



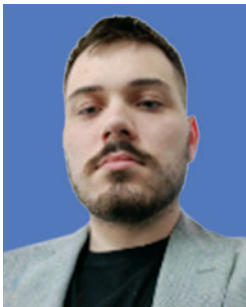
Р.О. Буйний,
к.т.н., доцент



О.В. Гай,
к.т.н., доцент



І.В. Діхтярук,
к.т.н.



А.О. Ворушило,
інженер
НЕК "Укренерго"



УКРЕНЕРГО
Національна енергетична компанія



УДК 621.316

ЩОДО ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДСТАНЦІЙ З ВИЩОЮ НАПРУГОЮ 6–20 кВ

ВСТУП

Створення **Smart Grid** мереж, що будуть забезпечувати оперативні та енергоощадні заходи з мінімальною кількістю обслуговуючого персоналу, неможливо без розвитку та актуалізації існуючих схем розподільних електричних мереж (далі — ЕМ) напругою 6–20 кВ, які є найпротяжнішими серед усіх класів напруги ЕМ, що є в Україні [1].

Центрами живлення розподільних ЕМ 6–20 кВ виступають шини низької напруги підстанцій (далі — ПС) 35–150 кВ операторів систем розподілу та (або) шини такої ж напруги місцевих електростанцій. Обґрунтування схем електричних з'єднань для центрів живлення (далі — ЦЖ) було розглянуто у роботах [2–4].

В цій роботі наведено обґрунтування схем електричних з'єднань розподільних установок (далі — РУ) ПС з вищою напругою 6–20 кВ та розподільних пунктів (далі — РП) такої ж напруги.

ОСНОВНІ МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зі сторони РУ високої напруги (далі — ВН) на напругах 6–20 кВ чинними нормативними документами [5, 6] регламентується застосування схем електричних з'єднань, які зображено на **рис. 1**.

Вибір тієї чи іншої схеми для РУ ВН 6–20 кВ ПС викликаний значенням ПС і її положенням по відношенню до прилеглої ділянки електричної мережі.

Згідно із [5] для живлення споживачів із електроприймачами I-ї категорії за надійністю необхідно мати два незалежних взаєморезервованих джерела живлення із автоматичним включенням резерву (далі — АВР), якими можуть бути трансформатори на двотрансформаторних ПС 6–20/0,4 кВ, кожен із яких живиться по окремій ЛЕП (ПЛ або КЛ) від різних секцій шини одного ЦЖ, або від двох незалежних ЦЖ.

Для живлення таких приймачів можуть бути використані схеми:

- (6-20)-5 “два блоки лінія-трансформатор” (**рис. 1, б**);
- (6-20)-7 “одна, секціонована роз'єднувачами, система шин” (**рис. 1, г**);
- (6-20)-8 “одна, секціонована вимикачем, система шин” (**рис. 1, д**).

Схема “(6-20)-5” повинна застосовуватися тільки на тупикових ПС (див. ПС1 на **рис. 2**), схема “(6-20)-7” — на прохідних (див. ПС2 на **рис. 2**), а схема “(6,20)-8” — в РП, суміщених із ПС 6–20/0,4 кВ (див. РП1 на **рис. 2**). РП, так само як і районні ПС, є ЦЖ місцевої електричної мережі. Вони повинні споруджуватися, як правило, у містах із населенням понад 100 тисяч мешканців.

У схемах “(6-20)-5” та “(6-20)-7” для захисту силових трансформаторів від перевантажень та коротких замикань повинні застосовуватися запобіжники, а використовувані роз'єднувачі та вимикачі навантаження можуть бути з двигунними приводами дистанційного або віддаленого керування. Дозволяється суміщувати функції роз'єднувача та запобіжника — використовувати запобіжники-роз'єднувачі [7,8]. При цьому повинні дотримуватися вимоги діючих нормативних документів, зокрема [5, 9].

Як правило, застосовуються з'єднання РП із шинами районних ПС та (або) шинами такої ж напруги місцевих електростанцій за схемами, які зображені на **рис. 3** [10].

