

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Кафедра автоматизації та кібербезпеки енергосистем

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для самостійної роботи студентів по вивченню дисципліни
**«ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ І
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ПРИСТРОЇВ»**

і виконанню курсового проекту

для студентів заочної форми навчання спеціалізацій:

141-03 «Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії»,

141-15 «Технології кібербезпеки в електроенергетиці»

Методичні вказівки для самостійної роботи студентів по вивченню дисципліни «Проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв» і виконанню курсового проекту для студентів заочної форми навчання спеціалізацій: 141-03 «Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії», 141-15 «Технології кібербезпеки в електроенергетиці», Баженов В.М. – Х. НТУ «ХПІ» 2020 – 23 с.

Укладач: В.М. Баженов

Рецензент Ю.В. Владимиров

Кафедра автоматизації та кібербезпеки енергосистем

ВСТУП

Дані методичні вказівки призначені для надання допомоги студентам у самостійній роботі з питань проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв в обсязі релейного захисту і автоматики (РЗА).

Складність сучасної електроенергетичної системи (ЕЕС), визначається найбільшим кількістю електроустановок (наприклад, генераторів, трансформаторів, ліній, двигунів, електровозів, електропечей і ін.), всіляких схем первинних (головних) і вторинних (вимірювальних, контрольних, управлінських та ін.) електричних з'єднань і багатьма особливостями технологічного процесу.

Розглянемо головні особливості режимів роботи електроенергетичної системи.

1) В кожен момент часу вироблення електроенергії повинна строго відповідати її споживанню, що забезпечується безперервністю і взаємозв'язком процесів виробництва, передачі, розподілу та споживання електроенергії (з збільшенням споживання електричної потужності повинна збільшуватися її вироблення, і навпаки).

2) Велика швидкість поширення електромагнітних обурень в електричних мережах, для ліквідації аварій в яких повинні застосовуватися тільки автоматичні пристрої.

Для забезпечення нормальної роботи електричних мереж необхідно швидше проводити виявлення і відділення місця пошкодження від непошкоджених ділянок, відновлюючи, таким чином, нормальні умови роботи електричних мереж і споживачів.

У зв'язку з цим виникає необхідність в створенні і застосуванні ефективних автоматичних пристроїв, що виконують певні операції і захищають електричні мережі і її елементи від небезпечних наслідків пошкоджень і ненормальних режимів.

Ліквідацію аварійних режимів здійснює релейний захист (РЗ), якій тісно зв'язаний з пристроями автоматики для швидкого відновлення нормального режиму. При відключенні за допомогою РЗ одного з елементів електричної мережі, наприклад, лінії або силового трансформатора, частина споживачів електроенергії знеструмлюється. Відновлення живлення таких споживачів здійснюється, як правило, автоматично пристроями автоматичного повторного вмикання. (АПВ) або автоматичного вмикання резервного живлення і обладнання (АВР).

1 КОРОТКИЙ ВИКЛАД ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ І КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО НИХ

Змістовий модуль 1 Проектування релейного захисту для ліній, трансформаторів, шин та резервування відмов вимикачів

Тема 1 Стандарти та каталоги

Стандарти та каталоги для проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв. Стандарти і державні (ДОСТ, СН і П) і міжнародні (МЕК) на пристрої, терміни і визначення, буквені позначення і ін. Каталоги на устаткування і комплексні рішення від виробників засобів релейного захисту і автоматики.

Контрольні питання

- 1) Приведіть приклади використання стандартів для проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв.
- 2) Приведіть приклади використання термінів для проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв.
- 3) Приведіть приклади використання буквених позначень для проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв.

Тема 2 Номенклатура традиційних пристроїв релейного захисту.

Комплекти захисту серії КЗ на електромеханічних реле. Панелі захисту на електромеханічній базі. Комплекс релейного захисту ліній на мікроелектронній елементній базі.

Контрольні питання

- 1) Приведіть приклади електромеханічних пристроїв релейного захисту.
- 2) Приведіть приклади пристроїв релейного захисту на мікроелектронній елементній базі..

Тема 3 Застосування цифрового релейного захисту

Основні характеристики мікропроцесорного захисту (переваги та недоліки). Нові технології побудови систем релейного захисту і автоматики на мікропроцесорах. Відомості по терміналах систем релейного захисту і автоматики.

Контрольні питання

- 1) Наведіть приклади характеристики мікропроцесорного захисту (переваги та недоліки).

2) Охарактеризуйте нові технології побудови систем релейного захисту і автоматики на мікропроцесорах.

3) Приведіть приклади мікропроцесорних пристроїв релейного захисту.

Тема 4 Проектування захистів ліній

Загальні вимоги до захисту ліній (правила улаштування електроустановок). Триступінчастий дистанційний захист ліній. Захист від замикань на землю в мережі з великим струмом замикання. Захист кабельних повітряних ліній. Характеристика об'єкту, Правила улаштування, обладнання, розрахунки. Захист фідера «лінія-трансформатор». Мікропроцесорний захист ліній.

Контрольні питання

1) Спроекувати триступінчастий дистанційний захист ліній (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).

2) Спроекувати захист від замикань на землю в мережі з великим струмом замикання (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).

3) Спроекувати захист кабельних повітряних ліній (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).

4) Спроекувати захист фідера «лінія-трансформатор» (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).

Тема 5 Проектування захисту шин

Загальні вимоги до захисту шин (Правила улаштування електроустановок). Вибір уставок диференційного захисту шин. Мікропроцесорний захист шин. Проектування пристроїв резервування відмов вимикачі. Загальні вимоги до пристроїв (правила пристрою електроустановок). Спеціальні заходи для виключення помилкового (при помилках експлуатаційного персоналу) або зайвого (при короткому замиканні) дій ПРВВ.

