

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Чернігівська політехніка»

ВИБІР СХЕМ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК ЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДСТАНЦІЙ

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту та самостійної роботи
з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій»
здобувачам першого рівня вищої освіти
за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Обговорено і рекомендовано
на засіданні кафедри
електричної інженерії та
інформаційно-вимірювальних технологій
протокол № 1 від 25.01.2024 р.

Чернігів 2024

Вибір схем розподільних установок електричних підстанцій. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту та самостійної роботи з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій» здобувачам першого рівня вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». / Укл.: Буйний Р.О., Діхтярук І.В., Приступа А.Л. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. - 49 с.

Укладачі: Буйний Роман Олександрович, кандидат технічних наук,
доцент, доцент кафедри електричної інженерії та
інформаційно-вимірювальних технологій
Діхтярук Ігор Віталійович, кандидат технічних наук,
доцент кафедри електричної інженерії та інформаційно-
вимірювальних технологій
Приступа Анатолій Леонідович, кандидат технічних наук,
доцент, завідувач кафедри електричної інженерії та
інформаційно-вимірювальних технологій

Відповідальний

за випуск: Приступа Анатолій Леонідович, завідувач кафедри електричної
інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій,
кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Квицинський Анатолій Олександрович, кандидат технічних
наук, доцент, начальник відділу науково-дослідного супроводу
нормативного забезпечення НЕК «Укренерго»

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АВР	– автоматичний ввід резерву
АПВ	– автоматичне повторне вмикання
АТ	– автотрансформатор
ВН	– вища напруга
ВРУ	– відкрита розподільна установка
ЗПС	– закрита електрична підстанція
ЗРУ	– закрита розподільна установка
КЗ	– коротке замикання
КЗО	– камера закрита з одностороннім обслуговуванням
КРУ	– комплектна розподільна установка для встановлення в приміщеннях
КРУЗ	– комплектна розподільна установка для зовнішньої установки
КРУЕ	– комплектна розподільна установка елегазова
КТП	– комплектна трансформаторна підстанція
НН	– нижча напруга
ОАПВ	– однофазне автоматичне повторне вмикання
ОПН	– обмежувач перенапруги
ПБЕ	– правила безпечної експлуатації
ПЛ	– повітряна лінія електропередавання
ПС	– електрична підстанція
ПТЕ	– правила технічної експлуатації
ПУЕ	– правила улаштування електроустановок
РП	– електричний розподільний пункт
РПН	– пристрій регулювання напруги під навантаженням
РУ	– електрична розподільна установка
СП	– секціонуючий пункт
СН	– середня напруга
ТНС	– трансформатор напруги ємнісний
ЦПС	– центральна електрична підстанція
ЩТП	– щоглова трансформаторна підстанція

ВСТУП

Проектування електричної частини електричних станцій і підстанцій є складним процесом, під час якого необхідно вирішити ряд важливих задач:

- з вибору схем електричних з'єднань розподільних установок;
- складу електрообладнання і його компоновання;
- захисту електрообладнання від дії зовнішніх та внутрішніх факторів;
- захисту обслуговуючого персоналу від дії електричного струму;
- вирішення екологічних питань.

Вирішення кожної з задач весь час перекликається з раціональним вибором найекономічнішого варіанту.

Електричні станції і підстанції проектуються як складові об'єднаної енергосистеми України або районної електроенергетичної системи.

Існують групи нормативних документів – правил, норм, керівних вказівок, стандартів тощо, вимоги яких необхідно враховувати при проектуванні:

- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ);
- Правила технічної експлуатації (ПТЕ) електричних станцій і мереж;
- Правила безпечної експлуатації (ПБЕ) електроустановок електричних станцій і підстанцій;
- Норми технологічного проектування теплових електричних станцій і теплових мереж;
- Норми технологічного проектування гідроелектричних станцій, атомних електростанцій;
- Норм технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750 кВ
- Керівні вказівки з розрахунку струмів короткого замикання, вибору і перевірки апаратів і провідників за умовами короткого замикання;
- Керівні вказівки і нормативи по проектуванню розвитку енергосистем, керівні вказівки по релейному захисту, методичні вказівки за визначенням;
- державні стандарти на електрообладнання, пристрої, терміни і визначення, умовні позначення тощо.

В даних методичних вказівках розглядаються тільки питання, присвячені вибору схем розподільних електричних установок під час проектування та реконструкції електричних підстанцій змінного струму напругою 6-750 кВ. В методичних вказівках відсутній докладний опис роботи тієї або іншої схеми розподільної установки, а зазначено тільки загальні положення по її використанню в електричній мережі. Більш докладно робота кожної з схем розглядається на лекційних, практичних та лабораторних заняттях.

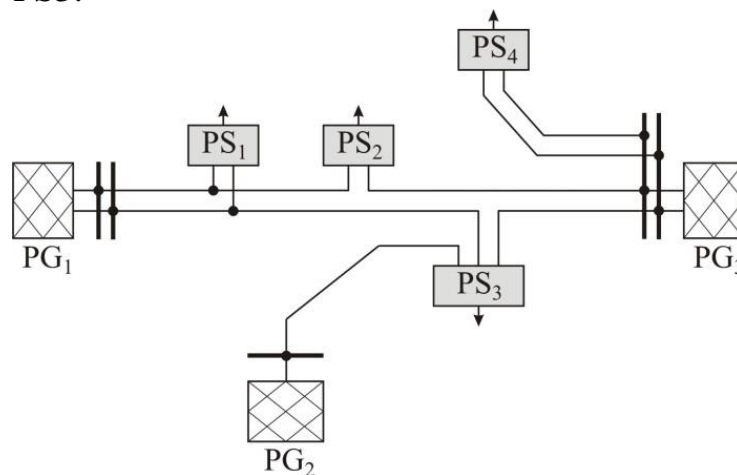
Перша редакція цих методичних вказівок вийшла в 2010 році. Проте в 2023 році до Глави 4.2 ПУЕ були внесені зміни стосовно вибору схем розподільних установок, до яких доклали своїх зусиль автори цих методичних вказівок. На момент публікації методичних вказівок оновлені ПУЕ знаходяться на затвердженні в Міненерго України.

1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИНЦИПОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Побудову схеми електричної підстанції (ПС) або розподільного пункту (РП) потрібно виконувати з урахуванням призначення ПС та її функцій в електричній мережі енергосистеми.

За положенням в електричній мережі (див. рисунок 1.1) усі ПС умовно діляться на чотири види (по відношенню до РУ високої напруги (ВН)):

- тупикові (кінцеві) – PS4;
- відгалужувальні – PS1;
- прохідні – PS2;
- вузлові – PS3.



PG – power grid (зовнішня мережа – джерело живлення);
PS – power substation (підстанція)

Рисунок 1.1 – Фрагмент районної електричної мережі з ПС чотирьох видів

Схема електрична ПС повинна забезпечувати:

- надійне живлення приєднаних споживачів у нормальному, ремонтному і післяаварійному режимах роботи;
- надійність транзиту потоків електроенергії через шини ПС у нормальному, ремонтному і післяаварійному режимах роботи;
- врахування поетапного розвитку ПС, динаміки росту навантаження мережі тощо.

При врахуванні першого пункту необхідно керуватися вимогами [1] до надійності електропостачання електроприймачів та розглядати усі наявні джерела живлення в існуючій енергосистемі.

У нормальному режимі роботи необхідно забезпечувати транзит електроенергії у повному обсязі, відповідно до його значення для конкретної ділянки мережі, а у післяаварійному режимі, при виведенні з роботи лінії електропередавання чи силового трансформатора транзит повинен забезпечуватися з урахуванням допустимого перевантаження електроустаткування, що залишилося в роботі згідно.

Для дотримання принципу поетапного розвитку ПС необхідно виходити з найбільш простого і економічно доцільного плану розвитку ПС без значних робіт з реконструкції і обмежень в живленні споживачів на кожному з етапів.

Підстанція – це електроустановка, яка призначена для перетворення і розподілу електроенергії. Вона складається з трансформаторів, розподільних пристроїв, пристроїв управління і допоміжних споруд.

З точки зору експлуатації схема електрична розподільної установки (РУ) повинна:

- бути обґрунтовано простою і наочною;
- забезпечувати відновлення живлення споживачів у післяаварійній ситуації засобами автоматики;
- забезпечувати можливість і безпечність проведення ремонтних і оперативно-експлуатаційних робіт на окремих елементах схеми по можливості без вимикання суміжних приєднань;
- бути по можливості гнучкою у здійсненні оперативних перемикань.

Відповідно до призначення ПС та її функцій в електричній мережі схеми РУ поділяють на:

- блокові;
- місткові;
- зі збірними шинами з одним вимикачем на приєднання;
- кільцеві;
- зі збірними шинами з двома або півтора вимикачами на приєднання.

Для ПС (РП) з вищою напругою від 6 кВ до 750 кВ нового будівництва необхідно передбачати переважно базові схеми електричні РУ, наведені в [2].

Під час реконструкції діючих ПС (РП) дозволяється застосовувати схеми електричні РУ, відмінні від наведених в [2] при відповідному технічному обґрунтуванні. У цьому випадку слід керуватися загальними положеннями з побудови схем, виходячи з функцій ПС в електричній мережі.

У якості вихідних даних у застосуванні базових схем **для ПС нового будівництва** підлягають визначенню:

- місцезнаходження ПС, її призначення і роль в енергосистемі;
- кількість лінійних приєднань, їх призначення і режими роботи;
- наявність транзиту через шини РУ;
- номінальні напруги на шинах ПС;
- необхідність установа, види, кількість і схеми приєднання пристроїв регулювання і пристроїв компенсації (конденсаторних установок, струмообмежувальних, заземлювальних і шунтувальних реакторів тощо);
- режим заземлення нейтралей силових трансформаторів;
- поетапний розвиток ПС у відповідності з динамікою зміни її навантаження;
- типи, кількість і технічні параметри основного устаткування;
- типи, кількість і місця установа вимірювальних трансформаторів струму і напруги;

- необхідність установлення та кількість апаратів для високочастотних каналів зв'язку та захисту на фазах ліній електропередавання;
- необхідність установлення пристроїв і способи плавлення ожеледі на проводах і тросах повітряних ліній електропередавання (ПЛ) тощо.

Для ПС, що підлягають реконструкції, окрім вищенаведеного додатково потрібно мати існуючу схему діючої ПС.

За вимогами до надійності роботи схеми встановлена гранична кількість вимикачів, що спрацьовують одночасно у межах РУ однієї напруги у разі ушкодження одного приєднання. Ця кількість повинна бути не більше ніж:

- два – при ушкодженні лінії;
- три – при ушкодженні силового трансформатора напругою 750 кВ;
- чотири – при ушкодженні силового трансформатора напругою до 500 кВ.

На ПС потрібно встановлювати трифазні силові трансформатори. У разі відсутності трифазного трансформатора необхідної потужності, а також у разі транспортних обмежень дозволено застосовувати групу однофазних трансформаторів або два однакових за потужністю трифазних трансформатора меншої потужності.

У разі встановлення на ПС однієї групи однофазних силових трансформаторів потрібно передбачати резервну фазу.

На ПС з вищою напругою (ВН) від 35 кВ до 750 кВ потрібно встановлювати два основні силові трансформатори. Проте у початковий період експлуатації дозволено встановлювати один трансформатор за умови забезпечення вимог до надійності електропостачання.

На низькій напрузі (НН) ПС напругою від 35 кВ до 750 кВ потрібно передбачати роздільну роботу основних силових трансформаторів.

В нейтралі обмоток ВН силових трансформаторів напругою 110 кВ, які допускають роботу з роззаземленою нейтраллю, потрібно передбачати установлення комутаційних апаратів (з ручним або автоматичним управлінням) і спеціальних обмежувачів перенапруги нелінійних (ОПН).

На ПС напругою 35 кВ і більше потрібно встановлювати силові трансформатори з пристроєм регулювання напруги під навантаженням (РПН). Дозволено застосовувати трансформатори без РПН, якщо регулювання напруги на ПС здійснюють іншими засобами.

Для обмеження струмів короткого замикання (КЗ) в РУ НН напругою 10(6) кВ дозволено передбачати наступні основні заходи:

- встановлення триобмоткових силових трансформаторів з максимальним опором між обмотками ВН і НН або двообмоткових силових трансформаторів з підвищеним опором;
- використання роздільної роботи силових трансформаторів з боку НН;
- застосування трансформаторів з розщепленими обмотками напругою 10(6) кВ;
- застосування струмообмежувальних реакторів.

За необхідності компенсації ємнісних струмів у мережах напругою 6 кВ, 10 кВ і 35 кВ на ПС потрібно встановлювати дугогасні реактори.

На напрузі 35 кВ дугогасні реактори приєднують до нульових вводів відповідних обмоток основних силових трансформаторів через розгалуження із роз'єднувачів до кожного із трансформаторів. На напрузі 6 кВ і 10 кВ дугогасні реактори приєднують до нульового вводу окремого силового трансформатора, приєданого до збірних шин через вимикач.

У схемах РУ передбачають виведення вимикачів у ремонт наступними способами:

- для всіх РУ напругою від 6 кВ до 35 кВ, а також для блокових і місткових схем РУ напругою від 110 кВ до 220 кВ (за винятком кола, по якому здійснюється транзит потужності) – шляхом тимчасового вимикання кола, у якому встановлений апарат, який ремонтують;
- шляхом вимкнення приєднання на час установлення підмінного апарата (наприклад, викотного елемента комплектної розподільної установки (КРУ) тощо) взамін апарата, що виводять в ремонт;
- для місткових схем і схем зі збірними шинами РУ з одним вимикачем на приєднання напругою від 110 кВ до 220 кВ – шляхом застосування ремонтних перемичок з роз'єднувачами або обхідних вимикачів відповідно;
- для схем РУ напругою від 330 кВ до 750 кВ (крім схеми блоку 330 кВ), а також напругою 220 кВ за схемою чотирикутник – вимиканням вимикача без вимикання приєднання.

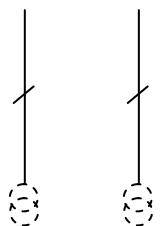
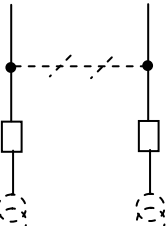
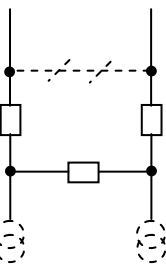
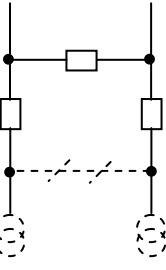
Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Які вимоги пред'являються до електричних схем підстанцій?
2. З яких основних елементів складається електрична підстанція?
3. Класифікація розподільних установок підстанцій.
4. Вихідні дані до вибору базових схем розподільних установок підстанцій, що будуються.
5. Вихідні дані до вибору базових схем розподільних установок підстанцій, що підлягають реконструкції.
6. Основні заходи для обмеження струмів короткого замикання.
7. Способи виводу вимикачів розподільних установок в ремонт.

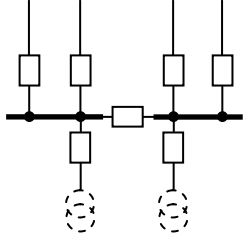
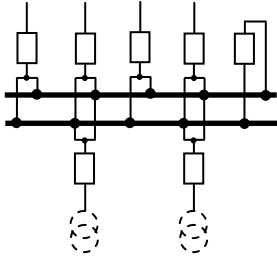
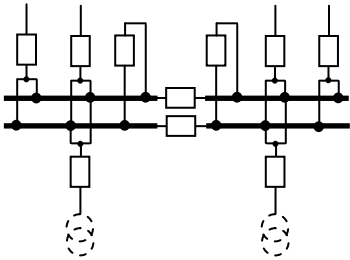
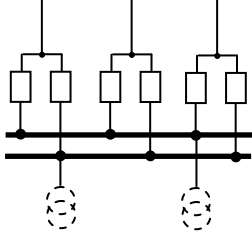
2 УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СХЕМ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК

Перелік схем електричних РУ напругою від 6 кВ до 750 кВ і сфера їх застосування наведені у таблицях 2.1-2.3.