Найбільшого розповсюдження набула схема з АВР на секціях шин РП (**рис. 3, а**), який, в свою чергу, зібраний за схемою (6-20)-8 “одна, секціонована вимикачем, система шин”. Секційні вимикачі на районній ПС та на РП слід тримати нормально вимкненими, що дозволяє забезпечити прийняті рівні струмів КЗ у електричні мережі.

У разі передавання до РП дуже великих потужностей може застосовуватися схема, зображена на **рис. 3, б**. Така схема є більш витратною, оскільки вимагає більшої кількості вимикачів потужності та кабелів.

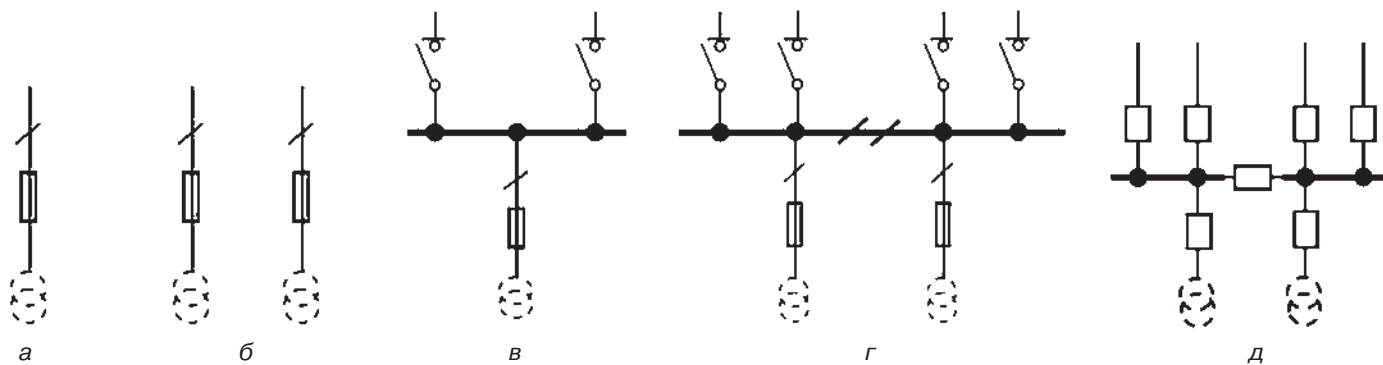


Рис. 1. Схеми РУ 6–20 кВ для ПС з ВН 6–20 кВ: **а** — (6-20)-4 “блок лінія-трансформатор”; **б** — (6-20)-5 “два блоки лінія-трансформатор”; **в** — (6-20)-6 “одна, несекціонована, система шин”; **г** — (6-20)-7 “одна, секціонована роз’єднувачами, система шин”; **д** — (6-20)-8 “одна, секціонована вимикачем, система шин”

