

Релейний захист. Практичне заняття

Розрахунок параметрів захистів силових трансформаторів



Розробив Рубаненко Олександр Євгенійович

Сучасні особливості експлуатації силових трансформаторів:

Зростання пошкоджуваності силових трансформаторів свідчить **про** старіння їх парку, **про** недосконалість релейних захистів, **про** помилки в розрахунках уставок захистів, **про** неякісне налаштування уставок захистів та про інші причини.

Завдання до практичної роботи

Виберіть уставки максимального захисту трансформатора 110 кВ двотрансформаторної підстанції.

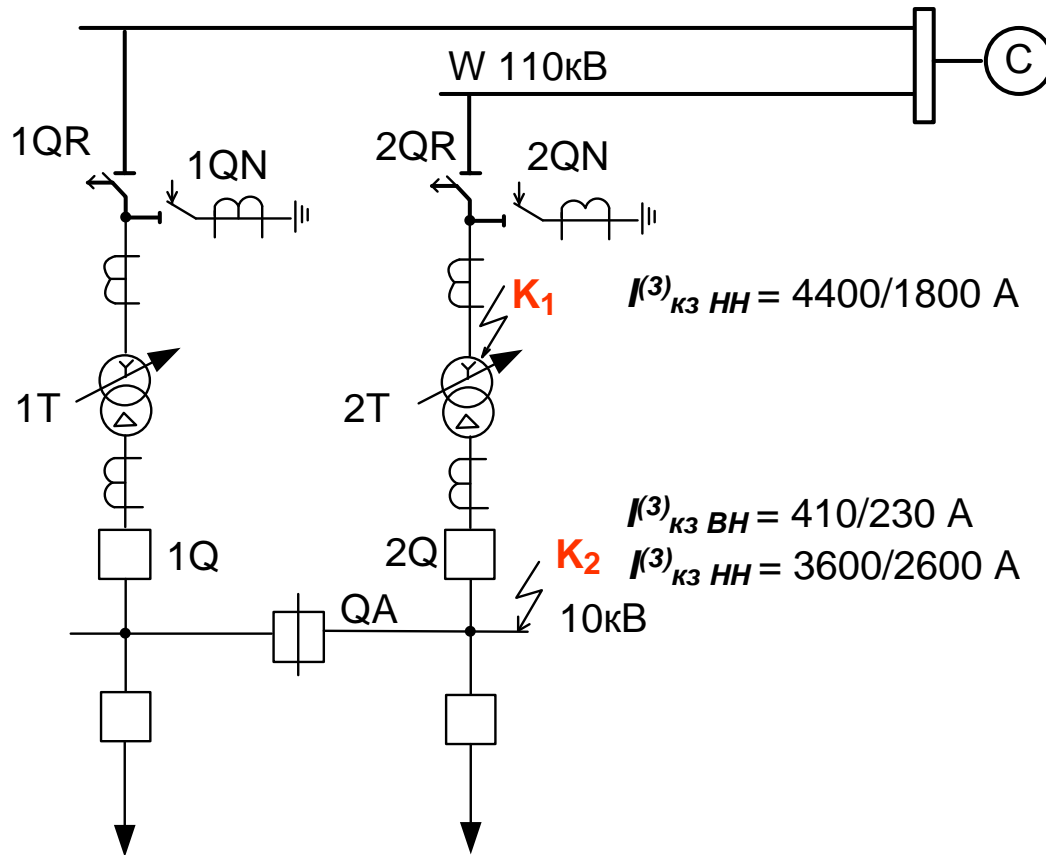
Паралельна робота трансформаторів не передбачається.

Секційний вимикач знаходиться в автоматичному резерві
(в **А**втоматичному **В**веденні **Р**езерву тобто – **АВР**)



Фрагмент схеми двотрансформаторної підстанції 110/10 кВ (з струмами КЗ)

