими установками

Для більш економного використання компенсуючих установок (СД і КБ) в умовах експлуатації деякі з них повинні бути обладнані пристроями автоматичного або ручного управління, що дозволяють повністю або частково регулювати потужність КУ в періоди найменших і найбільших навантажень в

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергосистемі. Таким способом поліпшується загальний режим роботи СЕС, виключається перекомпенсація реактивної потужності, яка може викликати підвищення напруги в мережі і збільшити втрати електроенергії.

В першу чергу слід розглядати можливості автоматичного регулювання збудження наявних на підприємстві СД. Пристрій автоматичного регулювання збудження входить в конструкцію СД і дозволяє двигуну працювати як з перезбудженням, генеруючи реактивну потужність в мережу в години максимуму навантажень, так і з недозбудженням, період якого СД споживає з мережі реактивну потужність.

Конденсаторні батареї потужністю більш 150 квар повинні бути забезпечені регуляторами реактивної потужності. Це досягається за рахунок ділення всієї потужності КБ на окремі (не більше трьох-чотирьох) секції, що дозволяють здійснювати як одноступенчатое, так багатоступінчасте регулювання.

Одноступінчасте регулювання потужності КБ, при якому вся потужність КБ вмикається і відключається в певний час доби відповідно до графіка навантажень або при певному рівні напруги в мережі, виконується простіше. Такий спосіб одноступінчатого регулювання доцільний при рівномірному графіку споживання реактивної потужності і при застосуванні КУ 6-10 кВ, що мають масляні вимикачі, у яких кількість перемикачів повинно бути обмежено.

На підприємствах, що мають нерівномірні графіки споживання реактивної потужності, застосовується багатоступінчасте регулювання, при якому стає можливим включення і відключення різного числа секцій КБ. Причому частина потужності КБ, що дорівнює найменшій реактивного навантаження підприємства, повинна залишатися нерегульованою, тобто постійно включеною.

Вибір того чи іншого способу автоматичного регулювання реактивної потужності, параметра і схеми регулювання визначається характером технологічного процесу і зміною реактивних навантажень (повільні зміни або резкоперемінної ударні навантаження), вихідним завданням енергосистеми і

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

т.п. Параметрами регулювання можуть бути час доби, рівень напруги мережі, реактивні струми в мережі та ін.

На промислових підприємствах найчастіше застосовується автоматичне регулювання по часу доби і за рівнем напруги.

При регулюванні в функції часу доби використовуються сигнальні годинники типу ЕВЧС-24, за допомогою яких в певний час доби можна 38 перемикає секції КБ. Таке регулювання часом доби здійснюється на підприємствах, у яких реактивна потужність навантажень майже не змінюється або змінюється в часі. Залежно від виду регулювання (одно- або багатоступінчате) використовуються один або кілька комплектів годин ЕВЧС-24.

Регулювання потужності КБ по напрузі застосовується в тих випадках, коли споживачі вимагають одночасного регулювання реактивної потужності та напруги, наприклад при харчуванні ЕП від нерегульованого силового трансформатора. У цьому випадку зі збільшенням реактивної потужності знижується напруга і навпаки.

Іноді застосовується комбіноване регулювання за часом доби з корекцією по напрузі. Такі схеми регулювання можуть бути застосовані для одно- і багатоступінчастого регулювання. Особливу увагу слід звертати на виключення можливості повторного включення КБ в зарядженому стані. Для цієї мети використовується реле часу з витримкою 2-3 хв після відключення і нового включення КБ. Цей час необхідний для розрядки конденсаторів [5].

Схема регулювання по напрузі повинна бути відбудована від короткочасних коливань напруги, що викликаються поштовховими навантаженнями. Для цієї мети служить реле часу з витримкою часу 2-3 хв.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У розділі розглянуто джерела та засоби регулювання реактивної потужності в електричних мережах. Нами було з'ясовано, невелике відхилення напруги погіршує стан працівника і обладнання. Це є однією з причин чому потрібно підтримувати напругу в нормах. Є різні методи та засоби регулювання напруги такі як трансформаторами з РПН. Був описаний пристрій та його основні елементи.

Не завжди можна врегулювати напругу є один негативний чинник мережі «реактивна потужність». Вона призводить до збільшенню втрат в ел.мережі та сприяє падінню напруги. У розділі було розглянуті засоби регулювання реактивної потужності, які приводять до оптимізації.

При експлуатації електричних мереж необхідно безперервне підтримання бажаного рівня напруги в вузлах електричної мережі. Одним із заходів для забезпечення бажаного рівня напруги є установка компенсуючих пристроїв.

Основним споживачем реактивної потужності індуктивного характеру на промислових підприємствах є трансформатори, включаючи зварювальні (20-25%), вентиляні, реактори та інші ЕП.

Синхронний генератором, альтернатором називається пристрій, за допомогою якого здійснюється перетворення механічної або інших видів енергії в змінний струм.

Синхронним компенсатором є синхронний двигун полегшеної конструкції, призначення якого робота на холостому ході.

В даний час основним навантаженням електричних мереж є асинхронні двигуни, різні розподільні або перетворюючі трансформатори, напівпровідникові перетворювальні апарати та інші.

Конденсаторні батареї (КБ) є простим і надійним.

Конденсаторні батареї будують з конденсаторів, що випускаються на різні потужності і номінальну напругу.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА — ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПС 110-35-10 кВ «БІЛИЧІ»

2.1 Електрична мережа - загальна характеристика

В даній роботі було обрано електричну мережу ПС 110-35-10 кВ «Біличі», що належить до Київенерго.

ПрАТ "Київобленерго" є частиною об'єднаної енергетичної системи України.

Підприємство здійснює передачу та постачання енергії споживачам, розташованим у 25 районах Київської області, до складу яких входять 25 міст, 11 міст обласного підпорядкування та 30 селищ міського типу.

ПрАТ "Київобленерго" здійснює свою діяльність на території понад 28,1 тисяч км² та обслуговує понад 25,835 тисяч промислових та 908,141 тисяч побутових споживачів.

2.2 Структура і основні енергетичні характеристики мережі

Електрична мережа – це сукупність енергетичних об'єктів, що щільно пов'язані між собою.

На ПрАТ "Київобленерго" виробляють теплову енергію ТЕЦ-5, ТЕЦ-6, «Теплові мережі», 175 котелень, що перебувають в управлінні філіалу «Житло теплоенерго», та сміттєспалювальний завод «Енергія». Основну частину теплової енергії ПрАТ "Київобленерго" виробляють філіал «Теплові мережі» та ТЕЦ 5 – більше 60%.

Серед споживачів теплової енергії на потреби опалення та гарячого водопостачання виділяють наступні групи: населення, бюджетні організації та інші споживачі. Основним споживачем теплової енергії є населення, яке займає 79% в структурі споживання теплової енергії.

					141.6104.004.ДБ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Характеристика об'єкта – електричної мережі на підстанції «Біличі»	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Луцай В.Б.		11.06				
Перевір.		Хоменко О.В.		11.06			37	22
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.		Настенко Д.В.				ФЕА, гр.ЕК-г61-1		
Затверд.		Толочко О.І.						

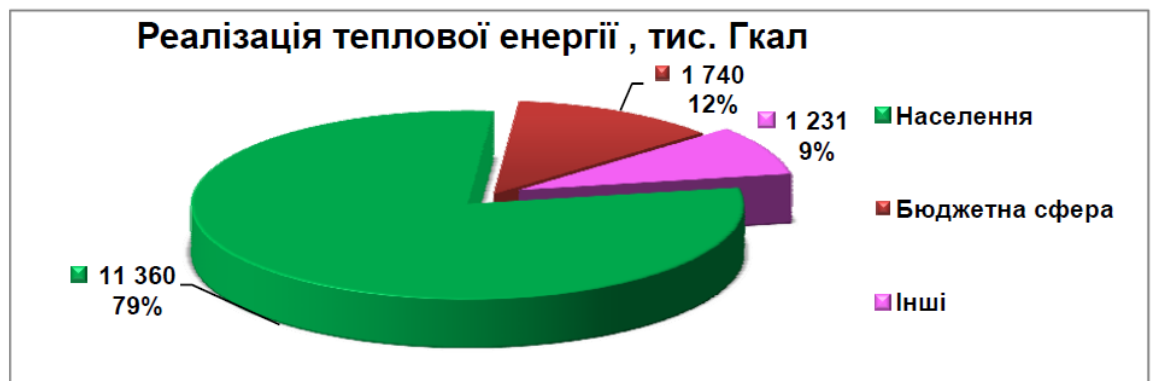


Рисунок 2.1 - Структура реалізованої теплової енергії в 2019 р.

Основним видом палива споживаного для виробництва теплової енергії являється природний газ.

Загальна довжина кабельних ліній електропередач 0,4-110 кВ 9,9 тис. км, повітряних ліній — 1,6 тис. км. Трансформація та керування енергоподаванням здійснюється на 60 підстанціях 35-110 кВ сумарною потужністю 3670,4 МВА та на 3175 трансформаторній підстанції 6-10/0,4 кВ сумарною потужністю 2268 МВА.

Генерацію електричної енергії здійснює на двох теплоелектроцентралях — ТЕЦ-5 та ТЕЦ-6. На ТЕЦ-5 (встановлена електрична потужність — 700 МВт) працюють 4 енергетичних блоки, а також 5 водогрійних котлів. На ТЕЦ-6 (встановлена електрична потужність — 500 МВт) працюють 2 енергетичних блоки, а також 6 пікових водогрійних котлів. Транспортування електроенергії забезпечується мережею повітряних та кабельних ліній загальною протяжністю понад 13 тис. км.