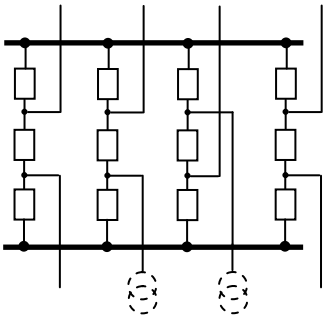
Таблиця 2.1 – Перелік схем електричних РУ напругою від 35 кВ до 750 кВ і сфера їх застосування

Шифр	Найменування	Умовне зображення	Сфера застосування		
			Напруга РУ, кВ	Сторона	Кількість лінійних приєднань
1	2	3	4	5	6
35-1 110-1 150-1 220-1 330-1	Два блока лінія-трансформатор з роз'єднувачами		35 110 150 220 330	ВН	2
35-2 110-2 150-2 220-2	Два блока лінія-трансформатор з вимикачами		35 110 150 220	ВН	2
35-3 110-3 150-3 220-3	Місток з вимикачами в колах ліній		35 110 150 220	ВН	2
35-4 110-4 150-4 220-4	Місток з вимикачами в колах трансформаторів		35 110 150 220	ВН	2

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
35-5 110-5 150-5 220-5	Одна робоча, секціонована вимикачем, система шин		35 110 150 220	ВН	1 на секцію шин ¹⁾
			35	ВН СН	3-4
			110 150 220	ВН	до 4-х на секцію шин
			110 150 220	СН	3-8
110-7 150-7 220-7	Дві робочі системи шин		110 150 220	СН	9-12
110-8 150-8 220-8	Дві робочі, секціоновані системи шин з двома шиноз'єднувальними вимикачами		110 150 220	СН	понад 12
220-10 330-10 500-10 750-10	Трансформатори- шини з приєднанням ліній через два вимикачі		220 330 500 750	ВН СН	2-3

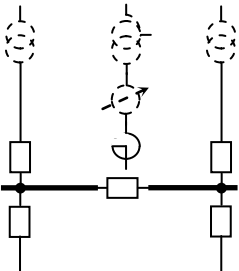
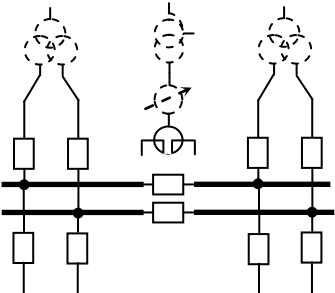
Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
330-11 500-11 750-11	Полуторна		330 500 750	ВН СН	понад 3

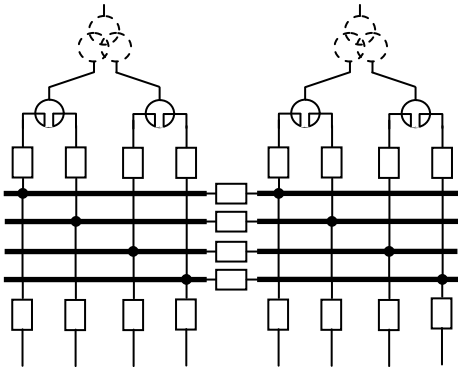
Примітки.

- 1) На першому етапі розвитку схема 35-5 може застосовуватися на ПС прохідного типу, яка у перспективі перетвориться на вузлову.
- 2) Роз'єднувачі, які використовують для відокремлення вимикачів, на схемах не наведено
- 3) Дозволені до встановлювання за результатами обґрунтування неавтоматичні/ремонтні перемички на схемах наведено пунктиром.


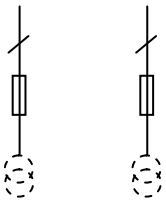
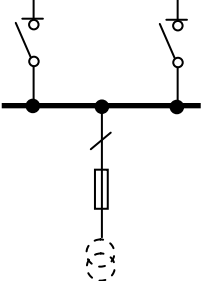
Таблиця 2.2 – Перелік схем РУ напругою 6 кВ і 10 кВ для ПС з вищою напругою від 35 кВ до 330 кВ і сфера їх застосування

Шифр схеми	Найменування схеми	Умовне зображення схеми	Кількість ліній
1	2	3	4
6-1 10-1 20-1	Одна, секціонована вимикачем, система шин		без обмеження
6-2 10-2 20-2	Дві, секціоновані вимикачами, системи шин		без обмеження

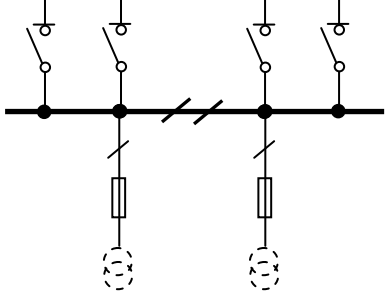
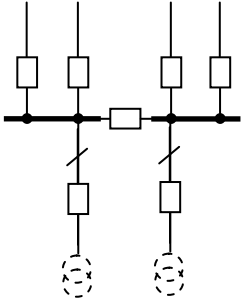
Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
6-3 10-3	Чотири, секціоновані вимикачами, системи шин		без обмеження
<p>Примітка. В схемах (6-20)-1, (6-20)-2 та (6-10)-3 дозволено встановлювати струмообмежувальні реактори в лінійних приєднаннях на ПС промислових підприємств.</p>			

Таблиця 2.3 – Перелік схем РУ напругою 6 кВ і 10 кВ для ПС з вищою напругою 6 кВ і 10 кВ і сфера їх застосування

Шифр схеми	Найменування схеми	Умовне зображення схеми	Кількість ліній
1	2	3	4
6-4 10-4 20-4	Блок лінія- трансформатор		1
6-5 10-5 20-5	Два блока лінія- трансформатор		2
6-6 10-6 20-6	Одна несекціонована система шин		2

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
6-7 10-7 20-7	Одна, секціонована роз'єднувача ми, система шин		4
6-8 10-8 20-8	Одна, секціонована вимикачем, система шин		до 10
<p>Примітка. На схемах умовно показано тільки ті роз'єднувачі, які використовують як комутаційні апарати.</p>			

За схемою 110-2 (35-2) побудовані: РУ 110 кВ ПС 110/10 «Лесковиця» (на відокремлювачах та без перемички); РУ 110 кВ ПС 110/35/10 «Подусівка» (на відокремлювачах);
за схемою 110-3 – РУ 110 кВ ПС 110/10 «Коти» (без перемички); РУ 110 кВ ПС 110/35/10 «Плиски» (на відокремлювачах);
за схемою 110-4 (35-4) – РУ 35 кВ ПС 35/10 «Макошино» (без перемички); РУ 35 кВ ПС 35/10 «Сновянка» (без перемички);
за схемою 35-5 – РУ 35 кВ ПС 110/35/10 «Городня»; РУ 35 кВ ПС 110/35/10 «Ріпки»; РУ 35 кВ ПС 110/35/10 «Куликівка»; РУ 35 кВ ПС 110/35/10 «Корюківка»; РУ 35 кВ ПС 110/35/10 «Мена II»; РУ 35 кВ ПС 110/35/10 «Козелець»;
за схемою 110-6 (яка виключена із нової редакції ПУЕ) – РУ 110 кВ ПС 330/110/10 «Славутич»; РУ 110 кВ ПС 330/110/10 «Чернігів»; РУ 110 кВ ПС 110/35/10 «Березна»; РУ 110 кВ ПС 110/35/10 «Прилуки»;
за схемою 110-7 – РУ 110 кВ «Чернігівської ТЕЦ»;
за схемою 220-10 (330-10, 500-10, 750-10) – РУ 330 кВ ПС 330/110/10 «Славутич»; ПС 330/110/10 «Чернігівська»; ПС 330/110/35 «Ніжинська»;
за схемою 330-11 (500-11, 750-11) – РУ 330 кВ та РУ 750 кВ «Чорнобильської АЕС».

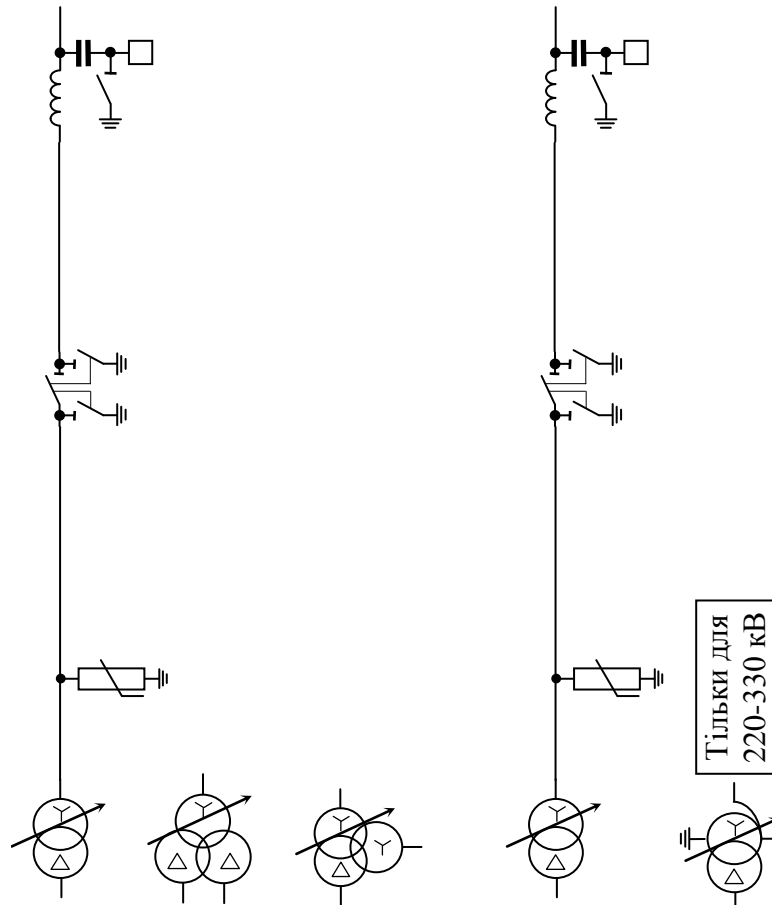
2.1 Блокові схеми

Блокові схеми РУ є найбільш простими і маловитратними. Вони потребують малу кількість вимикачів (або зовсім їх не потребують), що зменшує фінансові витрати, зменшує вірогідність різного роду пошкоджень, підвищує надійність роботи ПС і спрощує її експлуатацію.

Блокові схеми застосовують в РУ ВН напругою від 35 кВ до 330 кВ тупикових ПС.

В умовах інтенсивного забруднення ізоляції ПС, або при обмеженій площі забудови застосовують в основному РУ за блоковими схемами, переважно за схемою 110(150, 220, 330)-1.

Схему 35(110, 150, 220, 330)-1 «два блоки лінія трансформатор з роз'єднувачами» (рисунок 2.1) застосовують в РУ напругою від 35 кВ до 330 кВ при живленні кожного силового трансформатора ПС від лінії, що не має відгалужень.



Примітка. У разі приєднання кабельної лінії безпосередньо до силового трансформатора роз'єднувачі, ОПН (розрядники) і устаткування для високочастотного зв'язку не передбачають.

Рисунок 2.1 – Схема 110(150, 220, 330)-1
«два блоки лінія трансформатор з роз'єднувачами»

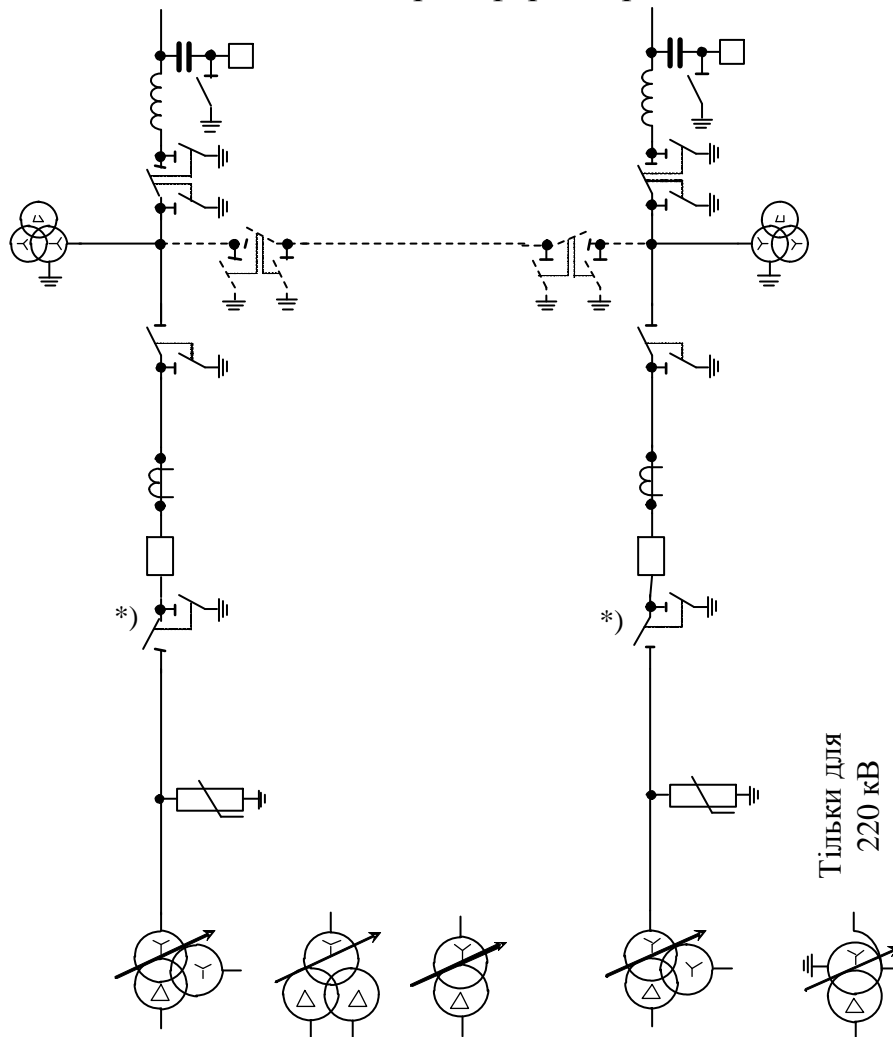
В цій схемі для захисту лінії і устаткування РУ напругою 330 кВ на ПС із трансформаторами будь-якої потужності та РУ напругою від 110 кВ до 220 кВ на ПС із силовими трансформаторами потужністю 63 МВА і більше потрібно передбачати надійне передавання сигналу для вимкнення вимикача на початку лінії живлення.

Для оперативного виведення з роботи силового трансформатора достатньо вимкнути вимикач з боку НН (або вимикачі з боку СН і НН), а потім роз'єднувачем ВН вимкнути струм намагнічування трансформатора.

У разі аварійного пошкодження будь-якого елемента блока втрачається один силовий трансформатор, що призводить до зниження потужності ПС на період усунення пошкодження.

На однотрансформаторній ПС або на першому етапі розвитку двотрансформаторної ПС дозволено застосовувати на ВН схеми з одним блоком лінія-трансформатор. При цьому пошкодження будь-якого елемента блока призводить до повної втрати електропостачання споживачів.

Схему 35(110, 150, 220)-2 «два блоки лінія-трансформатор з вимикачами в колах трансформаторів» (рисунок 2.2) застосовують в РУ напругою від 35 кВ до 220 кВ у разі приєднання ПС до лінії електропередавання, що живить кілька ПС, і при необхідності автоматичного вимикання пошкодженого силового трансформатора.



Примітка 1. Роз'єднувачі, позначені *), встановлюють у разі наявності живлення з боку СН.

Примітка 2. Трансформатори напруги встановлюють у разі потреби.

Рисунок 2.2 – Схема 35(110, 150, 220)-2 «два блоки лінія-трансформатор з вимикачами в колах трансформаторів і неавтоматичною перемичкою з боку ліній»

В цій схемі перемичку із двох роз'єднувачів слід використовувати тільки при відповідному обґрунтуванні для можливості вимикання однієї з ліній без втрати обох трансформаторів. В нормальному режимі один із роз'єднувачів перемички повинен бути увімкненим.

Виведення з роботи силового трансформатора (оперативне чи аварійне) виконують відповідними вимикачами.

У разі аварійного пошкодження будь-якого елемента блока втрачається один силовий трансформатор, що може призвести до зниження потужності ПС на період усунення пошкодження. У разі пошкодження лінії або лінійного роз'єднувача втрачається один силовий трансформатор на період оперативних перемикачів.

Залежно від схеми електричної мережі напругою від 35 кВ до 220 кВ на початковому етапі розвитку схеми ПС можливе застосування схеми укрупненого блоку – блок лінія - два трансформатори (рисунок 2.3, етап 1). У цьому випадку роз'єднувачі в перемичці дозволено не встановлювати (рисунок 2.3, варіант 1). Якщо відсутність роз'єднувачів в ремонтній перемичці ускладнює роботи на наступному етапі розвитку РУ (роз'єднувачі розміщені поблизу ошиновки перемички), на першому етапі розвитку РУ застосовують схему, зазначену на рисунку 2.3, варіант 2.

На початковому етапі розвитку ПС можлива «з вини схеми РУ» повна втрата електропостачання споживачів в післяаварійному і ремонтному режимах роботи.

