МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК ВУЗЛА НАВАНТАЖЕННЯ

Методичні вказівки
до виконання курсового проекту з дисципліни “Релейний захист” для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 7.05070106 − «Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії»

Затверджено
Редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 от 07.06.13 г.

Харьков
НТУ «ХПІ»
2015

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Релейний захист” для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 7.05070106 − «Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії» / уклад. Баженов В.М. –Х.: НТУ «ХПІ», 2015. − 52 с.

Укладач: доц. В.М. Баженов

Рецензент: проф. Ю.В. Владимиров

Кафедра автоматизації енергосистем

ВСТУП

Метою розрахунків захистів електроустановок електроенергетичних систем є вибір принципів, пристроїв і визначення параметрів уставок, що забезпечують спрацьовування при внутрішніх ушкодженнях і з витримкою часу для захистів з відносною селективністю − при зовнішніх ушкодженнях (додатково), а також неспрацьовування за відсутності ушкоджень і для захистів з використанням принципу абсолютної селективності − при зовнішньому ушкодженні.

Релейний захист призначається для відключення усіх видів ушкоджень об'єкта захисту з мінімальним доцільним часом.

Основний релейний захист, виконуючи вимоги селективності, швидкодії, чутливості й необхідного рівня надійності (показники безвідмовності, довговічності, ремонтопридатності), забезпечує безаварійність самого об'єкта захисту, тобто запобігає переходу ділянки об'єкта захисту в закритичні режими, локалізує аварію в межах однієї ділянки без псування основного обладнання.

Відмова спрацьовування пристрою релейного захисту є проявом неповноти властивостей надійності спрацьовування при внутрішньому короткому замиканні (к.з.) або технічної досконалості (наприклад, чутливості). Також відмова у відключенні вимикача при к.з. є проявом неповноти його властивостей надійності. Відмова спрацьовування захисту або вимикача є випадковою подією, що виявилася в результаті збігу декількох інших подій або збігу однієї події з неробочим станом захисту або вимикача. Наприклад, відмова спрацьовування захистів при к.з. на лінії ймовірна, якщо основний захист виведений з дії (знаходиться в неробочому стані), а резервний захист несправний через порушення ланцюга відключення. Ступінь резервування відключення к.з. залежить, з одного боку, від імовірності відмови спрацьовування захисту або вимикача, з іншого боку − від імовірності можливих наслідків при прояві відмов.

1. МЕТА Й ОРГАНІЗАЦІЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Мета курсового проекту − розширення й поглиблення знань за курсом «Релейний захист»; 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 – «Релейний захист електроустановок вузла навантаження потужністю ……. МВА». Даний курсовий проект є основою практичної підготовки для спеціальності 7.05070106 − «Системи управління виробництвом та розподілом електроенергії». 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 електропередач, навантажень, електричних апаратів і провідників, струмів короткого замикання живильних систем та ін. У результаті виконання курсового проекту студент повинен

ЗНАТИ:

- вторинні кола захисту електроустановок вузла навантаження;
- основні характеристики і принципи дії пристроїв релейного захисту;
- принципи виконання та вибір уставок засобів захисту: струмове відсічення лінії з однобічним живленням, диференційний захист трансформатора на реле типу РНТ та ДЗТ – 11, мікропроцесорний диференційний захист трансформатора, захист трансформатора від перевантаження, захист фідера "лінія − трансформатор".

ВМІТИ:

- виконувати основні вимоги до релейного захисту електроустановок вузла навантаження;
- вибирати параметри пристроїв релейного захисту.

Виконується курсовий проект згідно з планом (табл. 1.1)

Таблиця 1.1 − План виконання курсового проекту

№ з/п	Зміст	Термін виконання (тиждень)	Кількість годин на виконання
1	2	3	4
1	Вивчення вихідних даних до проекту	1	2
2	Вибір захистів. Релейний захист високовольтних ліній. Релейний захист трансформаторів	2	4
3	Розрахунки струмів нормальних та аварійних режимів	3−4	6
4	Струмове відсічення лінії. Диференційний захист трансформатора на реле РНТ та ДЗТ	5−6	6
5	Мікропроцесорний диференційний захист трансформатора. Максимально струмовий захист трансформатора. Струмовий захист трансформатора від перевантаження	7−9	9
6	Захист фідера «лінія−трансформатор»	10−11	6
7	Структурні схеми традиційних та цифрових захистів. Принципові схеми захистів. Оформлення графічного матеріалу	12−13	6
8	Оформлення пояснювальної записки курсового проекту та його захист	14−15	6
		Всього	45

2. ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Спроектувати релейний захист електроустановок вузла навантаження потужністю …..... МВА у такій послідовності:

- визначити види ушкоджень і ненормальних режимів роботи електроустановок;
- розглянути правила будови електроустановок [1] і сучасні вказівки з виконання захистів цих установок;
- вибрати захист й надати стислу характеристику його дії;
- зробити розрахунки струмів і напруг до вибору параметрів налаштування пристроїв релейного захисту;
- виконати розрахунки параметрів пристроїв релейного захисту;
- розробити схеми релейного захисту електроустановок вузла навантаження;
- зробити відповідні висновки з розроблених захистів, їхньої відповідності основним вимогам (селективності і чутливості).

Зразок листа завдання на курсовий проект представлено у додатку А.

Вихідними даними є додаток Б (номер варіанта завдання призначається керівником курсового проекту): потужність двотрансформаторної підстанції вузла навантаження − S, МВА; вища ($U_{\text{ВН}}$) та нижча ($U_{\text{НН}}$) напруги (кВ) підстанції; опір енергосистеми, що живить, у максимальному (X_{cmax}) й мінімальному (X_{cmin}) режимах роботи; довжина високовольтних ліній від підстанцій енергосистеми до вузла навантаження (L, км); напруга короткого замикання у відсотках для силових трансформаторів вузла навантаження в крайніх ($U_K^{\%}{}_{\min}$ й $U_K^{\%}{}_{\max}$) і середньому ($U_K{}^{\%}{}_{\text{ПОРІВ}}$) положеннях пристрою регулювання коефіцієнта трансформації під навантаженням (РПН); коефіцієнт однотипності ($K_{\text{ОДН}}$) трансформаторів струму, використовуваних для диференційного захисту трансформаторів; тип силових трансформаторів вузла навантаження. Курсовий проект «Релейний захист електроустановок вузла навантаження потужністю …..... МВА» містить пояснювальну записку й креслення. Обсяг пояснювальної записки становить 25−30 сторінок стандартного формату А4 (297×210 мм). Графічна частина − креслення стандартного формату А1 (594×841 мм), на якому розміщується спроектована електрична принципова схема захистів (ланцюги змінного

й постійного струму).

3. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

3.1 Вступ

У цьому розділі необхідно стисло (одна сторінка) викласти завдання курсового проекту, вихідні дані, види ушкоджень і ненормальних режимів роботи електроустановок, призначення, основні функції й вимоги до релейного захисту електроустановок вузла навантаження.

3.2 Вибір захистів

Студент відповідно до правил [1] та довідників [3, 4] визначає вказівки для захистів конкретних електроустановок свого проекту й вибирає види захистів.

Нижче наведені приклади загальних вказівок і вибору захистів.

Для радіальних ліній 6−10 кВ із однобічним живленням досить розглянути струмові або комбіновані струмові захисти, які забезпечують і далеке резервування. Для відповідальних ліній малої довжини вибирають поздовжні диференційні струмові захисти, а струмові захисти встановлюють як резервні. Можна застосувати струмовий захист із блокуванням по допоміжних проводах. Конкретні вказівки на вибір принципів захистів лінії надано у Правилах будови електроустановок [1].

Мережі 20−35 кВ мають той же режим роботи нейтралі, що й мережі 6−10 кВ. Тому захисти ліній 20−35 кВ повинні реагувати на аналогічні ушкодження. Захисти від міжфазних к.з. виконують двофазними, а від замикань на землю − працюють переважно на сигнал. Для одиночних ліній з однобічним живленням застосовують струмові ступеневі захисти. З метою швидкого відключення при важкому ушкодженні, коли залишкова напруга на шинах підстанції при трифазних к.з. у лінії менше 60 % від номінальної напруги, виконують неселективні відсічення в циклах АПВ. У мережах 20−35 кВ, що мають кільцеву конфігурацію або паралельні ланцюги з наявністю двох джерел живлення, розглядаються ступеневі струмові спрямовані захисти або дистанційні захисти. Додатково на паралельних ланцюгах

необхідний абсолютно селективний захист − поперечна диференціальна струмова спрямована. Для посилення спрямованих захистів (у випадку відмови ланцюгів напруги) встановлюють струмові ненаправлені відсічення від багатофазних к.з.

Мережі 110−220 кВ працюють із ефективно−заземленими нейтралями. Тому захист виконують як від багатофазних, так і від однофазних к.з.: багатоступеневі дистанційні захисти з різними характеристиками органів опору й спрямованих струмових захистів нульової послідовності. Далеке резервування здійснюється другим і наступним ступенями цих захистів, а ближнє − установленням двох комплектів захистів, причому другий має спрощене виконання з меншим числом ступенів, наприклад, з першої й другої. Якщо встановлюється один комплект захисту, що включає дистанційний захист і струмовий спрямований захист нульової послідовності, то необхідно поділити на дві частини по вимірювальним ланцюгам і по ланцюгам оперативного струму. В одну з них входять I й II ступінь дистанційного й IV ступінь нульового спрямованого захисту, а в другу − відповідно III ступінь дистанційної й I, II, III ступені нульового захисту. У всіх випадках для лінії 110 кВ і вище додатково встановлюються струмові ненаправлені відсічення від багатофазних к.з. На підстанціях передбачають пристрої резервування при відмові вимикачів (УРОВ).

У випадках, коли за умовами збереження стійкої роботи електричної системи й відповідальних споживачів потрібна дія захисту без витримки часу при ушкодженні на всій довжині лінії (на шинах станцій і підстанцій залишкова напруга при к.з. у лінії менше 0,6 $U_{ном}$), ступеневі захисти доповнюють пристроями високочастотного (ВЧ) блокування або використовують у якості основний − окремий поздовжній захист із абсолютною селективністю: диференційно−фазний ВЧ захист із порівнянням фаз векторів струмів прямої і зворотної послідовностей по кінцях лінії, або спрямований захист із передачею сигналів, що блокують (БС), по ВЧ каналу високовольтної лінії.

На коротких ділянках (особливо кабельних) переважає поздовжній диференційний захист із порівнянням струмів прямої і зворотної послідовностей по кінцях лінії, що захищає, з організацією каналу по фізичній парі кабелю зв’язку із циркуляцією струмів промислової частоти.

Для мереж усіх напруг рекомендується установлення струмових ненаправлених відсічень, а для паралельних ланцюгів − ще й поперечний спрямований захист із порівнянням знаків потужності.

На опорних підстанціях [2, 8] у якості основного встановлюється високочастотний захист, а в якості резервного − дистанційний захист.

На відпаяних підстанціях для захисту ліній 110−220 кВ від багатофазних к.з. застосовують трифазний спрямований струмовий захист із витримкою часу. Реле струму й напрямку потужності підключається до ланцюгів трансформаторів струму за схемою трикутника з боку вищої напруги 110−220 кВ знижувального трансформатора. Обмотки напруги реле напрямку потужності підключають до трансформаторів напруги з боку шин 35−6 кВ, час спрацьовування захисту вибирається на ступінь більше, ніж час дії другого ступеня дистанційного захисту на суміжній опорній або транзитній підстанції.