2.2.1 Компенсуючі пристрої в електричній мережі

При значному споживанні реактивної потужності напруга в мережі знижується. У дефіцитних по активної потужності енергосистемах рівень напруги, як правило, нижче номінальної. Якщо для виконання балансу активна потужність недостатня, транспортується системи з сусідніх енергосистем, в такі що мають надлишок генерується.

Часто енергосистеми дефіцитні по активної потужності, дефіцитні і за реактивною потужністю. Ще відсутню реактивну потужність ефективно не

					141.6104.004.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

передавати, а генерувати в компенсуючих пристроях що встановлені в даній енергосистемі.

Теплова енергія до липня 2014 реалізувалась юридичним особам — здебільшого житловим організаціям, які забезпечують централізоване опалення та гаряче водопостачання населення. З липня 2014 року ПрАТ "Київобленерго" стає постачальником послуг централізованого теплопостачання та гарячого водопостачання для населення.

Виробництво теплової енергії ПрАТ "Київобленерго" здійснюється на ТЕЦ-5, ТЕЦ-6 (встановлена теплова потужність 1874 Гкал/год та 1740 Гкал/год відповідно), а також на 4 станціях теплопостачання та 178 котельній. Загальна встановлена потужність теплових джерел — 8 814,6 Гкал/год. Транспортування теплової енергії забезпечується тепломережами загальною протяжністю більш ніж 2 тис. км (у двотрубному вимірі).

2.3 Підстанція 110-35-10кВ «Біличі»

На підстанції «Біличі» основна частка електричного обладнання являє собою індуктивне навантаження: асинхронні двигуни, індукційні печі, трансформатори і лампи з ПРА.

Основні характеристики п/ст. подані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні характеристики п/ст

Характеристика	Роз'яснення
ПС "Біличі"	110/35/10 кВ
Адреса	м. Київ, вул. Генерала Наумова, 64
Власник	ПрАТ «Київенерго»
Номінальна потужність підстанції, Sном., КВА	3х40000
Гранична потужність подстанції, Pмакс., КВт	103040
Електричне навантаження в режимний день, Pреж.день, кВт	75000

Повна електрична схема показана на рисунку 2.1

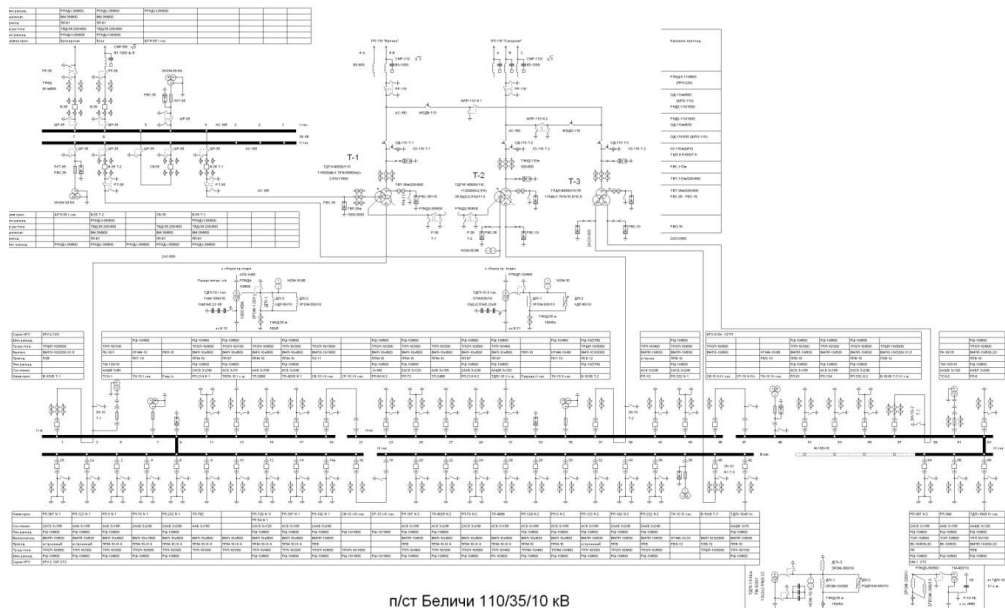


Рисунок 2.2 - Повна електрична схема «Біличі»

На рисунку 2.2 повна схема електричної мережі.

Вузли схеми, тобто підстанції, з'єднані між собою.

«Біличі» являється замкненою системою адже має постачання енергії від більше двох джерел.

За способом приєднання поділяються на :

- відгалужувальні, живляться від відгалужень;
- вузлові, які приєднанні до мережі не менше, ніж через три лінії.
- тупикові, приєднанні в кінці лінії;

Ця схема була розрахована на клас напруги від 330 кВ до 0.4 кВ. Також має багато підстанцій різних класів напруги.

2.3.1 Схема електричних з'єднань підстанції «Біличі». Загальна характеристика. Склад основного обладнання підстанції

Підстанція 110/35/10 кВ «Біличі» розміщена у вузлі 7 замкнутої електричної мережі, і є прохідною. На ній встановлено два трансформатори ТДТН 25000/110. Потужність споживачам видається 4 ПЛ з секції шин 35 кВ, та 18 КЛ з 10 кВ. До даної ПС підходять три одноланцюгові лінії: по ділянці

0-7 проводом АС-240/39 довжиною 22 км, по ділянці 7-6 проводом АС-70/11 довжиною 29 км, та по ділянці 7-8 проводом АС-70/11 довжиною 36 км.

На підстанції є комутаційне обладнання:

масляні вимикачі, шинні та лінійні роз'єднувачі.

Є дугогасильні камери (ДГК) щоб при розриву контакту загасити дугу.

Два силові автотрансформатори, вимірювальні, обхідні, та лінійні роз'єднувачі, вимикачі та шинні роз'єднувачі.

Трансформатори власних потреб, для забезпечення надійної роботи станції

Вентильні розрядники, також обмежувачі перенапруги. для захисту апаратури.

Важливим елементом обладнання на ПС є трансформатори власних потреб (ТВП), завдяки якому здійснюється живлення основного обладнання підстанції.

Високочастотні загороджувачі, для передачі сигналів аварійної автоматики на відводах підстанції, також зменшують вплив шин підстанції на тракт високочастотного каналу.

2.3.2 Силові трансформатори підстанції

Трьохфазні триобмоткові трансформатори, з регулюванням напруги під навантаженням (РПН), з системою охолодження виду Д призначені для роботи у відкритих електроустановках.

Структура умовного позначення

ТДТН- 25000/110 У1:

Т - трифазний;

Д - примусова циркуляція повітря і природна циркуляція олії;

Т - триобмотковий;

У1 - кліматичне виконання і категорія розміщення по ГОСТ 15150-69.

Н - регулювання напруги під навантаженням;

25000 - номінальна потужність, кВ·А;

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

110 - клас напруги обмотки ВН;

Умови експлуатації. Температура навколишнього повітря від мінус 45 до 40°C. Висота над рівнем моря не більше 1000 м. Трансформатори відповідають вимогам ГОСТ 12965-93, технічним умовам ИАЯК. 672548.006 ТУ, вимогам безпеки по ГОСТ 12.2.007.2-75. Трансформатори призначені для внутрішньодержавних постачань на енергооб'єкти Росії і на експорт в райони помірного і холодного клімату. ГОСТ 12965-93; ИАЯК.672548.006 ТУ

Технічні характеристики представлені в додатку А, табл. А.1

2.3.3 Збірні шини підстанції

Шини розташовуються у відповідному відсіку КРП серії на опорних ізоляторах.

а) вибір збірних шин;

Приєднання трансформатора при найбільш важкому режимі, коли в роботі приєднаний один трансформатор і покриває се навантаження НН. Вибираємо:

жорсткі алюмінієві шини перетину 75*35*5,5мм перетином 2*695 мм⁻².

$$I_{\text{доп}} = 2950 \geq I_{\text{max}} = \frac{S_{\text{нн}}}{\cos\varphi_{\text{нн}} \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{16.67 \cdot 10^3}{0.84 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 1145.77 \text{ A}$$

Цей перетин задовольняє всім вимогам допустимого нагріву шин для нормального режиму.

Б) перевірка шин на термічну стійкість.

Тепловий імпульс на шинах 10кВ при трифазному КЗ рівний Вк_розп=8,03кА²*с. Визначення температур шин короткого замикання:

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{\text{доп}} - \theta_{0\text{ном}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{доп}}} \right)^2 = 27 + (70 - 27) \cdot \left(\frac{1145.77}{2950} \right)^2 = 43.53^\circ\text{C},$$

де $\theta_0 = \theta_{0\text{ном}} = 27^\circ\text{C}$ – температура навколишнього середовища

$\theta_{\text{д}} = 70^\circ\text{C}$ –максимальна температура шин.

Температура нагріву провідників при КЗ для $f = 30^\circ\text{C}$

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_k = f + k \cdot \frac{B_k}{q^2} = 30 + 1,054 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{8,03 \cdot 10^6}{(2 \cdot 695)^2} = 30^\circ \text{C},$$

де, $k=1.054 \cdot 10^{-2}$

По кривій визначаємо $\theta_{\text{доп}}=70^\circ \text{C}$, де значно менше допустимої температури для алюмінієвих шин

На ПС “Біличі” збірні шини виконані проводом марки АСО-300 на стороні 330 кВ. Є облегований сталевий сердечник поперечний переріз якого складає 300 mm². Має допустимий робочий струм 710 А та діапазон температур від -60 до +90 °С.

2.3.4 Комутаційне обладнання підстанції

Комутаційну апаратуру поділяють на:

- Вимикачі;
- Роз'єднувачі ;
- Короткозамикачі;
- Відокремлювачі;
- Реле тощо.