Контрольні питання

1) Спроекувати захист шин (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).

2) Спроекувати пристрої резервування відмов вимикачі (вибрати пристрої, охарактеризувати аварійні режими, схему і параметри спрацьовування).

Тема 6 Проектування захистів трансформаторів

Загальні вимоги до захистів трансформаторів (Правила улаштування електроустановок). Структурні схеми традиційних і цифрових захистів. Принципові схеми захистів. Характеристика об'єкту, Правила улаштування,

обладнання, розрахунки. Захист трансформаторів типу ТРДН. Диференційний захист на реле ДЗТ-21 для трансформатора. Диференційний захист трьох обмоткових трансформаторів.

Контрольні питання

- 1) Поясніть вимоги до захистів трансформаторів.
- 2) Поясніть структурні схеми традиційних і цифрових захистів.
- 3) Наведіть приклади захистів трансформаторів типу ТРДН.
- 4) Наведіть приклади диференційних захистів на реле ДЗТ-21 для трансформаторів.

Змістовий модуль 2 Проектування релейного захисту для електроустановок електропостачання й електроспоживання

Тема 7 Проектування захистів вузла навантаження

Характеристика об'єкту, Правила улаштування, обладнання, розрахунки. Функції мікропроцесорних захистів трансформаторів понижувальної підстанції та метрополітену. Розрахунок струмів короткого замикання за трансформаторами. Розрахунки само запуску секції після дії АВР. Вибір уставок захисту на секційному вимикачі, введення 6 кВ та захисту з боку 110 кВ трансформатора. Розрахунки захисту тягового трансформатора та трансформатора власних потреб для метрополітену.

Контрольні питання

- 1) Спроекувати захист на секційному вимикачі (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).
- 2) Спроекувати захист введення 6 кВ для трансформаторів понижувальної підстанції (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).
- 3) Спроекувати захист з боку 110 кВ для трансформаторів понижувальної підстанції (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).
- 4) Спроекувати захист трансформаторів метрополітену (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).

Тема 8 Проектування захистів розподільчої мережи

Характеристика об'єкту, Правила улаштування, обладнання, розрахунки. Вибір та функції пристроїв релейного захисту. Умови для розрахунку уставок захисту розподільчої мережи. Методика розрахунків уставок максимального струмового захисту, потенційної захисту, дистанційного захисту та ін.

Контрольні питання

- 1) Поясніть розрахунок параметрів максимального струмового захисту для розподільчої мережи 10 кВ.
- 2) Поясніть розрахунок параметрів потенційного захисту для розподільчої мережи 10 кВ.
- 3) Поясніть розрахунок дистанційних захистів для розподільчої мережи 10 кВ.

Тема 9 Проектування захистів в системі електропостачання промислового підприємства

Характеристика об'єкту, Правила улаштування, обладнання, розрахунки. Вибір захистів для системи внутрішнього електропостачання. Захист трансформаторів системи внутрішнього електропостачання. Захист кабельних ліній. Захист секційного вимикача. Узгодження характеристик захистів.

Контрольні питання

- 1) Спроекувати захист трансформаторів системи внутрішнього електропостачання промислового підприємства (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).
- 2) Спроекувати захист кабельних ліній системи внутрішнього електропостачання промислового підприємства (вибрати пристрої захисту, охарактеризувати аварійні режими і параметри спрацьовування захистів).
- 3) Поясніть узгодження характеристик захистів елементів системи внутрішнього електропостачання промислового підприємства.

Тема 10 Проектування захистів дизель-генераторів та електродвигунів

Загальні вимоги до захистів (правила пристрою електроустановок) дизель-генераторів. Структурні схеми традиційних і цифрових захистів. Принципові схеми захистів. Вибір уставок. Загальні вимоги до захистів (правила пристрою електроустановок) електродвигунів. Структурні схеми традиційних і цифрових захистів. Принципові схеми захистів. Вибір уставок.

Контрольні питання

- 1) Спроекуйте схему захистів дизель-генераторів 6 кВ.
- 2) Спроекуйте схему захистів електродвигунів 6 кВ.
- 3) Поясніть розрахунок чутливості захистів електродвигунів 6 кВ.
- 4) Напишіть формули розрахунків параметрів захистів електродвигунів 6 кВ.

Тема 11 Проектування захистів з використанням плавких запобіжників і автоматичних вимикачів

Розрахунки опорів. Розрахунки між фазних коротких замикань. Розрахунки однофазних коротких замикань. Умови вибору запобіжників. Умови вибору автоматичних вимикачів. Приклади вибору запобіжників і автоматів.

Контрольні питання

- 1) Поясніть розрахунки між фазних коротких замикань в мережах 0,4 кВ.
- 2) Поясніть розрахунки однофазних коротких замикань в мережах 0,4 кВ.
- 3) Поясніть розрахунок параметрів захисту з використанням плавких запобіжників.
- 4) Поясніть розрахунок параметрів захисту з використанням автоматичних вимикачів.

Тема 12 Інформативність релейного захисту і автоматики в системі електропостачання й електроспоживання

Автоматичні пристрої для нормального, аварійного і після аварійного режимів. Інформація про особливості електроустановки, методи і технічні засоби реалізації її управління. Реакція традиційного релейного захисту другого і третього поколінь на uszkodження в різних точках електричної мережі залежно від зняття інформації вимірювальними трансформаторами струму. Міркування для впізнання відключених і пошкоджених електроустановок, відмовах основних захистів, відмовах у відключенні вимикачів, помилкової роботи захистів, неправильного відключення вимикачів, неправильного спрацьовування захистів.