На відпаячних і транзитних підстанціях вузла навантаження залізниць змінного струму застосовують захист мінімальної напруги на стороні 27,5 кВ. Такий же захист рекомендується для транзитних підстанцій вузла навантаження залізниць однофазного змінного струму, що з метою виключення підживлення к.з. на лініях 110−220 кВ через контактну мережу й знижувальний трансформатор відключає уведення з боку 27,5 кВ.

Для збірних шин 27,5−110−220 кВ рекомендується диференційний струмовий захист. Крім цього, шини 27,5 кВ обладнуються захистом мінімальної напруги з витримкою часу 1,5−4 с, що є резервною для фідерів, які відходять, у випадку відмови захистів і вимикачів. Секційні вимикачі в перемичці 110−220 кВ мають струмові захисти від багатофазних к.з., які резервують диференційний струмовий захист шин і перші ступені захистів приєднань, підключених до цих шин. Від однофазних к.з. на землю використовується триступеневий струмовий захист нульової послідовності. Секційні вимикачі шин 6−35 кВ обладнуються захистом від багатофазних к.з. у вигляді струмового відсічення з витримкою часу, в розподільних мережах 6−220 кВ застосовується пристрій резервування при відмовах вимикачів.

Захист знижувальних трансформаторів варто розглядати для підстанцій (ПС) 110−220 кВ. На ПС можуть бути встановлені один або два трансфор-

матори. За наявності двох трансформаторів у роботі перебувають обидва, знаходження одного з них у резерві не передбачається. Підстанція має живлення з сторони вищої напруги. На підстанціях із триобмотковими трансформаторами можлива як наявність, так і відсутність живлення з боку середньої напруги. На стороні середньої напруги 35 кВ може бути як паралельна, так і роздільна робота трансформаторів, на стороні нижчої напруги 6−10 кВ − тільки роздільна. Навантаження, що живиться від підстанції, з сторони нижчої напруги 6−10 кВ може містити синхронні двигуни, до шин нижчої напруги можуть бути приєднані синхронні компенсатори.

Трансформатори мають убудовані пристрої регулювання під навантаженням (РПН) з боку вищої напруги. На підстанціях вузла навантаження рекомендуються наступні засоби автоматики:

- пристрій АПВ із пуском від ланцюгів невідповідності – на вимикачах вищої (за наявності живлення на трансформаторі з боку середньої напруги) і середньої напруг триобмоткових трансформаторів;
- пристрій АПВ із пуском від захисту – на вимикачах з боку нижчої напруги двообмоткових і триобмоткових трансформаторів;
- пристрій АВР − на секційних вимикачах з боку нижчої напруги.

Для знижувальних трансформаторів вузла навантаження 110−220 кВ рекомендуються наступні види захистів:

- ✓ диференційний струмовий захист;
- ✓ газові захисти трансформатора і його пристрою РПН;
- ✓ швидкодіюче струмове відсічення;
- ✓ максимальні струмові захисти з комбінованим пуском напруги від зовнішніх багатофазних к.з;
- ✓ струмовий захист нульової послідовності від замикань на землю (з.н.з.) з боку вищої напруги;
- ✓ максимальний струмовий захист від перевантаження.

На підставі раніше викладених вказівок і джерел [5,6,7,8] вибираються види захистів для конкретних ліній і знижувальних трансформаторів. Наприклад, для лінії 110 кВ вибираються наступні види захистів;

- диференційний фазний високочастотний захист (ДФЗ) (основний швидкодіючий захист від усіх видів ушкоджень на лінії);
- струмове відсічення (ТО) (основний захист від багатофазних

к.з.);

- багатоступеневий струмовий спрямований захист нульової послідовності (ТНЗНП) (основний і резервний захист від к.з. на землю);
- багатоступеневий дистанційний захист (ДЗ) із блокуваннями при хитаннях (БК) і несправностях ланцюгів напруги (БН) (основний і резервний захист від к.з. на лінії, що захищає, і суміжних електроустановках);
- прийом і передача команд телеприскорення в резервних захистах при к.з. на лінії (виконуються на апаратурах АНКА−АВПА).

Для знижувального трансформатора вибираються наступні види захистів:

- диференційний струмовий захист (основний швидкодіючий захист);
- газовий захист трансформатора (ГЗ) (основний захист трансформатора з масляним заповненням від усіх видів внутрішніх ушкоджень, що супроводжуються виділенням газу, прискореним перетіканням масла з бака в розширник, а також від витоку масла з бака трансформатора);
- газовий захист пристрою РПН (ГЗ РПН) (те ж, але для бака пристрою РПН);
- струмове відсічення (БТО) (основний швидкодіючий захист від міжфазних к.з. на стороні вищої напруги);
- максимальний струмовий захист на стороні вищої напруги (МСЗ ВН) (резервний захист від ушкоджень у трансформаторі й від надструмів при зовнішніх к. з.);
- максимальний струмовий захист на стороні нижчої напруги (МСЗ НН) (резервний захист від к. з. на шинах нижчої напруги і для резервування відключень к.з. на елементах, приєднаних до цих шин);
- захист від перевантаження (П).

Нижче наведені приклади розрахунків.

3.3 Струмове відсічення лінії з однобічним живленням

Максимальні фазні відсічення без витримки часу (відсічення миттєвої дії) за умови селективності не повинні діяти за межами захищаючої лінії, при будь−яких видах к.з. і будь−яких режимах роботи системи. Для цього струм спрацьовування зазначених захистів ($I_{СЗ}$) повинен бути відбудова-

ний, тобто бути більше розрахункового струму ($I_{РОЗР}$) − максимального струму в лінії при к.з. − кожного виду в її кінці й максимальному режимі роботи системи, а також кидків струмів намагнічування силових трансформаторів, підключених до лінії

$$I_{СЗ} \geq K_{Н} \cdot I_{РОЗР}, \tag{3.1}$$

де $K_{Н}$ − коефіцієнт надійності, що враховує похибку у розрахунку струмів к.з. і похибку у струмі спрацьовування реле; $I_{РОЗР}$ − розрахунковий струм у місці установки захисту, приймається найбільший з наступних струмів; $I''^{(3)}_{max}$ – надперехідний струм при трифазному к.з. наприкінці лінії у максимальному режимі; $I''^{(1)}_{max}$ – те ж, але однофазного к.з. на землю; $I_{НАМ}$ – сумарний кидок струму намагнічування трансформаторів, установлених на прийомній підстанції.

Зони дії струмового відсічення визначаються при мінімальних струмах у лінії, що мають місце при двофазних к.з. і мінімальному режимі роботи системи.

Приклад. До лінії 110 кВ довжиною 16 км приєднана підстанція вузла навантаження із двома знижувальними трансформаторами потужністю 2х40 МВА. Опір системи для струмів прямої послідовності в максимальному режимі X_{Cmax}=4 Ом, опір системи для струмів нульової послідовності $X_{ОС}$=8,5 Ом, опір системи для струмів прямої послідовності в мінімальному режимі X_{Cmin}=6,1 Ом. Кидок струму намагнічування визначається за сумарним номінальним струмом трансформаторів ПС:

$$I_{НОМ} = (3 \div 5) \cdot \Sigma I_{НОМТР} = \frac{4 \cdot S_{НОМТР} \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot U_{СРВН}}; \tag{3.2}$$

$$I_{НОМ} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 40000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 1608 \text{ А}.$$

З розрахунків струмів к.з. відомо

$$I''^{(3)}_{max} = 6390 \text{ А}.$$

Оскільки $X_{ОС}$>X_{Cmax} (8,5 Ом > 4 Ом), то $I''^{(3)}_{max} > I''^{(1)}_{max}$. Розрахунковим є максимальний струм у лінії при к.з. на шинах приймальні ПС:

$$I_{СЗ} = K_{Н} \cdot I''^{(3)}_{max}; \qquad (3.3)$$

$$I_{СЗ} = 1{,}25 \cdot 6390 = 7980 \text{ А}.$$

Зони дії струмового відсічення лінії слід визначати графічним й аналітичним методами. Графічно для визначення максимальної зони дії відсічення ($l_{відс.max}$) обчислюються максимальні струми при трифазному к.з., а для мінімальної зони відсічення ($l_{відс.min}$) – мінімальні струми при двофазному к.з. у декількох точках лінії. За обчисленими струмами будуються криві залежності струмів к.з. у лінії від її довжини. За точками перетинання прямої, що відповідає струму спрацьовування відсічення, із цими кривими визначаються зони дії відсічень.

Аналітично зони дії відсічення визначаються з умови рівності струму при к.з. на лінії наприкінці зони дії відсічення струму спрацьовування відсічень. Максимальна зона дії відсічення при трифазному к.з. у максимальному режимі:

$$l^{\%}_{відс.\ max} = \frac{100}{X_{УД} \cdot l}\left(\frac{U_{СРВН}}{I_{СЗ} \cdot \sqrt{3}} - X_{Cmax}\right); \qquad (3.4)$$

$$l^{\%}_{відс.max} = \frac{100}{0{,}4 \cdot 16}\left(\frac{115}{1{,}73 \cdot 7{,}98} - 4\right) = 67{,}7\ \%.$$

Мінімальна зона дії відсічення при двофазному к.з. у мінімальному режимі системи:

$$l^{\%}_{відс.\ min} = \frac{100}{X_{уд} \cdot l}\left(\frac{U_{СРВН}}{I_{СЗ} \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - X_{cmin}\right); \qquad (3.5)$$

$$l^{\%}_{відс.min} = \frac{100}{0{,}4 \cdot 16}\left(\frac{115}{1{,}73 \cdot 7{,}98} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 6{,}1\right) = 17{,}3\ \%.$$

3.4 Диференційний захист трансформатора на реле типу РНТ

Приклад. Розглядається диференціальний захист трансформатора ТРДН–40000/115+16 % кВ/11 кВ із напругою к.з.: $U_{к\,max}$=10%; $U_{к\,min}$=8,5%; $U_{кСР}$=9,5%. Опір системи для струмів прямої послідовності у всіх режимах $X_С$ =15 Ом, а для струмів нульової послідовності $X_{ОС}$=30 Ом.