Вимикачі є одним з найбільш відповідальних апаратів в електричних установках. Вони повинні забезпечувати чітку роботу в будь-яких режимах, так як відмова вимикача може привести до розвитку аварії.

Вимикач повинен за мінімальний час відключити ланцюг при короткому замиканні, він повинен мати достатню відключає здатність, тобто надійно розривати ток КЗ. Вимикач повинен допускати якомога більшу число відключень без ревізій і ремонтів.

Максимальний струм на живильних ПЛ:

$$I_{\text{мах}} = 196 \text{ А}$$

Максимальний струм на секційному і вступному вимикачі ОРУ 220 кВ:

$$I_{\text{мах}} = 0,5 \cdot \frac{S_{\text{нн}} + S_{\text{транз}} + S_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = 0,5 \cdot \frac{39800 + 45100 + 10,1}{\sqrt{3} \cdot 220} = 124,80 \text{ А}$$

Номінальний і максимальний струм в ланцюзі трансформатора ОРУ 220 кВ:

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{нн}} + S_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n_{\text{т}}} = \frac{39800 + 10,1}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 2} = 65,5 \text{ А}$$

$$I_{\text{мах}} = \frac{1,5 \cdot S_{\text{ном}}^{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном вн}}} = \frac{1,5 + 63}{\sqrt{3} \cdot 220} = 169 \text{ А}$$

Максимальний струм в ланцюзі секційного вимикача на ОРУ 110кВ:

$$I_{\text{мах}} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{0,5 \cdot 10,1}{\sqrt{3} \cdot 110} = 26,5 \text{ кА}$$

Номінальний струм на ОРУ110 кВ в ланцюзі ліній, що відходять:

$$I_{\text{ном}} = \frac{1,5 \cdot S_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n} = \frac{1,5 \cdot 10,1}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 2} = 39,80 \text{ А}$$

де 1,5 - коефіцієнт враховує нерівномірність навантаження фідерів, n - число фідерів.

Максимальний струм ОРУ 110 кВ в ланцюзі ліній, що відходять:

$$I_{\text{ном}} = \frac{1,5 \cdot S_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot (n - 1)} = \frac{1,5 \cdot 33440}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot (2 - 1)} = 79,6 \text{ А}$$

$$I_{\text{мах,транс}} = \frac{S_{\text{сн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{10,1}{1,73 \cdot 110} = 53,07 \text{ А}$$

Максимальний струм в ланцюзі секційного вимикача на РУ 35 кВ:

$$I_{\text{мах}} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{0,5 \cdot 39800}{\sqrt{3} \cdot 35} = 328 \text{ А}$$

Номінальний струм ВРП 35 кВ в ланцюзі ліній, що відходять:

$$I_{\text{ном}} = \frac{1,5 \cdot S_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n} = \frac{1,5 \cdot 39800}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 9} = 109 \text{ А}$$

де 1,5 - коефіцієнт враховує нерівномірність навантаження фідерів, n - число фідерів.

Максимальний струм ВРП 35 кВ в ланцюзі ліній, що відходять:

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\max} = \frac{1,5 \cdot S_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n - 1} = \frac{1,5 \cdot 39800}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 8} = 123 \text{ A}$$

$$I_{\max, \text{транс}} = \frac{S_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{39800}{1,73 \cdot 35} = 657 \text{ A}$$

Комутаційне обладнання підстанції “Біличі” наведене див. додаток Б, табл. Б.1

2.3.5 Захисне обладнання

Приймаємо для ОРУ 220 кВ вимикачі фірми Сіменс ЗАР1FG -245 (табл. 2.4): ЗАР1FG -245 - триполюсна автоматичний компресійний вимикач у виконанні для зовнішньої установки, виробництва акціонерного товариства Siemens. Опорні ізолятори заповнені елегазом, який служить ізоляційним і дугознижуючим середовищем, (рис.2.3).

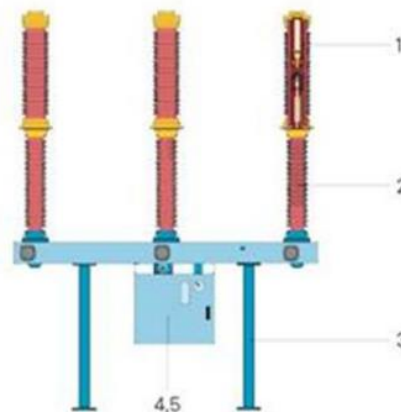


Рисунок 2.3 - Високовольтний вимикач ЗАР1FG -245:

1- Дугознижуюча камера; 2 - Опорний ізолятор; 3- стойка; 4 – шкаф управління; 5 – шкаф з приводом

У вимикачі ЗАР1FG -245 використаний самокомпресійний принципом гасіння дуги, що дало можливість зменшити необхідну для комутації енергію приводу. Пружинний привід з цільним компактним корпусом, для якого не потрібне техобслуговування, доволі економічний та має довгий термін

					Арк. 45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

служби. Рівень витоку елегазу нижче 0,5% на рік. Каталожні дані вимикачів високої напруги і розрахункові параметри мережі наведені і зіставлені в див. додатку В, табл. В.1

Включення і відключення роз'єднувачів здійснюється електродвигунним приводом (ПДВ), що дозволяє зробити ці операції дистанційно. Вибір роз'єднувачів проводиться: по напрузі установки, по току, по конструкції і роду установки. Їх перевіряють по електродинамічній стійкості, термічну стійкість. Приймаємо однакові роз'єднувачі двохколонкові горизонтально-поворотні марки DBF4-220 + AE2, (рисунок 2.4). Він складається з трьох окремих полюсів, з'єднаних між собою міжполюсними тягами для передачі приводного моменту. До кожного полюса центрального роз'єднувача може бути підключений заземляючий роз'єднувач або заземлюючий роз'єднувач (заземлювальний ніж). Роз'єднувачі оснащуються приводним механізмом типу МА-622N.

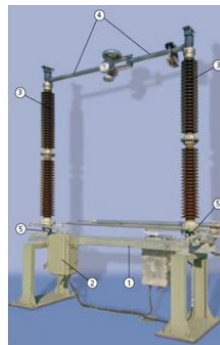


Рисунок 2.4 - Роз'єднувач горизонтально-поворотний: 1 – цоколь; 2 – електропривід; 3 – опорні ізолятори; 4 – контакти; 5 – поворотні механізми.

- роз'єднувач типу DBF на 220 кВ (230 кВ з технічної документації SiemensAG) номінальний струм 2500А, AE- 2заземлювач.

- 4 - кількість пальцевих контактів на головному ножі

- 2 - кількість пальцевих контактів на заземляючому ножі

2.3.6 Вимірювальні трансформатори напруги і струму підстанції

Трансформатори струму призначені для зменшення первинного струму найбільш зручних для вимірювальних приладів і реле 5 А, рідше 1 або 2,5, а

					141.6104.004.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

також для відділення ланцюгів управління і захисту від первинних ланцюгів високої напруги.

Трансформатори струму, що застосовуються в РУ, виконують одночасно роль прохідного ізолятора (ТПЛ, ТПОЛ). У комплектних РУ застосовуються опорно-прохідні (стрижневі) трансформатори струму - ТЛМ, ТПЛК, ТНЛМ, шинні - ТШЛ. в РУ 35 кВ і вище - вбудовані, в залежності від типу РУ і його напруги.

- по напрузі $U_{уст} \leq U_{ном}$;

- по току (первинному та вторинному) $I_{мах} \leq I_{ном}$;

При цьому слід мати на увазі, що номінальний вторинний струм 1А застосовується для РУ 500 кВ і потужних РУ 330 кВ, в інших випадках застосовують вторинний струм 5 А. Номінальний первинний струм повинен бути як якомога ближче до розрахункового струму установки, так як недовантаження первинної обмотки трансформатора призводить до збільшення похибок.

Обраний трансформатор струму перевіряють на динамічну і термічну стійкість до струмів короткого замикання. Крім цього трансформатори струму підбирають по класу точності, який повинен відповідати класу точності приладів, що підключаються до вторинної ланцюга вимірювального трансформатора струму (ІТТ) - Щоб трансформатор струму забезпечив задану точність вимірювань, потужність підключених до нього приладів не повинна бути вище номінальної вторинної навантаження, зазначеної в паспорті трансформатора струму.

3) По вторинної навантаженні: $Z_2 \leq Z_{2\text{ ном}}$

Індуктивний опір струмових ланцюгів невелика, тому $r_2 \sim r_{\text{ном}}$

Трансформатори напруги перевіряються по вторинної навантаженні:

$$r_2 \leq r_{\text{ном}}$$

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{к}}$$

де $r_{\text{приб}}$ - опір приладів; $r_{\text{к}}$ -перехідний опір контактів. $r_{\text{пр}}$ - опір з'єднувальних проводів;

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_{\text{ном}}^2,$$

де $S_{\text{приб}}$ - потужність, споживана приладами.

Знаючи $r_{\text{пр}}$, визначається перетин сполучних проводів:

$$q = \rho \cdot l / r_{\text{пр}}$$

де ρ - питомий опір матеріалу проводу ($\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ - дроти з алюмінієвими жилами, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ - дроти з мідними жилами);

l - відстані від трансформаторів струму до приладів.

Вибір трансформаторів струму на стороні ОРУ. Виберемо трансформатори струму для високовольтних вводів, що відходять ліній і обхідних вимикачів на ВРП 220 кВ.