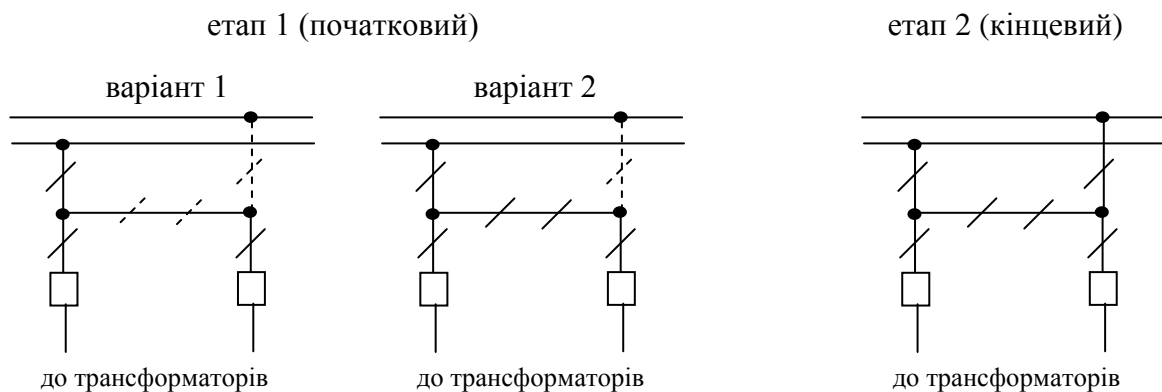


Рисунок 2.3 – Можливі етапи розвитку схеми два блоки лінія трансформатор з вимикачами в колах трансформаторів

2.2 Місткові схеми

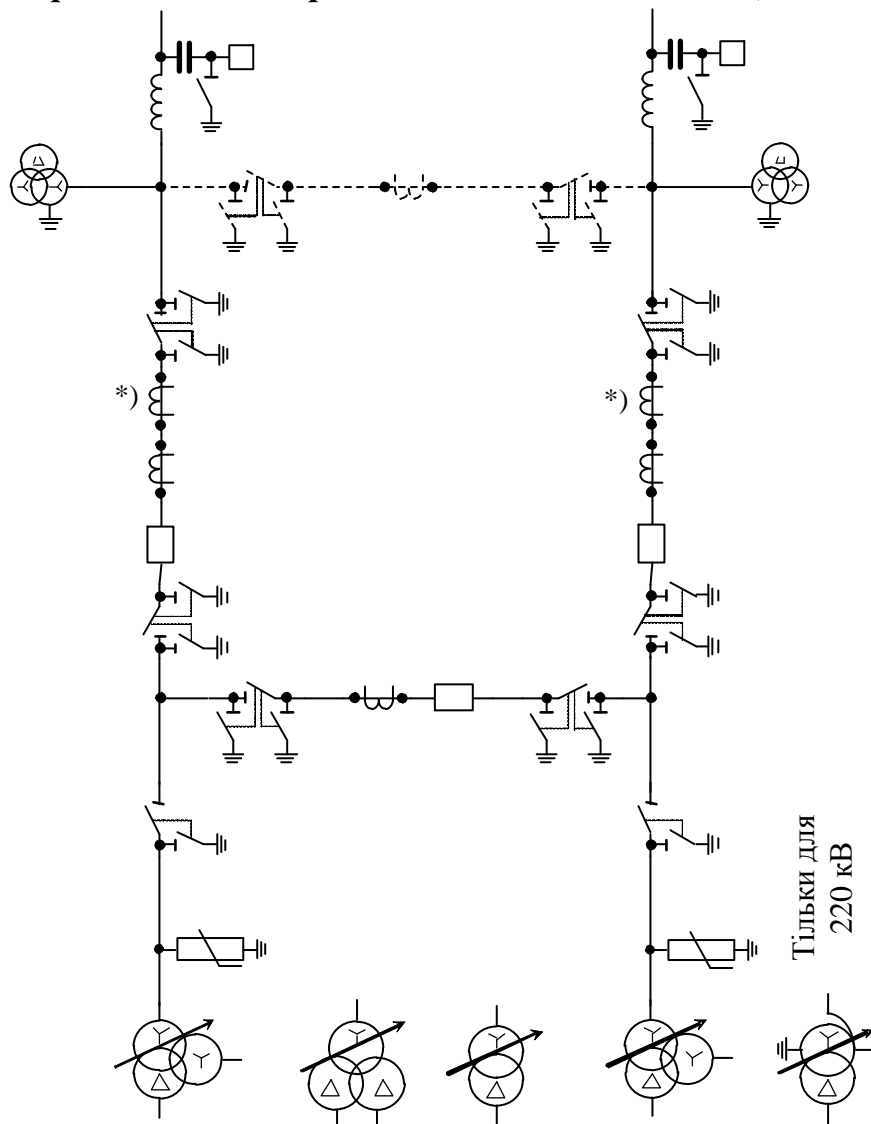
Місткові схеми застосовують на РУ ВН напругою від 35 кВ до 220 кВ на ПС електричної мережі, які приєднують у розтин однієї транзитної лінії електропередавання (прохідні ПС) із одночасним створенням можливості секціонування цієї лінії.

В даний час місткові схеми застосовують переважно з ремонтною перемичкою із двох роз'єднувачів, яку використовують під час ремонту секційного вимикача або при вимиканні однієї з ліній. В нормальному режимі один із роз'єднувачів повинен бути вимкненим.

Оскільки сучасні комутаційні апарати для РУ ПС мають достатньо високі показники надійності, то нова редакція ПУЕ не вимагає застосування у місткових схемах ремонтної перемички.

Схему 35(110, 150, 220)-3 «місток з вимикачами в колах ліній» (рисунок 2.4) застосовують в РУ ВН напругою від 35 кВ до 220 кВ прохідних

ПС для здійснення секціонування транзитної лінії і збереження в роботі обох силових трансформаторів при пошкодженні однієї із ділянок транзиту (*пріоритет збереження електропостачання споживачів*).



Примітка. Трансформаторі струму, позначені *), установлюють при відповідному обґрунтуванні.

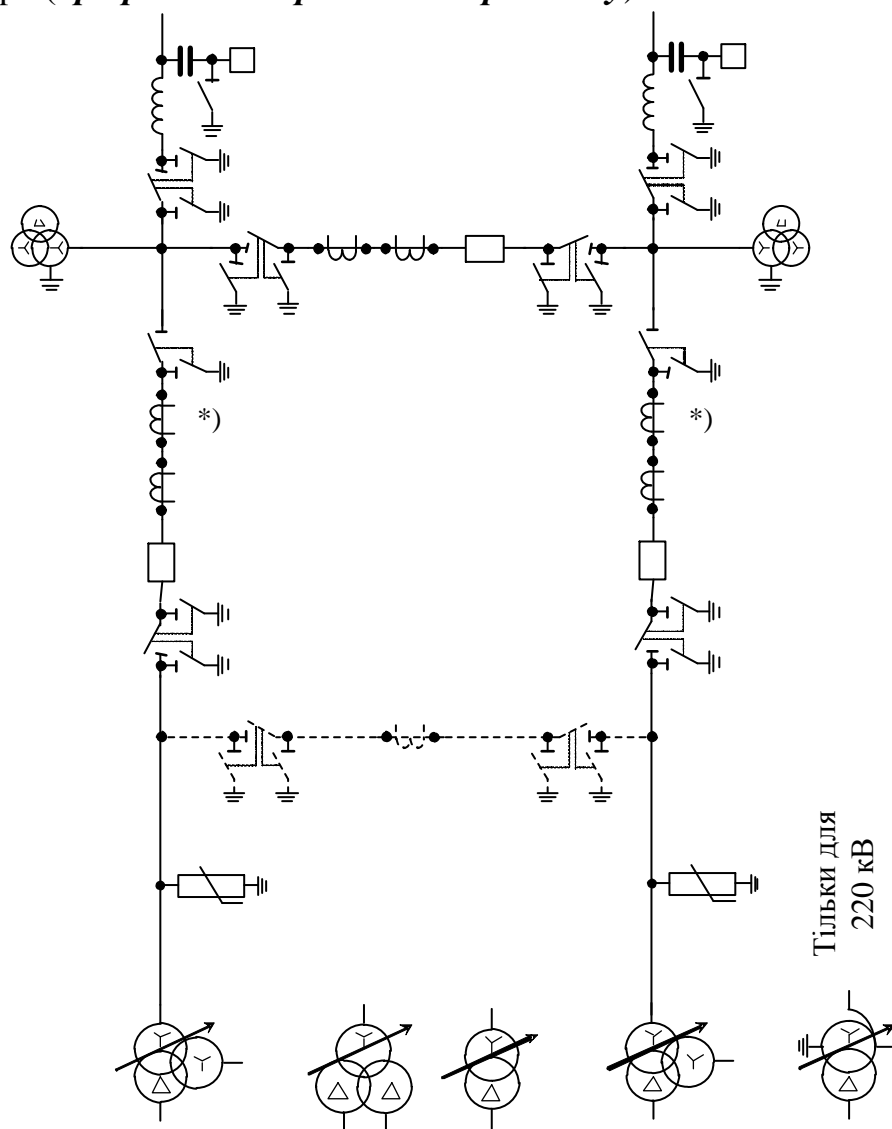
Рисунок 2.4 – Схема 35(110, 150, 220)-3 «місток з вимикачами в колах ліній»

Для оперативного виведення з роботи силового трансформатора в схемі достатньо вимкнути вимикач з боку НН (або вимикачі з боку СН і НН), а потім роз'єднувачем ВН вимкнути струм намагнічування трансформатора без порушення транзиту енергії через шини РУ.

У післяаварійних режимах роботи схеми можлива втрата «з вини схеми РУ» живлення обох трансформаторів або транзиту електроенергії лише на час оперативних перемикань, наприклад, у разі пошкодження секційного вимикача. У разі пошкодження лінії, або лінійного вимикача (роз'єднувача) живлення трансформаторів зберігається. Аварійне виведення з роботи силового

трансформатора виконують автоматично двома вимикачами з порушенням транзиту електроенергії на час оперативних перемикачів.

Схему 35(110, 150, 220)-4 «місток з вимикачами в колах трансформаторів» (рисунок 2.5) застосовують в РУ ВН напругою від 35 кВ до 220 кВ прохідних ПС для здійснення секціонування транзитної лінії і збереження транзитного потоку електроенергії при пошкодженні силового трансформатора (*пріоритет збереження транзиту*).



Примітка. Трансформатори струму, позначені *), установлюють при відповідному обґрунтуванні

Рисунок 2.5 – Схема 35(110, 150, 220)-4 «місток з вимикачами в колах трансформаторів»

Виведення з роботи силового трансформатора (оперативне чи аварійне) виконують трансформаторними вимикачами без порушення основних функцій ПС при збереженні транзитного потоку електроенергії. **Особливо ефективно застосовувати дану схему на ПС з нерівномірним графіком навантаження, на яких для зменшення втрат електроенергії в трансформаторах доцільне періодичне вимикання одного із них.**

У післяаварійних режимах роботи схеми можлива втрата «з вини схеми РУ» живлення обох трансформаторів і транзитного потоку електроенергії лише на час оперативних перемикачів, наприклад, у разі пошкодження секційного вимикача. У разі пошкодження лінії, або лінійного роз'єднувача ПС втрачає один трансформатор тільки на час оперативних перемикачів.

У разі необхідності секціонування мережі на даній ПС в режимі ремонту будь-якого вимикача із двох місткових схем потрібно перевагу віддавати схемі 35(110, 150, 220)-4.

Залежно від конфігурації електричної мережі схеми РУ 35(110, 150, 220)-3 і 35(110, 150, 220)-4 можуть бути застосовані з установленням на першому етапі розвитку ПС одного силового трансформатора (рисунки 2.6 і 2.7 відповідно). Кількість вимикачів при цьому визначають технічною необхідністю (наприклад, необхідністю збереження роботи електромережі чи ПС в ремонтно-аварійному режимі роботи їх елементів).

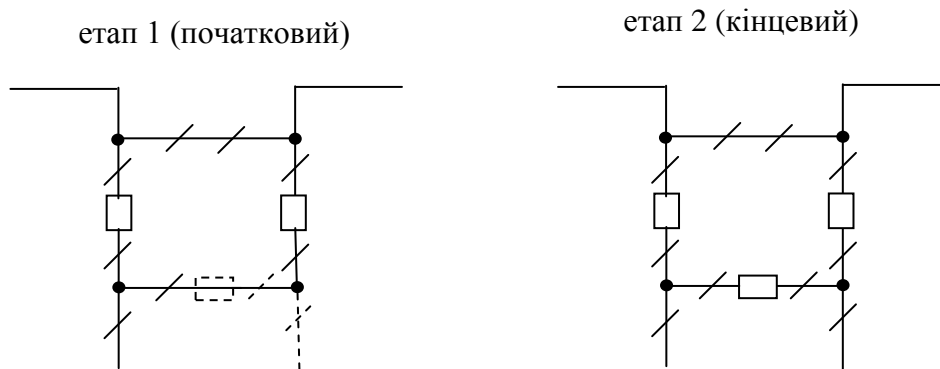


Рисунок 2.6 – Можливі етапи розвитку схеми «місток з вимикачами в колах ліній»

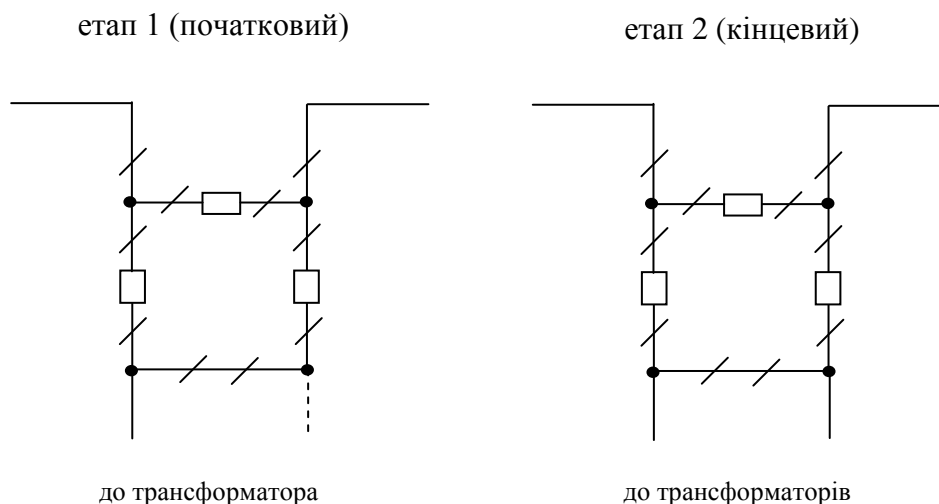


Рисунок 2.7 – Можливі етапи розвитку схеми «місток з вимикачами в колах трансформаторів»

2.3 Схеми РУ із збірними шинами і одним вимикачем на приєднання

Схеми із збірними шинами і одним вимикачем на приєднання призначені для РУ напругою від 35 кВ до 220 кВ тупикових, прохідних та вузлових ПС розподільної і магістральної електричної мережі.

Схеми з однією і двома робочими системами збірних шин з одним вимикачем на приєднання застосовують в РУ напругою від 35 кВ до 220 кВ при п'ятьох і більше приєднаннях на вузлових ПС.

Схеми із збірними шинами і одним вимикачем на приєднання в РУ напругою від 110 кВ до 220 кВ ПС, що знаходяться в експлуатації, переважно мають обхідну систему шин, яка дозволяє виводити в ремонт або для ревізії вимикач будь-якого приєднання без перерви в роботі приєднання. У нормальному режимі роботи РУ обхідна система шин знаходиться без напруги.

Проте, нова редакція ПУЕ не вимагає застосування обхідної системи шин, оскільки під час проектування нових та реконструкції існуючих ПС слід використовувати сучасні комутаційні апарати з високими показниками надійності. Саме за рахунок таких комутаційних апаратів забезпечується структурна надійність схем РУ ПС.

Лінійні приєднання в схемах розподіляють по секціях таким чином, щоб у разі вимушеного виведення з роботи однієї секції було збережено електропостачання максимальної кількості споживачів. Для цього електроустановки особливо відповідальних споживачів живлять від двох різних секцій РУ або передбачають їх резервне живлення по електричній мережі.

Схему 35(110, 150, 220)-5 «одна робоча, секціонована вимикачем, система шин» (рисунок 2.8) застосовують в РУ напругою 35-220 кВ. Схему застосовують у разі відсутності вимог щодо збереження в роботі усіх приєднань при виведенні в ремонт чи ревізію робочої секції шин.

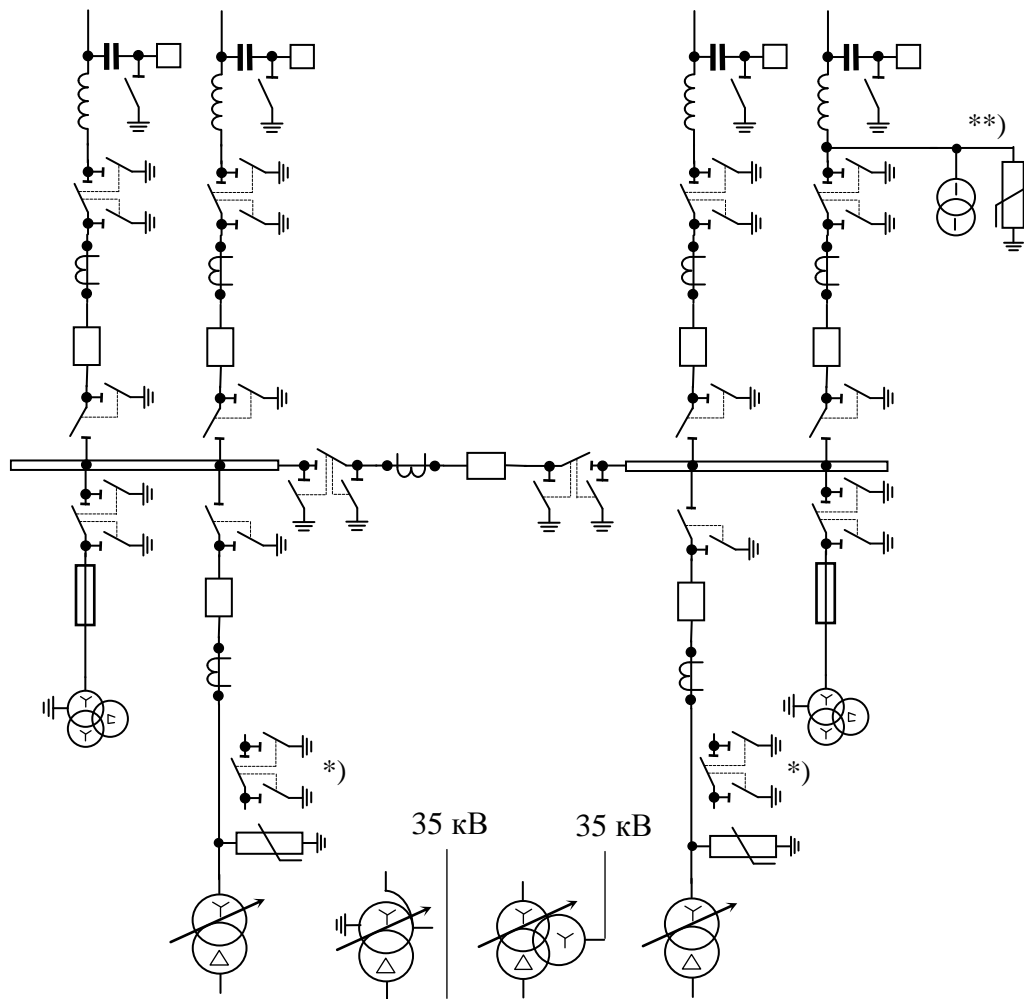
Схему 35(110, 150, 220)-5 виконують без обхідної системи шин. На період ремонту вимикача використовують резерв по електричній мережі для забезпечення живлення споживачів.