3



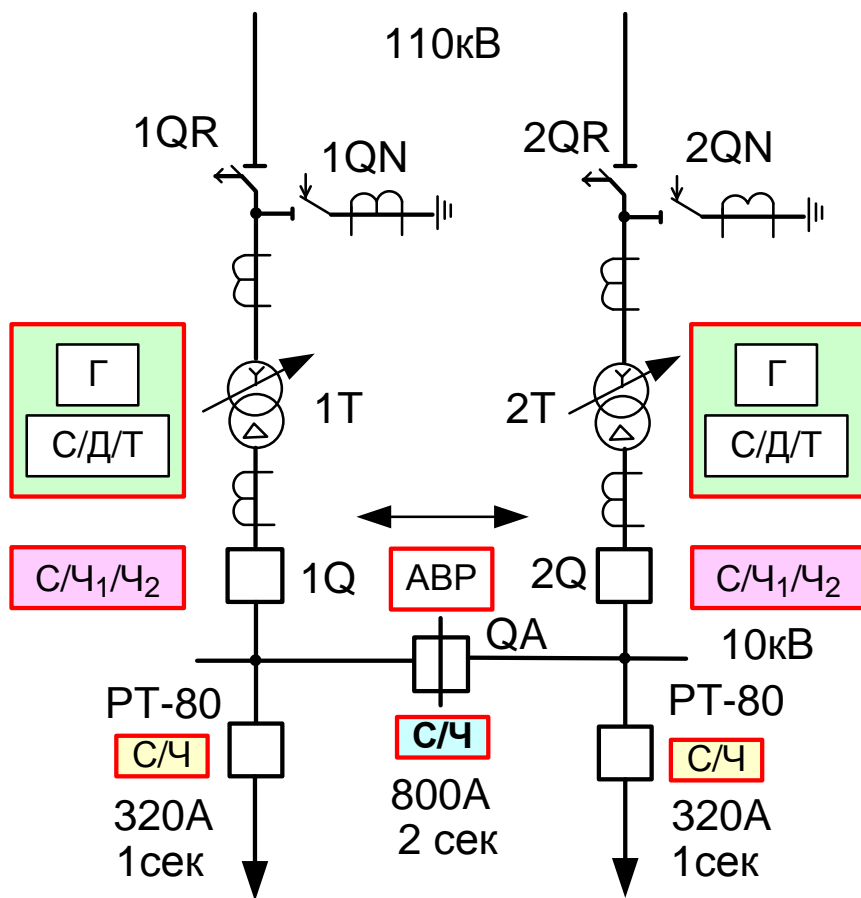
K₁ – точка КЗ в обмотці ВН трансформатора 110 кВ

K₂ – точка КЗ на другій секції шин 10 кВ

Струми у чисельнику максимальні, а у знаменнику – мінімальні.

Фрагмент схеми двотрансформаторної підстанції 110/10 кВ (з розташуванням реле)