Вторинна навантаження трансформатора струму для високовольтних вводів, що відходять ліній і обхідних вимикачів на ВРП в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Вторинне навантаження трансформатора струму

Вимірюючий прибір	Тип	Нагрузка по фазам В*А		
		А	В	С
Амперметр	Е-335	1,5	1,5	1,5
Ватметр	Д-335	-	0,5	0,5
Варметр	Д-335	-	0,5	0,5
Лічильник енергії	ЕА05RL	2	-	2
Всього		3,5	2,5	4,5

Приймаємо ТТ фірми Сіменс SASSF6-220, рисунок 2.5

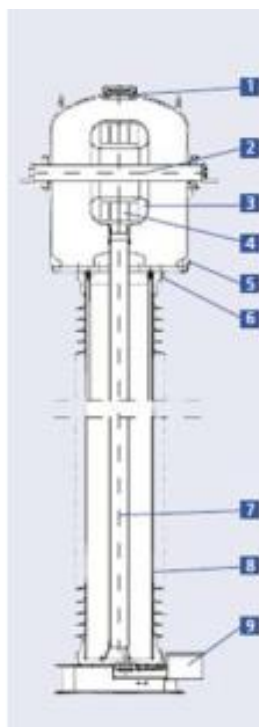


Рисунок 2.5 - Трансформатор струму Сіменс SASSF6-220: 1 – запобіжний клапан; 2 – первинна обмотка; 3 – кожух вторинних обмоток; 4 – кожух головної частини; 5 – фланець; 6 – відвідна труба; 7 – полімерна покриття; 8 – коробка виведень

2.3.7 Вимірювальні прилади

Для вимірювання електричних величин найбільш частіше застосовуються наступні прилади: сили струму – амперметр; напруги – вольтметр; потужності – ватметр; електроенергії – електричний лічильник; коефіцієнта потужності – фазометр; опору – омметр, вимірювальний міст; частоти – частотомір. Електровимірювальні прилади розрізняються за наступними ознаками: вимірювана фізична величина; рід струму; клас точності; принцип дії; спосіб відліку та характер шкали; характер застосування й установки, та іншим.

За родом струму прилади поділяються так:

- прилади, призначені для вимірювання на постійному струмі;
- прилади, призначені для вимірювання на змінному струмі;
- прилади, призначені для вимірювання на постійному і змінному струмі.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Існують вісім класів точності приладів:

0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; 4,0 .

За принципом дії прилади підрозділяються так: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, термоелектричні, випрямні та інші.

За способом відліку прилади можуть бути такими, що показують (з безпосереднім відліком по шкалі) та такими, що реєструють (самописи, осцилографи). Шкала приладів, що показують, може бути рівномірною (всі поділки однакові) та нерівномірною (не всі поділки однакові); більш точне вимірювання здійснюється за допомогою рівномірної шкали [9].

За характером застосування прилади підрозділяються так: стаціонарні (встановлювані на одному місці), переносні, транспортні (для мобільних установок). Встановлювати прилади можна вертикально (як правило, щитові прилади), горизонтально та під кутом до горизонталі.

Вибір електровимірювального приладу здійснюється в такий спосіб:

1. визначається вимірювана фізична величина та прилад для вимірювань (сила струму – амперметр, напруга – вольтметр, потужність – ватметр і так далі);
2. визначається рід струму в колі (постійний, змінний);
3. визначається необхідний клас точності приладу;
4. визначається характер застосування й установки;
5. визначається система приладу (магнітоелектрична, електромагнітна і так далі);
6. визначається межа вимірювання приладу;
7. визначається ціна поділки приладу.

2.3.8 Власні потреби підстанції

Склад споживачів власних потреб підстанції (СН) залежить від потужності трансформаторів, конструктивного виконання підстанції, наявності синхронних компенсаторів, типу електрообладнання, способу обслуговування та виду оперативного струму. Найменшу кількість споживачів

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СН на підстанціях, виконаних за спрощеними схемами, без синхронних компенсаторів – це електродвигуни охолодження трансформаторів, обігріву шаф приводів КРУН, а також освітлення підстанції.

Найбільш відповідальними споживачами СН підстанції є оперативні ланцюга, система зв'язку, телемеханіки, система охолодження трансформаторів.

Потужність споживачів СН мала, тому вони стикаються з мережею 380/220В, яка бере живлення від знижувальних ТСН.

Потужність трансформаторів СН вибирається за навантаженням СН з урахуванням коефіцієнта завантаження і одночасності, при цьому окремо враховується літні та зимові навантаження, і в період ремонтних робіт на станції.

2.3.9 Засоби релейного захисту і автоматики підстанції

В процесі експлуатації електричних мереж і електроустановок виникають пошкодження і аномальні режими роботи, що призводять до різкого збільшення струму і зниження напруги в елементах системи електропостачання. Особливо небезпечні короткі замикання.

У більшості випадків при КЗ виникає електрична дуга, що приводить до руйнування електричних апаратів, ізоляторів і струмоведучих частин. Так як при КЗ до місця пошкодження притікає великі струми, то можливий перегрів непошкоджених струмоведучих частин, що викликає розвиток аварії.

Для забезпечення надійного електропостачання, запобігання руйнування обладнання електроустановок і збереження стійкої роботи елементів системи необхідні, можливо, швидке відключення пошкодженої ділянки або елемента, а також ліквідація небезпечного аномального режиму. Здебільшого для цих цілей використовують спеціальні автоматичні пристрої у вигляді релейного захисту, що відключає вимикачі.

При відключенні вимикачів електрична дуга в місці пошкодження гасне, проходження струму КЗ припиняється і відновлюється напруга на неушкодженої частини мережі. При порушенні нормального режиму роботи

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

іноді немає необхідності вимкнення електрообладнання, а достатньо дати попереджувальний сигнал обслуговуючого персоналу на підстанції; при його відсутності - обладнання автоматично відключається, але обов'язково з витримкою часу.

Одним з основних видів аномальних режимів є перевантаження, представляють серйозну небезпеку для ізоляції електродвигунів, трансформаторів і генераторів. Захист від перевантажень здійснюється з витримкою часу більшою, ніж у захистів від КЗ. Захист від перевантажень в мережах не передбачається, так як в правильно спроектованій мережі перевантаження малоімовірні.

Таким чином, релейного захистом називають захист електричних установок від можливих пошкоджень і аномальних режимів роботи, здійснювану за допомогою автоматичних пристроїв. Основним призначенням РЗ є виявлення місця пошкодження і швидке автоматичне відключення вимикачем пошкодженої ділянки або обладнання, а також виявлення порушення нормального режиму роботи з подальшою подачею попереджувального сигналу обслуговуючому персоналу або відключенням обладнання з витримкою часу. Основні вимоги, що пред'являються до релейного захисту:

1) Селективність

Селективність або вибірковість захисту називається здатність захисту відключати при КЗ тільки пошкоджену ділянку мережі;

2) Швидкість дії

Правильне виключення КЗ має проводитися якомога швидко для зменшення руйнування обладнання, 3) Чутливість

Для того щоб захист реагувала на відхилення від нормального режиму, які виникають при КЗ вона повинна мати певну чутливість в межах встановленої зони її дії.

Чутливість захисту прийнято характеризувати коефіцієнтом чутливості $k_{\text{ч}}$. Для захистів, що реагують на струм КЗ,

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_u = \frac{I_{k.min}}{I_{c.3}},$$

де $I_{k.min}$ - мінімальний струм КЗ; $I_{c.3}$ - найменший струм, при якому захист буде працювати.

4) Надійність

Захист повинен безвідмовно працювати при короткому замиканні, в межах встановленої для неї зони і ні в якому разі не повинна працювати неправильно.

2.3.10 Розрахунок струмів короткого замикання на шинах підстанції

57

Визначимо струм та потужність трифазного короткого замикання в точках К1 та К2 електричної мережі, що наведена на рисунку 2.6

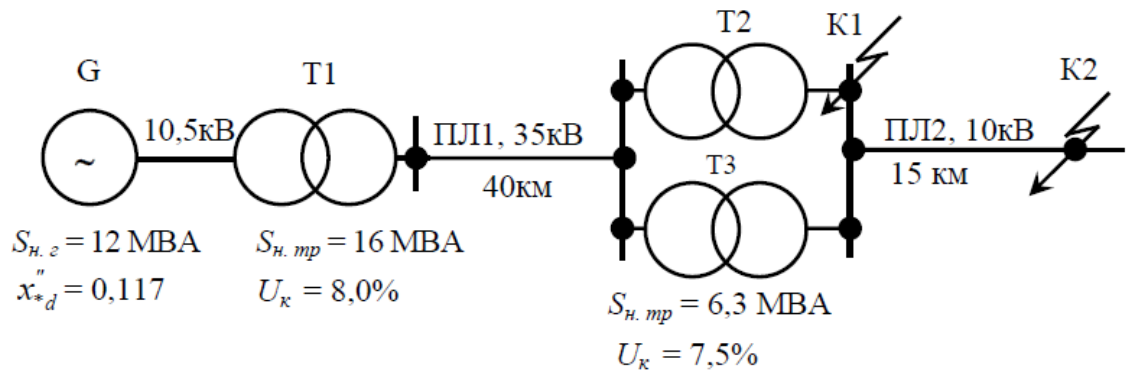


Рисунок 2.6 - Розрахункова схема електричної мережі

За розрахунковою схемою складаємо еквівалентну схему заміщення мережі і зводимо її до простішого виду (рисунок 2.7).