Для трансформаторів із РПН, у яких при «$-\Delta U_{\text{рпн}}$» напруга к.з. $U_{\text{к}}^{\%}$ менше середньої, а при «$+\Delta U_{\text{рпн}}$» − більше середнього значення опору, визначаються за формулами:

$$X_{\text{тр СР}} = \frac{U_{\text{к СР}} \cdot U_{\text{СР ВН}}^2}{100 \cdot S_{\text{тр}}}; \tag{3.6}$$

$$X_{\text{тр min}} = \frac{U_{\text{к min}} \cdot U_{\text{min ВН}}^2}{100 \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{U_{\text{к min}} \cdot \left[U_{\text{СР ВН}} \cdot \left(1 - \Delta U_{*\,\text{рпн}}\right)\right]^2}{100 \cdot S_{\text{тр}}}; \tag{3.7}$$

$$X_{\text{тр max}} = \frac{U_{\text{к max}} \cdot U_{\text{max ВН}}^2}{100 \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{U_{\text{к max}} \cdot \left[U_{\text{СР ВН}} \cdot \left(1 + \Delta U_{*\,\text{рпн}}\right)\right]^2}{100 \cdot S_{\text{тр}}}; \tag{3.8}$$

де $U_{\text{ВН}}$ − напруга на стороні ВН, кВ; $S_{\text{тр}}$ − номінальна потужність трансформатора, МВ А, (для трансформаторів з розщепленням типу ТРДН − це половина потужності, тобто $0{,}5S_{\text{НОМТР}}$); $+\Delta U_{*\,\text{рпн}}$ − половина повного (сумарного) діапазону регулювання напруги, в.о.

$$X_{\text{тр min}} = \frac{8{,}5 \cdot [115 \cdot (1 - 0{,}16)]^2}{100 \cdot 0{,}5 \cdot 40} = 39{,}7 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{тр max}} = \frac{10 \cdot [115 \cdot (1 + 0{,}16)]^2}{100 \cdot 0{,}5 \cdot 40} = 89 \text{ Ом}.$$

Максимальні значення струмів к.з.:

$$I_{\text{к max ВН}}^{(3)} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot (X_{\text{с max}} + X_{\text{тр min}})}; \tag{3.9}$$

$$I_{\text{к max ВН}}^{(3)} = \frac{110000}{\sqrt{3} \cdot (15 + 39{,}7)} = 1163 \text{ А};$$

$$I_{\text{к max НН}}^{(3)} = I_{\text{к max ВН}}^{(3)} \cdot \frac{U_{\text{СР ВН}}\left(1 - \Delta U_{*\,\text{рпн}}\right)}{U_{\text{НН}}}; \tag{3.10}$$

$$I_{\text{к max НН}}^{(3)} = 1163 \cdot \frac{115 \cdot (1 - 0.16)}{11} = 10213 \text{ А}.$$

Мінімальне значення струмів к.з.:

$$I^{(3)}_{\text{к}\min\text{ВН}} = \frac{U_{\max\text{ВН}}}{\sqrt{3}\cdot(X_{\text{С}\min} + X_{\text{ТР}\max})}\ ; \qquad (3.11)$$

$$I^{(3)}_{\text{к}\min\text{ВН}} = \frac{126000}{\sqrt{3}(15+89)} = 700\ \text{А};$$

$$I^{(3)}_{\text{к}\min\text{НН}} = I^{(3)}_{\text{к}\min\text{ВН}}\frac{U_{\max\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}}\ ; \qquad (3.12)$$

$$I^{(3)}_{\text{к}\min\text{НН}} = 700\cdot\frac{126}{11} = 8022\ \text{А}.$$

Розглядається диференційний захист на реле типу РНТ (без гальмування).

Первинний струм спрацьовування захисту $I_{\text{СЗ}}$ вибирається за двома умовами. Умова відбудування від струму небалансу:

$$I_{\text{СЗ}} \geq K_{\text{Н}}\cdot I_{\text{НБ}max} \geq K_{\text{Н}}\cdot\left(K_{\text{АПЕР}}\cdot K_{\text{ОДН}}\cdot f_{\text{i}} + \Delta U_{*\text{РПН}}\right)\cdot I_{\text{к}\max,} \qquad (3.13)$$

де $K_{\text{Н}}$ – коефіцієнт надійності, дорівнює 1,3; $K_{\text{АПЕР}}$ – коефіцієнт аперіодичної складової, дорівнює 1; $K_{\text{ОДН}}$ – коефіцієнт однотипності трансформаторів струму, дорівнює 1; f_{i} – коефіцієнт десятивідсоткової похибки трансформаторів струму, дорівнює 0,1; $\Delta U_{*\text{РПН}} = 0{,}16$; $I_{\text{к}\max,}$ – періодична складова в початковий момент часу при розрахунковому зовнішньому трифазному к.з.

Умова відбудування від кидка струму намагнічування трансформатора:

$$I_{\text{СЗ}} \geq K_{\text{Н}}\cdot I_{\text{НОМ}\,\text{тр}}. \qquad (3.14)$$

Первинний струм трансформатора, що відповідає потужності обмотки ВН:

$$I_{\text{ном тр}110} = \frac{S_{\text{ном тр}}}{\sqrt{3}U_{\text{СР ВН}}}; \qquad (3.15)$$

$$I_{\text{ном тр}110} = \frac{40000}{\sqrt{3}\cdot 115} = 201\,\text{А}.$$

Струми спрацьовування захисту за формулами (3.13–3.14):

$$I_{\text{СЗ}} \geq 1{,}3\cdot(0{,}1+0{,}16)\cdot 1163 \geq 393\,\text{А}; \qquad (3.16)$$

$$I_{СЗ} \geq 1{,}3 \cdot 201 \geq 261 \text{ А}.$$

Струм спрацьовування реле (вторинний струм):

$$I_{СР} = \frac{I_{СЗ\,max} \cdot \sqrt{3}}{n_I}; \qquad (3.17)$$

$$I_{СР} = \frac{393 \cdot \sqrt{3}}{750/5} = 4{,}5 \text{ А}.$$

Розрахунковий струм у реле при к.з. за трансформатором:

$$I_{Р\,min} = \frac{1{,}5 \cdot I^{(3)}_{min\,ВН}}{n_I}; \qquad (3.18)$$

$$I_{Р\,min} = \frac{1{,}5 \cdot 700}{150} = 7{,}0 \text{ А}.$$

Коефіцієнт чутливості

$$K_Ч = \frac{I_{Р\,min}}{I_{СР}}; \qquad (3.19)$$

$$K_Ч = \frac{7{,}0}{4{,}5} = 1{,}55 < 2.$$

що неприпустимо. Для підвищення чутливості необхідно застосувати диференціальний захист із гальмуванням, наприклад, на реле ДЗТ − 11.

3.5 Диференційний захист трансформатора на реле типу ДЗТ − 11

Приклад. Розраховується диференційний захист на реле типу ДЗТ−11. Для цього реле визначальною є умова відбудування від кидків струму намагнічування трансформатора. При найбільшому значенні коефіцієнта відбудування $K_Н$= 1,5:

$$I_{СЗ} \geq 1{,}5 \cdot 201 = 301 \text{ А}; \quad I_{СР} \geq \frac{301 \cdot \sqrt{3}}{150} = 3{,}48 \text{ А}; \quad K_Ч = \frac{7{,}0}{3{,}48} = 2{,}01 > 2.$$

Кількість витків робочої обмотки:

$$w_Р = \frac{F_{СР}}{I_{СР}}, \qquad (3.20)$$

$$w_Р = \frac{100}{3{,}48} = 28{,}7 \text{ вит.}$$

Для підвищення чутливості приймаємо $w_Р$ = 30 витків.

Складова струму небалансу через нерівність прийнятих (30 вит.) і розрахункових (28,7 вит.) приймається із запасом, що дорівнює 5 % максимального струму при зовнішньому к.з.:

$$I''_{НБ} = 0{,}05 \cdot 1163 = 58 \text{ А}.$$

Тоді сумарний струм небалансу:

$$I_{НБ} = I'_{НБ} + I''_{НБ}; \tag{3.21}$$

$$I_{НБ} = (0{,}1 + 0{,}16) \cdot 1163 + 58 = 360 \text{ А}.$$

Кількість витків гальмової обмотки:

$$w_Т \geq \frac{K_Н \cdot I_{НБ} \cdot w_Р}{I^{(3)}_{к\,max\,ВН} \cdot \text{tg}\,\alpha}, \tag{3.22}$$

де $I^{(3)}_{к\,max\,ВН}$ − максимальний струм зовнішнього к. з. на тому боці трансформатора, де включена гальмівна обмотка; $\text{tg}\,\alpha$ − тангенс кута нахилу гальмівної характеристики.

$$w_Т \geq \frac{1{,}5 \cdot 360 \cdot 30}{1163 \cdot 0{,}8} \geq 17{,}4 \text{ вит.}$$

Приймаємо $w_Т = 18$ витків.

Гальмівна обмотка $w_Т$ включена з боку НН, щоб виключити гальмування при внутрішніх к.з., яке живиться тільки з боку ВН. Більші вимоги до чутливості основних захистів силових трансформаторів при всіх видах к.з. обумовили подальший розвиток реле ДЗТ на основі нових принципів з використанням мікропроцесорного релейного захисту.

3.6 Мікропроцесорний диференційний захист трансформатора

Диференційний захист трансформаторів включається на 3 комплекти трансформаторів струму, розташованих з трьох сторін трансформатора. Вирівнювання вторинних струмів за величиною і фазою проводиться захистом автоматично розрахунковим (програмним шляхом), для чого задаються загальні уставки виходячи з параметрів силового трансформатора і трансформаторів струму. Це дає можливість зібрати трансформатори струму з усіх боків у «зірку» з метою зниження навантаження вторинних

ланцюгів і зменшення струму небалансу. Струм нульової послідовності також розраховується програмним шляхом, що забезпечує незалежність характеристик захисту від режиму нейтралі трансформатора. Захист має гальмівну характеристику пропорційного типу (відсоткове гальмування), за рахунок чого струм спрацювання захисту збільшується пропорційно збільшенню струму к.з. з метою надійної відбудови від наскрізних струмів к.з. і виключення зайвих спрацювань. Гальмівним струмом є найбільший струм, який підводять до реле по кожній фазі окремо. Гальмівна характеристика складається з чотирьох ділянок (рис. 3.1), де *I*д − диференційний струм; *I*г − гальмовий струм, рівний найбільшому з трьох вторинних струмів): *AB* − початкова ділянка, 1 ступінь диференціального струму (струм спрацювання захисту) незалежного від гальмівного струму; *BC* − перша гальмівна характеристика при малих струмах к.з. до 2,5 *I*н, коли похибка трансформаторів струму мала. У точці *B* перша гальмівна характеристика перетинається з характеристикою початкової ділянки. Нахил *P1* даної характеристики починається від початку координат; *CD* − друга гальмівна характеристика при великих струмах к.з. понад 2,5 *I*н, коли великі похибки трансформаторів струму, що враховується великим нахилом *P2*; *DE* − 2 ступінь диференційного струму незалежно від гальмівного струму.

Для відбудови диференційного захисту від кидків струму намагнічування при подачі напруги застосовується блокування струмом другої гармоніки, що дає підвищення чутливості захисту за рахунок вибору струму спрацьовування диференційного захисту значно менше номінального струму трансформатору. Для запобігання помилкової роботи диференційного захисту від підвищеного струму намагнічування при перезбудженні (подача напруги на обмотку трансформатора значно вище номінального) застосовується блокування за струмом п’ятої гармоніки.