3



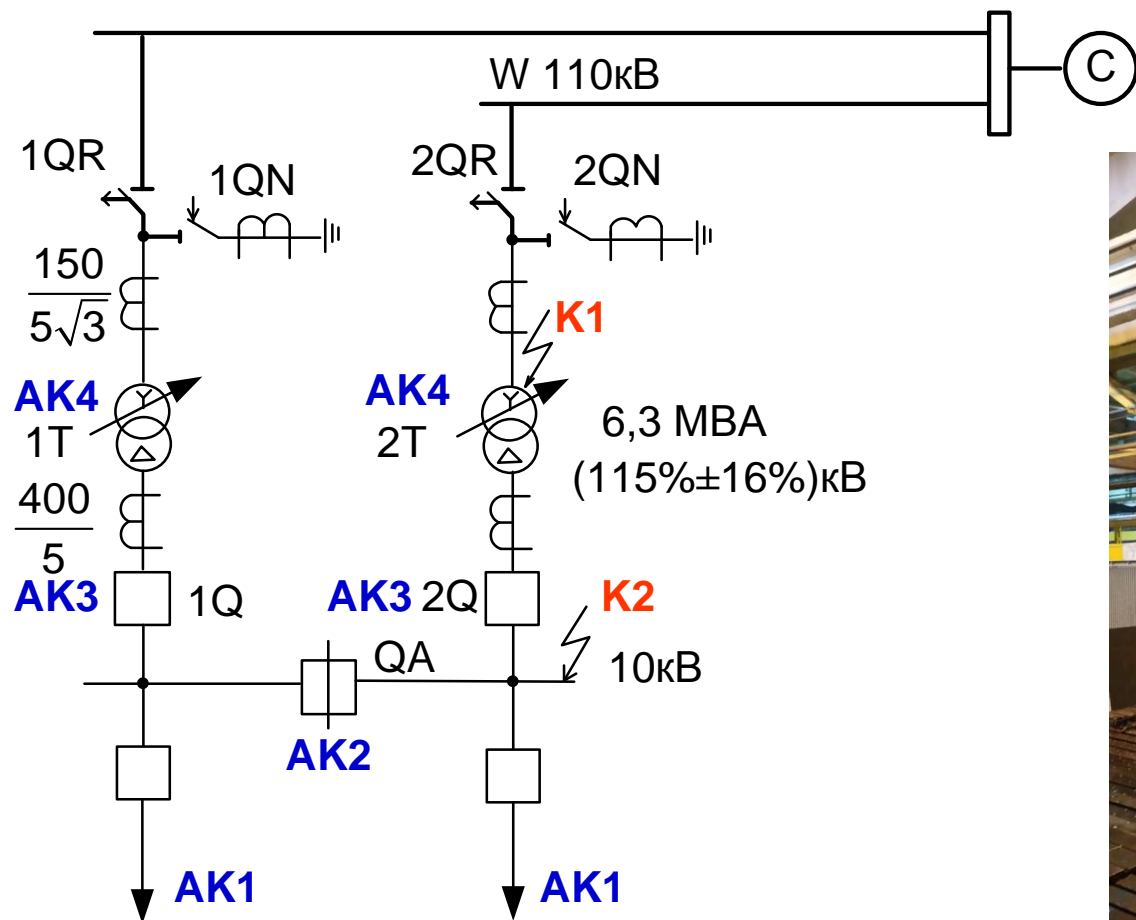
С/Ч₁/Ч₂ – максимальний струмовий захист з незалежною характеристикою з двома ступенями витримки часу

Г – газовий захист

С/Д/Т – струмовий диференціальний захист з гальмуванням

Фрагмент схеми з параметрами трансформаторів струму та з розташуванням захистів

4



Розв'язок. Початкові дані.

5

Згідно з **ПТЕ електричних станцій і мереж** міжфазні напруги електричних розподільних мереж трифазного струму 50 Гц :
номінальна – **110 кВ**,
найбільша – 126 кВ,
середня (для розрахунку струмів КЗ – 115 кВ).
номінальна – **10 кВ**,
найбільша – 11,5 кВ,
середня (для розрахунку струмів КЗ – 10,5 кВ).



Паспортні дані трансформатора:

напруга на стороні ВН – 115 кВ, напруга на стороні НН – 11 кВ.

Визначаємо максимальну допустиму напругу на стороні ВН трансформатора :
 $115 \cdot (100\% + 16\%) / 100\% = 133,4 \text{ кВ}$, але приймаємо **126 кВ** згідно до **ПТЕ ЕС та ЕМ**

Визначаємо мінімальну допустиму напругу на стороні ВН трансформатора :
 $115 \cdot (100\% - 16\%) / 100\% = \mathbf{96,6 \text{ кВ}}$.

Розв'язок. Початкові дані.

Опори системи: – $X_{с. макс} = 15 \text{ Ом}$; $X_{с. мин} = 36 \text{ Ом}$.

Напруги КЗ трансформатора:

$u_{к. макс} = 11 \%$; $u_{к. ср} = 10,5 \%$; $u_{к. мин} = 9,5 \%$.

Тип навантаження – “**узагальнене**”.

Опір узагальненого навантаження – $X_{* нав} = 0,35 \text{ в.о.}$

Для точки КЗ **К₂ визначаємо** опори трансформатора:

$X_{тр. макс} = 0,11 \cdot 126^2 / 6,3 = 277 \text{ Ом}$; $X_{с. мин} = 0,095 \cdot 96,6^2 / 6,3 = 141 \text{ Ом}$.

Для точки КЗ в точці **К₂ визначаємо** струми КЗ:

$I_{к. макс ВН}^{(3)} = 110\,000 / [\sqrt{(3) \cdot (15 + 141)}] = 410 \text{ А}$,

$I_{к. макс НН}^{(3)} = 410 \cdot 96,6 / 11 = 3600 \text{ А}$,

$I_{к. мин ВН}^{(3)} = 126\,000 / [\sqrt{(3) \cdot (36 + 277)}] = 230 \text{ А}$,

$I_{к. мин НН}^{(3)} = 230 \cdot 126 / 11 = 2600 \text{ А}$.