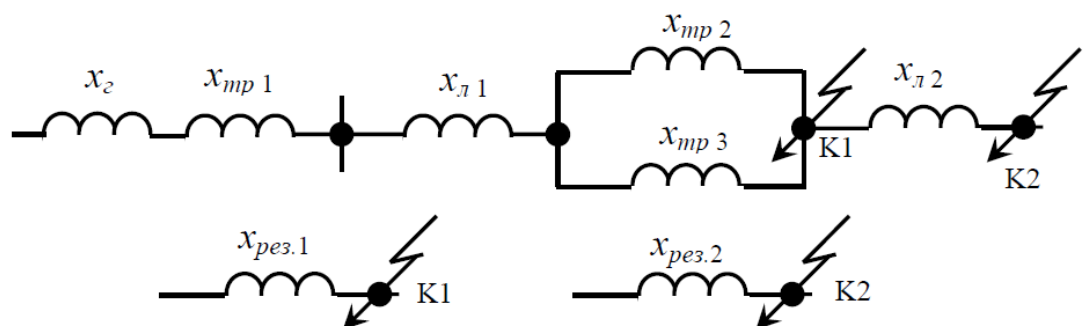


Рисунок 2.7 - Еквівалентні схеми заміщення мережі

Розрахунок в практичних одиницях.

1. Приймаємо базисну напругу:

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_6 = 1,05 \cdot U_H .$$

$$U_6 = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ}.$$

2. Визначаємо опір елементів мережі в практичних одиницях приведений до базисної напруги.

Опір генератора:

$$x_{г(6)} = x_{*d}'' \cdot \frac{U_6^2}{S_{H2}} ;$$

$$x_{г(6)} = 0,117 \cdot \frac{10,5^2}{12} = 1,07 \text{ Ом}.$$

Опір підвищувального трансформатора Т1:

$$x_{mp(6)} = \frac{U_{\kappa \%}}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_{Hmp}} ;$$

$$x_{mp1(6)} = \frac{8,0}{100} \cdot \frac{10,5^2}{16,0} = 0,55 \text{ Ом}.$$

Опір повітряної лінії напругою 35 кВ (ПЛ1):

$$x_{л(6)} = x_0 \cdot l \cdot \left(\frac{U_6}{U_{с.н}} \right)^2$$

приймаємо, що $X_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$, тоді

$$x_{л1(6)} = 0,4 \cdot 40,0 \cdot \left(\frac{10,5}{37,0} \right)^2 = 1,29 \text{ Ом}.$$

Опір знижувальних трансформаторів Т2 та Т3:

$$x_{mp2(6)} = x_{mp3(6)} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{10,5^2}{6,3} = 1,31 \text{ Ом}.$$

Опір повітряної лінії напругою 10 кВ (ПЛ2):

$$x_{л2(6)} = 0,4 \cdot 15,0 \cdot \left(\frac{10,5}{10,5} \right)^2 = 6,0 \text{ Ом}.$$

3. Визначаємо результуючий опір до точки К1:

$$Z_{рез(6)} = \sqrt{\left(\sum r_{(6)i} \right)^2 + \left(\sum x_{(6)i} \right)^2} .$$

Так як ми знехтували активним опором проводів, то записуємо:

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{рез.1(\delta)} = x_{рез.1(\delta)} = x_{\Sigma(\delta)} + x_{мп.1(\delta)} + x_{л.1(\delta)} + \frac{x_{мп.2(\delta)}}{2}$$

$$x_{рез.1(\delta)} = 1,07 + 0,55 + 1,29 + \frac{1,31}{2} = 3,56 \text{ Ом.}$$

4. Визначаємо результуючий опір до точки К2

$$x_{рез.2(\delta)} = x_{рез.1(\delta)} + x_{л2(\delta)}; \quad x_{рез.2(\delta)} = 3,56 + 6,0 = 9,56 \text{ Ом.}$$

5. Визначаємо струм трифазного короткого замикання в точці К1:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot x_{рез.(\delta)}}; \quad I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,56} = 1,70 \text{ кА.}$$

6. Визначаємо струм трифазного короткого замикання в точці К2:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,56} = 0,63 \text{ кА.}$$

7. Визначаємо потужність трифазного короткого замикання:

$$S_{\kappa}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot U_{\delta} \cdot I_{\kappa}^{(3)}$$

в точці К1:

$$S_{\kappa 1}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 1,7 = 30,9 \text{ МВА;}$$

в точці К2:

$$S_{\kappa 2}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,63 = 11,4 \text{ МВА.}$$

Розрахунок у відносних одиницях.

1. Задаємося базисними умовами:

$$U_{\delta I} = 1,05 \cdot 35 = 37,0 \text{ кВ; } U_{\delta II} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ; } S_{\delta} = 100 \text{ МВА.}$$

2. Визначаємо опір елементів мережі у відносних одиницях приведений до базисних умов.

Опір генератора:

$$x_{*\Sigma(\delta)} = x_{*d}'' \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{нг}}$$

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{*z(\delta)} = 0,117 \cdot \frac{100}{12} = 0,98.$$

Опір підвищувального трансформатора Т1:

$$x_{*mp(\delta)} = \frac{U_{\kappa} \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{н mp}};$$

$$x_{*mp1(\delta)} = \frac{8,0}{100} \cdot \frac{100}{16} = 0,50.$$

Опір повітряної лінії напругою 35 кВ (ПЛ1):

$$x_{*л1(\delta)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta I}^2};$$

$$x_{*л1(\delta)} = 0,4 \cdot 40,0 \cdot \frac{100}{37^2} = 1,17.$$

Опір знижувальних трансформаторів Т2 та Т3:

$$x_{*mp.2(\delta)} = x_{*mp.3(\delta)} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{6,3} = 1,19.$$

Опір повітряної лінії напругою 10 кВ (ПЛ2):

$$x_{*л2(\delta)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta II}^2};$$

$$x_{*л2(\delta)} = 0,4 \cdot 15,0 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 5,44.$$

3. Визначаємо результуючий опір до точки К1:

$$Z_{*рез1(\delta)} = x_{*рез1(\delta)} = x_{*z(\delta)} + x_{*mp1(\delta)} + x_{*л1(\delta)} \frac{x_{*mp2(\delta)}}{2};$$

$$x_{*рез1(\delta)} = 0,98 + 0,50 + 1,17 + \frac{1,19}{2} = 3,25.$$

4. Визначаємо результуючий опір до точки К2:

$$x_{*рез2(\delta)} = x_{*рез1(\delta)} + x_{*л2(\delta)}; \quad x_{*рез2(\delta)} = 3,25 + 5,44 = 8,69.$$

5. Визначаємо струм трифазного короткого замикання в точці К1:

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{I_{\delta}}{x_{*рез.(\delta)}}; \quad I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} U_{\delta}};$$

$$I_{\delta} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{5,5}{3,25} = 1,70 \text{ кА};$$

6. Визначаємо струм трифазного короткого замикання в точці К2:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{5,5}{8,69} = 0,63 \text{ кА.}$$

5. Визначаємо потужність трифазного короткого замикання

$$S_{\kappa}^{(3)} = \frac{S_{\delta}}{x_{*рез.(\delta)}}$$

в точці К1:

$$S_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{100}{3,25} = 30,8 \text{ МВА}$$

в точці К2:

$$S_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{100}{8,69} = 11,5 \text{ МВА.}$$

2.3.11 Перевірочний вибір обладнання підстанції

Роз'єднувачі на електричній підстанції призначені для створення видимого розриву ланцюгів і можуть бути обладнані одним або двома стаціонарними заземлюючими ножами.

Трансформатори напруги призначені для зниження високої напруги до величини 100 або 100/ В для живлення вимірювальних приладів, лічильників активної і реактивної енергії, пристроїв релейного захисту.

Трансформатори напруги вибирають за такими умовами:

- 1) в залежності від конструкції і місця установки.
- 2) за номінальною напругою $U_{1н} \geq U_{роб}$;

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) обраний трансформатор напруги повинен бути перевірений по навантаженню вторинного ланцюга за умовою $S_{2н} \geq S_{2розр}$.

Вимірювальні трансформатори струму призначені для підключення вимірювальних приладів (амперметрів), струмових ланцюгів лічильників активної і реактивної енергії і пристроїв релейного захисту.

Висновки

У розділі здійснено характеристику об'єкта – електричної мережі ПС 110-35-10 кВ «Біличі», що належить до Київенерго.

ПрАТ "Київобленерго" це частина об'єднаної енергетичної системи України.

ПрАТ "Київобленерго" здійснює свою діяльність на території понад 28,1 тисяч км² та обслуговує понад 25,835 тисяч промислових та 908,141 тисяч побутових споживачів.

На підстанції «Біличі» основна частка електричного обладнання являє собою індуктивне навантаження: асинхронні двигуни, індукційні печі, трансформатори і лампи з ПРА.

«Біличі» має більше двох джерел постачання енергії. Підстанція 110/35/10 кВ «Біличі» розміщена у вузлі 7 замкнутої електричної мережі, і є прохідною. На ній встановлено два трансформатори ТДТН 25000/110. Потужність споживачам видається 4 ПЛ з секції шин 35 кВ, та 18 КЛ з 10 кВ. До даної ПС підходять три одноланцюгові лінії: по ділянці 0-7 проводом АС-240/39 довжиною 22 км, по ділянці 7-6 проводом АС-70/11 довжиною 29 км, та по ділянці 7-8 проводом АС-70/11 довжиною 36 км.

На ПС «Біличі» збірні шини виконані проводом марки АСО-300 на стороні 330 кВ. Поперечний переріз 300 мм². Має допустимий діапазон температур експлуатації та робочий струм 710 А.

Трансформатор приймаємо ТТ фірми Сіменс SASSF6-220.

Вимірювальні трансформатори струму призначені для підключення вимірювальних приладів (амперметрів), струмових ланцюгів лічильників активної і реактивної енергії і приладів релейного захисту.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 КОМПЕНСАЦІЯ І РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПІДСТАНЦІЇ «БІЛИЧІ»

3.1 Схеми з'єднання конденсаторних установок

Підключення конденсаторної установки проводиться в паралель до головного шинопроводу силового трансформатора.