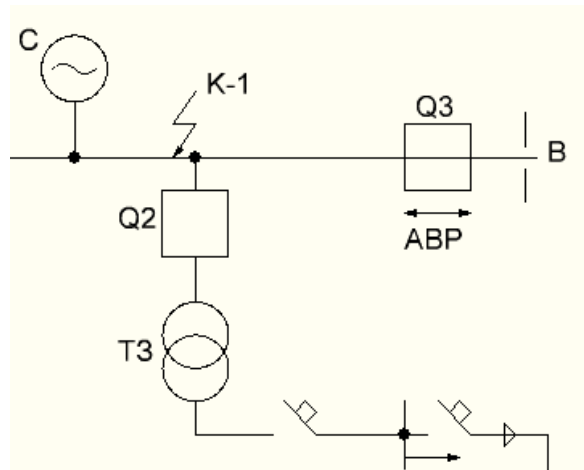
Контрольні питання

- 1) Поясніть реакцію традиційного релейного захисту другого і третього поколінь на uszkodження в різних точках електричної мережі залежно від зняття інформації вимірювальними трансформаторами струму.
- 2) Приведіть міркування для впізнання відключених електроустановок.
- 3) Приведіть міркування для впізнання помилкової роботи захистів.
- 4) Приведіть міркування для впізнання неправильного відключення вимикачів.
- 5) Приведіть міркування для впізнання неправильного спрацьовування захистів.

2 ПРИКЛАДИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ АТЕСТАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

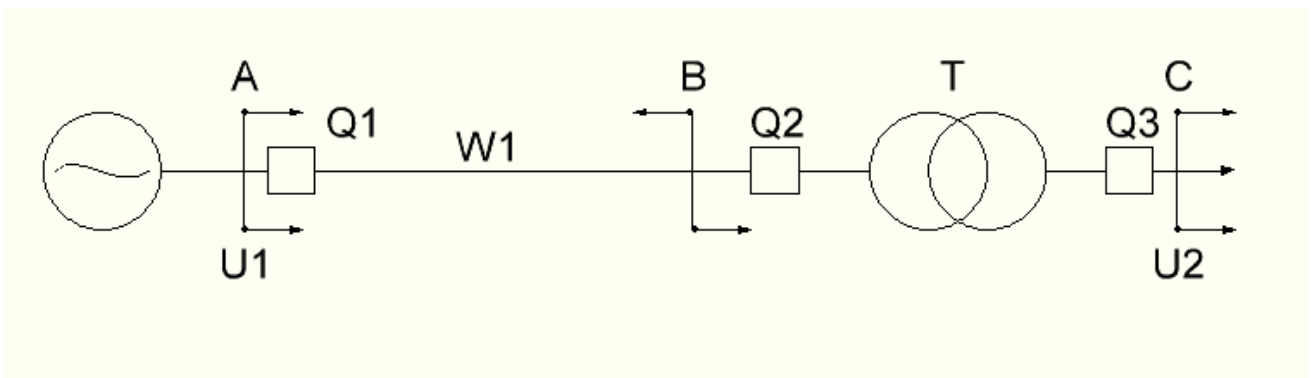
1. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати пристрої захисту, розрахувати аварійні режими і параметри спрацювання релейних захистів).

Вихідні дані для об'єкта захисту (див. рисунок): трансформатор Т3, $S_T = 400$ кВА, $U_K\% = 5,5\%$, $P_K = 9$ кВт, $I_{K-1, \max} = 5000$ А, $I_{K-1, \min} = 4000$ А



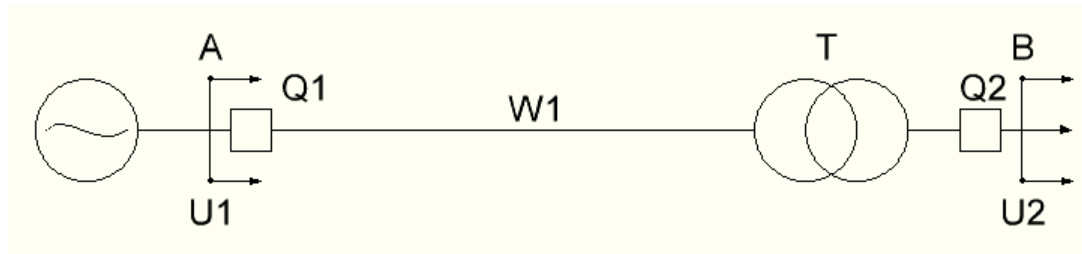
2. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати пристрої захисту, розрахувати аварійні режими і параметри спрацювання релейних захистів).