Схема проста, наочна, економічна і дозволяє використовувати комплектні розподільні установки (КРУ) заводського виготовлення.

«З вини схеми РУ» в післяаварійному і ремонтному режимах можлива втрата резервного живлення споживачів, які живляться від обох секцій РУ, або втрата живлення нерезервованих споживачів на весь час ліквідації пошкодження або завершення ремонтних робіт на одній із секцій шин. Крім того втрата живлення одного із силових трансформаторів призводить до деякого зниження потужності ПС.

Пошкодження секційного вимикача призводить до вимикання усіх приєднань на час оперативних перемикачів.

На початковому етапі розвитку схеми 35(110, 150, 220)-5 зі сторони РУ ВН дозволено приєднання по одній лінії на кожен секцію шин та секціонування системи шин роз'єднувачами.



Примітка 1. Роз'єднувачі, помічені *), в колах трансформаторів установлюють тільки в РУ НН і СН при триобмоткових трансформаторах і автотрансформаторах.

Примітка 2. Комплекти трансформаторів напруги та ОПН (розрядників), помічені **), можуть бути установлені у разі влаштування АВР на одній із живлячих підстанцію ліній напругою 35 кВ (резервній).

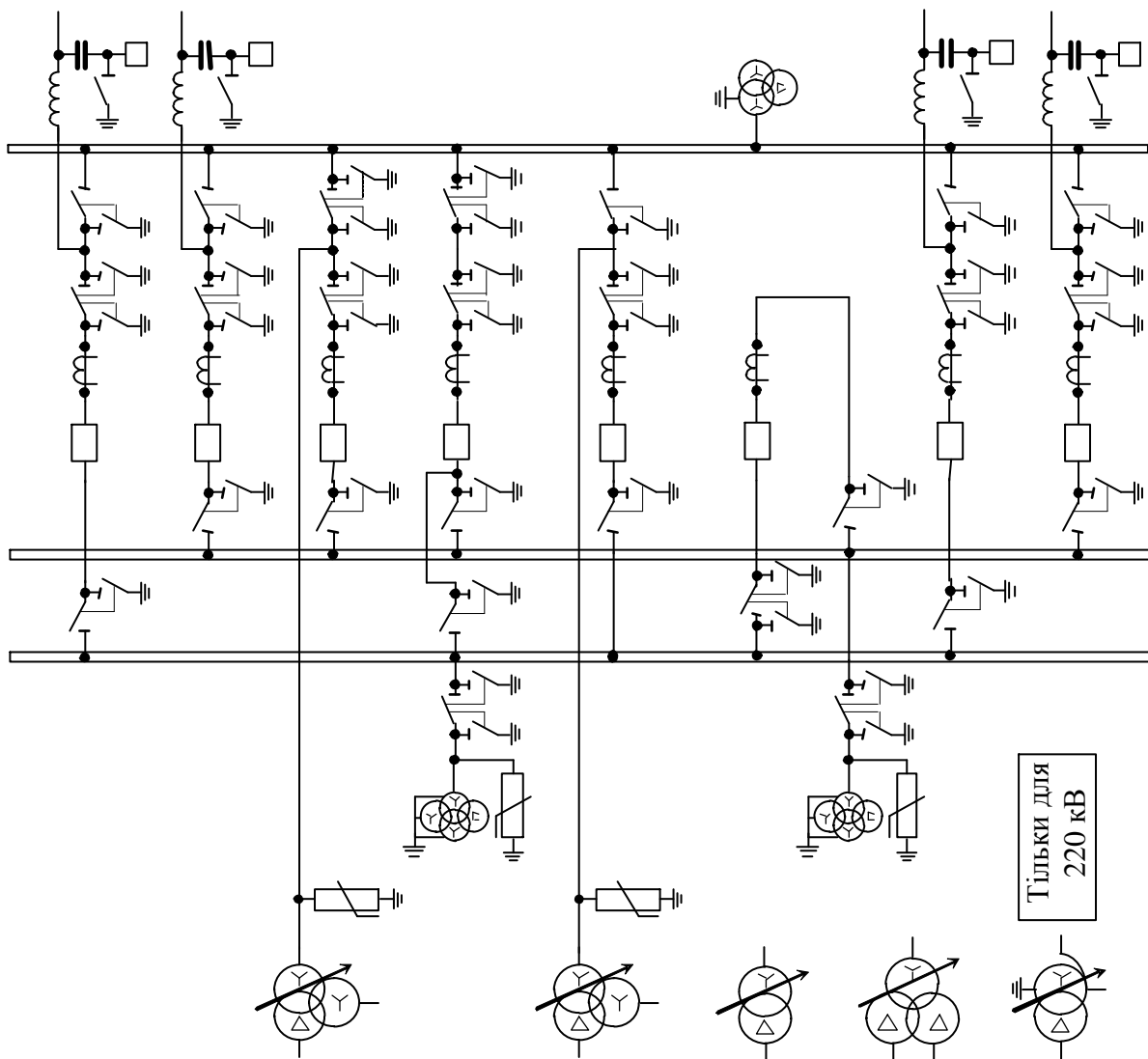
Рисунок 2.8 – Схема 35-5 «одна робоча, секціонована вимикачем, система шин»

Для РУ ВН і СН вузлових ПС мережі напругою 35 кВ та СН і НН на ПС напругою 110 - 330 кВ дозволяється передбачати 3-4 лінійні приєднання.

У випадку використання цієї схеми зі сторони РУ НН 35 кВ дозволяється приєднувати до 4-х лінійних приєднань на секцію шин. Для РП з функціями ПС 35/0,4 кВ кількість ліній 35 кВ може бути збільшена до 8.

Для вузлових ПС в мережі напругою 110 - 220 кВ дозволяється приєднувати 3-5 лінійних приєднань зі сторони РУ ВН та 3-8 – зі сторони РУ СН.

У редакції ПУЕ-2017 була присутня *схема 110(150, 220)-6 «одна робоча секціонована вимикачем і обхідна системи шин»* (рисунок 2.9), яка застосовувалася в РУ ВН напругою від 110 кВ до 220 кВ при кількості лінійних приєднань від 3 до 6.



Примітка 1. Необхідність установлення ОПН (розрядників) на робочих системах шин уточнюють під час конкретного проектування.

Примітка 2. Дозволено установлення на робочих шинах триобмоткових трансформаторів напруги по два на кожен секцію шин.

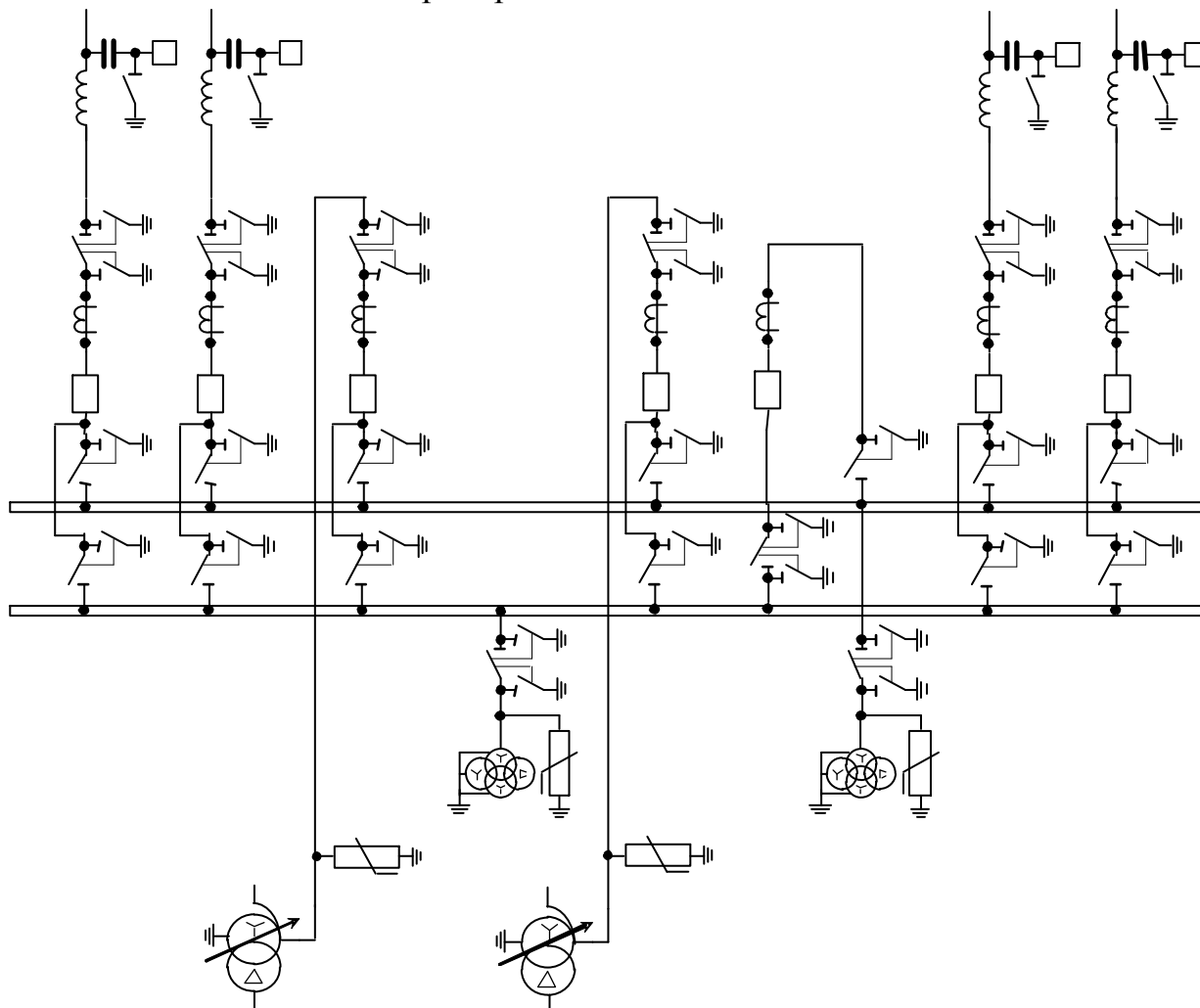
Рисунок 2.9 – Схема 110(150, 220)-6 «одна робоча, секціонована вимикачем, і обхідна системи шин»

Дана схема є складною модифікацією схеми 35(110, 150, 220)-5. Вона застосовується на існуючих ПС, на яких досі експлуатуються оливні вимикачі 60-80-хх років минулого століття.

У цій схемі «з вини схеми РУ» в післяаварійному і ремонтному режимах можлива втрата резервного живлення споживачів, які живляться від обох секцій РУ, або втрата живлення не резервованих споживачів на весь час ліквідації пошкодження або завершення ремонтних робіт на одній із секцій шин. Крім того втрата живлення одного із силових трансформаторів призводить до деякого зниження потужності ПС.

Пошкодження секційного вимикача призводить до вимикання усіх приєднань на час оперативних перемикань.

Схему 110(150, 220)-7 «дві робочі системи шин» (рисунок 2.10) слід застосовувати у РУ напругою від 110 кВ до 220 кВ з великою кількістю приєднань (9-12 лінійних приєднань) на СН ПС з автотрансформаторами потужністю до 2×200 (2×240) МВА у разі підвищених вимог до надійності живлення кожної лінії електропередавання.



Примітка. Дозволено установлення на робочих шинах триобмоткових трансформаторів напруги по два на кожен систему шин.

Рисунок 2.10 – Схema 110(150, 220)-7 «дві робочі системи шин»

В нормальному режимі роботи РУ обидві робочі системи шин знаходяться під напругою з увімкненим шиноз'єднувальним вимикачем при відповідному фіксованому розподіленні всіх приєднань між системами шин. Це підвищує надійність схеми, так як під час КЗ на шинах вимикається шиноз'єднувальний вимикач і втрачають живлення лише половина споживачів і тільки на час виконання перемикачів. Перемикачів усіх приєднань на одну робочу систему шин виконують тільки у разі стійкого пошкодження на шинах, а також у разі виведення однієї системи шин на час ремонту чи ревізії. Ліквідація аварії на робочій системі шин потребує достатнього часу, так як усі операції з переведення приєднань до однієї системи шин виконують роз'єднувачами, що ускладнює експлуатацію РУ.

Пошкодження шиноз'єдувального вимикача призводить до вимикання усіх приєднань на час оперативних перемикачів.

Дана схема потребує встановлення великої кількості роз'єднувачів.

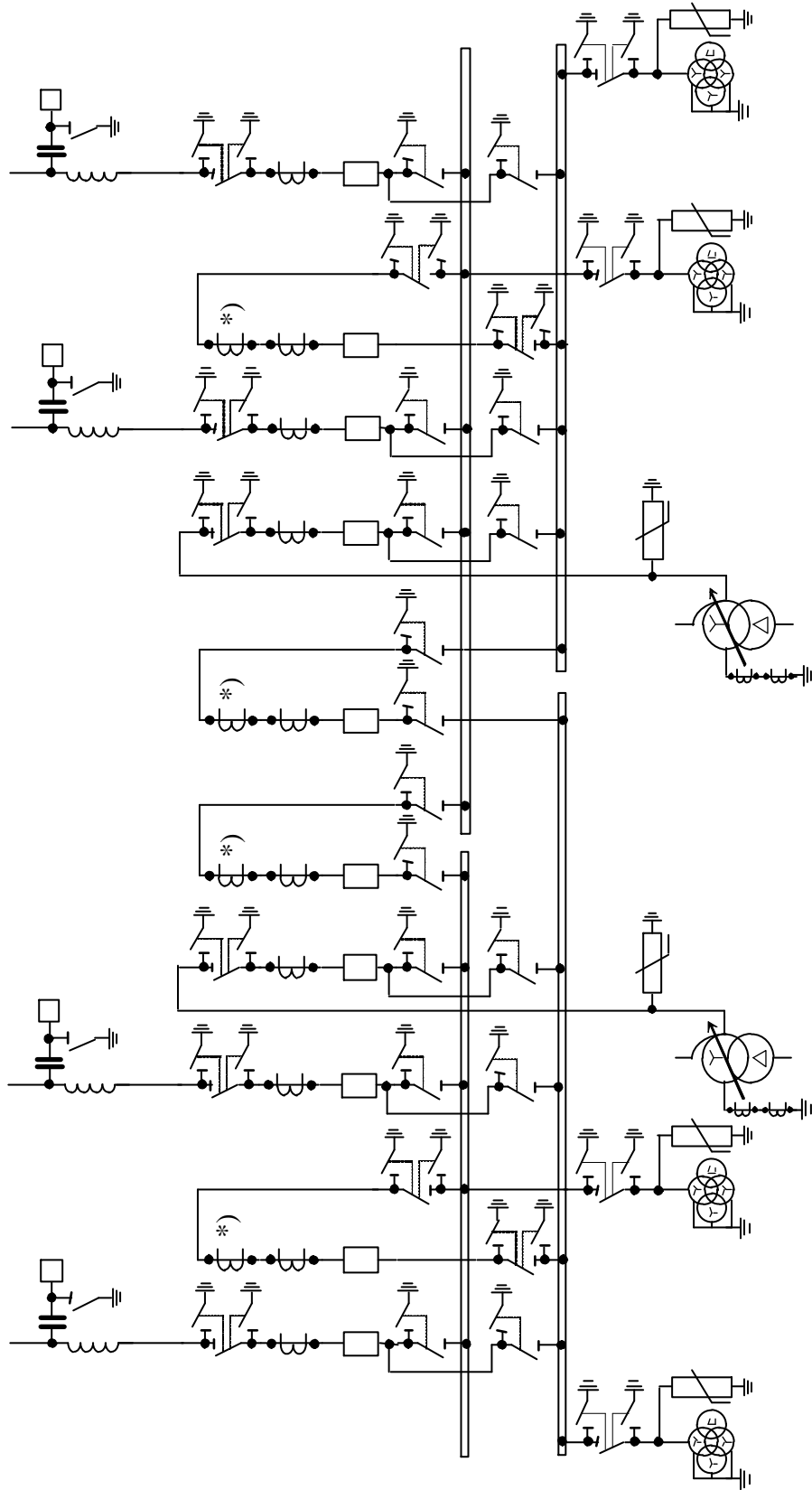
Частково усунути недоліки схеми 110(150, 220)-7 можна за рахунок секціонування робочих систем шин.