Визначаємо опір узагальненого навантаження, віднесений до номінальної потужності трансформатора та до найменшої напруги сторони ВН (96,6 кВ): $x_{нав}^{(l)} = 0,35 \cdot 96,6^2 / 6,3 = 520 \text{ Ом}$.

Струм самозапуску навантаження:

$I_{сзп. макс. ВН} = 110\,000 / [\sqrt{(3) \cdot (15 + 141 + 520)}] = 94 \text{ А}$.

Розв'язок (продовження).

Номінальний струм трансформатора

$$I_{\text{тр.ном}} = S_{\text{тр.ном}} / \{[\sqrt{3}] \cdot U_{\text{ВН}}\} = 6300 / \{[\sqrt{3}] \cdot 110\} = 31,6 \text{ A.}$$

Максимальний робочий струм трансформатора 1,05 від номінального

$$I_{\text{тр.ном}} = 1,05 \cdot I_{\text{тр.ном}} = 1,05 \cdot 31,6 = 33,2 \approx 33 \text{ A.}$$

Струм самозапуску навантаження на стороні ВН:

$$I_{\text{сзп. макс. ВН}} = 110\,000 / [\sqrt{3} \cdot (15 + 141 + 520)] = 94 \text{ A.}$$

Коефіцієнт самозапуску навантаження:

$$k_{\text{сзп}} = 94 / 33 = 2,8 \text{ в.о.}$$

Струм самозапуску навантаження на стороні НН:

$$I_{\text{сзп. макс. НН}} = 94 \cdot 96,6 / 11 = 825 \text{ A.}$$

Селективний максимальний захист с незалежною характеристикою на секційному вимикачі 10 кВ (СВ)

Максимальний робочий струм СВ дорівнює максимальному робочому струму одного трансформатора. Цей струм 0,7 від номінального при введеному АВР.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{сз\ 2} = k_{завант} \cdot k_{над} \cdot I_{сзп\ нн} / k_{пов} = 0,7 \cdot 1,1 \cdot 825 / 0,8 = 800\text{ А.}$$

За умовою узгодження з захистами 1 ліній 10 кВ (не працюючих паралельно) коефіцієнт надійності узгодження ($k_{узг}$) трансформатора з РПН на стороні ВН для реле РТ 40 на стороні ВН та РТ-80 на стороні НН дорівнює 1,35 в.о.

Струм спрацювання захисту:

$$I_{сз\ 2} = k_{узг} \cdot (I_{сум\ секц} + I_{непошк\ ліній}) = 1,35 \cdot (320 + 150) = 660\text{ А.}$$

Сумарне навантаження непошкоджених ліній ($I_{непошк\ ліній}$) – це різниця між максимальним робочим струмом секції (230 А) та робочим струмом пошкодженої лінії (80 А), з якою відбувається узгодження, $k_{узг} = 1,35$.

Коефіцієнт чутливості захисту 2 за двофазного КЗ

$$K^{(2)}_ч = \{ [\sqrt{(3)/2}] \cdot I^{(3)}_{к.\ \min\ НН} \} / I_{сзп\ 2} = 0,866 \cdot 2600 / 800 = 2,8 > 1,5.$$

Вибір часу спрацювання захисту AK_2

Вибирається час спрацювання захисту так, щоб при струмі спрацювання 800 А була ступінь селективності між захистами 1 та 2 $\Delta t = 0,7$ сек. Захист AK_1 при струмі спрацювання 800 А має коефіцієнт чутливості $800/320 = 2,5$ та $t_{сз1} \approx 1,3$ сек для РТ80. спрацьовувати не буде, тому що за короткого замикання на лінії Л1 потужність протікатиме від лінії до шин.

Оскільки $t_{сз1} = 2$ сек доречно виконати прискорення захисту при дії АВР. Час дії захисту по ланцюгу прискорення – 0,5 сек.



Струм спрацювання МСЗ АКЗ на стороні 110 кВ силових трансформаторів

За певних режимів трансформатор можна перевантажити до $1,3 \cdot I_{\text{ном.тр}}$.