Вихідні дані для об'єкта захисту лінії W1 (див. рисунок): лінія W1: $U_1 = 6$ кВ; $L = 500$ м, трансформатор Т3, $S_T = 400$ кВА, $U_K\% = 5,5\%$, $P_K = 9$ кВт, $I_{K-A, \max} = 5000$ А, $I_{K-A, \min} = 4000$ А



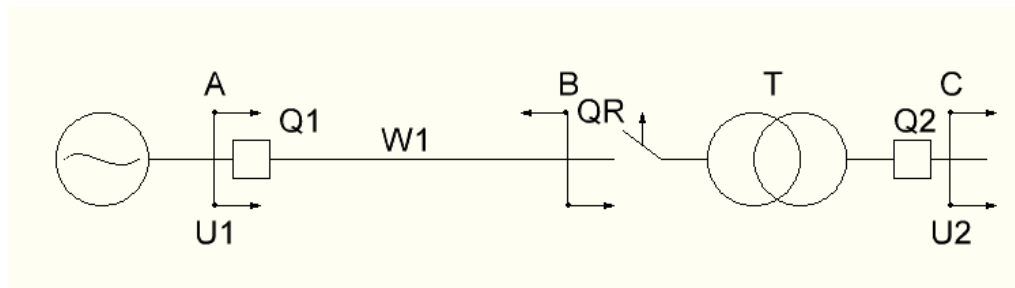
3. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати пристрої захисту, розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування релейних захистів).

Вихідні дані для об'єкта захисту блоку «лінія - трансформатор»(див. рисунок): лінія $W1: U1 = 6 \text{ кВ}$; $L = 1 \text{ км}$, трансформатор $T3, S_T = 400 \text{ кВА}$, $U_K\% = 5,5 \%$, $P_K = 9 \text{ кВт}$, $I_{K-A, \max} = 4500 \text{ А}$, $I_{K-A, \min} = 3500 \text{ А}$

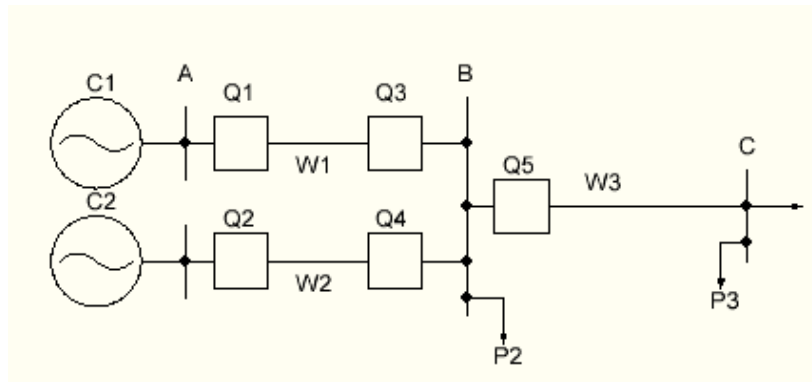


4. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати пристрої захисту, розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування релейних захистів).

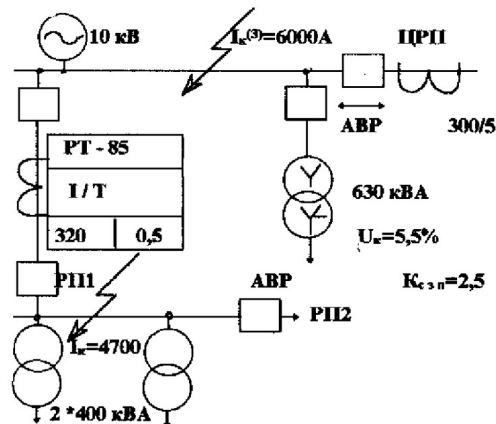
Вихідні дані для об'єкта захисту лінії $W1$ (див. рисунок): лінія $W1: U1 = 6 \text{ кВ}$; $L = 1 \text{ км}$, трансформатор $T3, S_T = 400 \text{ кВА}$, $U_K\% = 5,5 \%$, $P_K = 9 \text{ кВт}$, $I_{K-A, \max} = 5000 \text{ А}$, $I_{K-A, \min} = 4000 \text{ А}$



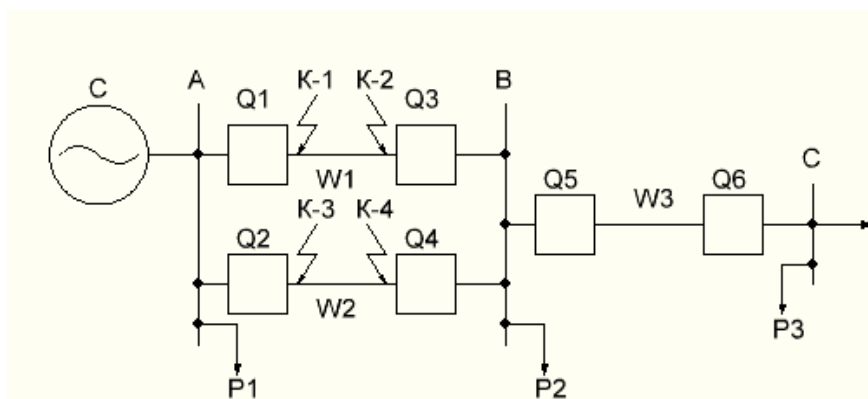
5. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати пристрої захисту, розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування релейних захистів). Об'єкта захисту лінія $W1$. Вихідні дані. Лінії: $W1 (U_A = 110 \text{ кВ}; L = 16 \text{ км})$, лінія $W2 (L = 12 \text{ км})$. Опори системи $C1: X_0 = 8,5 \text{ Ом}$, $X_{\max} = 4,0 \text{ Ом}$, $X_{\min} = 6,1 \text{ Ом}$; Опори системи $C2: X_0 = 9 \text{ Ом}$, $X_{\max} = 6,0 \text{ Ом}$, $X_{\min} = 8,0 \text{ Ом}$. Навантаження: $P_2 = 40 \text{ МВт}$, $P_3 = 20 \text{ МВт}$.