Конденсаторна установка в своїй роботі використовує трансформатор струму, який вимірює значення струму на шинах від силового трансформатора до навантаження.

Трансформатор струму необхідно розташовувати на шинопроводі між фідером силового трансформатора і точкою підключення конденсаторної установки. Виводи трансформатора струму підключаються до клемної колодки всередині установки, що має позначення "ТТ"

Введення конденсаторної установки в роботу проводиться за допомогою комплектного вступного роз'єднувача, поворотом ручки в положення "ВКЛ".

Принципова схема пристрою конденсаторної установки зображена на рис. 3.1.

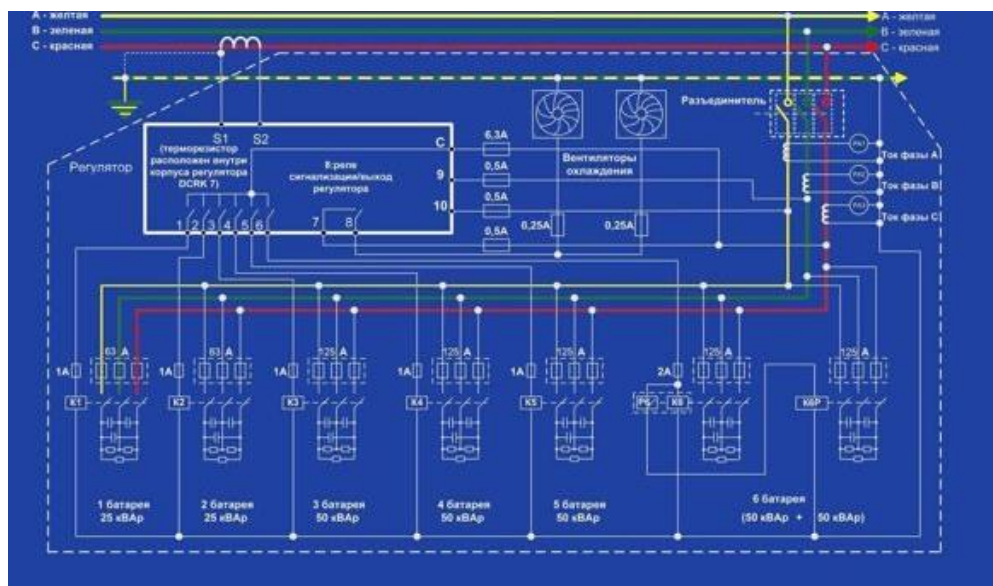


Рисунок 3.1 - Принципова схема пристрою конденсаторної установки
Підключення трансформатора току відносно конденсаторної установки

					141.6104.004.ДБ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Компенсація і регулювання реактивної потужності на підстанції «Біличі»			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Лушай В.Б. .		11.06							
Перевір.		Хоменко О.В..		11.06					59	8	
								КПІ ім. Ігоря Сікорського ФЕА, гр.ЕК-г61-1			
Н. Контр.		Настенко Д.В.									
Затверд.		Толочко О.І. .									

подано на рис. 3.2.

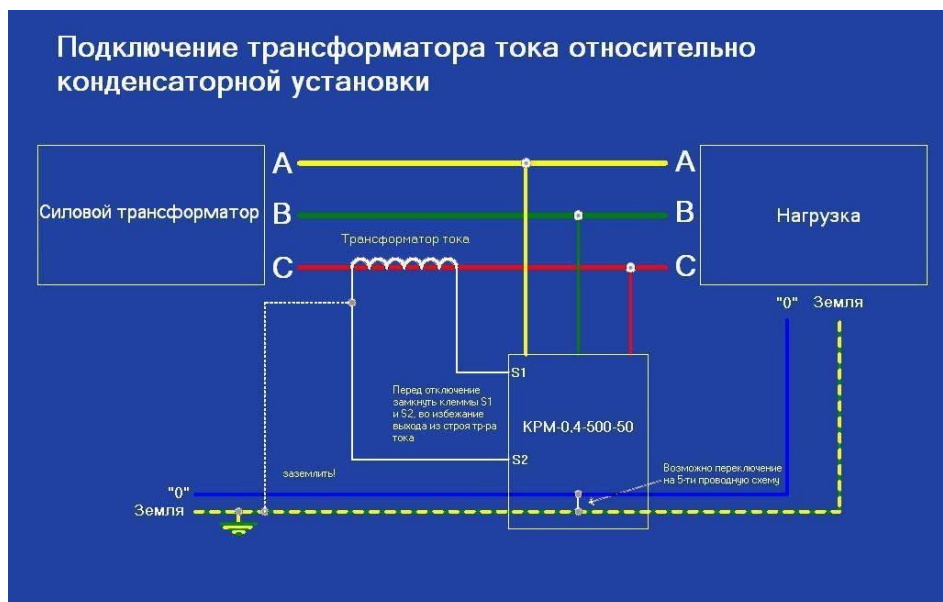


Рисунок 3.2 - Підключення трансформатора току відносно конденсаторної установки

3.2 Умови роботи конденсаторних установок

Секційне виконання дозволяє підключати і відключати секції конденсаторних батарей в залежності від зміни $\cos\phi$. Цей спосіб не дуже зручний так як вимагає більшого числа комутуючого обладнання, яке потрібно обслуговувати. До того ж крок зміни потужності ступенів може підбиратися під різні вимоги.

Але при підключенні конденсаторної установки великої потужності до мережі може виникнути великий кидок струму, обумовлений зарядкою конденсаторів. Для його обмеження використовують або додатковий опір (резистори), або запобіжники. При запуску секційного пристрою в роботу вводяться не всі відразу конденсатори, а розбиваються на секції і вводяться в роботу поступово.

Також цей спосіб дуже зручний якщо на підприємство переважає різко-змінне навантаження (зварювальні трансформатори, мотори компресорів і т.д.). Підключаючи-відключаючи секції можна тримати $\cos\phi$ приблизно на одному рівні.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо переважає постійне навантаження (конвеєр, виготовлення паперу, вентилятор) тоді використовують нерегульовані. Воно просто підключається до мережі і працює, віддаючи енергію в мережу поки це потрібно.

Конденсаторні установки виготовляються на різні напруги 0,4 кВ, 6 кВ, 10 кВ.

Якщо найбільша кількість реактивної складової споживається на стороні 0,4 кВ, то має сенс компенсувати на стороні низької напруги. Це залежить від схеми електропостачання:

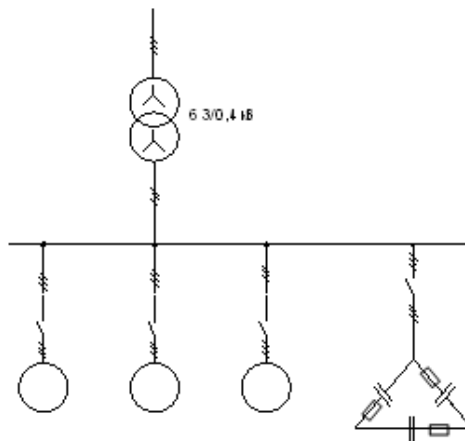


Рисунок 3.3.- Компенсація на стороні 0,4 кВ

При такій схемі постачання компенсація відбувається на стороні 0,4 кВ. Це дозволить розвантажити живильний трансформатор і зменшити сумарний струм в ланцюзі 0,4 кВ.

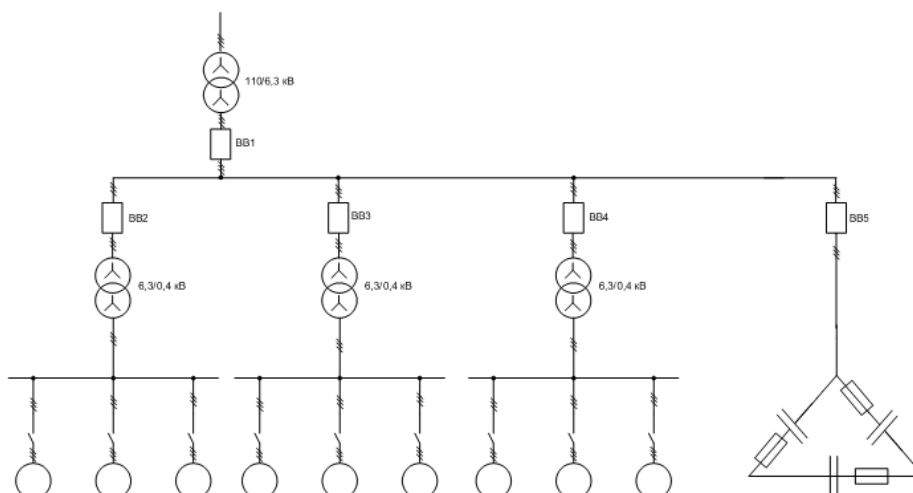


Рисунок 3.4 - Компенсація на стороні 6,10 кВ

При такій схемі включення доцільніше компенсувати на стороні 6 кВ, 10 кВ, за винятком, коли реактивна потужність в ланцюзі 0,4 кВ аж надто висока. Тоді вони можуть встановлюватися на стороні 6 кВ, 10 кВ і 0,4 кВ.

3.3 Конструкції конденсаторів та їх технічні характеристики

Конденсатори в трифазному виконанні з'єднані за схемою трикутника. При температурі 20 °с допустиме відхилення ємності (потужності) конденсатора від номінальної становить від -5 до +10%.

Одиничні конденсатори на номінальні напруги 1,05 кВ і нижче мають вбудовані всередину корпусу і послідовно з'єднані з кожною секцією плавкі запобіжники — по одному на кожную секцію. У конденсаторах з виводами, один з яких з'єднаний з корпусом, плавкі запобіжники встановлюються з боку ізолюваного виведення.