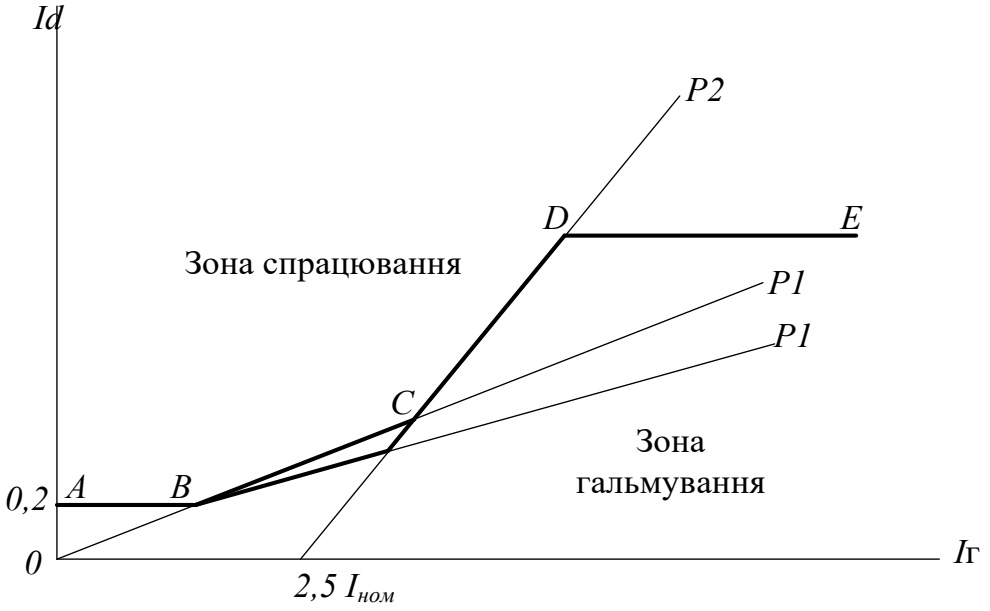

Рисунок 3.1 – Характеристика диференційного захисту

Реле градуйоване у відносних одиницях до номінального вторинного струму трансформаторів струму сторони ВН, прийнятої за основну. Вторинні струми інших сторін перераховуються до основної стороні автоматично. Реле відбудовані від кидка струму намагнічування. При виборі коефіцієнта гальмування *P1* першої ділянки характеристики в зоні малих струмів к.з. вважається, що похибка трансформаторів струму з урахуванням перехідних процесів при зовнішніх к.з. не перевищує 5 %. При виборі коефіцієнта гальмування *P2* другої ділянки характеристики в зоні великих струмів к.з. вважається, що похибка трансформаторів струму становить 10 %, що враховується коефіцієнтом 1,5. Струм спрацьовування другого ступеня (на рис. 3.1, *DE*), диференційного відсічення, що не залежить від гальмування, відбудовується від струму небалансу при наскрізному струмі к.з. з урахуванням коефіцієнта рівного 3 (підвищення похибки трансформаторів струму), і за необхідності відбудови від кидка струму намагнічування з коефіцієнтом відбудови, рівним 6. Струм блокування за 2-ю гармонікою встановлюється заводом – 12 %. Враховуючи високу точність роботи мікропроцесорного захисту, коефіцієнти запасу при виборі уставок приймаються рівними 1,2.

Приклад. Розглядається диференціальний захист трансформатора ТРДН−25000/115+16%/6.3 кВ із напругою короткого замикання: U_{Kmax}=11,72 %; U_{Kmin}=9,84 %; U_{KCP}=10,5 %. Мінімальний струм к.з. з боку електричної системи 3 кА. Максимальний і мінімальний струми к.з. за трансформатором 832 А та 480 А.

До загальних уставок мікропроцесорного захисту відносять номінальні параметри трансформаторів струму і силового трансформатора: номінальний вторинний струм фазних трансформаторів струму $I_{\text{ВН}} = I_{\text{НН}} = 5\ A$; номінальний первинний струм трансформаторів струму сторони ВН $I_{\text{ном ВН}} = 300\ A$ (паралельне з'єднання двох обмоток по 600/5); номінальний первинний струм трансформаторів струму з боку навантаження $I_{\text{ном НН1}} = I_{\text{ном НН2}} = 3000$ А.

Номінальна потужність трансформатора по обмотках:

$$S_{\text{ном ВН}} = 25000\ \text{кВА};\ \ S_{\text{ном НН1}} = S_{\text{ном НН2}} = 12500\ \text{кВА}.$$

Номінальна напруга трансформатора по обмотках: $U_{\text{ном ВН}} = 115$ кВ (середнє положення), $U_{\text{ном НН1}} = U_{\text{ном НН2}} = 6{,}3$ кВ.

Група з'єднань трансформатора: ВН − зірка, НН − трикутник (Yd11: d11). Базисний струм (базисний коефіцієнт за струмом) – це відношення номінального струму обмоток трансформатора до номінального струму трансформатора струму:

$$\text{сторона ВН}\ \ I_{b1} = I_{\text{ВН ср}} / I_{\text{ном ВН}} = 126/300 = 0{,}42;$$

$$\text{сторона НН}\ \ I_{b2} = I_{b3} = I_{\text{НН ср}} / I_{\text{ном НН}} = 1147/3000 = 0{,}382.$$

Уставка першого ступеня, набирається на реле (у відносних одиницях):

$$I_d >= I_D \cdot I_{b1}, \tag{3.23}$$

де I_D − струм спрацьовування I ступеня, приведеної до номінального струму трансформатора, за рекомендацією заводу більше равно 0,2; I_{b1} − базисний струм сторони ВН трансформатора.

Тоді уставка, яку набираємо на реле: $I_d >= 0{,}2 \cdot 0{,}42 = 0{,}084$. Мінімальна уставка, яка може бути виконана на реле, дорівнює 0,15. Тому приймаємо

$I_d >= 0{,}15$, що становить: $I_D >= \frac{0{,}15}{0{,}42} = 0{,}36$ від номінального струму трансформатора.

З результатів розрахунків видно, чому реле захисту підключено до 2 паралельно з'єднаних трансформаторів струму. При одному трансформаторі струму номінальний струм дорівнює 600 і уставка захисту збільшується вдвічі (0,72 від номінального струму трансформатора), що істотно загрубляє захист.

Перша гальмівна характеристика оцінюється коефіцієнтом гальмування *P1* (нахил характеристики в зоні малих струмів до $2{,}5 \cdot I_{\text{ном}}$ трансформаторів струму з малими похибками):

$$P1 = K_{\text{з}} \cdot (K' + K''), \tag{3.24}$$

$$P1 = 1{,}2 \cdot (5 + 16) = 25{,}2\ \%,$$

де $K_{\text{з}}$ – коефіцієнт запасу, рівний 1,2; K' – похибка *ТА*, приймається для малих струмів рівною 5 %; K'' – діапазон регулювання коефіцієнта трансформації трансформатора, що захищається у % рівний сумарному діапазону сторін, дорівнює 16 %. На реле *P1* може регулюватися від 20 до 50 %. Приймаємо *P*1 = 25 %.

Друга гальмівна характеристика оцінюється коефіцієнтом гальмування Р2 (нахил характеристики в зоні великих струмів КЗ більше 2,5 номінального струму):

$$P2 = K_{\text{з}} \cdot \left(K_{\text{ап}} \cdot K_1' + K''\right), \tag{3.25}$$

$$P2 = 1{,}2 \cdot (1{,}5 \cdot 10 + 16) = 37\,\%,$$

де $K_{\text{ап}}$ – коефіцієнт враховує зростання похибки за рахунок аперіодичної складової, приймаємо 1,5; K_1' – похибка трансформаторів струму, приймається для великих наскрізних струмів 10 % за умови вибору трансформаторів струму по кривим 10 % – ї похибки.

*P*2 може регулюватися в межах від 40 до 100 %. Приймаємо *P*2 = 40 %. Уставка другого ступеня диференційного струму вибирається за максимумом з двох умов.

Перша умова – відбудова від максимального струму небалансу при наскрізному струмі к.з.:

$$I_D >>= K_з \cdot \left(K'_{ап} \cdot K'_1 + K''\right) \cdot I_{к.з.max} \qquad (3.26)$$

$$I_D >>= 1{,}2(3 \cdot 0{,}1 + 0{,}16) \cdot 832 = 460\ A,$$

де $K'_{ап}$ – коефіцієнт ураховує зростання похибки за рахунок аперіодичної складової, приймається рівним 3; $I_{к.з.max}$ – наскрізний струм к.з. в максимальному режимі на стороні низької або середньої напруги.

Друга умова – відбудова від кидка струму намагнічування:

$$I_D >>= 6 \cdot I_{ном}; \qquad (3.27)$$

$$I_D >>= 6 \cdot 126 = 756\ \text{А}.$$

З двох умов вибирається найбільшая $I_D = 756\text{А}$.

Обчислюється уставка другого ступеня захисту:

$$I_d >>= \frac{I_D}{I_{ном\,ВН}}; \qquad (3.28)$$

$$I_d >>= \frac{756}{300} = 2{,}52.$$

Отримане значення округлюється до найближчого цілого числа, яке і задається в якості уставки $I_d >>= 3$. Дана уставка може регулюватися в межах від 1 до 30 $I_{ном\,ВН}$. Блокування захисту струмом другої гармоніки застосовується для відбудови від кидків струму намагнічування. Уставка оцінюється відношенням струму блокування $I_D(2f_н)$ до основного диференційного струму і регулюється в межах 10–50 %. Заводом пропонується: $I_D(2f_н) = 12\,\%$. Спосіб блокування може бути вибраний (ВКЛ): пофазне блокування або (ВКЛ *ABC*); блокування всіх фаз найбільшим струмом другої гармоніки, (ВІДКЛ): блокування відключене. Встановлюємо заведену настройку: БЛОК $2f_н$ = ВКЛ *ABC*. Режим блокування струмом п’ятої гармоніки застосовується для запобігання помилковій роботи захисту від підвищеного струму намагнічування під час подачі на обмотку трансформатора напруги значно вище номінального. Спосіб блокування може бути вибраний (ВКЛ): пофазне блокування або (ВКЛ *ABC*): блокування всіх фаз найбільшим струмом п’ятої гармоніки (ВІДКЛ): блокування відключене. На трансформаторах українсько–російського виробництва не потрібно:

БЛОК $5f_н$ = ВІДКЛ.

Результати розрахунків параметрів диференціального захисту трансформатора потужністю 25000 кВА подані на рис. 3.2:

- перший ступінь диференційного струму $I_d >= 0{,}15$ (відрізок *AB*);
- перша гальмівна характеристика *P*1 = 25 % (пряма *P*1): відрізок *BC*;
- друга гальмівна характеристика *P*2 = 40 % (пряма *P*2): відрізок *CD*;
- другий ступінь диференціального струму $I_d >= 3{,}0$ (пряма *FE*): відрізок *DE*.

Зазвичай перевірку чутливості даного мікропроцесорного захисту не виконують. Це обумовлено тим, що уставка 1-го ступеня захисту при к.з. за трансформатором малая, $I_d \geq 0{,}15$ від номінального струму трансформатора струму на стороні ВН (дорівнює 300 А). Більш груба 2-га ступінь відсічення ($I_d >>= 3$) також не перевіряється, тому що призначена для роботи при великих струмах к.з. на стороні ВН трансформатора. За необхідності можна розрахувати чутливість захисту аналітичним і графічним методами (див. рис. 3.2). Чутливість у зоні малих струмів к.з., на стороні НН силового трансформатора:

$$K_{\text{ч НН}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)}_{\text{к}-2\min\text{ВН}}}{(I_{d>} \cdot I_{\text{ном ВН}})} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 480}{(0{,}15 \cdot 300)} = 9{,}24$$

$$K_{\text{ч ВН}} = \frac{GN}{GH} = \frac{1{,}39}{0{,}15} = 9{,}27 > 2$$

Коефіцієнт чутливості повинен бути не менше 2.