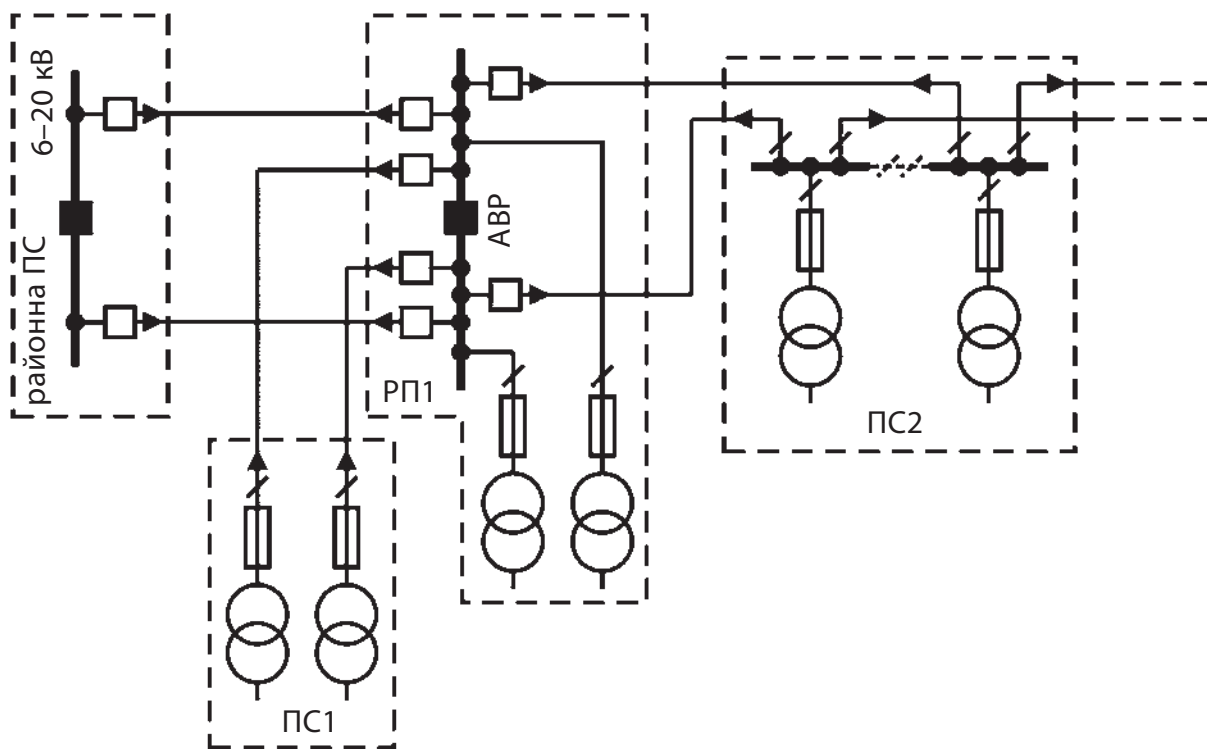


Рис. 2. Фрагмент ЕМ 6–20 кВ із ПС, які забезпечують живленням споживачів із електроприймачами I-ї категорії за надійністю