Струм спрацювання АКЗ:

$$I_{\text{сз}3} = 1,1 \cdot 1,3 \cdot 94 / 0,8 = \mathbf{170 \text{ A}}$$

(445% від $I_{\text{ном.тр}}$).

З врахуванням АВР:

$$I_{\text{сз}3} = 1,2 \cdot (0,7 \cdot 94 + 0,7 \cdot 33) = \mathbf{107 \text{ A}}$$
 (кожен трансформатор працює на 70%).



Для узгодження з АК2 на СВ:

$$I_{\text{сз}3} = 1,3 \cdot (800 \cdot 11 / 115 + 0,7 \cdot 330 \cdot 11 / 115) = 128 \text{ A},$$

де $k_{\text{узг}} = 1,3$ для реле **РТ40**.

Отже вибираємо **170 A**.

Коефіцієнт трансформації трансформатора струму $n_{\text{тс}} = 150 / 5 = 30$.

Струм спрацювання реле: $I_{\text{с.р}} = 170 \cdot \sqrt{(3)} / 30 = 9,8 \text{ A}$.

Перевірка чутливості захисту AK_3 в ОСНОВНІЙ ЗОНІ (роздільна робота трансформаторів)

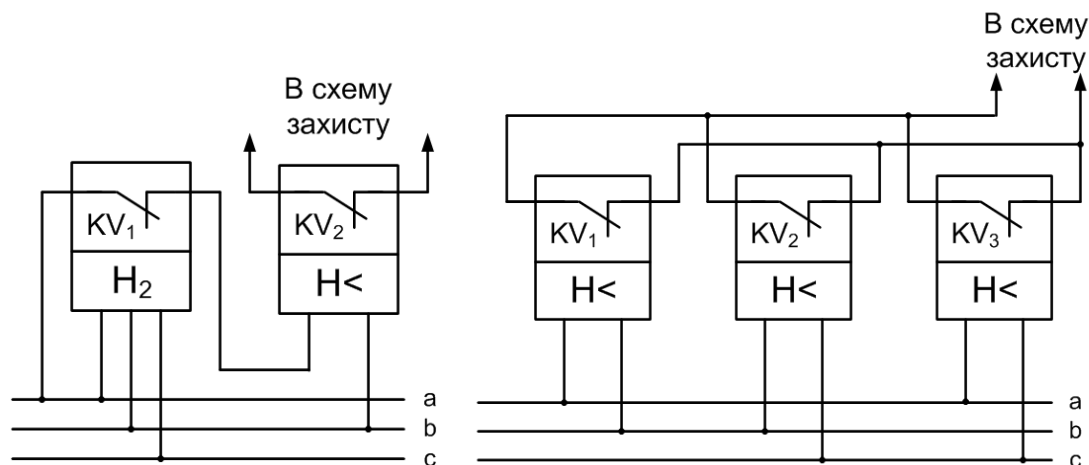
При двофазному КЗ за трансформатором (точка K_2) розрахунковий струм в реле знаходиться за виразом.

$$I_{p \text{ мін}}^2 = (1,5 \cdot I_{K \text{ мін}}^{(3)} / n_{TC} = 1,5 \cdot 230 / 30 = 11,5 \text{ A.}$$

Коефіцієнт чутливості: $I_{p \text{ мін}}^2 = 11,5 / 9,8 = \mathbf{1,17} \ll 1,5.$

Тому для таких трансформаторів (з великими межами регулювання напруги РПН, з великою різницею струмів КЗ за та перед трансформатором, з $k_{сзп} > \mathbf{2}$) МСЗ виконується з пусковим органом за напругою. Це забезпечує достатню чутливість захисту за струмом.

При двофазному КЗ на виводах 110 кВ (точка K_1) розрахунковий струм у реле (для схеми з трьома реле) в два рази більший ніж для схеми з двома реле.