Чутливість у зоні великих струмів к.з., на стороні ВН силового трансформатора:

$$K_{\text{ч ВН}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)}_{\text{к}-1\min\text{ВН}}}{(I_{d>>} \cdot I_{\text{ном ВН}})} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3000}{(3{,}0 \cdot 300)} = 2{,}89$$

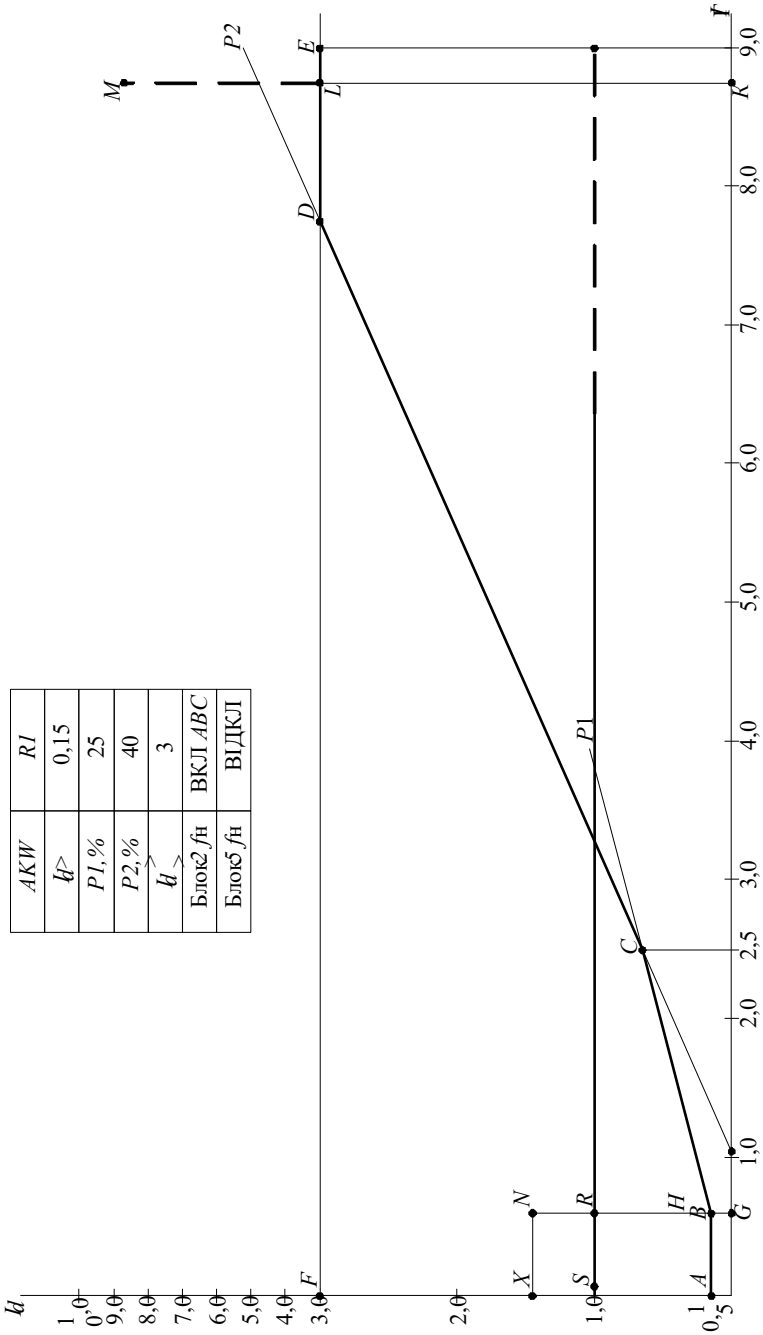

Рисунок 3.2 – Карта уставок і характеристика захисту

$$K_{\text{ч ВН}} = \frac{MK}{LK} = \frac{8,7}{3,0} = 2,9 > 1,2 .$$

Чутливість 2-го ступеня повинна бути не менше 1,2.

3.7 Максимальний струмовий захист трансформатора

Приклад. Розглядаються максимальні струмові захисти (МСЗ), установлені на вищій напрузі (МСЗ ВН) і нижчій напрузі (МСЗ НН) для трансформатора ТРДН−40000/115+16%кВ/11 кВ з прикладу підрозд. 3.4.

Для вибору уставок МСЗ необхідно розрахувати струми к.з. у максимальному режимі (відбудова захисту на вимогу селективності) і мінімальному режимі (перевірка чутливості захисту). Розрахункові точки к.з.: К1 − на вищій напрузі (ВН) трансформатора; К2 − на нижчій напрузі (НН).

Струм трифазного к.з. у точці К1 у максимальному й мінімальному режимах при заданих вихідних даних $\left(X_{\text{C}\max} = X_{\text{C}\min} = X_{\text{C}} = 15\ \text{Ом}\right)$:

$$I^{(3)}_{\text{к-1 max}} = I^{(3)}_{\text{к}-1\min} = \frac{U}{\sqrt{3}\cdot X_{\text{C}}}; \qquad (3.29)$$

$$I^{(3)}_{\text{к-1 max}} = I^{(3)}_{\text{к}-1\min} = \frac{115\cdot 10^3}{\sqrt{3}\cdot 15} = 4400\ \text{А}.$$

.

З попередніх розрахунків відомі:

- струми на стороні ВН

$$I^{(3)}_{\text{к-2 max ВН}} = 1163\ \text{А};$$

$$I^{(3)}_{\text{к-2 min ВН}} = 700\ \text{А};$$

- струми на стороні НН

$$I^{(3)}_{\text{к-2 max НН}} = 10213\ \text{А};$$

$$I^{(3)}_{\text{к-2 min НН}} = 8022\ \text{А}.$$

Номінальний струм трансформатора на стороні НН:

$$I_{\text{ном тр НН}} = \frac{0{,}5\cdot S_{\text{ном тр}}}{\sqrt{3}\cdot U_{\text{ср НН}}}; \qquad (3.30)$$

$$I_{\text{ном тр НН}} = \frac{0{,}5\cdot 40000}{\sqrt{3}\cdot 10{,}5} = 1100\ \text{А}.$$

Розраховується струм спрацьовування МСЗ НН. Умова неспрацьовування захисту після відключення зовнішнього к.з. з обліком того, що в деяких режимах трансформатор може бути навантажений до $1{,}3I_{\text{ном}}$ (за відсутності другого трансформатора, що знаходиться у ремонті):

$$I_{\text{СЗ НН}} = \frac{K_{\text{Н}} \cdot K_{\text{П}} \cdot K_{\text{СЗП}}}{K_{\text{В}}} \cdot I_{\text{ном тр НН}}, \quad (3.31)$$

де $K_{\text{П}}$ – коефіцієнт перевантаження; $K_{\text{СЗП}}$ – коефіцієнт самозапуску двигунів; $K_{\text{В}}$ – коефіцієнт повернення захисту.

$$I_{\text{СЗ НН}} = \frac{1{,}2 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}4}{0{,}8} \cdot 1100 = 3000 \text{ А}.$$

Умова неспрацьовування захисту під час дії АВР на стороні НН:

$$I_{\text{СЗ НН}} = K_{\text{Н}} \cdot \left(K_{\text{СЗП}} \cdot I_{\text{ном тр НН}} \cdot 0{,}7 + 0{,}7 \cdot I_{\text{ном тр НН}} \right); \quad (3.32)$$

$$I_{\text{СЗ НН}} = 1{,}2(1{,}4 \cdot 1100 \cdot 0{,}7 + 0{,}7 \cdot 1100) = 2220 \text{ А}.$$

Із двох умов (3.31–3.32) вибираємо $I_{\text{СЗ НН}} = 3000$ А.

Чутливість захисту в мінімальному режимі системи до двофазного к.з. у точці К2:

$$K_{\text{Ч НН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{I^{(3)}_{\text{К}-2\min\text{НН}}}{I_{\text{СЗ НН}}}, \quad (3.33)$$

$$K_{\text{Ч НН}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{8022}{3000} = 2{,}3 > 1{,}5.$$

Розраховуємо струм спрацьовування МСЗ ВН за умови неспрацьовування захисту після відключення зовнішнього к.з. з обліком навантаження на іншій секції НН:

$$I_{\text{СЗ ВН}} = K_{\text{Н}} \cdot \left(\frac{K_{\text{П}} \cdot K_{\text{СЗП}}}{K_{\text{В}}} \cdot I_{\text{ном тр НН}} + K_{\text{П}} \cdot I_{\text{ном тр НН}} \right) \cdot \frac{U_{\text{СР НН}}}{U_{\text{СР ВН}}}, \quad (3.34)$$

$$I_{\text{СЗ ВН}} = 1{,}1 \cdot \left(\frac{1{,}3 \cdot 1{,}4}{0{,}8} \cdot 1100 + 1{,}3 \cdot 1100 \right) \cdot \frac{10{,}5}{115} = 395 \text{ А}.$$

Приймаємо $I_{\text{СЗ ВН}} = 395$ А.

Убудовані в силовий трансформатор трансформатори струму типу ТВТ–110 мають коефіцієнт трансформації $n_I = 300/5$. Тоді струм спрацьовування реле

$$I_{\text{СР}} = I_{\text{СЗ ВН}} \cdot K_{\text{СХ}} / n_I, \quad (3.35)$$

де $K_{\text{СХ}}$ – коефіцієнт схеми з'єднання трансформаторів струму на стороні

ВН, для "трикутника" $K_{СХ} = \sqrt{3}$,

$$I_{СР} = 395 \cdot \sqrt{3} / 60 = 11{,}4 \text{ А}.$$

Перевіряється чутливість захисту в основній зоні (режим роздільної роботи трансформаторів). При двофазному к.з. за трансформатором (точці К2) розрахунковий струм у реле:

$$I^{(2)}_{Р\,min} = 1{,}5 \cdot I^{(3)}_{К-2\,min\,ВН} / n_I; \tag{3.36}$$

$$I^{(2)}_{Р\,min} = 1{,}5 \cdot 700 / 60 = 17{,}5 \text{ А}.$$

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{Ч\,ВН} = \frac{I^{(2)}_{Р\,min}}{I_{СР}}, \tag{3.37}$$

$$K_{Ч\,ВН} = \frac{17{,}5}{11{,}4} = 1{,}53 > 1{,}5.$$

Якщо $K_{Ч\,ВН} < 1{,}5$, то МСЗ виконується з пуском за напругою й визначенням струму спрацьовування за умови відбудови від номінального струму трансформатора:

$$I_{СЗ\,ВН} = K_Н \cdot I_{ном\,тр\,ВН} / K_В; \tag{3.38}$$

$$I_{СЗ\,ВН} = 1{,}2 \cdot 201 / 0{,}8 = 302 \text{ А}.$$

Уставка спрацьовування реле мінімальної напруги вибирається виходячи з повернення після відключення зовнішнього к.з. і відбудування від залишкової напруги самозапуску після дії АПВ або АВР. На практиці приймається 60 В (вторинних). При двофазному к.з. на введеннях 110 кВ (точка К1) розрахунковий струм у реле за схемою із двома реле:

$$I^{(2)}_{Р\,min\,к-1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I^{(3)}_{к-1\,min} / n_I; \tag{3.39}$$

$$I^{(2)}_{Р\,min\,к-1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4400 / 60 = 63 \text{ А}.$$

Коефіцієнт чутливості:

$$K_{Ч\,к-1} = \frac{I^{(2)}_{Р\,min\,к-1}}{I_{СР}}; \tag{3.40}$$

$$K_{\text{Ч к}-1} = \frac{63}{11{,}4} = 5{,}53 > 1{,}5.$$

Витримки часу МСЗ вибираються з умов селективності на ступені вище найбільшої витримки часу попереднього захисту:

$$t_{\text{МСЗНН}} = t_{\text{МСЗСВ}} + \Delta t, \qquad (3.41)$$

де $t_{\text{МСЗ НН}}$ − витримка часу МСЗ секційного вимикача, дорівнює 1,5 с; Δt =0,5 с − ступінь селективності.