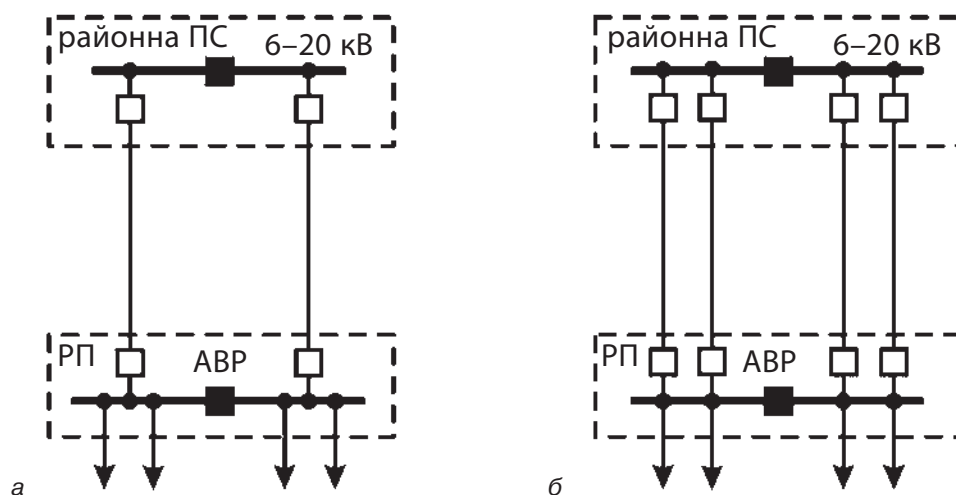


Рис. 3. Схеми живильних мереж напругою 6–20 кВ

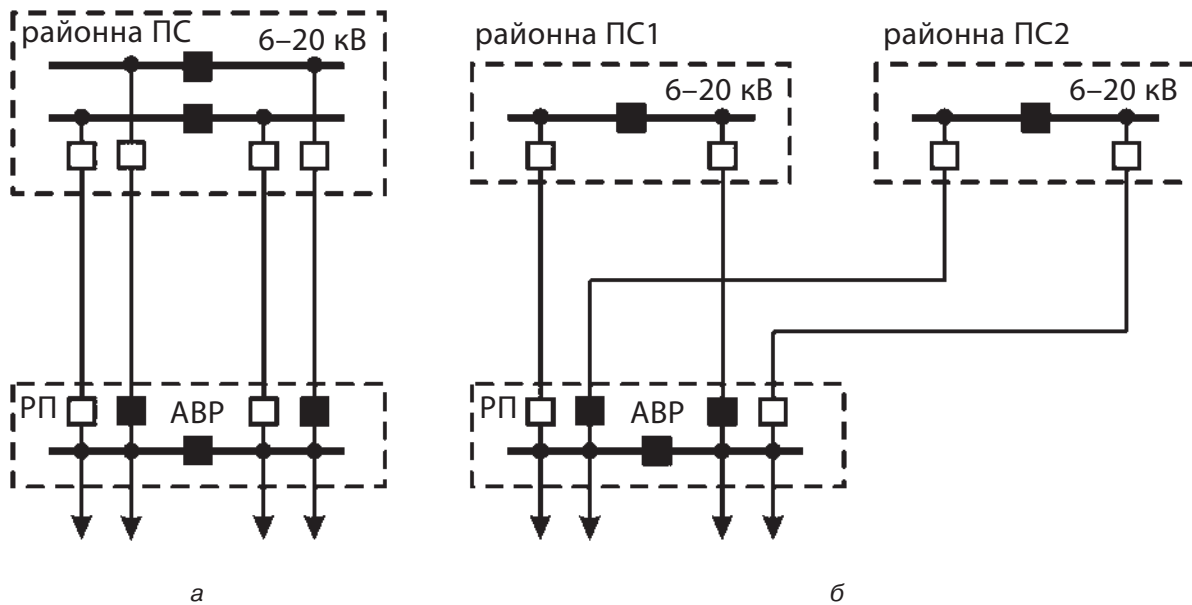


Рис. 4. Схеми живильних мереж напругою 6–20 кВ з підвищеним рівнем надійності

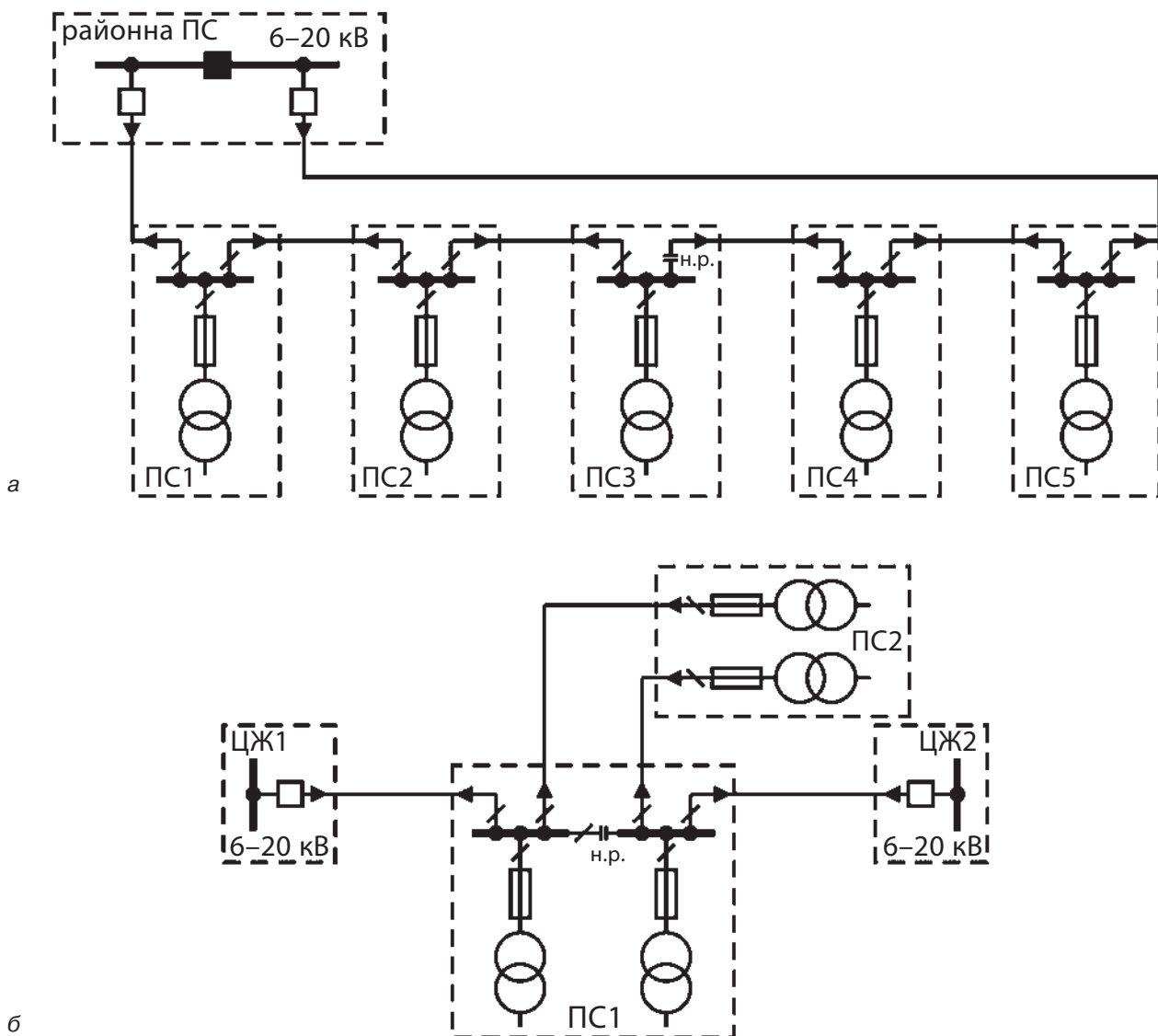


Рис. 5. Структурні схеми електричних мереж для живлення споживачів із приймачами II-ї категорії за надійністю: а — петлева; б — змішана

За наявності на районній ПС трансформаторів із розщепленою обмоткою НН живлення кожної секції шин РП може здійснюватися по парним КЛ від 4-х секцій шин районної ПС, причому два кабелі будуть основними, а два резервними (рис. 4, а). В такому випадку для забезпечення стійкості КЛ до зовнішніх впливів бажано їх прокладати у окремих траншеях, на відстані не менше 1–1,5 м. Резервні КЛ можуть бути як під напругою, так і без неї (в залежності від улаштування АВР КЛ на ділянці між районною ПС та РП).

Схема живлення РП, зображена на рис. 4, б, може застосовуватися для створення потужних винесених ЦЖ задля забезпечення резервування декількох мікрорайонів міста від двох районних підстанцій 35–150 кВ ПС1 та ПС2. Також джерелом живлення таких РП (замість однієї із районних ПС) можуть бути шини такої ж напруги місцевої електростанції. Схема, зображена на рис. 4, б, є особливо актуальною у містах із населенням понад 250 тисяч мешканців в умовах можливих постійних зовнішніх загроз для об'єктів енергетичної інфраструктури.