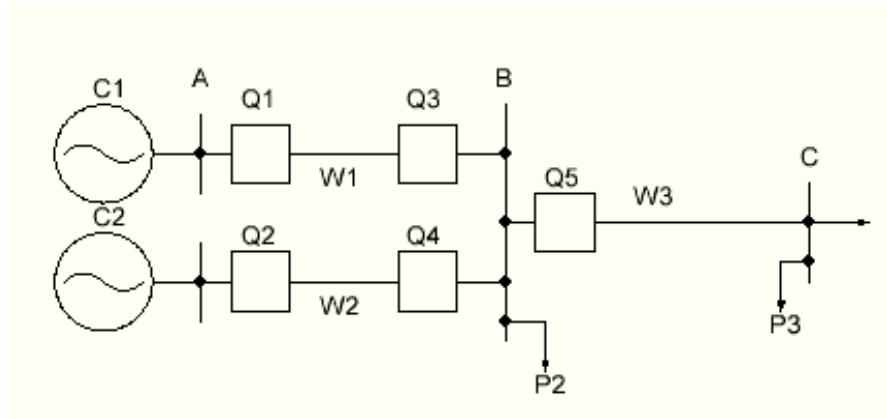
6. Спроекувати захист для секційного вимикача на ЦРП. Вихідні дані на рисунку.



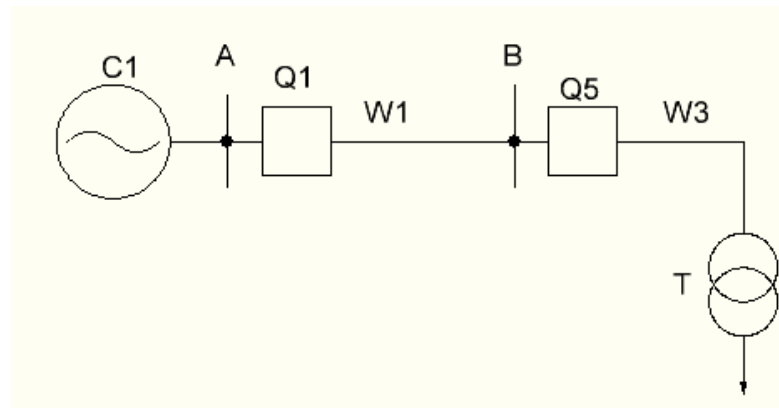
7. Спроекувати поперечній диференційний захист для ліній $W1,2$ (розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування захисту). Вихідні дані. Лінії: $W1$ ($U_A = 110$ кВ; $L = 16$ км), лінія $W2$ ($L = 12$ км). Опори системи $C1$: $X_0 = 8,5$ Ом, $X_{max} = 4,0$ Ом, $X_{min} = 6,1$ Ом; Опори системи $C2$: $X_0 = 9$ Ом, $X_{max} = 6,0$ Ом, $X_{min} = 8,0$ Ом. Навантаження: $P_2 = 40$ МВт, $P_3 = 20$ МВт.



8. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати пристрої захисту, розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування релейних захистів). Об'єкта захисту лінія $W1$. Вихідні дані. Лінії: $W2$ ($U_A = 110$ кВ; $L = 16$ км), лінія $W2$ ($L = 12$ км). Опори системи $C1$: $X_0 = 8,5$ Ом, $X_{max} = 4,0$ Ом, $X_{min} = 6,1$ Ом; Опори системи $C2$: $X_0 = 9$ Ом, $X_{max} = 6,0$ Ом, $X_{min} = 8,0$ Ом. Навантаження: $P_2 = 40$ МВт, $P_3 = 20$ МВт.

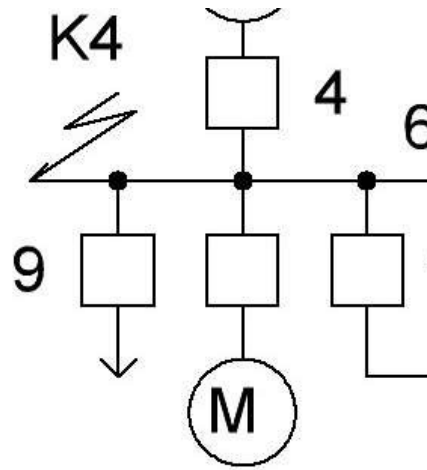


9. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати пристрої захисту, розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування релейних захистів). Вихідні дані для об'єкта захисту блоку «лінія $W3$ – трансформатор T »(див. рисунок). Лінія $W1$ ($U1= 110$ кВ; $L = 20$ км), лінія $W3$ ($L = 10$ км). Трансформатор T ($S= 16$ МВА, $U_k\%=10$ %). Потужності КЗ від системи $C1$: $S_{к-А, \max} = 750$ МВА, $S_{к-А, \min} = 500$ МВА.

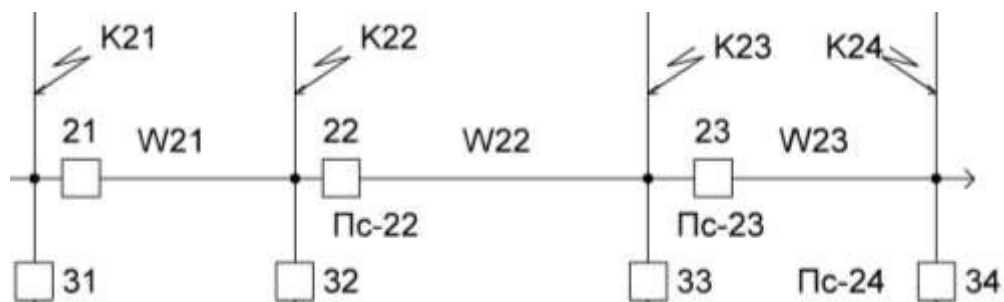


10. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати пристрої захисту, розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування релейних захистів).