3.8 Захист трансформатора від перевантаження

Приклад. На трансформаторах, що перебувають під спостереженням оперативного персоналу, релейний захист від перевантаження виконується дією на сигнал за допомогою одного струмового реле. Для відбудування від короткочасних перевантажень застосовується реле часу, розраховане на тривале проходження струму. Струм спрацьовування вибирається з умови повернення струмового реле при номінальному струмі трансформатора:

$$I_{\text{СЗ}} = K_{\text{ОТС}} \cdot I_{\text{ном тр НН}} / K_{\text{В}};$$

$$I_{\text{СЗ}} = 1{,}05 \cdot 1100 / 0{,}8 = 1444 \text{ А}.$$

Час дії захисту:

$$t_{\text{СЗ}} = 2 \cdot t_{\text{МСЗ ВН}} = 2 \cdot 2{,}5 = 5 \text{ с}.$$

За результатами розрахунків наводиться схема розміщення захистів (рис. 3.3) знижувальних трансформаторів 1Т і 2Т з наступними позначеннями: *ТА* − трансформатори струму типів ТВТ (убудовані у втулки введень силових трансформаторів) і ТПШЛ (прохідні, шинні з литою ізоляцією); ДЗТ-11 − реле диференціальне з магнітним гальмуванням; РНТ-565 − реле диференціальне із трансформатором, що насичується; *BF*−80/*Q* − газове реле Бухгольца. Для захисту пристрою РПН від ушкоджень усередині його бака застосовується струминне газове реле типу *URF* 25/10. МСЗ − максимальний струмовий захист на стороні вищої (ВН) і нижчої (НН) напруг. Карта уставок наведена на рис. 3.4.

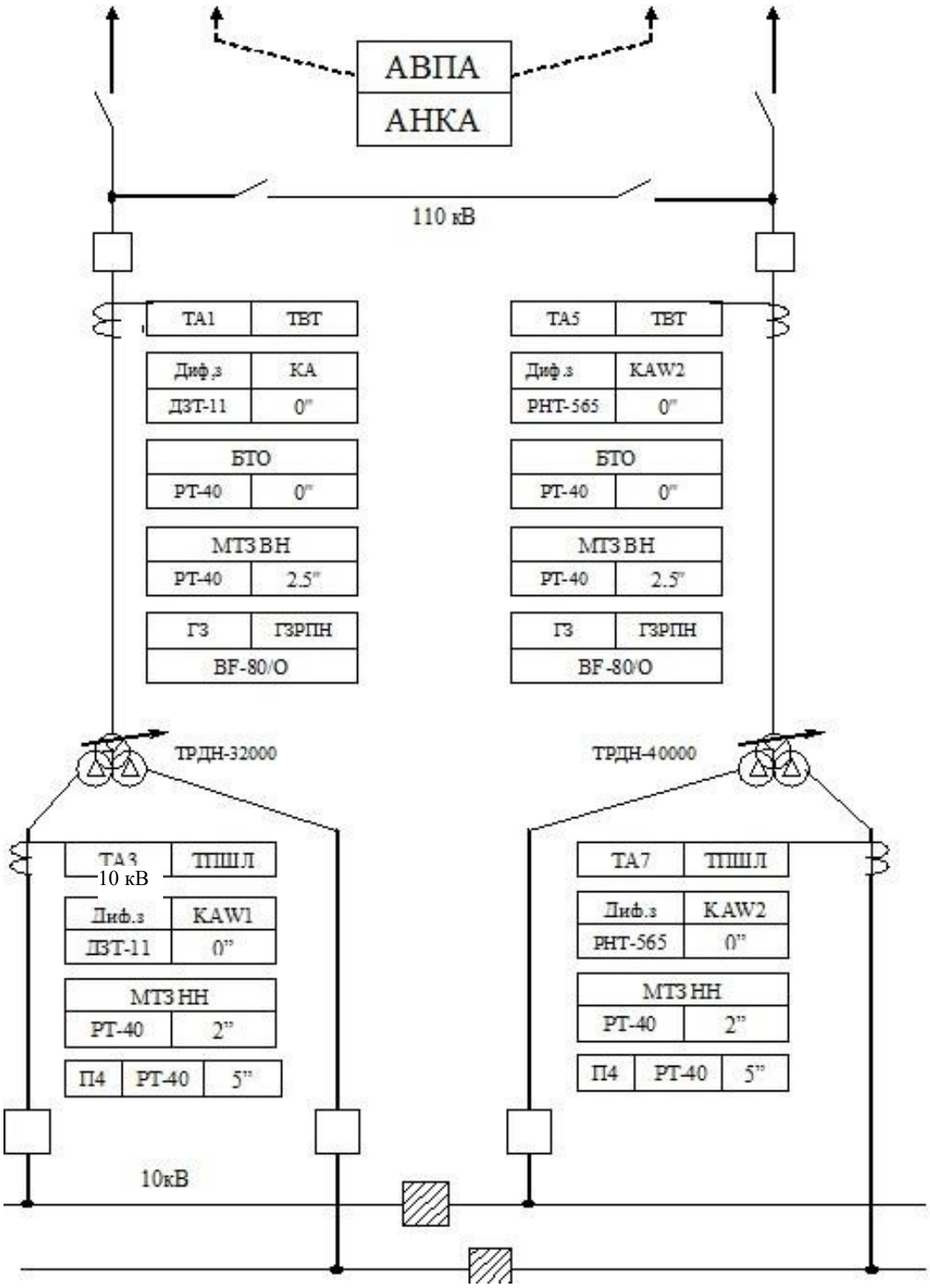

Рисунок 3.3 − Схема розміщення захистів трансформатора

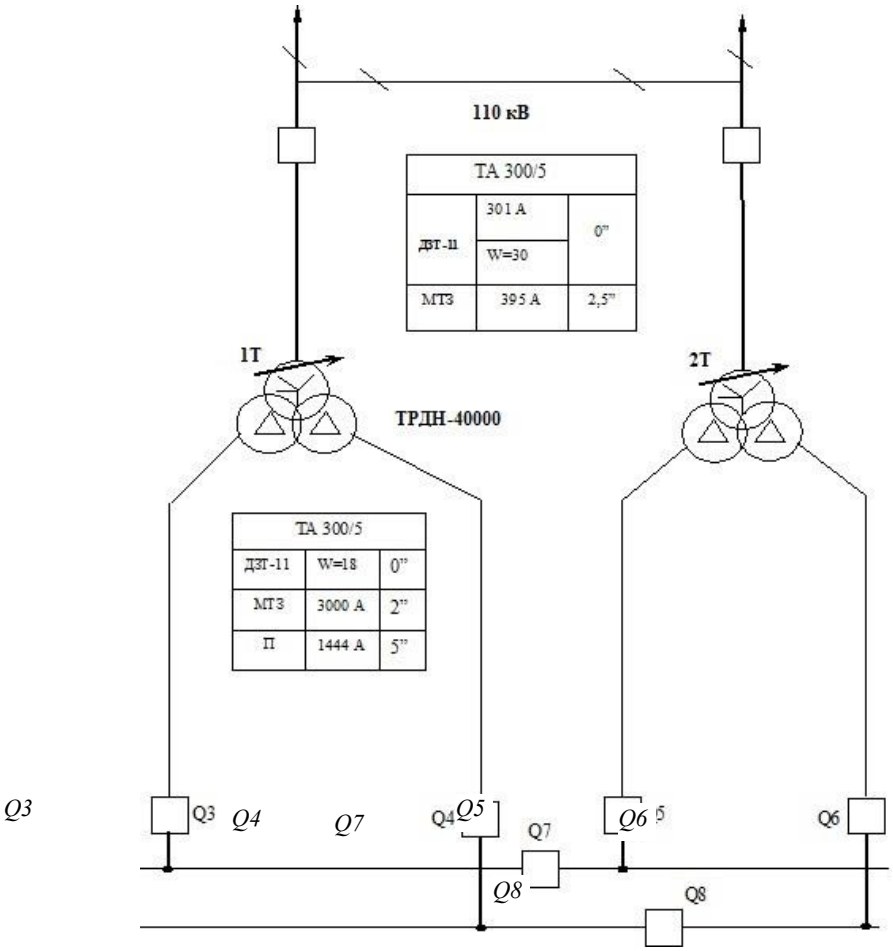

Рисунок 3.4 − Карта уставок захистів

3.9 Захист фідера "лінія − трансформатор"

Відповідно до керівних вказівок з релейного захисту та джерела [1,10] у мережах 6−35 кВ захист фідера "лінія−трансформатор" виконується за схемою із двома струмовими реле прямої дії типу РТМ (двофазне дворелейне струмове відсічення) і трьома реле типу РТВ (двофазний трирелейний максимальний струмовий захист із затримуванням). Третє реле у зворотному проведенні встановлюється для контроля струму у фазі В.

Приклад. Опір лінії 10 кВ дорівнює $Z_{Л} = 1{,}8 + j2{,}5$. Струми трифазного к.з. на шинах системи в максимальному й мінімальному режимах роботи рівні 3000 і 2000 А. Параметри трансформатора: $S_{Т}$=160 кВА; 10/0,4 кВ; $U_{К} = 6{,}5\,\%$; $\Delta P_{К} = 2{,}7$ кВт. Коефіцієнт самозапуску електродвигунів на стороні 0,4 кВ дорівнює 2,1.

За заданими струмами к.з. на шинах системи визначаються опори си-

стеми в максимальному й мінімальному режимах:

$$X_{\text{Cmax}} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{Kmax}}}; \tag{3.42}$$

$$X_{\text{Cmax}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 3000} = 2 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{Cmin}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 2000} = 3 \text{ Ом}.$$

Повний опір трансформатора:

$$Z_{\text{T}} = \frac{U_{\text{K}} \cdot U_{\text{H}}^2}{100 \cdot S_{\text{T}}}; \tag{3.43}$$

$$Z_{\text{T}} = \frac{6{,}5 \cdot 10^2 \cdot 10^3}{100 \cdot 160} = 40{,}6 \text{ Ом}.$$

Активна складова повного опору:

$$r_{\text{T}} = \frac{\Delta P_{\text{K}} \cdot U^2}{S_{\text{T}}^2}; \tag{3.44}$$

$$r_{\text{T}} = \frac{2{,}7 \cdot 10^3 \cdot 10^2}{160^2} = 10{,}5 \text{ Ом}.$$

Індуктивний опір (реактивна складова повного опору):

$$X_{\text{T}} = \sqrt{Z_{\text{T}}^2 - r_{\text{T}}^2}; \tag{3.45}$$

$$X_{\text{T}} = \sqrt{40{,}6^2 - 10{,}5^2} = 39{,}2 \text{ Ом}.$$

Струми трифазного к.з. наприкінці лінії:

$$I_{\max \text{Л}}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}; \tag{3.46}$$

$$I_{\max \text{Л}}^{(3)} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 4{,}85} = 1250 \text{ А};$$

$$I_{\min \text{Л}}^{(3)} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 5{,}79} = 998 \text{ А}.$$

Струми к.з. за трансформатором:

$$I^{(3)}_{\max \mathrm{T}} = \frac{10500}{\sqrt{3} \cdot 45{,}4} = 134 \text{ А};$$

$$I^{(3)}_{\min \mathrm{T}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 46{,}4} = 125 \text{ А}.$$

Трансформатори струму захисту вибираються за номінальним струмом силового трансформатора з урахуванням систематичного перевантаження:

$$I_{\mathrm{HT}} = \frac{S_{\mathrm{T}}}{\sqrt{3} \cdot U}; \tag{3.47}$$

$$I_{\mathrm{HT}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 9.3 \text{ А};$$

$$I_{\max \mathrm{T}} = 1{,}4 \cdot I_{\mathrm{HT}} = 1{,}4 \cdot 9{,}3 = 13 \text{ А}.$$

Приймаються трансформатори струму типу ТПЛ−10 з коефіцієнтом 50/5 (П − прохідний, Л − з литою ізоляцією).