Конденсатори можуть виготовлятися як з вбудованими розрядними резисторами, так і без них. Гарантійний термін підприємства-виробника конденсаторів встановлюється 3 роки з дня введення конденсаторів в експлуатацію.

Технічні дані конденсаторів до 1000 В на частоту 50 Гц див. додаток Г, табл. Г.1

3.4 Способи регулювання потужності конденсаторних установок

Автоматичне регулювання забезпечує підтримку повного або реактивного струму, напруги, на заданому рівні.

Якщо КУ складається з однієї секції, то можливо лише одноступінчате регулювання. При багатоступеневому регулюванні автоматичний регулятор АР відключає або включає окремі конденсаторні установки або секції, забезпечені своїми вимикачами. Багатоступеневе автоматичне регулювання конденсаторної установки 6-10 кВ може виконуватися з одним головним вимикачем і декількома перемикачами (П) для автоматичного управління секціями. Якщо на підприємстві є кілька індивідуальних КУ з одноступінчатим регулюванням, то можна за допомогою послідовної схеми автоматично здійснити їх різночасове відключення і включення і таким чином

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконати багатоступеневе регулювання загальної потужності конденсаторних установок [17].

3.5 Вибір кількості і потужності ступенів регулювання конденсаторних установок

Конденсатори С1-С3 розрахуємо, знаючи струм холостого ходу. При цьому варто зазначити, що вони рівні через симетрію схеми:

$$C_{1,2,3} = \frac{Q_{сер}}{2\pi f U_{1л}^2} = \frac{U_{1л} I_{xx}}{2\pi f U_{1л}^2} = \frac{I_{xx}}{2\pi f U_{1л}} = 30.63 \text{ мкФ}.$$

В якості ємностей С1-С3 оберемо конденсатори КЭП(КЭК)3-6,3-400-2У1(6.3кВ, 32.1мкФ).

Розрахуємо індуктивність реакторних блоків за формулою

$$Q_{сер} = \frac{U_{2л}^2}{2\pi f L}.$$

де $Q_{сер}$ – середнє значення реактивної потужності, що необхідно компенсувати, I_2 – номінальний струм навантаження. При чому варто зазначити, що індуктивності L7-L9 рівні.

Таким чином, знаючи, що реактор працює на частоті $f=50\text{Гц}$, за напруги $U_{2л} = 444.444 \text{ В}$ і розрахований на середню реактивну потужність $Q_{сер}=158\text{кВАр}$, розрахуємо величину індуктивності:

$$L = \frac{U_{2л}^2}{Q_{сер} 2\pi f} = \frac{197530.469}{100\pi(1000)^2} = 0.0038 \text{ Гн} = 3.8 \text{ мГн}$$

В якості реакторів оберемо три СРОС-500/0.5О4 розрахованих на напругу 500В і струм 400А, з індуктивністю 7.5мГн.

Тиристори Т1-Т6 вибираємо за умови максимальної зворотної напруги $U_{2л} = 444.444 \text{ В}$ та максимальної величини струму, що може протікати через тиристор, а отже і через індуктивність реактора:

$$I_{зв.макс.} = \frac{U_{2л}}{2\pi f L} = 372.29 \text{ А}.$$

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином в якості тиристорів обираємо ТБ143-400, розрахованих на напругу до 2.2кВ і струм до 500А.

3.6 Регулятор реактивної потужності

Регулятор установки компенсації реактивної потужності BR6000 є сучасним пристроєм, що поєднує інноваційні ідеї і різноманіття функцій -

Цей регулятор створений для вимірювання напруги (L-L, L-N) в діапазоні 30...525 В. Живлення здійснюється від напруги 110...230В змінного струму.



Рисунок 3.5 - Регулятор реактивної потужності

Відмінною особливістю контролера є простий інтерфейс управління за допомогою різних меню на дисплеї, що максимально спрощує управління. Оснащений буквено-цифровий дисплей на різних мовах (в тому числі і російською).

Відображення різних параметрів мережі, зберігання різних величин і функція тестування дозволяють легко аналізувати збої в мережі і установці компенсації реактивної потужності.

Автоматична ініціалізація дозволяє звести процес обслуговування до мінімуму.

Основні властивості:

- 6 або 12 комутаційних виходів (в залежності від обраного типу 7 або 13 виходів)
- Двадцять стандартних варіантів набору конденсаторних батарей, закладених в програму регулятора.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Редактор стандартних варіантів набору конденсаторів.
- Повноцінне управління всіма операціями за допомогою меню на дисплеї.
- Підсвічений дисплей з 2х16 символів.
- Можлива робота регулятора в чотирьох квадрантах системи координат.
- Автоматична ініціалізація.
- Відображення різних параметрів мережі (V, I, f, Q, P, S...).
- Відображення гармонік струму і напруги.
- Відображення та контроль температури всередині конденсаторної установки.
- Контроль величини потужності кожного ступеня.
- Збереження максимальних параметрів, так само як і кількості включень, і час роботи кожного ступеня.
- При відсутності напруги живлення відключається.
- Визначення несправностей для різних станів і висновок про це повідомлень.
- Повна свобода установки 2-го програмованого/комутованого параметра.
- Тестування установки КРМ (компенсації реактивної потужності) з аналізом несправностей.
- Розміри корпусу регулятора 144x144x55мм.

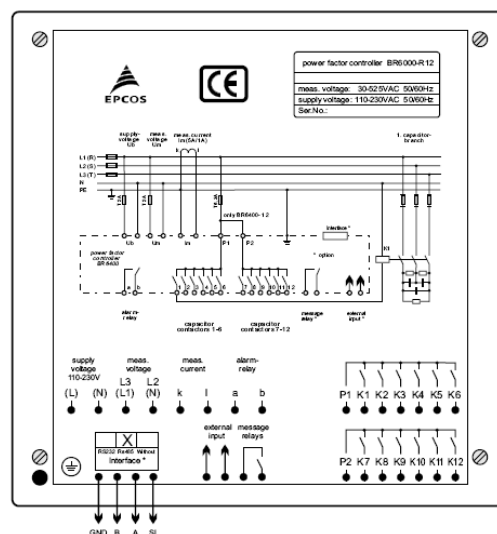


Рисунок 3.6 – Вигляд задньої панелі

					141.6104.004.ДБ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Для різних робочих напруг передбачено підключення через трансформатор напруги.

Висновки

У розділі розглянуто компенсацію і регулювання реактивної потужності на підстанції «Біличі».

Введення конденсаторної установки в роботу проводиться за допомогою комплектного вступного роз'єднувача, поворотом ручки в положення "ВКЛ".

Конденсаторні установки виготовляються на різні напруги 0,4 кВ, 6 кВ, 10 кВ. Якщо найбільша кількість реактивної складової споживається на стороні 0,4 кВ, то має сенс компенсувати на стороні низької напруги.

Конденсатор являє собою два провідних електрода (обкладки), розділених шаром діелектрика. Товщина ізолятора зневажливо мала, в порівнянні з його лінійними розмірами. Ємність збільшується пропорційно площі обкладок і обернено пропорційно товщині діелектрика.

В якості реакторів оберемо три СРОС-500/0.504 розрахованих на напругу 500В і струм 400А, з індуктивністю 7.5мГн.

Тиристори Т1-Т6 вибираємо за умови максимальної зворотної напруги $U_{2л} = 444.444$ В та максимальної величини струму, що може протікати через тиристор.

Таким чином в якості тиристорів обираємо ТБ143-400, розрахованих на напругу до 2.2кВ і струм до 500А.

Регулятор установки компенсації реактивної потужності обираємо BR6000. Цей регулятор створений для вимірювання напруги (L-L, L-N) в діапазоні 30...525 В. Живлення здійснюється від напруги 110...230В змінного струму. Для різних робочих напруг передбачено підключення через трансформатор напруги.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Провівши дослідження, можемо зробити наступні висновки:

У першому розділі розглядалися теоретичні засади компенсації реактивної потужності, вплив реактивної потужності на режими роботи електричної мережі. Характеризувалися основні споживачі реактивної потужності в електричних мережах. Проводився опис синхронних генераторів, синхронних компенсаторів, статичних тиристорних компенсаторів. Аналізувалися конденсаторні батареї, статичні вентильні джерела реактивної потужності, шунтуючі реактори. З'ясовувався баланс реактивної потужності в електричній мережі, особливості керування компенсуючими установками.

У другому розділі було розглянуто підстанцію 110-35-10кВ «Біличі», як фрагмент електричної мережі 330 кВ. Було проведено ознайомлення з видами електричного обладнання підстанцій.

Було виявлено, що на данній підстанції встановлено надійне електричне обладнання.

Третій розділ був про дослідження компенсації і регулюванню реактивної потужності на підстанції «Біличі». Окреслено схеми з'єднання конденсаторних установок, виокремлено умови роботи конденсаторних установок, проаналізовано конструкції конденсаторів та їх технічні характеристики, з'ясовано способи регулювання потужності конденсаторних установок, здійснено вибір кількості і потужності ступенів регулювання конденсаторних установок та окреслено вибір регулятора реактивної потужності.