Для живлення споживачів із електроприймачами II-ї категорії за надійністю також необхідно мати два незалежних взаєморезервованих джерела живлення. Проте, на відміну від I-ї категорії, уведення резерву може бути ручним, а живлення може відбуватися навіть від однострансформаторних ПС 6–20/0,4 кВ, за умови можливості заміни пошкодженого трансформатора протягом однієї доби [5]. Для живлення таких приймачів можуть використовуватися ПС зі схемою РУ ВН (6-20)-6 “одна, несекціонована, система шин” (рис. 1, в), яка забезпечує мінімально можливу надійність електропостачання електроприймачів II-ї категорії у випадку включення прохідної ПС 6–20/0,4 кВ у розтин ЛЕП з можливою подачею живлення із будь-якого її боків — петлева структура ЕМ (рис. 5, а). Така структура електричної мережі повинна мати нормальний розрив на одній із ПС 6–20/0,4 кВ, що дозволяє мінімізувати струми короткого замикання. У випадку появи зі сторони НН ПС 6–20/0,4 кВ відновлювальних джерел енергії (в основному фотоелектричних станцій), певної невеликої потужності, одна або обидві половинки петлевої схеми будуть представляти собою мережу із двобічним живленням, у якій напрямки протікання потоків потужності можуть змінюватися в залежності від величини навантажень на ПС 6–20/0,4 кВ та величини генерованої потужності.