Струм спрацьовування МСЗ блоку "лінія−трансформатор" вибирається за умови неспрацьовування на відключення після аварійних перевантажень з відключення суміжними захистами найближчого зовнішнього трифазного к.з. на стороні напруги 0,4 кВ:

$$I_{\mathrm{СЗ}} = \frac{K_{\mathrm{H}} \cdot K_{\mathrm{СЗП}}}{K_{\mathrm{B}}} \cdot I_{\max \mathrm{T}}, \tag{3.48}$$

$$I_{\mathrm{СЗ}} = \frac{1{,}25 \cdot 2{,}1}{0{,}7} \cdot 13 = 49 \text{ А}.$$

Приймається струм спрацьовування захисту 50 А і струм спрацьовування РТВ:

$$I_{\mathrm{СР}} = \frac{I_{\mathrm{СЗ}}}{K_{\mathrm{T}}}, \tag{3.49}$$

$$I_{\mathrm{СР}} = \frac{50}{10} = 5 \text{ А}.$$

Струм спрацьовування струмового відсічення блоку вибирається за умови відбудування (селективності) від к.з. за трансформатором у зоні попереднього захисту:

$$I_{\mathrm{СЗ}} = K_{\mathrm{H}} \cdot I^{(3)}_{\max \mathrm{T}}; \tag{3.50}$$

$$I_{\mathrm{СЗ}} = 1{,}5 \cdot 134 = 201 \text{ А}.$$

Приймається струм спрацьовування відсічення 200 А і струм спрацьовування РТМ:

$$I_{\text{СР}} = 200/10 = 20 \text{ А}.$$

Час спрацьовування МСЗ дорівнює 1с у незалежній (сталій) частині характеристики для забезпечення селективності з автоматичними вимикачами на стороні напруги 0,4 кВ.

Коефіцієнт чутливості МСЗ

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I^{(2)}_{\text{minТ}}}{I_{\text{СЗ}}}; \tag{3.51}$$

$$K_{\text{Ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 125}{2 \cdot 50} = 2{,}16 > 1{,}5 .$$

Коефіцієнт чутливості відсічення

$$K_{\text{Ч}} = \frac{I^{(2)}_{\text{min Л}}}{I_{\text{СЗ}}}; \tag{3.52}$$

$$K_{\text{Ч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 998}{2 \cdot 200} = 4{,}3 > 2 .$$

Чутливість захистів задовольняє вимоги ПУЕ [1].

3.10 Структурні схеми традиційних і цифрових захистів

Завершальним етапом виконання курсового проекту є розробка, зображення і стислий опис структурної та принципової схем захистів розглянутої електроустановки.

Нижче подані приклади схем. На рис. 3.5 зображена структурна схема традиційних захистів знижувального трансформатора 110−220/6−10 кВ. ДЗШ − диференційний струмовий захист шин без витримки часу, що охоплює всі приєднання, які підключені до системи шин (на схемі показаний трансформатор струму *ТА1* тільки даного приєднання Т1). УРОВ − пристрій резервування у випадку відмови вимикачів (у т.ч. *Q1*), що запускається захистами трансформатора Т1 і діє на відключення всіх електрично зв'язаних вимикачів даної підстанції. МСЗ на стороні ВН з використанням комплекту захисту типу КЗ−12, живиться від *ТА2*, призначена для резервування відключення к.з. на шинах НН (далеке резервування), а також

для резервування основних захистів трансформатора Т1 (ближнє резервування).

Витримка часу захисту дорівнює другій витримці часу захистів на введеннях до секцій шин 6−10 кВ (МСЗ на стороні НН). Захист *KSG1* − газовий захист трансформатора від внутрішніх ушкоджень і відходу масла, виконано на реле типу *BF*−80*Q* (реле Бухгольца), установлюється на трубі між баком і розширником трансформатора. Захист *KSG*2 − газовий захист пристрою РПН (регулювання під навантаженням коефіцієнта трансформації трансформатора) від ушкоджень усередині його бака, виконується за допомогою струминного реле типу *URF* 25/10. МСЗ нульової послідовності (АКО) з використанням реле струму РТ−40 і часу РВ−133, що живиться від *TA6* (убудованого в нейтралі трансформатора), призначено для резервування захистів від к.з. на землю в суміжних елементах мережі ВН. Диференційний захист Т1 − основний диференційний струмовий захист трансформатора від ушкоджень у зоні між *TA1* і *TA4*, *TA3*, виконується з використанням реле з гальмуванням типу ДЗТ−11, гальмівна обмотка якого (*I*г − гальмівний струм) включена на струм з боку нижчої напруги. МСЗ на стороні НН2 (тут і далі захисти на стороні НН1 аналогічні захистам на стороні НН2) з використанням реле РТ−40 і РВ−132 − двоступеневий максимальний струмовий захист, що живиться від *TA4* і розміщено у шафах КРУ вимикачів уведень 6−10 кВ, призначено для відключення к.з. на шинах 6−10 кВ (перший ступінь) і для подальшого резервування відключень к.з. на приєднаннях (фідерах), наприклад, у точці К10 (другий ступень). Ступені захисту з першою витримкою часу діють на відключення вимикача *Q3*, а з другою − на відключення *Q1*. Останнє необхідно на вимоги селективності з метою відключення к.з. на секціях шин 6−10 кВ при відмові вимикача *Q3*, а також ліквідації к.з. у зоні між *Q3* і трансформатором струму *TA4* (точці К8).

Захист від перевантаження (АК5) виконується на одному реле струму й одному реле часу. Дуговий захист комірок КРУ 6−10 кВ − основний захист, що реагує на підвищення тиску або освітленості в комірці КРУ, викликаних горінням дуги. Пуск з напруги застосовується для підвищення чутливості МСЗ, що не повинна спрацьовувати (блокування з напруги) у режимах максимального навантаження й самозапуску двигунів. Пусковий

орган напруги складається з фільтр−реле напруги зворотної послідовності типу РНФ−1М (*KVZ2*) і мінімального реле напруги типу РН−54/160 (*KV2*), включеного на міжфазну напругу.

На рис. 3.6 зображена структурна схема цифрових захистів (ЦЗ). Захист трансформатора виконаний на реле ЦЗ-1 на введенні вищої напруги (ВН), ЦЗ-3 − на введеннях нижчої напруги НН1 і НН2. Диференційний захист виконано на реле ЦЗ-2. Газовий захист підключається на дискретний вхід першого пристрою ЦЗ-3, призначеного для максимальних струмових захистів. ЦЗ-4 може бути використано для блокування захистів трансформатора з напруги. ЦЗ-5 − захист фідерів навантаження.

ЦЗ-1 включено на трансформатори струму вимикача на стороні ВН. Струмові органи захисту нульової послідовності можуть бути включені на фазний струм *TA* і використовуватися для пуска охолодження й блокування РПН. Функції захисту:

- струмове відсічення, відбудоване від к.з. сторони НН;
- другий ступінь − виконаний без витримки часу й блокується пристроєм захисту сторін НН1 і НН2, це дублюючий логічний диференційний захист трансформатора; ступені з логічним блокуванням у реле повинні скласти не менше $2 \cdot I_{ном}$, при виконанні без витримки часу;
- третій ступінь − звичайний максимальний захист із витримкою часу, він дублює другий ступінь на випадок відмови ланцюгів блокування 2-го ступеня.

ЦЗ-2 (поздовжній диференційний захист трансформатора підвищеної чутливості) доцільно включити на трансформатори струму вбудовані з сторони ВН трансформатора й суму струмів *TA* вимикачів сторін НН1 і НН2.

ЦЗ-3 включено на трансформатори струму вводів сторін НН1 і НН2.

Функції:

- ✓ перший ступінь виконаний без витримки часу й блокується пристроями захисту фідерів, що відходять (логічний захист);
- ✓ другий ступінь виконується з витримкою часу селективної з фідерами;
- ✓ третій ступінь − захист від перевантаження трансформатора.

ЦЗ-4 включено на трансформатори напруги *TV* сторони НН. Може бути використано для блокування захистів трансформатора до напруги.