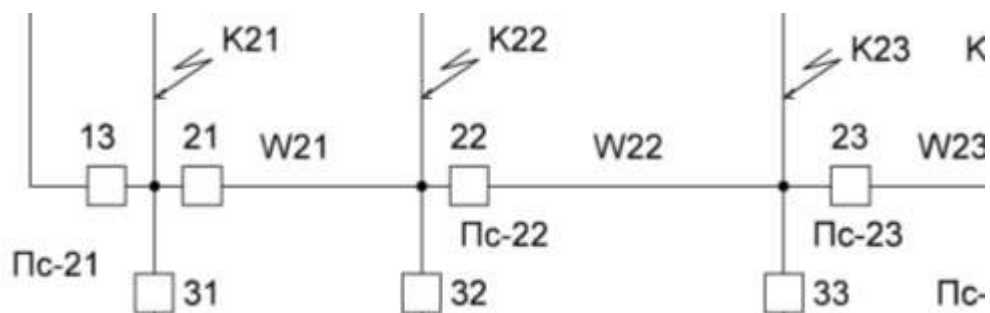
Вихідні дані для захисту електродвигуна (див. рисунок): $I_{к-4, \max} = 5000$ А, $I_{к-4, \min} = 4000$ А; $U= 6$ кВ; $P_M=2000$ кВт; $K_{\Pi} = 5,7$.



11. Спроекувати релейний захист для елемента електричної системи (вибрати захисти, розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування релейних захистів). Вихідні дані для захисту лінії W23 з напругою 10 кВ (див. рисунок). Потужність системи $S_{\max} = 550$ МВА, $S_{\min} = 400$ МВА. Дистанції $L_{W21}/L_{W22}/L_{W23} = 4/5/3$ км. Власні навантаження ліній: $S_{W21} = 1700$ кВА, $S_{W22} = 900$ кВА, $S_{W23} = 3800$ кВА;



12. Спроекувати релейний захист для елемента системи (вибрати захисти, розрахувати аварійні режими і параметри спрацьовування релейних захистів). Вихідні дані для захисту лінії W22 з напругою 10 кВ (див. рисунок). Потужність системи $S_{\max} = 750$ МВА, $S_{\min} = 500$ МВА. Дистанції $L_{W21}/L_{W22}/L_{W23} = 4/5/3$ км. Власні навантаження ліній: $S_{W21} = 1700$ кВА, $S_{W22} = 1000$ кВА, $S_{W23} = 2800$ кВА;



3 КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Мета курсового проекту – розширення й поглиблення знань за курсом «Проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв», придбання практичних навичок у галузі проектування релейного захисту на основі останніх досягнень розвитку світової й вітчизняної техніки релейного захисту, що відповідають провідним вказівкам з проектування, правил пристрою й технічної експлуатації електроустановок.

Тема курсового проекту – «Проектування електроенергетичних і електромеханічних систем та пристроїв. Релейний захист»

В цій роботі повинен проектуватися релейний захист конкретних електроустановок з використанням вихідних даних про схеми електричних з'єднань, параметрів і характеристик силових і вимірювальних трансформаторів, ліній електропередачі, навантажень, електричних апаратів і провідників, струмів короткого замикання живильних систем та ін. У результаті виконання курсового проекту студент повинен.

Вихідною інформацією для проектування об'єкта служать відомості по всіх параметрах схем і режимів роботи електроустановок електропостачання й електроспоживання.

Основні вимоги до технології проектування енергетичних систем і електричних мереж при їх розвитку (у тому числі релейного захисту) установлює інформативні матеріали, які узагальнюють досвід проектування, монтажу, налагодження та експлуатації електроустановок електропостачання й електроспоживання.

Вихідною інформацією для проектування об'єкта служать відомості по всіх параметрах схем і режимів роботи електроустановок електропостачання й електроспоживання.

У курсовому проекті треба спроектувати релейний захист електроустановок електропостачання й електроспоживання у такій послідовності:

- визначити види ушкоджень і ненормальних режимів роботи електроустановок;
- розглянути правила улаштування електроустановок і сучасні вказівки з виконання захистів цих установок;
- вибрати захист й надати стислу характеристику його дії;
- зробити розрахунки струмів і напруги до вибору параметрів налаштування пристроїв релейного захисту;
- виконати розрахунки параметрів пристроїв релейного захисту;

- розробити схеми релейного захисту електроустановок електропостачання й електроспоживання;
- зробити відповідні висновки з розроблених захистів, їхньої відповідності основним вимогам (селективності і чутливості).

Індивідуальне завдання на виконання курсового проекту видається профілюючою кафедрою на початку навчального семестру.

Вихідні дані (додаток А, табл. А.1):

- номер варіанта завдання (призначається керівником курсової роботи);
- потужність трансформаторної підстанції - S , МВА;
- вища ($U_{ВН}$) та нижча ($U_{НН}$) напруга (кВ) підстанції;
- опір енергосистеми, що живить, в максимальному ($X_{смаx}$) й мінімальному ($X_{смін}$) режимах роботи;
- довжина високовольтних ліній до підстанції (L , км);
- напруга короткого замикання у відсотках для силових трансформаторів підстанції в крайніх ($U_k\%_{мін}$ й $U_k\%_{маx}$) і середньому ($U_k\%_{порівн}$) положеннях пристрою регулювання коефіцієнта трансформації під навантаженням (РПН);
- тип силових трансформаторів тягової підстанції;
- параметри контактної мережі з напругою 27,5 кВ та розподільної вузлової мережі з напругою 10,5 кВ ($Z_{ПА}$ – опір енергосистеми, що живить; $I_{P,маx}$ ($Z_{P,мін}$) – параметри максимального режиму мережі; $I_{К.}$ - струми короткого замикання на ділянках контактної та розподільної мережі).