За неможливості заміни силового трансформатора на однострансформаторній ПС 6–20/0,4 кВ протягом однієї доби слід передбачати живлення

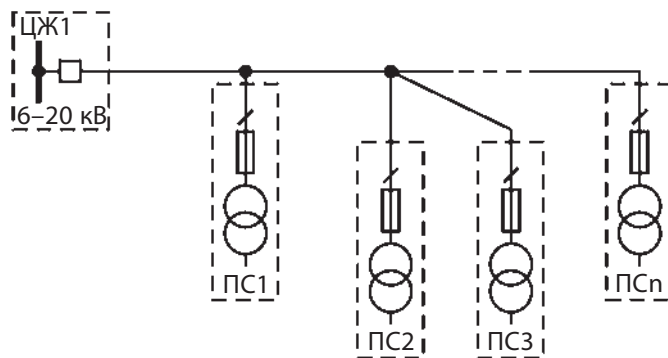


Рис. 6. Структурна схема ЕМ для живлення споживачів із електроприймачами III-ї категорії за надійністю електропостачання

споживачів із електроприймачами II-ї категорії від двотрансформаторних ПС 6–20/0,4 кВ, побудованих за схемою “(6-20)-7” (рис. 1, г). Вибір цієї схеми повинен бути підтверджений відповідним техніко-економічним обґрунтуванням. На відміну від забезпечення живленням електроприймачів I-ї категорії для живлення електроприймачів II-ї категорії від ПС за схемою “(6-20)-7” можна передбачати ручне включення мережевого резерву оперативно-виїздною бригадою або дистанційне — із диспетчерського пункту (за наявності системи постійного оперативного струму на ПС). При цьому АВР зі сторони НН також не передбачається (рис. 5, б). Слід зазначити, що улаштування АВР зі сторони НН на ПС1 та ПС2 (рис. 5, б) дозволить заживити споживачів з електроприймачами I-ї категорії за надійністю.

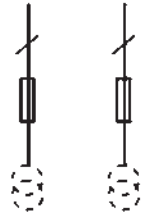
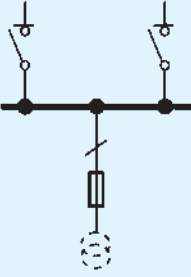
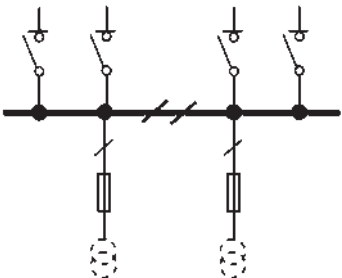
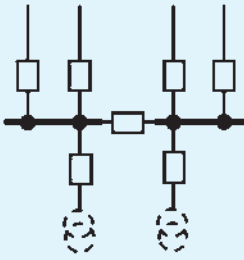
Електроприймачів III-ї категорії за надійністю дозволяється живити від однострансформаторних ПС 6–20/0,4 кВ [5] зі схемою 10(6,20)-4 “блок лінія-трансформатор” (рис. 1, а), що отримують живлення від одного ЦЖ (рис. 6).

У схемі “(6-20)-4” для захисту силового трансформатора від перевантажень та коротких замикань (також як і у схемі “(6-20)-5”) повинні застосовуватися запобіжники, а замість роз'єднувачів можуть застосовуватися вимикачі навантаження, які можуть мати двигунний привід з дистанційним та (або) віддаленим керуванням. В окремих випадках дозволяється суміщати функції роз'єднувача та запобіжника — використовувати запобіжники-роз'єднувачі [7, 8]. При цьому повинні дотримуватися вимоги діючих нормативних документів, зокрема [5, 9].