Для трьох реле

$$I_{p \text{ мін}}^2 = \sqrt{(3) \cdot 1800 / 30} = 104 \text{ A.}$$

Для трьох реле

$$I_{p \text{ мін}}^2 = \sqrt{(3) \cdot 1800 / (2 \cdot 30)} = 52 \text{ A.}$$

Тоді $k_q \gg 1,5$. Отже буде схема з двома реле

Вибір витримок часу

Час спрацювання для першого ступеня захисту АКЗ, що діє на вимкнення вимикача 10 кВ, вибирається на ступінь селективності більше, ніж у захисту СВ 10 кВ, тобто 2,4 сек. Для другої ступені приймаємо на ступінь селективності більше $\Delta t = 0,4$ сек (а не 0,7 сек тому, що у нас захист з незалежною витримкою часу). Отже час спрацювання захисту буде $t^{(1)}_3 = t_{\text{СВ}} + \Delta t = 2,4 + 0,4 = 2,8$ сек.



Література для самостійної підготовки

1. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: монография / М. А. Шабад.- СПб. : ПЭИПК, 2003. – 350 с.
2. Кутін В. М. Релейний захист та системна автоматика: посібник / В. М. Кутін, О. Є. Рубаненко. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 132 с.
3. Релейний захист електроенергетичних систем : навч. посіб. / В. П. Кідиба. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 504 с.
4. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. / О. С. Яндульський, О. О. Дмитренко. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с.
5. Рубаненко О.Є., Лагутін В.М. Релейний захист та автоматика двотрансформаторної підстанції. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 124 с.

Питання для самоконтролю

№ Питання

- 1 В чому сучасні особливості експлуатації силових трансформаторів?
- 2 Які особливості схеми двотрансформаторної підстанції 110/10 кВ?
- 3 Як працює фрагмент схеми з **QR** та **QN**?
- 4 Конструкція та призначення газового реле?
- 5 Призначення та робота максимального струмового захист з незалежною характеристикою з двома ступенями витримки часу?
- 6 Призначення струмового диференційного захисту з гальмуванням ?
- 7 Які нормовані значення міжфазних напруги електричних розподільних мереж трифазного струму 50 Гц згідно до ПТЕ електричних станцій і мереж?
- 8 Як визначити максимальну допустиму напругу на стороні ВН трансформатора?
- 9 Як визначити мінімальну допустиму напругу на стороні ВН трансформатора?
- 10 Як визначити опори трансформатора для точки КЗ K_2 ?

Питання (продовження)

- 11** Як визначити опір узагальненого навантаження, віднесений до номінальної потужності трансформатора та до найменшої напруги сторони ВН трансформатора?
- 12** Як визначити номінальний струм трансформатора ?
- 13** Як визначити максимальний робочий струм трансформатора?
- 14** Як визначити струм самозапуску навантаження на стороні ВН трансформатора?
- 15** Як визначити коефіцієнт самозапуску навантаження?
- 16** Як визначити струм самозапуску навантаження на стороні НН?
- 17** Як визначити максимальний робочий струм СВ?
- 18** Як визначити коефіцієнт надійності узгодження ($k_{узг}$) трансформатора з РПН?
- 19** Як визначити сумарне навантаження непошкоджених ліній ($I_{непошк\ ліній}$)?
- 20** Як визначити струм спрацювання захисту АК2 при введеному АВР?

Питання (продовження)

- 21** Як визначити струм спрацювання захисту АК2 за умовою узгодження з захистами 1 ліній 10 кВ?
- 22** Як визначається коефіцієнт чутливості релейного захисту?
- 23** Як визначити коефіцієнт чутливості захисту 2 за двофазного КЗ?
- 24** Як визначити час спрацювання захисту так, щоб при струмі спрацювання 800 А забезпечити селективність дії захисту?
- 25** Коли доречно виконати прискорення захисту при дії АВР?
- 26** Наскільки і коли можна перевантажити трансформатор?
- 27** Як визначити розрахунковий струм в реле при двофазному КЗ за трансформатором (точка K_2)?
- 28** Чому для трансформаторів з великими межами регулювання напруги РПН, з великою різницею струмів КЗ за та перед трансформатором, з $k_{сзп} > 2$ МСЗ виконується з пусковим органом за напругою ?
- 29** У скільки разів при двофазному КЗ на виводах 110 кВ (точка K_1) розрахунковий струм у реле (для схеми з трьома реле) більший ніж для схеми з двома реле ?
- 30** На скільки час спрацювання першого ступеня захисту АК3, що діє на вимкнення вимикача 10 кВ, вибирається більший чи менший, ніж у захисту СВ 10 кВ ?

Презентація закінчена.
Дякую за увагу