У всіх варіантах виконуються розрахунки захистів ліній і трансформаторів з напругою $U_{ВН}$ (додаток А, табл. А.1), а також захист з використанням плавких запобіжників і автоматичних вимикачів (додаток А, табл. А.7). Далі варіанти треба виконувати в наступному.

- Для варіантів з напругою $U_{НН} = 27,5$ кВ – розрахунки захистів розподільчої мережі залізничного транспорту (додаток А, табл. А.2):
- Для варіантів з напругою $U_{НН} = 11$ (10,5) кВ – розрахунки захистів кабельно-повітряної лінії (додаток А, табл. А.3), або розподільчої мережі (додаток А, табл. А.4).
- Для варіантів з напругою $U_{НН} = 6,3$ (6,6) кВ – розрахунки захистів фідера «лінія – трансформатор» (додаток А, табл. А.5) та електродвигунів (додаток А, табл. А.6).

Курсовий проект «Проектування релейного захисту електроустановок електропостачання й електроспоживання» містить пояснювальну записку й креслення. Обсяг пояснювальної записки становить 25–30 сторінок стандартного формату А4 (297×210 мм). Графічна частина це креслення стандартного формату А1 (594×841 мм), на якому розміщується спроектована електрична принципова схема захистів (ланцюги змінного й постійного струму).

Додаток А

Таблиця А1 – Вихідні дані для розрахунку захистів підстанції

№	S, МВ А	U, кВ		Xc, Ом	l, км	Напруга к. з., Uk, %			Тип
		ВН	НН	макс/мін		мін	перес	макс	
1	2	3	4	5/6	7	8	9	10	11
1	2×10	115	6,6	4,4/7,0	22,0	8,5	9,5	10,0	ТДН-10000/110
2	2×48	220	27,5/27,5	5,0/7,0	25,0	11,5	12,5	13,0	ОРДНЖ-16000/220
3	2×25	115	6,3/6,3	4,5/6,0	25,0	8,5	9,5	10,0	ТРДН-25000/110
4	2×10	121	10,5	10,5/12,5	10,0	-	10,5	-	ТЦ-10000/110
5	2×16	115	6,6	5,7/7,8	23,0	8,5	9,5	10,0	ТДН-16000/110
6	2×48	115	27,5/27,5	6,0/8,0	20,0	9,5	10,0	10,5	ОРДНЖ-16000/110
7	40	230	27,5	7,0/9,0	31,0	8,5	9,5	10,0	ТДНЖ-40000/220
8	2×16	121	10,5	8,5/10,5	12,0	-	10,5	-	ТД-16000/110
9	2×32	115	6,3/6,3	4,4/6,4	26,0	9,0	10,5	11,0	ТРДН-32000/110
10	2×25	121	10,5	6,5/10,0	14,0	-	10,5	-	ТД-25000/110
11	40	115	27,5	4,2/6,5	27,0	9,0	10,5	11,0	ТДНЖ-40000/110
12	2×32	121	10,5	5,0/7,0	18,0	-	10,5	-	ТД-32000/110
13	2×16	158	6,6	10,0/12,0	28,0	9,0	10,5	11,0	ТДН-16000/150
14	2×6,3	35,0	6,3	3,5/4,5	11,0	7,0	7,5	8,0	ТМН-6300/35
15	2×32	158	6,3/6,3	9,0/11,0	29,0	9,0	10,5	11,0	ТРДН-32000/150
16	40	115	27,5	5,0/7,0	34,0	8,5	9,5	10,0	ТДНЖ-40000/110
17	2×32	115	10,5/10,5	7,0/9,0	33,0	8,5	9,5	10,0	ТРДН-32000/110

Таблиця А2 – Вихідні дані для розрахунку захистів мережи 27.,5 кВ, або 10,5 кВ

№	$Z_{ПА}$	U_A	$I_{P,max}$	$Z_{P,min}$	$I_{K1,A,.min}$	$I_{K2,A, max}$	$I_{K2,AB,max}$	$I_{K4,A, max}$	$I_{K5,B, max}$
	Ом	кВ	А	Ом	кА	кА	кА	А	А
2	4	27,5	550	45,4	6,8	1,7	2,3	450	930
6	4,1	27,5	600	41,7	6,3	1,6	2,2	500	990
7	3,9	27,5	630	39,7	7,0	1,9	2,5	510	890
11	3,7	27,5	750	33,3	7,5	2,2	2,9	540	840
16	3,6	27,5	810	30,9	7,9	2,5	3,1	570	820
4	0,6	10,5	345	16,2	10,1	2,7	3,5	900	970
8	0,67	10,5	320	17,5	9,0	2,6	3,4	850	950
10	0,71	10,5	310	18,1	8,7	2,5	3,3	840	940
12	0,75	10,5	300	18,7	8,4	2,4	3,2	830	930
17	0,82	10,5	290	19,3	7,6	2,3	3,1	820	920