Враховуючи вищезазначене пропонується залишити перелік схем, регламентованих діючими ПУЕ, проте дещо доповнити додаткові умови щодо їх застосування (див. табл. 1).

Таблиця 1. Перелік схем РУ 6–20 кВ для ПС з ВН 6–20 кВ і сфера їх застосування

Шифр	Найменування	Умове зображення	Кількість ліній	Додаткові умови застосування
6-4 10-4 20-4	Блок лінія-трансформатор		1	1) тупикові та відгалужувальні ПС; 2) дозволено замість роз'єднувача застосовувати вимикач навантаження.

Шифр	Найменування	Умове зображення	Кількість ліній	Додаткові умови застосування
6-5 10-5 20-5	Два блоки ліній-трансформатор		2	1) тупикові ПС; 2) дозволено замість роз'єднувачів застосовувати вимикачі навантаження.
6-6 10-6 20-6	Одна, несекціонована, система шин		2	1) прохідні ПС з двостороннім живленням; 2) дозволено в колі трансформатора замість роз'єднувача застосовувати вимикач навантаження.
6-7 10-7 20-7	Одна, секціонована роз'єднувачами, система шин		4	1) прохідні та вузлові ПС з двостороннім живленням; 2) дозволено замість секційних роз'єднувачів і роз'єднувачів у колах трансформаторів застосовувати вимикачі навантаження; 3) у випадку повного резервування усіх споживачів по стороні НН дозволяється секційні роз'єднувачі не встановлювати. Секції шин при цьому повинні бути розділеними.
6-8 10-8 20-8	Одна, секціонована вимикачем, система шин		до 10	1) ПС напругою 6-20/0,4 кВ з функціями РП; 2) дозволено замість вимикачів у колах трансформаторів застосовувати запобіжники

Примітка 1. На схемах умовно показано тільки ті роз'єднувачі, які використовують як комутаційні апарати.

ВИСНОВКИ

1. Під час проектування ПС 6–20/0,4 кВ місцевих розподільних ЕМ слід віддавати перевагу більш простим схемам, які будуть забезпечувати мінімально необхідні вимоги електроприймачів до надійності електропостачання.

2. Для живлення електроприймачів I-ї категорії за надійністю електропостачання можуть бути використані схеми “(6-20)-5”, “(6-20)-7” або “(6-20)-8”. Для II-ї категорії — схеми “(6-20)-6” або “(6-20)-7”, причому використання останньої дозволяється у випадку неможливості заміни силового трансформатора на однострансформаторній ПС 6–20/0,4 кВ протягом однієї доби. Для живлення електроприймачів III-ї категорії достатньою є схема “10(6,20)-4”.

3. Для захисту силових трансформаторів від перевантажень та коротких замикань повинні засто-

совуватися запобіжники. Замість роз'єднувачів можуть застосовуватися вимикачі навантаження, які можуть мати двигунний привід з дистанційним та (або) віддаленим керуванням. В окремих випадках дозволяється суміщати функції роз'єднувача та запобіжника — використовувати запобіжники-роз'єднувачі.

4. Використання вимикачів навантаження з дистанційним та (або) віддаленим керуванням у схемах “(6-20)-5”, “(6-20)-6” та “(6-20)-7” дозволить започаткувати реалізацію концепції Smart Grid у місцевих розподільних електричних мережах 6-20 кВ.