Схему 110(150, 220)-8 «дві робочі, секціоновані системи шин з двома шиноз'єднувальними вимикачами» (рисунок 2.11) застосовують в РУ напругою від 110 кВ до 220 кВ на СН потужних вузлових ПС при кількості лінійних приєднань понад 12 у випадках:

- необхідності зниження струмів КЗ (наприклад, шляхом випереджаючого поділу мережі при КЗ);
- у разі необхідності системного поділу електромережі;
- для обмеження кількості вимикачів, що спрацьовують одночасно під час КЗ;
- у разі встановлення на ПС трьох-чотирьох автотрансформаторів.

Секціонування робочих систем шин призводить до підвищення гнучкості і надійності схеми в порівнянні з схемою 110(150, 220)-7. У разі пошкодження робочої системи шин втрачають живлення тільки 25% приєднань на час оперативних перемикачів, а пошкодження секційного вимикача призводить до втрати живлення тільки половини приєднань на час оперативних перемикачів. На відміну від схеми 110(150, 220)-7 в схемі 110(150, 220)-8 у разі раціонального розподілення лінійних і трансформаторних приєднань між секціями шин навіть в ремонтно-аварійному режимі роботи (ремонт однієї секції шин і КЗ на другій) неможлива повна втрата живлення всіх силових трансформаторів чи всіх лінійних приєднань.

Слід зазначити, що у редакції ПУЕ-2017 дана схема мала обхідну систему шин.



Примітка 1. Трансформатори струму, помічені *, установлені при відповідному обґрунтуванні.

Рисунок 2.11 – Схема 110(150, 220)-8 «дві робочі, секціоновані системи шин з двома шиноз'єднувальними вимикачами»

2.4 Кільцеві схеми (багатокутники)

В РУ електричних мереж України подекуди застосовуються кільцеві схеми – переважно схеми «трикутник» і «чотирикутник». Застосування кільцевих схем з більшою кількістю приєднань («п'ятикутник», «шестикутник» тощо) було неприпустимим за вимогами до їх надійності, так як у деяких випадках при пошкодженні окремих вимикачів відбувається розрив транзитного потоку електроенергії.

Кільцеві схеми застосовувалися для РУ напругою 220 кВ і вище прохідних і вузлових ПС з обмеженою кількістю приєднань (не більше чотирьох) в системоутворюючій магістральній електромережі. Конфігурація схем дозволяла в післяаварійному режимі роботи локалізувати аварію засобами автоматики без порушення основних функцій ПС (РУ). Не виключалася можливість втрати живлення одного силового трансформатора і розриві транзиту через шини ПС у разі пошкодження з'єднувальних шин.

Особливістю кільцевих схем є необхідність комутації (оперативної чи автоматичної) будь-якого приєднання двома вимикачами, що збільшує загальну кількість ревізій вимикачів.

Приєднання елементів в загальну схему через два вимикачі підвищує гнучкість і надійність її роботи, при цьому кількість вимикачів не перевищує кількості приєднань. Кількість операцій з роз'єднувачами незначна, так як вони використовуються тільки для ремонтних робіт.

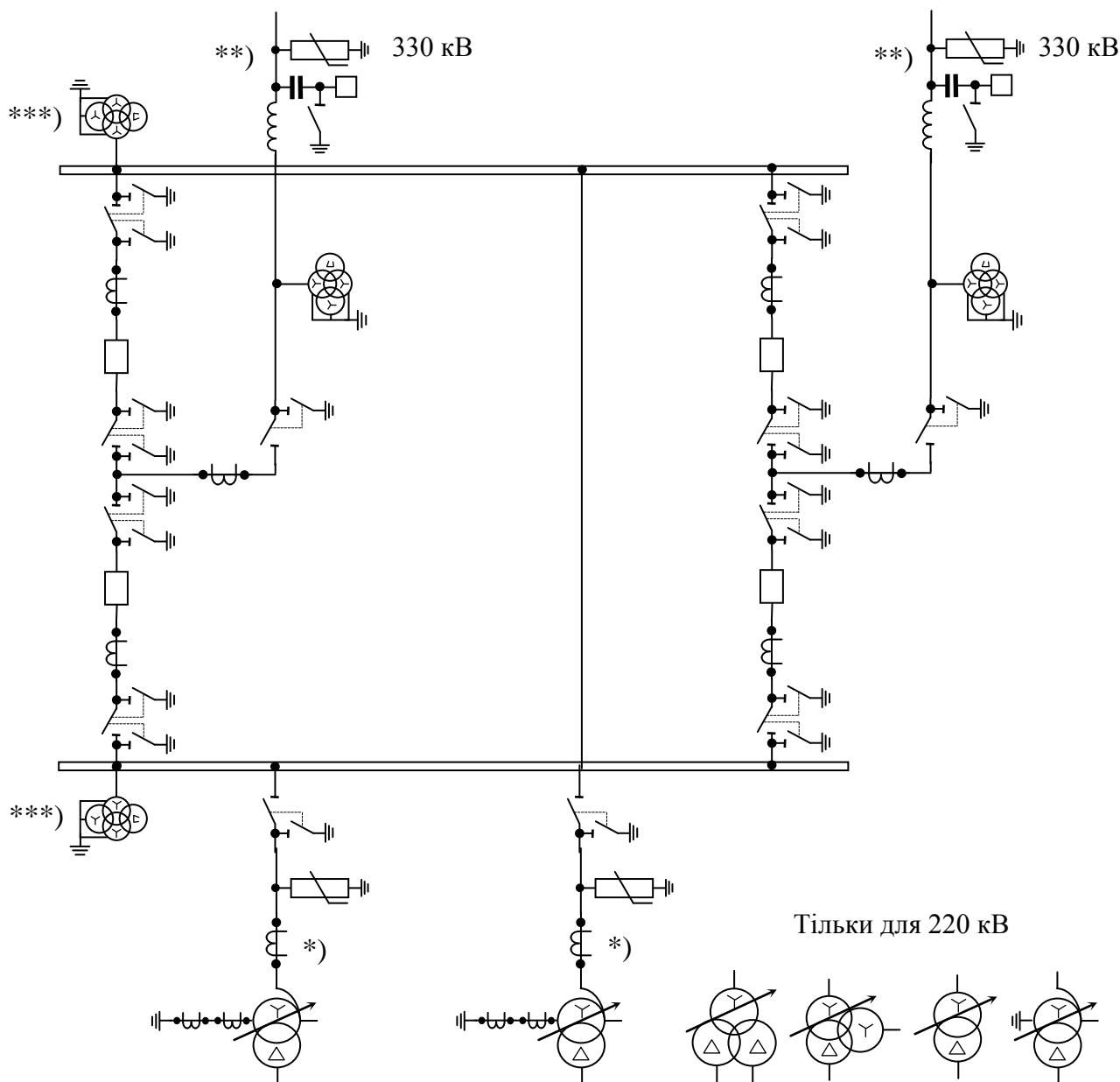
Ремонт чи ревізія будь-якого вимикача не приводить до виведення з роботи приєднання, однак приводить до «розриву» схеми кільця. Останнє змушує вибирати електроустаткування і апарати на струми, значно вищі від струмів приєднання, яке вони обслуговують.

З оновленої редакції Глави 4.2 ПУЕ кільцеві схеми виключені із-за їх несуттєвої експлуатаційної надійності.

Схема 220(330, 500, 750)-9 «чотирикутник» (рисунок 2.12) застосовувалася в РУ ВН напругою від 220 кВ до 750 кВ при двох лінійних і двох трансформаторних приєднаннях у разі необхідності секціонування транзитної лінії і при потужності силових трансформаторів від 125 МВА і більше на напрузі 220 кВ або будь-якої потужності трансформаторів на напрузі від 330 кВ до 750 кВ.

Схема в значній мірі забезпечує якість роботи, яка властива РУ з двома вимикачами на приєднання, при зменшенні витрат на спорудження РУ.

Схема «чотирикутник» в РУ напругою 220 кВ могла застосовуватися замість схем містка, коли застосування ремонтних перемичок недопустиме через підвищення напруги на вимкненому кінці лінії або за умовами релейного захисту (наприклад, якщо на лініях електропередавання напругою 220 кВ застосовують однофазне автоматичне повторне вмикання (ОАПВ)).



Примітка 1. Трансформатори струму, помічені *), установлюють при відповідному обґрунтуванні.

Примітка 2. У разі застосування схеми у якості кінцевої (без подальшого розвитку) дозволено замість трансформаторів напруги, помічених ***) , установлення триобмоткових трансформаторів напруги.

Рисунок 2.12 – Схема 220(330, 500, 750)-9 «чотирикутник»

На першому етапі розвитку схеми «чотирикутник» було дозволено застосовувати блокову схему або схему «трикутник», а саме:

- при одній лінії і одному силовому трансформаторі – схему блок лінія-трансформатор з двома взаємнорезервованими вимикачами (рисунок 2.13, а) або використовувати надійне передавання сигналу на вимикання вимикача;
- при двох лініях і одному силовому трансформаторі – схему «трикутник» (рисунок 2.13, б);

- при двох силових трансформаторах і одній лінії – схему «трикутник» (рисунок 2.13, в, варіант 1), при цьому, якщо приєднання другої лінії відбудеться за межами розрахункового періоду, дозволено встановлювати два вимикачі (рисунок 2.13, в, варіант 2).

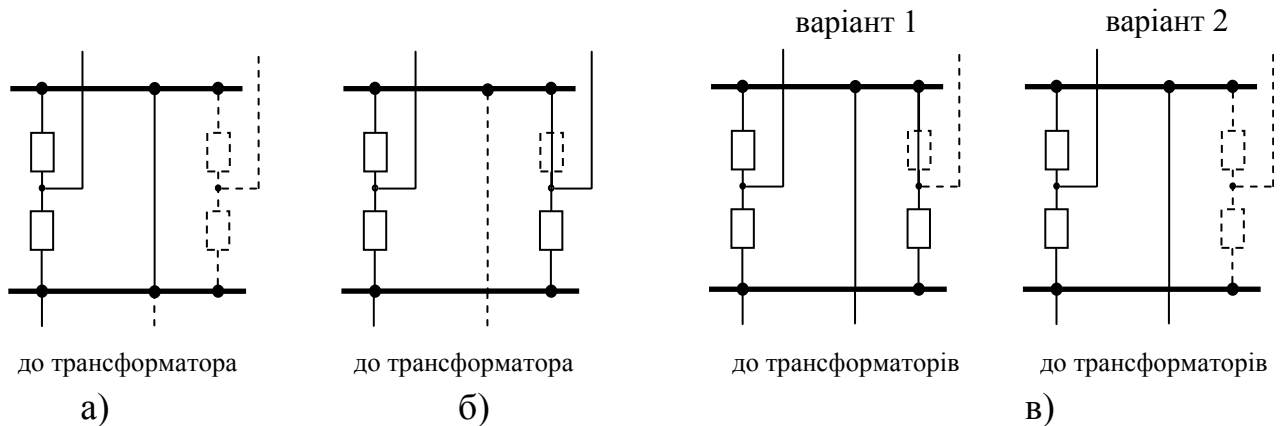


Рисунок 2.13 – Варіанти розвитку схеми «чотирикутник»

За кільцевими схемами побудовані наступні РУ ПС в ОЕС України:

- РУ 750кВ Рівненської АЕС – схема «чотирикутник»;
- РУ 330кВ ПС «Куп'янськ-330» та ПС «Південна-330», та РУ 220кВ «Феодосія-220» – схема «трикутник».

2.5 Схеми зі збірними шинами з двома і півтора вимикачами на приєднання

Схеми зі збірними шинами з двома і півтора вимикачами на приєднання призначені для РУ напругою від 330 кВ до 750 кВ на ВН і СН прохідних і вузлових ПС (з кількістю приєднань понад 4) в системоутворюючій магістральній електричній мережі.

Конфігурація схем дозволяє в післяаварійному режимі роботи локалізувати аварію засобами автоматики без тяжких наслідків для споживачів «з вини схеми РУ». При цьому в післяаварійних і ремонтних режимах роботи функції ПС (РУ) не порушуються.

Недоліком цих схем є необхідність комутації (оперативної чи аварійної) одного приєднання двома, трьома або чотирма вимикачами, що збільшує загальну кількість ревізій вимикачів.

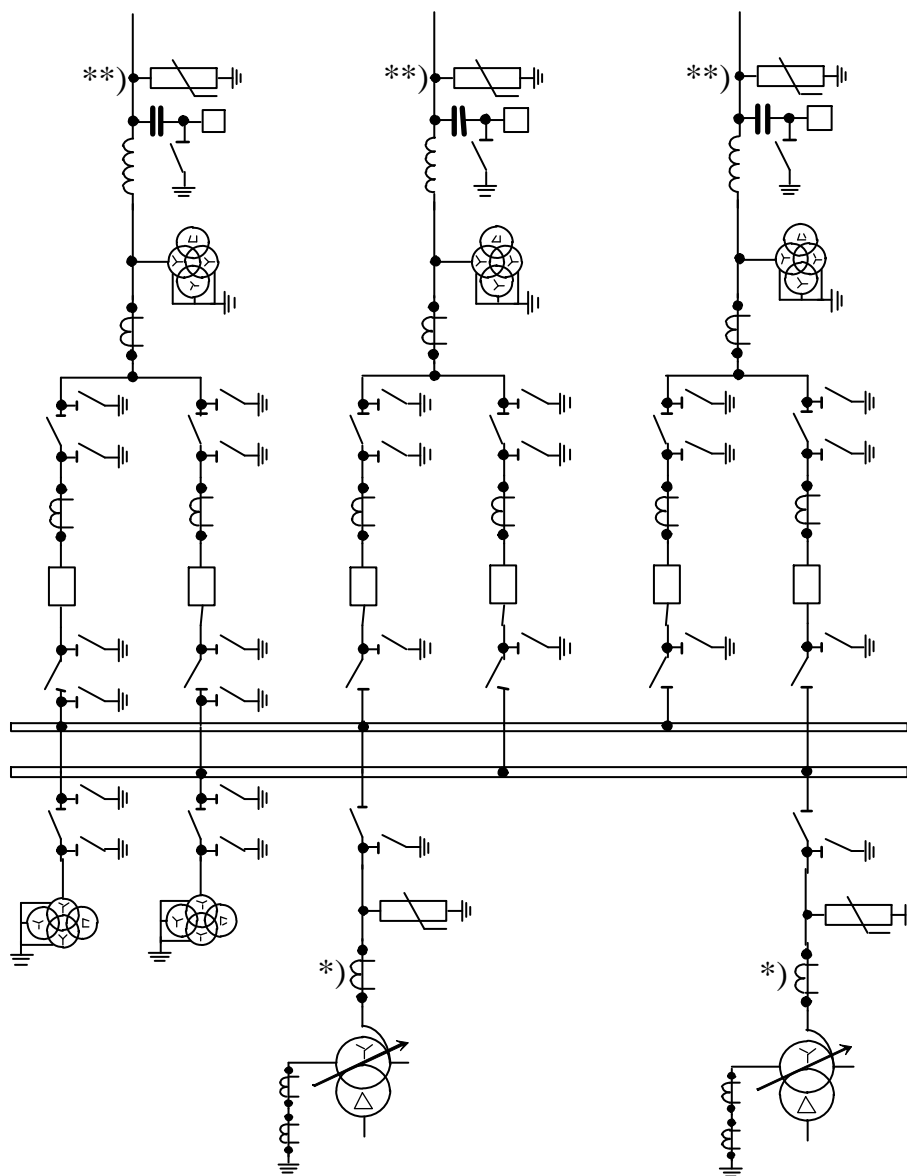
Роз'єднувачі використовують тільки для ремонтних робіт.

Схему 220(330, 500, 750)-10 «трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі» (рисунок 2.14) застосовують в РУ ВН і СН напругою 220-750 кВ при двох-трьох лінійних приєднаннях, якщо збільшення кількості лінійних приєднань у майбутньому не передбачається.

Схему застосовують у разі підвищених вимог до збереження в роботі лінійних приєднань при пошкодженні збірних шин. Схема розрахована на

приєднання безпосередньо до збірних шин від двох до чотирьох силових трансформаторів.

Схема забезпечує високу надійність, але вимагає значної кількості електроустаткування, особливо вимикачів. Крім того для виведення з роботи (оперативно чи аварійно) одного із силових трансформаторів потрібна комутація від двох до трьох вимикачів.



Примітка 1. Трансформатори струму, помічені *), установлюють при відповідному обґрунтуванні.

Примітка 2. Необхідність установлення на приєднаннях ліній електропередавання напругою 330 кВ ОПН (розрядників), помічених **), підлягає уточненню під час конкретного проектування.