Таблиця А3 – Вихідні дані для розрахунку захистів кабельно – повітряної лінії

№	$\frac{S_{\max}}{S_{\min}}$ МВ А	$Z_{\text{КЛ}}$ Ом	$Z_{\text{ВЛ}}$ Ом	$Z_{\text{Р}}$ Ом	$S_{\text{T1,2}}$ кВ А	$P_{\text{НГ}}$ МВт
0	$\frac{550}{400}$	$0,45 + j0,36$	$0,51 + j1,0$	$0,05 + j0,5$	630	10,0
4	Згідно з розрахунками	$0,4 + j0,4$	$0,52 + j1,0$	$0,06 + j0,5$	250	6,0
8	Згідно з розрахунками	$0,47 + j0,34$	$0,53 + j1,0$	$0,07 + j0,5$	400	12,5
10	Згідно з розрахунками	$0,5 + j0,32$	$0,54 + j1,0$	$0,08 + j0,5$	630	16,5
12	Згідно з розрахунками	$0,51 + j0,3$	$0,55 + j1,0$	$0,09 + j0,5$	1000	20,8
17	Згідно з розрахунками	$0,43 + j0,3$	$0,51 + j1,3$	$0,07 + j0,5$	400	16

Таблиця А4 – Вихідні дані для розрахунку захистів розподільчої мережи

№	S_{\max} S_{\min} , МВ А	$L_{W21}/$ $L_{W22}/$ L_{W23} , км	Пс-21	Пс-22	Пс-23	Пс-24
			$S_{H10} /$ $t_{C3,10}$	$S_{H11} /$ $t_{C3,11}$	$S_{H12} /$ $t_{C3,12}$	$S_{H13} /$ $t_{C3,13}$
			кВА/ с	кВА/ с	кВА/ с	кВА/ с
0	$\frac{550}{400}$	4/ 5/ 3	(2*400+ 630)/ 0,6	(2*630+ 400)/ 0,9	(2*250+ 400)/ 1,1	(3*1000+ 400)/ 0,8
4	Згідно з розрахунками	5/ 6/ 3	(2*630+ 400)/ 0,6	(2*400+ 400)/ 0,8	3*250+ 400)/ 1,2	(2*1000+ 400)/ 0,9
8	Згідно з розрахунками	6/ 7/ 4	(2*400+ 630)/ 0,6	(2*630+ 250)/ 0,7	2*250+ 630)/ 1,3	(1000+ 2*400)/ 1,0
10	Згідно з розрахунками	4/ 6/ 4	(2*400+ 630)/ 0,6	(2*400+ 630)/ 0,6	2*400+ 630)/ 1,1	(2*1000+ 400)/ 0,8
12	Згідно з розрахунками	5/ 6/ 5	(2*250+ 630)/ 0,6	(630+ 1000)/ 0,9	630+ 400)/ 1,4	(3*1000+ 630)/ 0,9
17	Згідно з розрахунками	6/ 5/ 7	(2*630+ 400)/ 0,6	(2*630+ 400)/ 0,8	(2*250+ 400)/ 1,1	(1000+ 400)/ 0,9

Таблиця А5 – Вихідні дані для розрахунку захистів фідера «лінія – трансформатор»

№	Система	Лінія	Трансформатор			
			$I_{K \max} / I_{\min},$ А	$r + jx,$ Ом	$S_T,$ кВА	$U_{HH},$ В
0	3000 / 2000	$1,8 + j2,5$	160	380	6,5	2,7
1	Згідно з розрахунками	$1,5 + j2,0$	250	380	4,5	3,8
3	Згідно з розрахунками	$2,0 + j2,5$	400	380	5,0	7,7
5	Згідно з розрахунками	$2,1 + j3,0$	630	380	6,5	11,0
7 9	Згідно з розрахунками	$2,5 + j3,5$	1000	380	5,5	14,5
13	1 Згідно з розрахунками	$2,0 + j2,5$	250	380	5,0	3,8
14, 15	Згідно з розрахунками	$2,3 + j3,1$	630	380	6,0	11,0

Таблиця А6 – Вихідні дані для розрахунку захистів електродвигунів

№	Система	Кабель		Електродвигун			
	$I^{(3)}_{\min}$, А	s , мм ²	L , м	P_H , кВт	$k_{П}$, в.о	η , в.о	$C_{ДВ}$, мкФ
0	11800	240	100	2000	5,5	0,93	0,12
1	Згідно з розрахунками	95	80	630	5,0	0,91	0,07
3	Згідно з розрахунками	95	80	800	4,5	0,92	0,08
5	Згідно з розрахунками	120	70	1000	5,5	0,94	0,09
9	7 Згідно з розрахунками	120	90	1250	5,0	0,9	0,1
13	1 Згідно з розрахунками	185	95	1600	6,0	0,93	0,11
14, 15	Згідно з розрахунками	240	100	2500	5.0	0,92	0,2

Таблиця А7 – Вихідні дані для розрахунку захистів з використанням автоматичних вимикачів (див. рис. 8.1 та приклади 8.1 – 8.3, 8.12)

№	Система	Трансформатор			Електродвигуни		
	S_K , МВА	S_T , кВА	U_K , %	ΔP_K , кВт	P_H , кВт	$k_{П}$, в.о	η , в.о
0	250	630	5,5	7,6	75	7,0	0,93
1 – 4	200	250	5,5	6,0	50	5,0	0,91
5 – 7	210	400	5,6	8,0	80	4,5	0,92
8 – 10	150	630	6,5	7,6	90	5,5	0,94
11, 12	7 180	400	5,0	8,0	75	5,0	0,9
13, 14	1 220	630	6,5	7,6	80	6,0	0,93
15– 17	230	1000	6,0	10,0	100	5.0	0,92