5. Пропонується зберегти у ПУЕ існуючий перелік схем електричних з'єднань для РУ ВН ПС 6–20/0,4 кВ, дещо доповнивши додаткові умови їх застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лях В.В. Вопросы перспективного развития распределительных электрических сетей напряжением 0,38–154 кВ // Электрические сети и системы. — 2003. — № 2. — С. 8–13.
2. Буйний Р.О., Гай О.В., Діхтярук І.В., Ворушило А.О. Про обґрунтування переліку схем розподільних установок підстанцій напругою 35–750 кВ і сферу їх застосування // Промислова електроенергетика та електротехніка. — 2022. — № 3–6. — С. 18–23.
3. Буйний Р.О., Гай О.В., Діхтярук І.В., Ворушило А.О. Уточнення рекомендованого переліку схем електричних принципів підстанцій 35–750 кВ // Промислова електроенергетика та електротехніка. — 2023. — № 1–2. — С. 12–16.
4. Буйний Р.О., Гай О.В., Діхтярук І.В., Ворушило А.О. Щодо обґрунтування схем електричних принципів розподільних установок, приєднаних до обмоток низької напруги трансформаторів підстанцій 35–750 кВ // Промислова електроенергетика та електротехніка. — 2023. — № 1–2. — С. 17–21.
5. Правила улаштування електроустановок. — Видання офіційне. Міненерговугілля України. — Х.: Форт, 2017. — 760 с.
6. СОУ-Н ЕЕ 20.178: 2008 Схеми принципів електричних розподільчих установок напругою від 6 до 750 кВ електричних підстанцій: Настанова.
7. Запобіжник-роз'єднувач вихлопного типу BS15 Sicame [Електронний ресурс] // SICAME Україна: [офіційний веб портал]. — Режим доступу: <https://sicame.ua/index.php?route=product/category&path=81>
8. СОУ-Н ЕЕ 20.262:2007 Застосування запобіжника-роз'єднувача ПРВТ 10.ІІУ для реконструкції, модернізації та нового будівництва розподільчих електричних мереж напругою 10 кВ. Настанова
9. НПАОП 40.1-1.07-01 Правила експлуатації електрозахисних засобів.
10. Зорин В.В., Тисленко В.В. Системы электроснабжения общего назначения. — Чернигов: ЧГТУ, 2005. — 341 с.

А.М. МАНИЛОВ, С.А. ТОВСТЮК

**МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА
ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК
НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ И ВЫШЕ**



**МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ И ВЫШЕ**

А.М. Манилов, С.А. Товстюк

В монографіях представлені матеріали, касаючіся підвищення надійності захисту трансформаторів, генераторів, електродвигателів, ліній, шин і автоматики путем удосконалення проектуємих, реконструємих і існуючих електроустановок. Исследования базируются на анализе опыта проектирования и эксплуатации релейной защиты и автоматики электроустановок до 1 кВ и выше.

В монографіях приведені:

- схеми, забезпечуючі дію токової відсічки при КЗ в будь-якому місці трансформатора, захисту при КЗ і ОЗЗ в будь-якому місці електродвигателя;
- схеми, підвищуючі чутливість захистів трансформаторів, ліній, електродвигателів;
- захисту шафів і шин КРУ, діючі при ОЗЗ до переходу в КЗ.

Схемні рішення направлені на збільшення швидкості спрацьовування, наприклад, МТЗ трансформатора. Підвищення чутливості і зменшення часу спрацьовування забезпечується логічною блокуванням, діючою при зовнішньому КЗ.

Також приведені обґрунтування необхідності релейної захисту трансформатора з вимикачем навантаження і предохранителем в його ланці для забезпечення термічної стійкості трансформатора, захисту від обриву фази з падінням або без падіння провідника на землю, захисту на сонячних електростанціях з урахуванням того, що токи КЗ і токи генерації соизмеримы, схеми дальнього резервування в мережах до і вище 1 кВ, способи виключення пожег при КЗ в мережах до 1 кВ, схеми блокування включення електродвигателя на коротке замикання в ньому, схема захисту трансформатора струму від пошкодження при обриві в токових ланках, а також ряд інших схем. Схеми можуть бути виконані з використанням будь-якої елементної бази.

Монографія включає наступні розділи:

Розділ 1. Захист трансформаторів

Розділ 2. Захист від коротких замикань повітряних і кабельних ліній в мережах напругою 6 кВ і вище

Розділ 3. Захист від однофазних замикань на землю і від розриву фаз в мережах напругою 6–35 кВ

Розділ 4. Альтернативні джерела електроенергії

Розділ 5. Захист шин і шафів напругою вище і до 1 кВ

Розділ 6. Захист електродвигателів і генераторів

Розділ 7. Захист від коротких замикань в мережах напругою до 1 кВ

Розділ 8. Загальні питання