Примітка 3. Другий комплект заземлювальних ножів на збірних шинах установлюють на шинному роз'єднувачі ближньої до трансформатора напруги ланки.

Рисунок 2.14 – Схема 220(330, 500, 750)-10 «трансформатори-шини з приєднанням ліній через два вимикачі»

Схема дозволяє виводити в ремонт будь-який вимикач без втрати лінійного приєднання. У разі пошкодження однієї системи шин автоматично вимикаються всі вимикачі, приєднані до пошкодженої системи шин, при цьому друга система шин і усі приєднання (за виключенням половини трансформаторних приєднань) залишаються в роботі.

Схему 330(500, 750)-11 «полупторна» (рисунок 2.15) застосовують в РУ напругою від 330 кВ до 750 кВ на ВН і СН при кількості приєднань понад 3.

Схема забезпечує високу надійність роботи ПС і є достатньо економічною особливо у разі парної кількості приєднань. При непарній кількості приєднань в одній із перемичок з вимикачами замість півтора вимикача на приєднання вимушено застосовують два вимикачі.

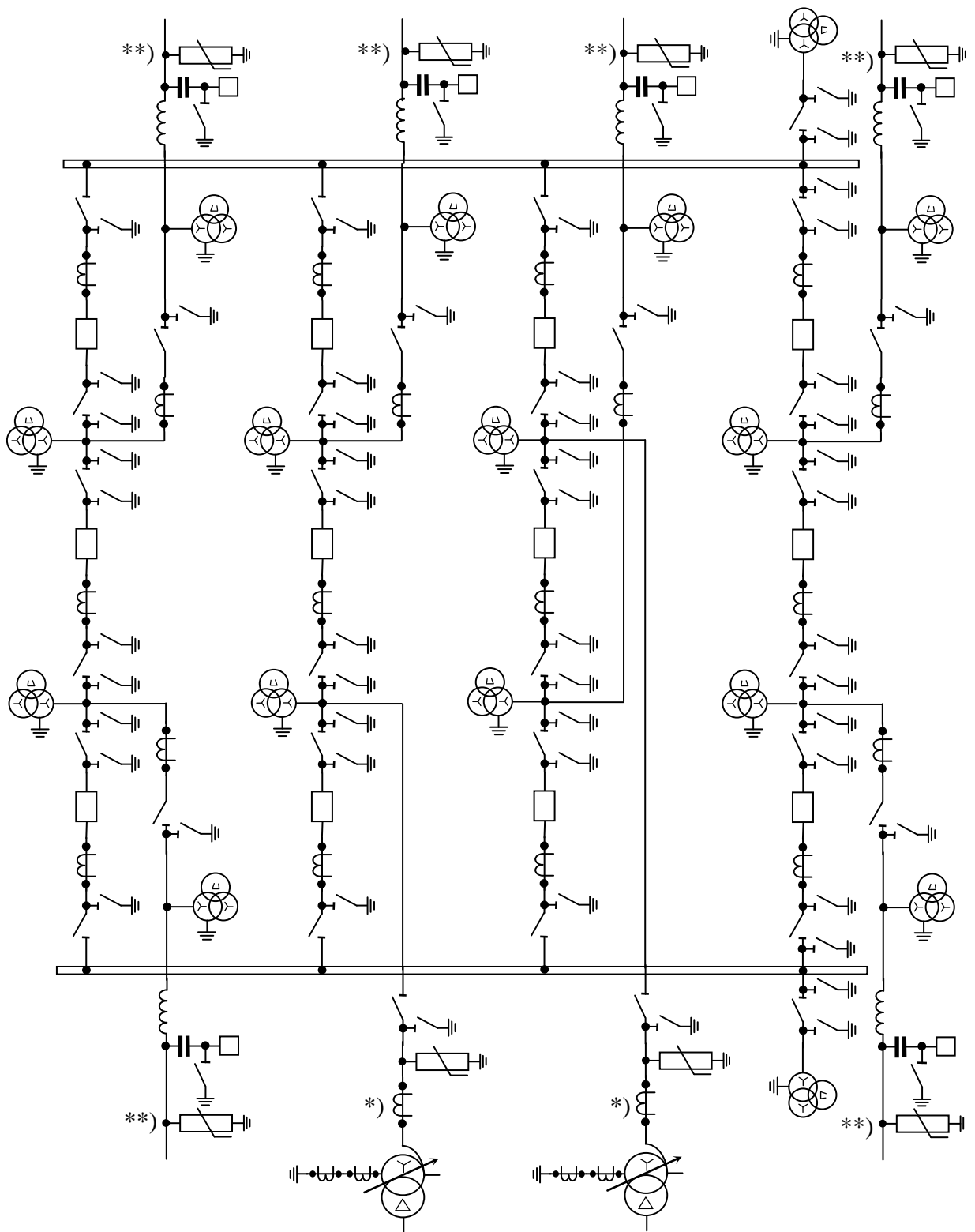
Наявність трьох вимикачів на два приєднання дозволяє виводити в ремонт чи ревізію будь-який вимикач чи систему шин при збереженні живлення всіх приєднань. Аналогічна ситуація має місце при аварійному пошкодженні будь-якого елемента схеми.

Парні лінії електропередавання і силові трансформатори необхідно приєднувати до різних систем збірних шин і в різні ділянки РУ. У разі раціонального розподілення в схемі лінійних і трансформаторних приєднань навіть в ремонтно-аварійному режимі роботи (ремонт однієї системи шин і КЗ на другій) неможлива повна втрата живлення силових трансформаторів чи транзитного потоку електроенергії.

Комутація кожного приєднання виконується тільки двома вимикачами. Кількість операцій роз'єднувачами мінімальна (виведення в ремонт вимикача чи лінії електропередавання).

У разі розвитку РУ від схеми «трансформатори-шини із приєднанням лінії через два вимикачі» до «полупторної» схеми, а також при кількості приєднань менше ніж 8 дозволено застосовувати як проміжну схему трансформатори-шини з полупторним приєднанням ліній.

У схемі трансформатори-шини з полупторним приєднанням ліній, а також у полупторній схемі при кількості лінійних приєднань понад 6 та у схемах трансформатори-шини із приєднанням ліній через два і півтора вимикачі при чотирьох автотрансформаторах потрібно розглядати необхідність секціонування збірних шин. Умови збереження стійкості енергосистеми також можуть бути приводом для такого секціонування збірних шин.



Примітка 1. Трансформатори струму, помічені *), установлюють при відповідному обґрунтуванні.

Примітка 2. Необхідність установлення на приєднаннях ліній електропередавання ОПН (розрядників), помічених **), підлягає уточненню під час конкретного проектування.

Примітка 3. Другий комплект заземлювальних ножів на збірних шинах установлюють на шинному роз'єднувачі ближньої до трансформатора напруги ланки.

Рисунок 2.15 – Схема 330(500, 750)-11 «полуторна»

2.6 Схеми РУ напругою 6 кВ, 10 кВ і 20 кВ

РУ напругою 6 кВ, 10 кВ і 20 кВ застосовують в розподільній електричній мережі місцевих і промислових споживачів, а також для живлення силових трансформаторів власних потреб ПС.

В РУ напругою 6 кВ, 10 кВ і 20 кВ застосовують переважно схеми з однією чи декількома системами збірних шин, що секціоновані вимикачами чи роз'єднувачами з одним комутаційним апаратом на приєднання (вимикачем, вимикачем навантаження чи системою запобіжник-роз'єднувач).

В РУ напругою 6 кВ, 10 кВ і 20 кВ на НН передбачають переважно роздільну роботу секцій з метою обмеження струмів КЗ. У разі роздільної роботи секцій можлива робота силових трансформаторів з різним навантаженням і секцій шин з відмінною напругою, але ці ситуації не можуть бути визначальними при виборі режиму роботи схеми на НН. Режим з паралельною роботою секцій не є бажаний, виходячи з того, що при КЗ в електромережі 6 кВ чи 10 кВ напруга на обох секціях падає до нуля з порушенням нормальної роботи усіх споживачів. Крім того, при значній потужності силових трансформаторів струм КЗ зростає до величин, які потребують застосування електроустаткування з підвищеними параметрами і застосування силових кабелів в мережі з жилами великих перерізів.

Схеми РУ напругою 6 кВ, 10 кВ і 20 кВ прості, наочні і маловитратні, що дозволяє широко використовувати комплектні розподільні установки заводського виготовлення (КРУ, КРУЗ, КЗО). Операції з роз'єднувачами (утичними контактами) необхідні тільки для забезпечення експлуатаційних робіт. Внаслідок однотипності і простоти операцій з роз'єднувачами (утичними контактами) практично виключена аварійність із-за неправильних дій оперативного персоналу.

У разі пошкодження чи ремонту однієї секції відповідальні споживачі, яких нормально живлять від двох секцій, залишаються без резерву, а нерезервовані споживачі вимикаються на час ліквідації пошкодження чи проведення ремонтних робіт на секції.

Схеми дозволяють виводити з роботи (оперативно чи аварійно) будь-яке приєднання без порушення основної функції ПС (РУ).

У разі спорудження однострансформаторної ПС застосовують схему з однією несекціонованою системою шин, надійність якої відповідає III категорії за надійністю.

Схеми (6-20)-1, (6-20)-2 застосовують в РУ напругою 6 кВ, 10 або 20 кВ, а схему (6-10)-3 – 6 та 10 кВ зі сторони НН силових трансформаторів ПС з вищою напругою від 35 кВ до 330 кВ.

Конструктивно схеми виконують з застосуванням КРУ або КРУЗ. Кількість лінійних приєднань визначають схемою розвитку електричної мережі. ***Оптимальною кількістю лінійних приєднань слід вважати кількість ліній, розраховану виходячи з навантаження кожної лінії струмом не менше ніж 25% від номінального струму шафи КРУ лінійного приєднання.***

Для обмеження струмів КЗ передбачають установлення струмообмежуючих реакторів в першу чергу в колі трансформаторів. За потреби можливе установлення струмообмежувальних реакторів на лінійних приєднаннях. Встановлення секційних струмообмежувальних реакторів на ПС не передбачають із-за малої ефективності цього заходу.

Застосування схем з підвищеною кількістю систем шин (*схеми (6-20)-2 і (6-10)-3*) підвищує надійність електропостачання споживачів за рахунок відповідного розподілення приєднань між більшою кількістю секцій.

Схему (6-20)-1 «одна секціонована вимикачем система шин» (рисунок 2.16) застосовують на ПС з двома силовими трансформаторами з нерозщепленими обмотками НН без струмообмежувальних реакторів в колі силових трансформаторів або з одинарними реакторами у разі приєднання їх до однієї секції.

Схему (6-20)-2 «дві секціоновані вимикачами системи шин» (рисунок 2.17) застосовують на ПС з двома силовими трансформаторами з розщепленими обмотками НН або з двома силовими трансформаторами з нерозщепленими обмотками НН і здвоєними струмообмежувальними реакторами у колі силових трансформаторів у разі приєднання кожного реактора до двох секцій.

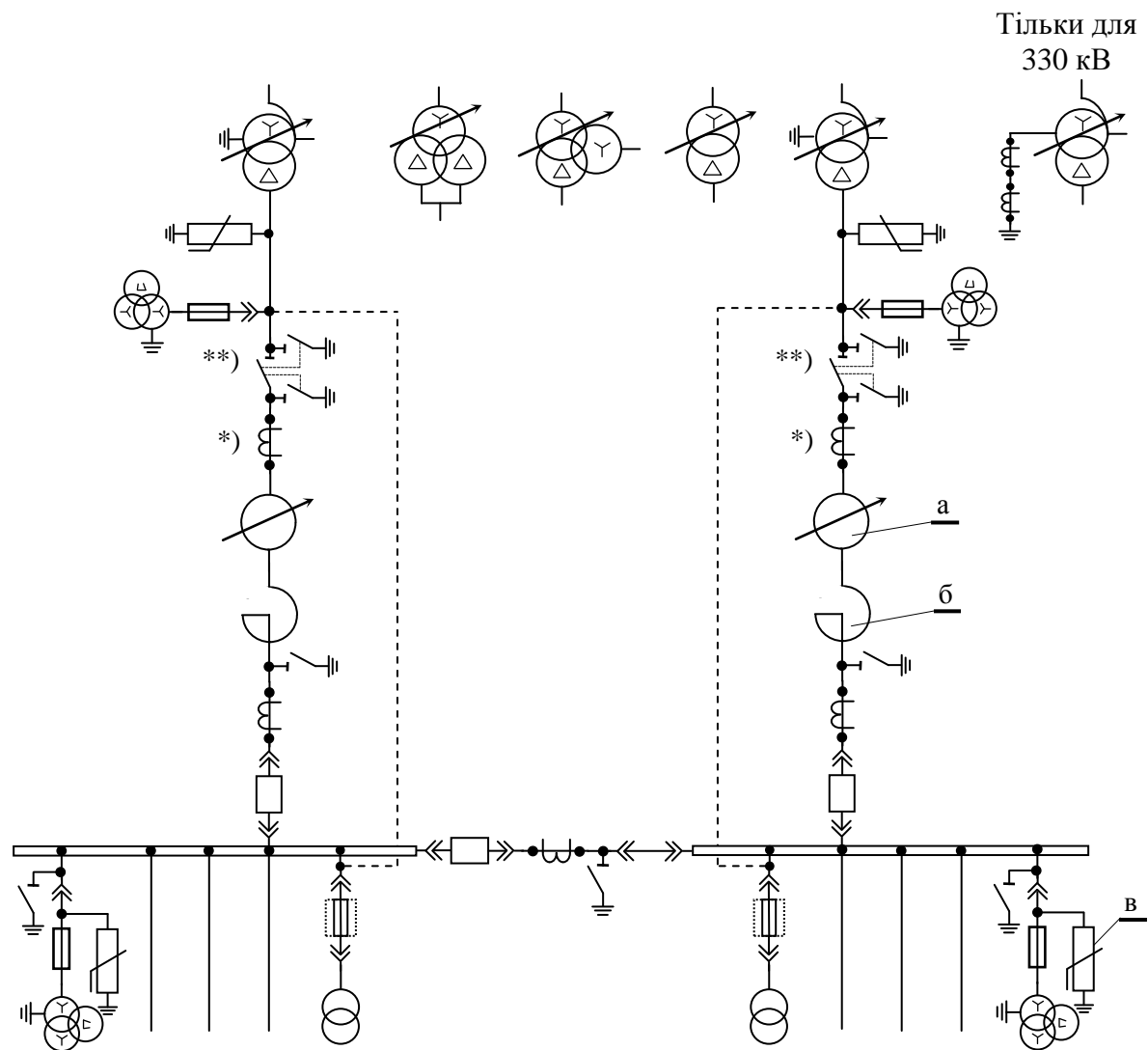
Схему (6-10)-3 «чотири секціоновані вимикачами системи шин» (рисунок 2.18) застосовують на ПС з двома силовими трансформаторами з розщепленими обмотками НН і здвоєними струмообмежувальними реакторами. Слід зазначити, що застосування такої схеми на напрузі 20 кВ є невиправданим, оскільки за рахунок переходу на напругу 20кВ відбувається зменшення струмів КЗ, що виключає необхідність використання здвоєних струмообмежувальних реакторів.

Схеми (6-20)-4, (6-20)-5, (6-20)-6, (6-20)-7 і (6-20)-8 застосовують в РУ напругою 6 кВ або 10 кВ на ПС напругою 6/0,4 кВ, 10/0,4 кВ і 20/0,4 кВ місцевих розподільних електромереж. Спрощений характер схем ПС дозволяє широко застосовувати їх у конструкціях щоглових і комплектних трансформаторних ПС заводського виготовлення.

Надійність «блокових» схем *(6-20)-4 і (6-20)-5*, а також схеми «з однією несекціонованою системою шин» *(6-20)-6* відповідає III категорії споживача електроенергії за надійністю.

Загальним недоліком схем є використання роз'єднувачів у якості апаратів для оперативних перемикань.

У разі потреби в схемах від *(6-20)-4* до *(6-20)-8* можливе додаткове встановлення трансформаторів струму і трансформаторів напруги. Кількість апаратів і місця їх встановлення визначають під час проектування.