Головним є надійність постачання електроенергії для споживачів. Для цього потрібно бути використано засоби та методи регулювання напруги та регулювання реактивної потужності. Найголовніше це дотримуватись показників якості електричної енергії.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М: Высшая школа, 1984
2. Вербицкий Є. В. Компенсатор реактивної потужності у перехідних режимах. Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ». 2018. № 26 (1302). Т. 2. С. 121-125.
3. Вплив напруги на техніко-економічні показники елементів електричної системи/ URL <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/EA77CD0F-E619-4038-A13C-FEB082ED7AFE.pdf>
4. Гаряжа В. М. Конспект лекцій з курсу «Електрична частина станцій та підстанцій» (частина 1) (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / В. М. Гаряжа, А. О. Карюк; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 149 с
5. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах: Навч. посіб. К.: Вища шк., 2006.
6. Грабко В. В. Моделі і засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 109 с
7. Досліджування способів регулювання реактивної потужності в районі Бурштинської ТЕС Західної енергосистеми. Науковий керівник: д.т.н., проф. Гребченко Микола Васильович / URL <http://masters.donntu.org/2013/etf/karpenko/diss/indexu.htm>
8. Застосування-вольтододаточного-трансформатор [Електронний ресурс]/ URL <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=22187>
9. Ключев О. В. “Електричні мережі та системи”, Кам’янське: ДДТУ, 2019, 196 стор. URL: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/30/6-30-kl9.pdf>
10. Конденсаторы для промышленных предприятий. Режим доступа <http://www.kondensator.su>.

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Конспект лекцій з курсу “Електричні системи і мережі” для студентів денної та заочної форм навчання напрямку електротехніка / І.П. Заболотний. – Донецьк: ДонНТУ, 2002. – 123 с
12. Константинов Б. А., Зайцев Г. З. Компенсация реактивной мощности, Москва, Энергия, 1976. 104 с.
13. Матеєнко, Ю. П., & Шумовський, П. І. (2019). Аналіз засобів регулювання напруги для підвищення функціонування енергоустановок. Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики", 238-239.
14. Методи регулювання напруги на трансформаторних підстанціях Чудакевич, В. Я.; Chudakevych, V. Y
15. Особенности подключения устройств компенсации реактивной мощности. Режим доступа: <https://protransformatory.ru/raschety/potervtransformatore>.
16. Перхач В. С. Математичні задачі електроенергетики. Львів: Вища школа. Видавництво при Львівському університеті. 1982 рік.
17. Системи компенсації реактивної потужності [Електронний ресурс]/ URL <http://www.lvmarket.com.ua/PFC>
18. Спосіб-регулювання-напруга [Електронний ресурс]/ URL <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=16457>
19. Хоменко О. В. Математичні задачі енергетики. Моделювання і аналіз усталених режимів роботи електричних систем. НТУУ «КПІ», 2016 рік.
20. Zhuikov V.Y. Особливості компенсації миттєвої реактивної потужності в лінійних ланцюгах у перехідному режимі при вмиканні навантаження. Електроніка та зв'язок 2017, № 22 (4), с. 30-37
21. Zhuikov, V.J., Verbytskyi, I.V., Kyselova, A.G. Reactive power compensation approach with dynamic mode of load current. Technical Electrodynamics 2018, № 4, Pp. 47-52. doi:<https://doi.org/10.15407/techned2018.04.047>

					141.6104.004.ДБ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця А.1 - Технічні характеристики трансформатора

Параметр	Значення параметру	
Номінальна потужність кВ*А	25000	
Номінальна напруга обмоток, кВ: ВН СН НН	115 11;22;34,5;38,5 6,3; 6,6; 6,9; 11	
Частота струму, Гц	50	
Схема та група з'єднань обмоток	У _Н /Д/Д-11-11;У _Н /У _Н /Д-0-11	
Регулювання напруги РПН в нейтралі: ВН СН	± 9× 1,78%	
	Без ПБВ	С ПБВ; ± 2× 2,5%(5%)
Втрати холостого ходу, кВт	24,5	25,5
Втрати короткого замикання кВт	140	
Напруга короткого замикання для обмоток,%: ВН - СН ВН - НН СН - НН	10,5 17,5 6,5	
Вага, кг: масло трансформаторна повна	13200 48000 55500	17000 54000 61500
Габаритні розміри В´ L´ Н, мм	4600´ 6050´ 5100	4800´ 6170´ 5220

Таблиця Б.1 - Комутаційне обладнання підстанції

Вид обладнання	Тип обладнання	Кількість обладнання на ПС, штук
Лінійний роз'єднувач	РНДЗ-1-330/3200	3
Сторона 330 кВ		
Шинний роз'єднувач	РНДЗ-1-330/3200	6
	РНДЗ-2-330/3200	8
Вимикач	ВВБ-330Б-35,5-2000	6
Сторона 110 кВ		
Обхідний роз'єднувач	1РУРР-110/1250	2
	РГ.16-110.2/1000-40 УХЛ1	1
	РНДЗ-1-110/1000	9
	РНДЗ-1-110/2000	2
	РНДЗ-2-110/1000	1
Лінійний роз'єднувач	РНДЗ-2-110/1000	11
	РНДЗ-2-110/2000	2
	РГ.2-110.2/1000-40 УХЛ1	1
	РНДЗ-СК-110/1000	1
Вимикач	SIEMENS 3AP1FG-123/3150-40.0	4
	120SFM-32B 3150/40	1
	МКП-110М-1000-20	5
	МКП-110Б-1000-20	3
	У-110/2000-40	2
	У-110А/2000-40	1
Шинний роз'єднувач	1РУРР-110/1250	4
	РГ.16-110.2/1000-40 УХЛ1	1
	РГ.16-ОП-110.2/1000-40 УХЛ1	1
	РНДЗ-1 СК-110/1000	8
	РНДЗ-1 СК-110/2000	5
	РНДЗ-1-110/2000	3
Сторона 35 кВ		
Роз'єднувач	РНДЗ-2-35/1000	2
Вимикач	МКП-35/1000-25	2

Таблиця В.1 - Параметри вимикача Сіменс 3AP1FG -245

Номінальна напруга	220кВ
Найбільша робоча напруга	245кВ
Номінальна короткочасна перемінна напруга 1хв	460кВ
Номінальна напруга грозового імпульсу 1,2/50мкс	1050кВ
Номінальний робочий струм до	4000А
Номінальний струм термічної стійкості (1-3)с до	50кА
Номінальний імпульс струму до	135кА
Номінальний струм відключення	50кА
Номінальний струм включення при кз,до	135кА
Час відключення	3 періода
Частота	50/60Гц
Тип привода	Пружинний
Напруга управління	48-250
Напруга двигуна	48-250
При використанні змінного струму	120-240
Ізоляційна відстань в світлі фаза/земля	2200мм
Дільниця перемикавання	1900мм
Мінімальний струм змінного розряду фаза / земля	6150мм
Ділянка перемикавання	6125мм
Габарити висота	6750мм
довжина	6640мм
ширина	880мм
Міжполюсна відстань	2800мм
Маса вимикача	2940кг
Середній ремонт, після	25років

Таблиця Г.1 - Технічні дані конденсаторів до 1000 В на частоту 50 Гц

Тип конденсатора	Номінальна напруга, кВ	Номінальна потужність, квар	Номінальна ємність, мкФ	Висота, мм
Конденсатори І серії				
КМ 1-0,22-4,5-3УЗ	0,22	4,5	296	404
КМ1-0,38-13-3УЗ	0,38	13	286	404
КМ1-0,5-13-3УЗ	0,50	13	165	404
КМ1-0,66-13-3УЗ	0,66	13	95	418
КМ2-0,22-9-3УЗ	0,22	9	592	719
КМ2-0,38-26-3УЗ	0,38	26	572	719
КМ2-0,5-26-3УЗ КМ2-0,66-26-3УЗ	0,50 0,66	26 26	330 190	719 733
Конденсатори ІІ серії				
КС1-0,22-6-3УЗ	0,22	6	395	404
КС1-0,38-18-3УЗ	0,38	18	397	404
КС1-0,50-18-3УЗ	0,50	18	229	404
КС1-0,66-20-3УЗ	0,66	20	146	418
КС1-0,22-6-3УЗ	0,22	6	395	466
КС1-0,38-14-3У1	0,38	14	309	466
КС1-0,50-14-3У1	0,50	14	178	466
КС1-0,66-16-3У1	0,66	16	117	466
КС2-0,22-12-3УЗ	0,22	12	790	719
КС2-0,38-36-3УЗ	0,38	36	794	725
КС2-0,50-36-3УЗ	0,50	36	458	725
КС2-0,66-40-3УЗ	0,66	40	292	733
КС2-0,22-12-3У1	0,22	12	790	781
КС2-0,38-28-3У1	0,38	28	618	787
КС2-0,50-28-3У1	0,50	28	356	781
КС2-0,66-32-3У1	0,66	32	234	781
Конденсатори ІІІ серії				
КС1-0,22-8-3УЗ	0,22	8	526	410
КС1-0,38-25-3УЗ	0,38	25	551	410
КС1-0,66-25-3УЗ	0,66	25	183	418
КС1-0,22-8-3У1	0,22	8	526	472
КС1-0,38-20-3У1	0,38	20	441	472
КС1-0,66-20-3У1	0,66	20	146	466
КС2-0,22-16-3УЗ	0,22	16	1052	725

Тип конденсатора	Номинальна напруга, кВ	Номинальна потужність, квар	Номинальна ємність, мкФ	Висота, мм
КС2-0,66-50-3У3	0,66	50	366	739
КС2-0,22-16-3У1	0,22	16	1052	787
КС2-0,38-40-3У1	0,38	40	882	787
КС2-0,66-40-3У1	0,66	40	292	787
Конденсатори IV серії				
КСО-0,22-4-3У3	0,22	4	260	265
КСО-0,22-4-3У1	0, 22	4	260	327
КШ-0,38-12,5-3У3	0,38	12,5	276	265
КСО-0,38-12,5- 3У1	0,38	12,5	276	327
КСО-0,66-12,5- 3У3	0,66	12,5	92	279
КСО-0,66-12,5- 3У1	0,66	12,5	92	327