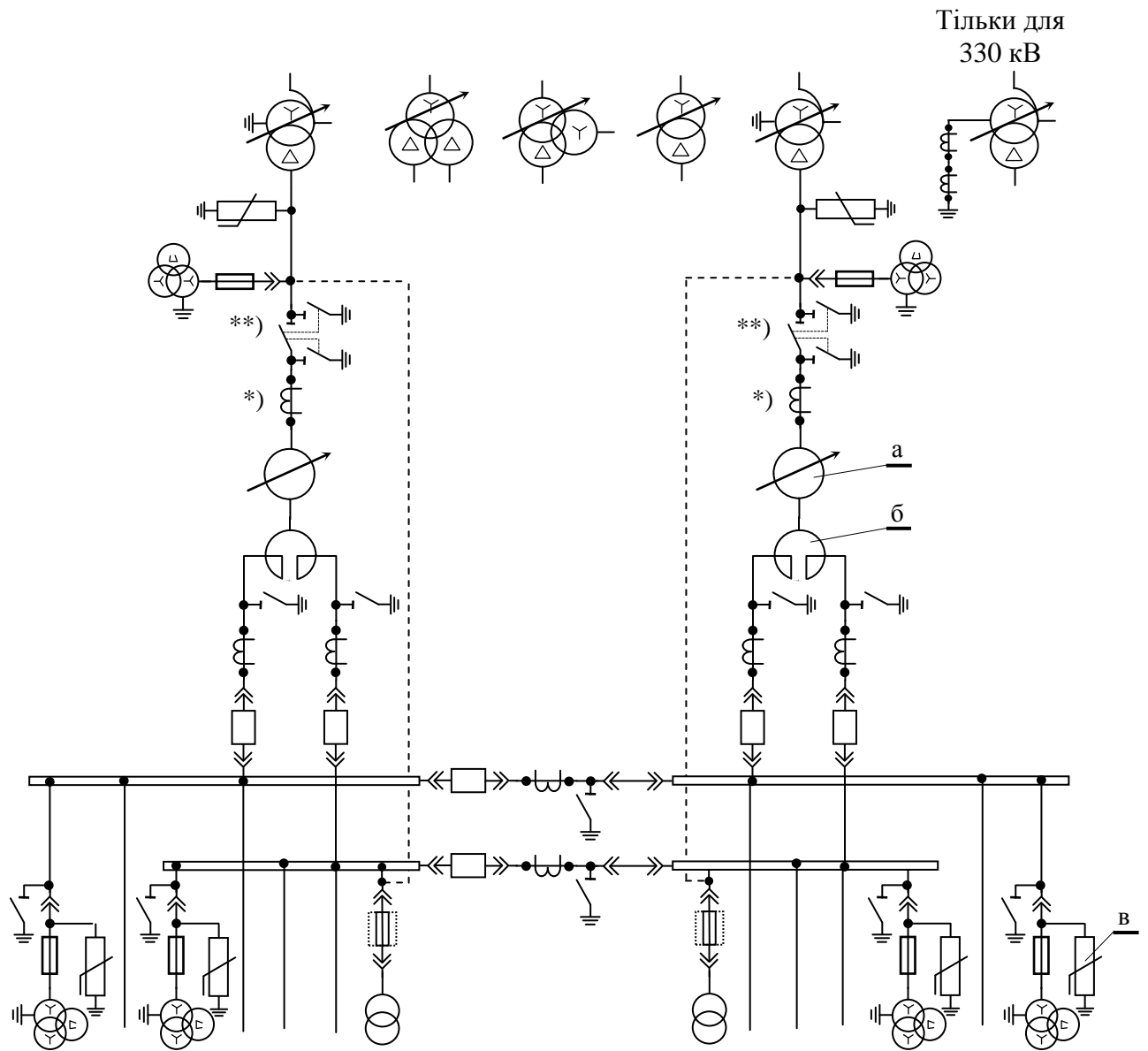
Примітка 1. Необхідність установлення елементів *a*, *б*, *в*, а також тип захисного апарату в колі трансформатора власних потреб визначають під час конкретного проектування.

Примітка 2. При змінному та випрямленому оперативному струмі трансформатор власних потреб приєднують безпосередньо до виводів силових трансформаторів до вимикача (див. пунктир).

Примітка 3. Трансформатори струму, помічені *), установлюють при відповідному обґрунтуванні.

Примітка 4. Роз'єднувачі, помічені **), установлюють тільки у разі застосування лінійно-регулювальних трансформаторів.

Рисунок 2.16 – Схема (6-20)-1 «одна, секціонована вимикачем, система шин»



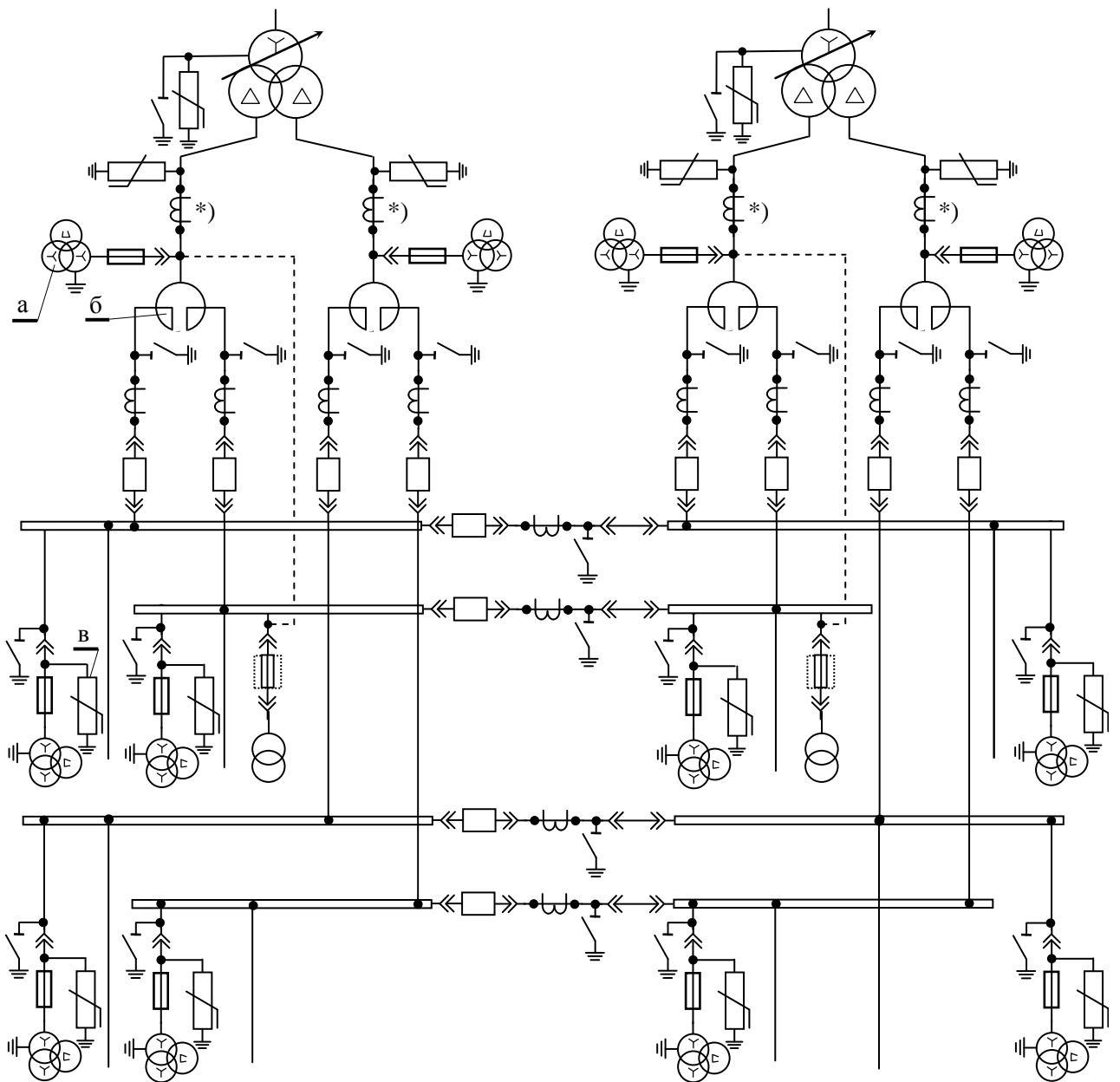
Примітка 1. Необхідність установлення елементів *а, б, в*, а також тип захисного апарату в колі трансформатора власних потреб визначають під час конкретного проектування.

Примітка 2. При змінному та випрявленому оперативному струмі трансформатор власних потреб приєднують безпосередньо до виводів силових трансформаторів до вимикача (див. пунктир).

Примітка 3. Трансформатори струму, помічені *), установлюють при відповідному обґрунтуванні.

Примітка 4. Роз'єднувачі, помічені **), установлюють тільки у разі застосування лінійно-регулювальних трансформаторів.

Рисунок 2.17 – Схема (6-20)-2 «дві, секціоновані вимикачами, системи ШИН»



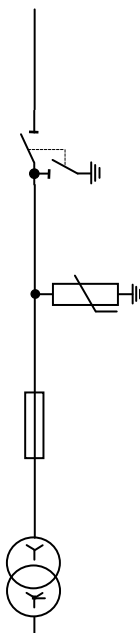
Примітка 1. Необхідність установлення елементів *a*, *б*, *в*, а також тип захисного апарату в колі трансформатора власних потреб визначають під час конкретного проектування.

Примітка 2. При змінному та випрямленому оперативному струмі трансформатор власних потреб приєднують безпосередньо до виводів силових трансформаторів до вимикача (див. пунктир).

Примітка 3. Трансформатори струму, помічені *), установлюють при відповідному обґрунтуванні.

Рисунок 2.18 – Схема (6-10)-3 «чотири, секціоновані вимикачами, системи шин»

Схему (6-20)-4 «блок лінія-трансформатор» (рисунок 2.19) застосовують на тупикових ПС та ПС на відгалуженнях.

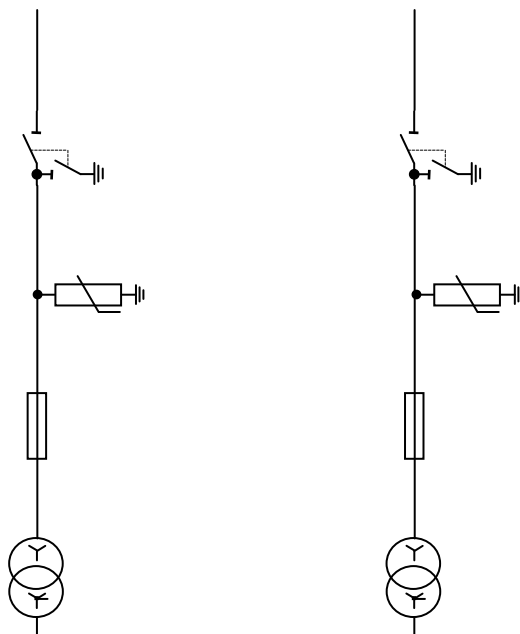


Примітка 1. Замість роз'єднувача дозволено застосовувати вимикач навантаження.

Примітка 2. У разі приєднання кабельної лінії електропередавання безпосередньо до РУ ПС в конструкції ЩПТ або КТП ОПН (розрядники) не установлюють.

Рисунок 2.19 – Схема (6-20)-4 «блок лінія-трансформатор»

Схему (6-20)-5 «два блока лінія-трансформатор» (рисунок 2.20) застосовують на тупикових ПС.

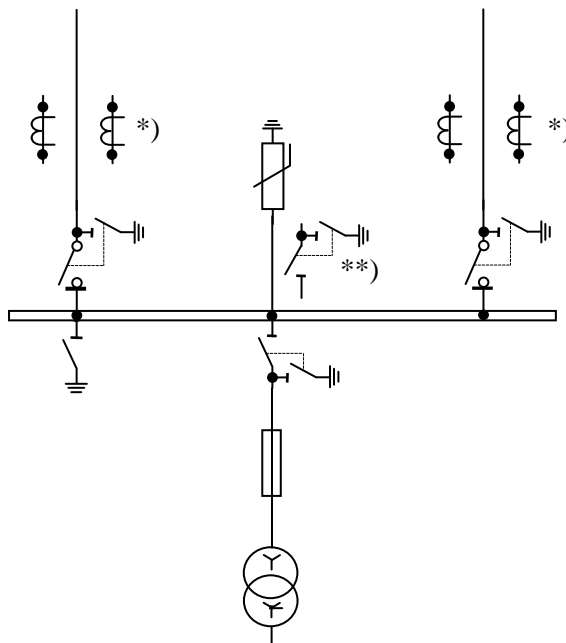


Примітка 1. Замість роз'єднувача дозволено застосовувати вимикач навантаження.

Примітка 2. У разі приєднання кабельної лінії електропередавання безпосередньо до РУ ПС в конструкції ЩПТ або КТП ОПН (розрядники) не установлюють.

Рисунок 2.20 – Схема (6-20)-5 «два блока лінія-трансформатор»

Схему (6-20)-6 «одна несекціонована система шин» (рисунок 2.21) застосовують на прохідних ПС з приєднанням в розтин лінії електропередавання з одностороннім живленням.



Примітка 1. Замість роз'єднувача в колі силового трансформатора дозволено застосовувати вимикач навантаження.

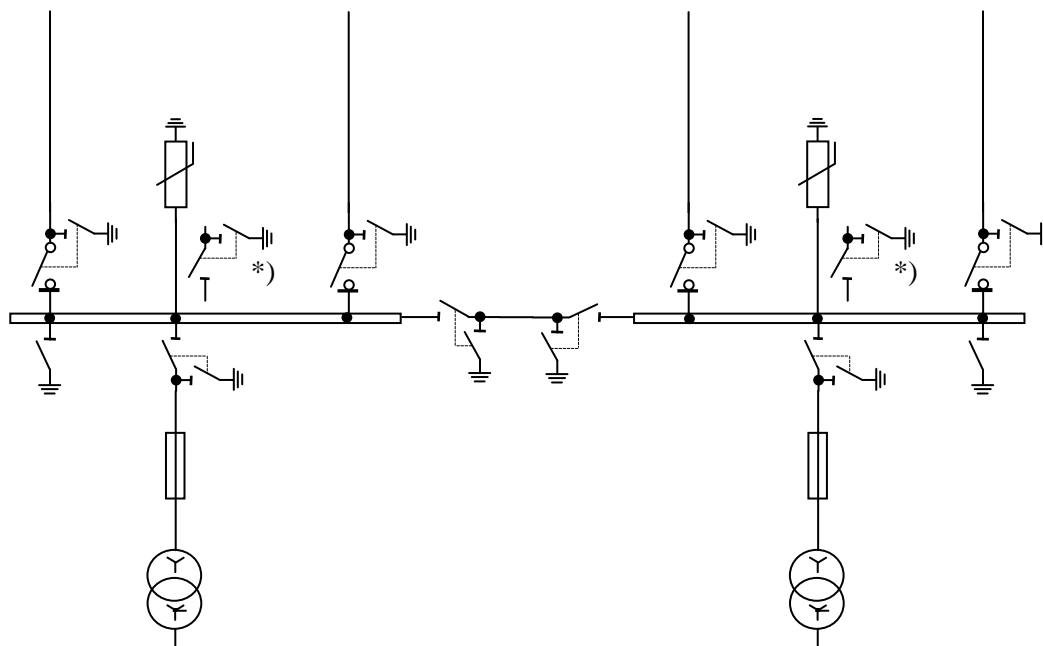
Примітка 2. У разі приєднання до РУ ПС в конструкції ЩТП або КТП тільки кабельних ліній електропередавання ОПН (розрядники) на системі шин не установлюють.

Примітка 3. Необхідність установлення трансформаторів струму, помічених *), підлягає уточненню під час конкретного проектування.

Примітка 4. Роз'єднувач, помічений **), в колі ОПН (розрядника) установлюють тільки при застосуванні камер КЗО або шаф КРУ.

Рисунок 2.21 – Схема (6-20)-6 «одна несекціонована система шин»

Схему (6-20)-7 «одна, секціонована роз'єднувачами, система шин» (рисунок 2.22) застосовують на прохідних ПС з двостороннім живленням.



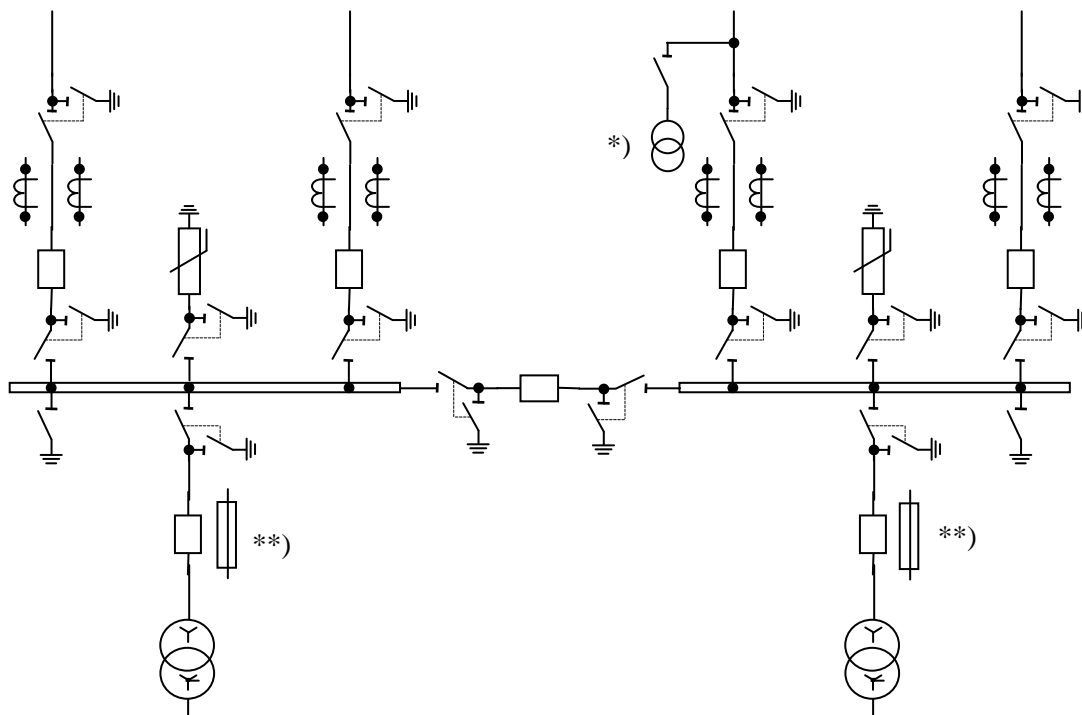
Примітка 1. Замість роз'єднувачів в колі силових трансформаторів дозволено застосовувати вимикачі навантаження.

Примітка 2. У разі приєднання до РУ ПС в конструкції ЩТП або КТП тільки кабельних ліній електропередавання ОПН (розрядники) на системах шин не встановлюють.

Примітка 3. Роз'єднувачі, помічені *, в колі ОПН (розрядників) встановлюють тільки при застосуванні камер КЗО або шаф КРУ.

Рисунок 2.22 – Схема (6-20)-7 «одна, секціонована роз'єднувачами, система шин»

Схему (6-20)-8 «одна, секціонована вимикачем, система шин» (рисунок 2.23) застосовують на ПС з функціями РП (за кількості лінійних приєднань до 10-и).



Примітка 1. У разі приєднання до РУ ПС в конструкції ЩТП або КТП тільки кабельних ліній електропередавання ОПН (розрядники) на системах шин не встановлюють.

Примітка 2. Трансформатори напруги, помічені *), встановлюють при необхідності улаштування АВР на одній із живлячих ліній електропередавання (резервній).

Примітка 3. Запобіжники, помічені **), дозволено встановлювати замість вимикачів.

Рисунок 2.23 – Схema (6-20)-8 «одна, секціонована вимикачем, система шин»

2.7 Схеми для приєднання трансформаторів власних потреб ПС

На ПС, де є потреба в системі живлення оперативних кіл ПС, потрібно встановлювати не менш двох трансформаторів власних потреб, які приєднують до різних основних силових трансформаторів.

На однострансформаторних ПС живлення другого трансформатора власних потреб потрібно забезпечувати від місцевих електричних мереж, а у разі їх відсутності – другий трансформатор власних потреб приєднують аналогічно першому.

На ПС напругою 330 кВ і вище потрібно передбачати резервування живлення власних потреб від третього незалежного джерела живлення.

У разі приєднання одного із трансформаторів власних потреб до зовнішнього незалежного джерела живлення потрібно виконувати перевірку на відсутність зсуву фаз.

Живлення сторонніх споживачів від мережі власних потреб ПС заборонено.

На ПС із постійним оперативним струмом трансформатори власних потреб потрібно приєднувати до шин РУ НН (дивись схеми (6-20)-1, (6-20)-2, (6-10)-3), а при відсутності цих РУ – безпосередньо до виводів НН основних трансформаторів (рисунок 2.24).

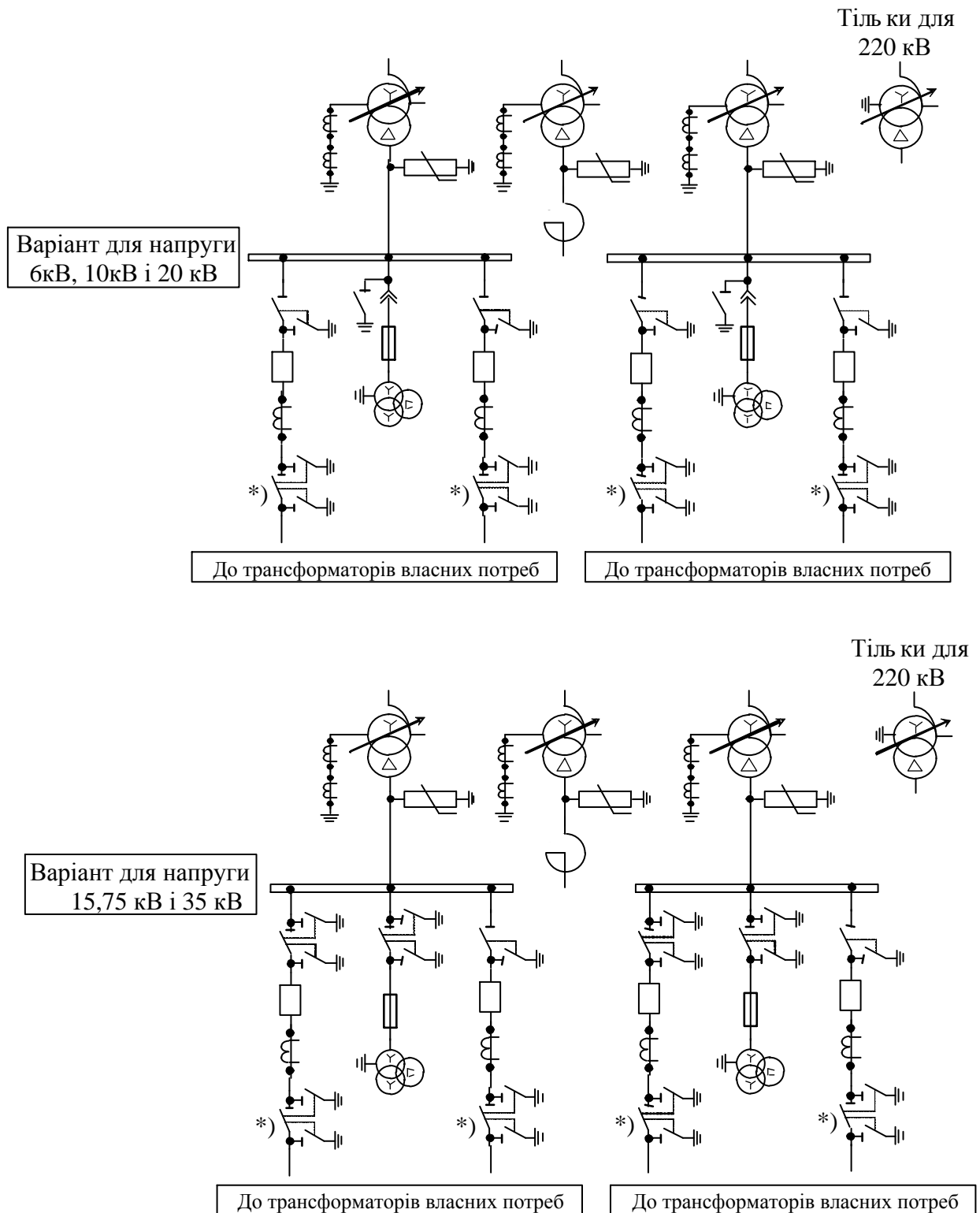


Рисунок 2.24 – Схеми РУ напругою від 6 кВ до 35 кВ для живлення трансформаторів власних потреб ПС напругою 220 кВ і вище

На ПС зі змінним і випрямленим оперативним струмом трансформатори власних потреб потрібно приєднувати на ділянці між виводами НН основного силового трансформатора і його вимикачем (дивись схеми (6-20)-1, (6-20)-2, (6-10)-3 – пунктирна лінія).

У разі живлення оперативних кіл змінного струму або випрямленого струму від трансформаторів напруги, приєднаних до живильної лінії електропередавання, трансформатори власних потреб приєднують до шин НН ПС. У разі живлення оперативних кіл змінного струму від трансформаторів власних потреб останні потрібно приєднувати до ліній, що живлять ПС.

2.8 Схеми заземлення нейтралі обмоток ВН силових трансформаторів напругою 110 кВ і 150 кВ

Якщо по режиму роботи електричної мережі трансформатори допускають роботу з розземленою нейтраллю, то застосовується схема, зображена на рисунку 2.25, а, а в протилежному випадку – схема, зображена на рисунку 2.25, б

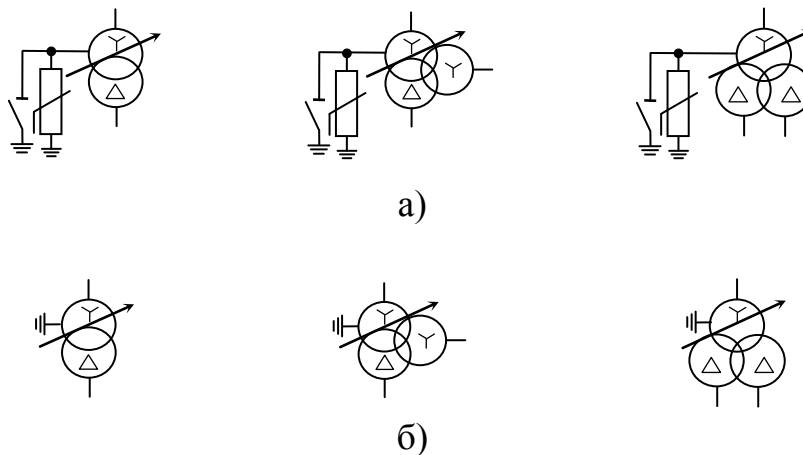


Рисунок 2.25 – Схеми заземлення нейтралі обмоток ВН силових трансформаторів напругою 110 кВ і 150 кВ

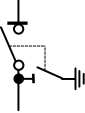







Контрольні запитання для самоперевірки:

1. Загальна характеристика блокових схем.
2. В яких випадках встановлюється неавтоматична перемичка з боку ліній в блокових схемах?
3. Стадії поетапного розвитку блокових схем.
4. Загальна характеристика місткових схем.
5. Функціональні відмінності між містковими схемами.
6. Стадії поетапного розвитку місткових схем.
7. Загальна характеристика схем РУ зі збірними шинами.
8. З якою метою секціонуються шини РУ ПС?

9. В чому полягає відмінність між схемами *35(110, 150, 220)-5*, *110(150, 220)-7*?
10. В яких випадках застосовується схема *110(150, 220)-8*?
11. Загальна характеристика полуторних схем.
12. Основні вимоги до схем РУ 6-20 кВ.
13. Область застосування схем *(6-20)-1*, *(6-20)-2*, *(6-10)-3*.
14. Область застосування схем *(6-20)-4*, *(6-20)-5*, *(6-20)-6*, *(6-20)-7*, *(6-20)-8*.
15. Особливості побудови схем власних потреб ПС.
16. Особливості заземлення нейтралей обмоток високої напруги силових трансформаторів.

3 ГРАФІЧНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМАХ

Позначення	Найменування
	Автотрансформатор силовий з регулюванням напруги під навантаженням
	Трансформатор силовий двообмотковий з регулюванням напруги під навантаженням
	Трансформатор силовий двообмотковий з розщепленою обмоткою і з регулюванням напруги під навантаженням
	Трансформатор силовий триобмотковий з регулюванням напруги під навантаженням
	Трансформатор регулювальний
	Реактор струмообмежувальний
	Реактор струмообмежувальний здвоєний
	Трансформатор струму
	Трансформатор напруги триобмотковий електромагнітний
	Трансформатор напруги чотиобмотковий електромагнітний
	Вимикач

Позначення	Найменування
	Роз'єднувач-вимикач навантаження з одним заземлювальним ножем
	Роз'єднувач з двома заземлювальними ножами
	Роз'єднувач з одним заземлювальним ножем
	Роз'єднувач-заземлювач
	Обмежувач перенапруги нелінійний
	Запобіжник плавкий
	Загороджувач високочастотний
	Конденсатор зв'язку

4 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект з дисципліни «Електрична частина станцій і підстанцій» передбачено навчальним планом підготовки бакалаврів за спеціальністю 141-«Електроенергетика електротехніка та електромеханіка» у 6-у семестрі.

Тематикою курсового проекту є проектування первинної схеми електричної підстанції району електричних мереж та її компоновання на плані місцевості.

До основних задач курсового проектування відносяться:

- вибір схеми електричної принципової підстанції;
- розрахунок струмів короткого замикання;
- вибір комутаційної апаратури;
- вибір засобів захисту ізоляції від атмосферних перенапруг;
- вибір вимірювальних трансформаторів;
- розрахунок блискавкозахисту підстанції;
- розрахунок заземлюючого пристрою підстанції.

Курсовий проект є продовженням курсового проекту з дисципліни «Електричні системи і мережі», що дає студенту відчутти на собі всі етапи проектування електричних систем і мереж і їх поєднання між собою у одне загальне ціле.

Курсовий проект оформлюється у вигляді пояснювальної записки та комплексу креслень. Пояснювальна записка виконується з дотриманням вимог чинних нормативних документів. Пояснювальна записка повинна містити технічне завдання до курсового проекту, реферат, основну частину, загальні висновки та перелік посилань. За необхідністю пояснювальна записка може містити додатки.

При виконанні курсового проекту студент повинен дотримуватись наступних вимог:

- основні розрахунки повинні мати докладні пояснення;
- розрахунки повинні супроводжуватися пояснювальними схемами, з нанесенням на них необхідних вихідних даних;
- проміжні та кінцеві результати повинні бути виділені з загального тексту;
- в кінці кожного розділу пояснювальної записки необхідно наводити висновки;
- використані теоретичні положення, довідкові дані необхідно супроводжувати посиланнями на літературу.

Обов'язковими розділами основної частини курсового проекту є:

1. Вибір схем електричних з'єднань на стороні 110, 35 та 10кВ
Згідно з діючими нормативними документами обґрунтувати вибір схем з'єднань на високій середній та низькій стороні проектованої підстанції.
2. Розрахунок струмів короткого замикання
Визначити усталений та ударний струми короткого замикання у необхідних точках електричної мережі для вибору електрообладнання на проектованій підстанції. Обґрунтувати вибір розрахункових точок короткого замикання.
3. Моделювання аварійних режимів роботи електричної мережі в пакеті DIgSILENT PowerFactory.
Створити модель електричної мережі в програмному пакеті DIgSILENT PowerFactory. Розрахувати в програмному пакеті усталений та ударний струми короткого замикання у розрахункових точках електричної мережі та порівняти їх зі значеннями, розрахованими аналітично.
4. Вибір комутаційного обладнання на проектованій підстанції
Вибрати комутаційну апаратуру на стороні ВН, СН і НН (або ВН і НН – для ПС з двообмотковими трансформаторами) проектованої підстанції. Вибір комутаційної апаратури виконати з урахуванням вимог НТД, використовуючи новітнє обладнання світових та вітчизняних лідерів електротехнічної промисловості.
5. Вибір засобів захисту ізоляції від атмосферних перенапруг
Провести вибір нелінійних обмежувачів перенапруги.
6. Вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги
7. Розрахунок заземлення та (або) блискавкозахисту підстанції
8. Висновки по курсовому проекту

Графічна частина курсового проекту повинна включати:

- схему електричних з'єднань проектованої підстанції;
- план та розрізи спроектованої підстанції та (або) комірки РУ 10кВ;
- перелік (специфікацію) вибраної комутаційної апаратури та елементів;
- плакат присвячений блискавкозахисту та (або) заземленню.

Оформлена пояснювальна записка та графічний матеріал подаються викладачу на перевірку не пізніше ніж 2 тижні до екзаменаційної сесії.

Захист курсових проектів відбувається прилюдно на заліковому тижні, згідно затвердженого завідувачем кафедри графіку.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бабушкін В.М. Електричні мережі: розвиток, нові рішення. – К.: Енергетика та електрифікація, 2002. – 168с.
2. ГКД 341.004.001-94. Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму напругою 6-750кВ. – Х.: Індустрія, 2011. – 75с.
3. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила (у редакції наказу від 21.06.2019 № 271).
4. CIGRÉ 898 Knowledge transfer of substation engineering and experiences WG B3.58. April 2023.
5. СОУ-Н ЕЕ 20.178:2008 Схеми принципів електричні розподільчих установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова (зі змінами 2024 року).
6. СОУ-Н МЕВ 40.1-00100227-70:2012 Проектування підстанцій з комплектними розподільними установками елегазовими напругою 110 кВ і вище. Правила (у редакції наказу від 11.08.2021 № 178)
7. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Форт, 2017. – 760с.
8. ДСТУ ІЕС 60617:2018 Графічні символи для схем (ІЕС 60617:2012 DB, IDT)
9. СОУ 40.132385941-39:2011 Проектування жорсткої ошиновки у відкритих розподільчих установках напругою від 110 до 750 кВ. Методичні вказівки
10. ABB Switchgear Manual, Cornelsen Verlag, Berlin 10th, 10th revised edition, 2001. 903p.
11. John D. McDonald. Electric Power Substations Engineering. – Third Edition. – CRC Press, 2012. – 536p.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИНЦИПОВИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	5
2 УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СХЕМ РОЗПОДІЛЬНИХ УСТАНОВОК.....	9
2.1 Блокові схеми.....	13
2.2 Місткові схеми.....	16
2.3 Схеми РУ із збірними шинами і одним вимикачем на приєднання.....	20
2.4 Кільцеві схеми (багатокутники).....	26
2.5 Схеми зі збірними шинами з двома і півтора вимикачами на приєднання.....	28
2.6 Схеми РУ напругою 6 кВ, 10 кВ і 20 кВ.....	32
2.7 Схеми для приєднання трансформаторів власних потреб ПС.....	40
2.8 Схеми заземлення нейтралі обмоток ВН силових трансформаторів напругою 110 кВ і 150 кВ.....	42
3 ГРАФІЧНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМАХ.....	44
4 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	46
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	48