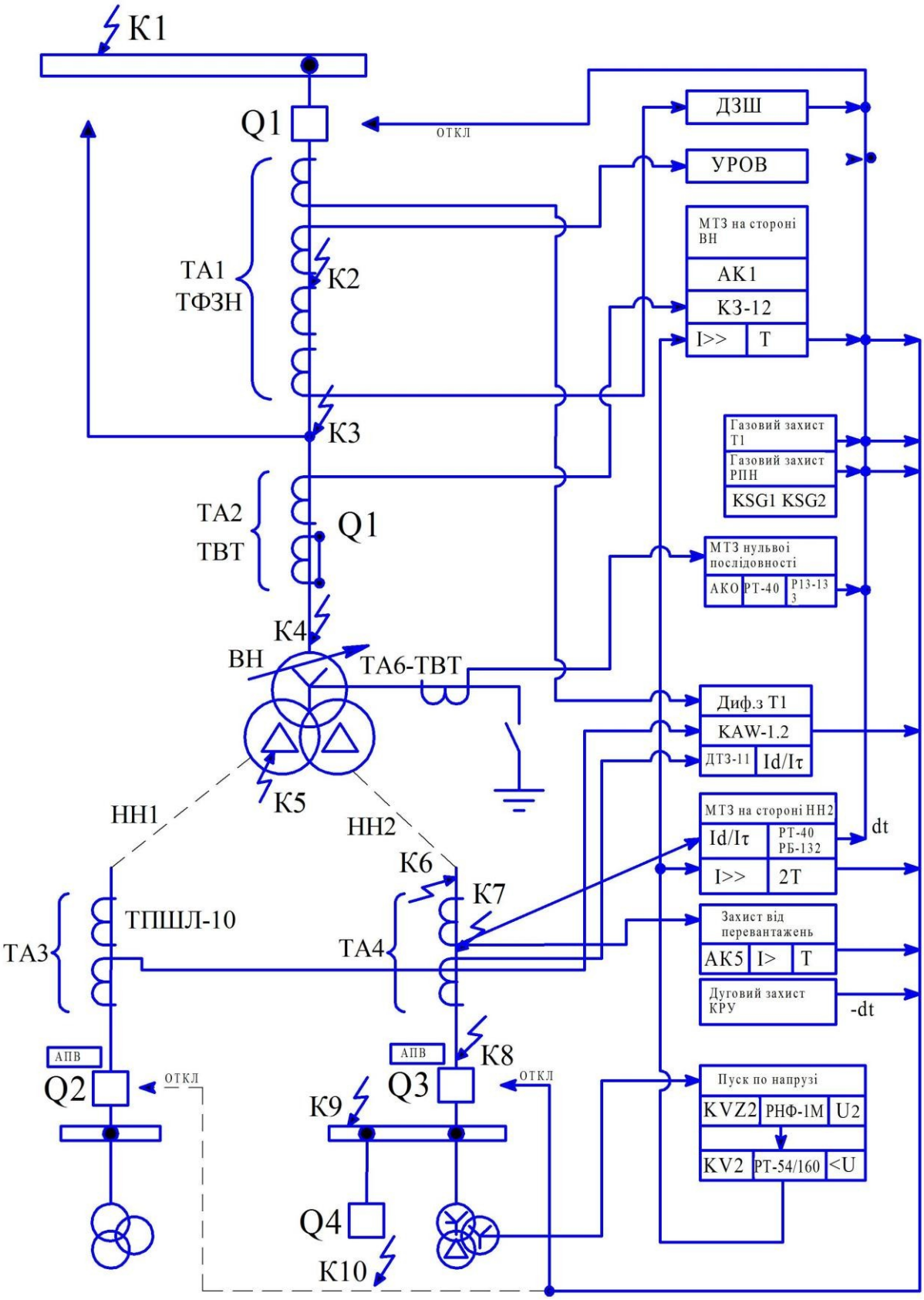

Рисунок 3.5 – Структурна схема традиційних захистів

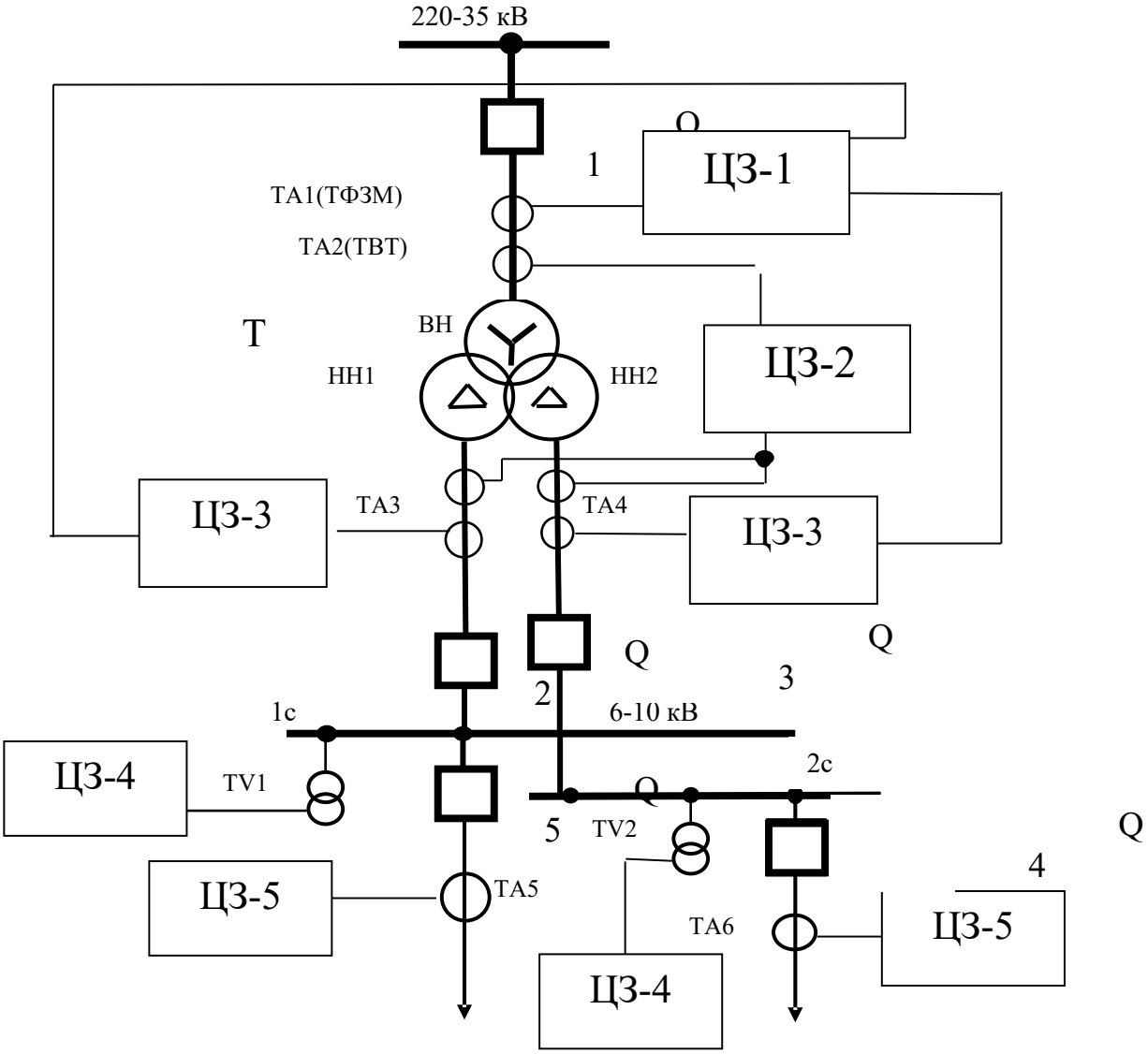

Рисунок 3.6− Структурна схема цифрових захистів

ЦЗ-5 виконує функції багатоступінчастої МТЗ і захисту від замикань на землю.

3.11 Принципові схеми захистів

На рис. 3.7−3.10 показані схеми захистів за ланцюгами змінного струму та напруги, а також оперативного струму та сигналізації.

Основні захисти. Від усіх видів к.з. в обмотках трансформатора і на його введеннях і на виводах приєднань до секцій шин НН − загальний поздовжній диференційний струмовий захист, виконаний комплектом реле типу ДЗТ−11 (*KAW1*, *KAW2*, *KAW3*). Від ушкоджень усередині бака трансформатора й у контакторному відсіку РПН, що супроводжуються виділен-

ням газу − газовий захист із одним газовим реле *KSG1* для бака й іншим *KSG2* − для контакторного відсіку РПН.

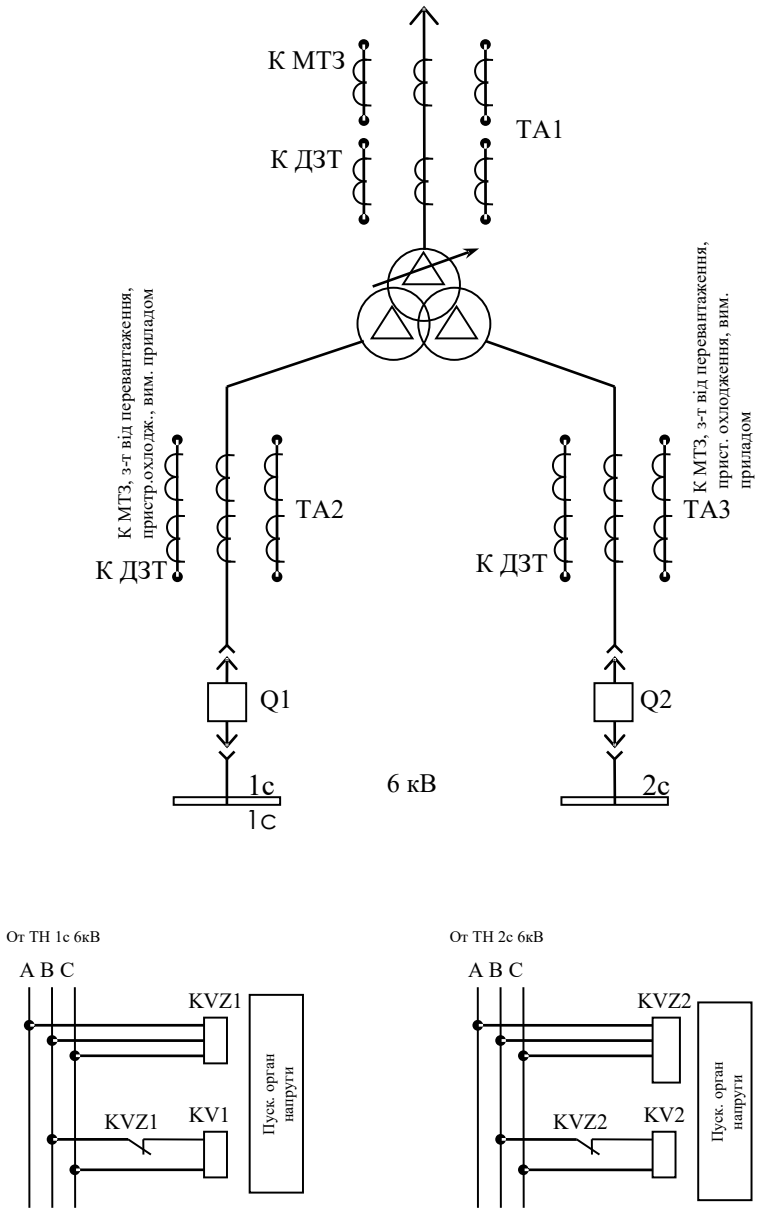

Рисунок 3.7− Електрична принципова схема захисту

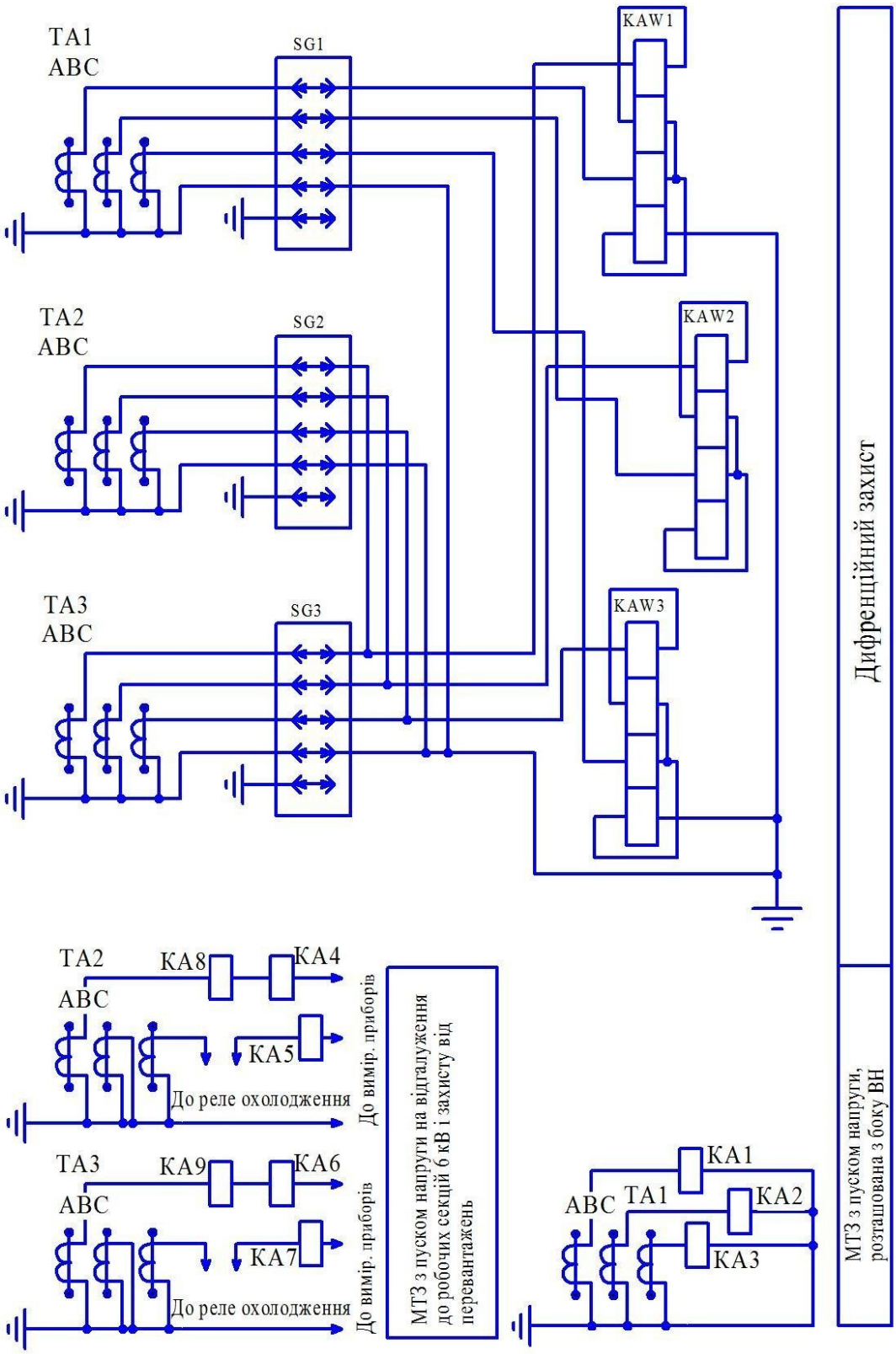

Рисунок 3.8 − Електрична принципова схема захисту

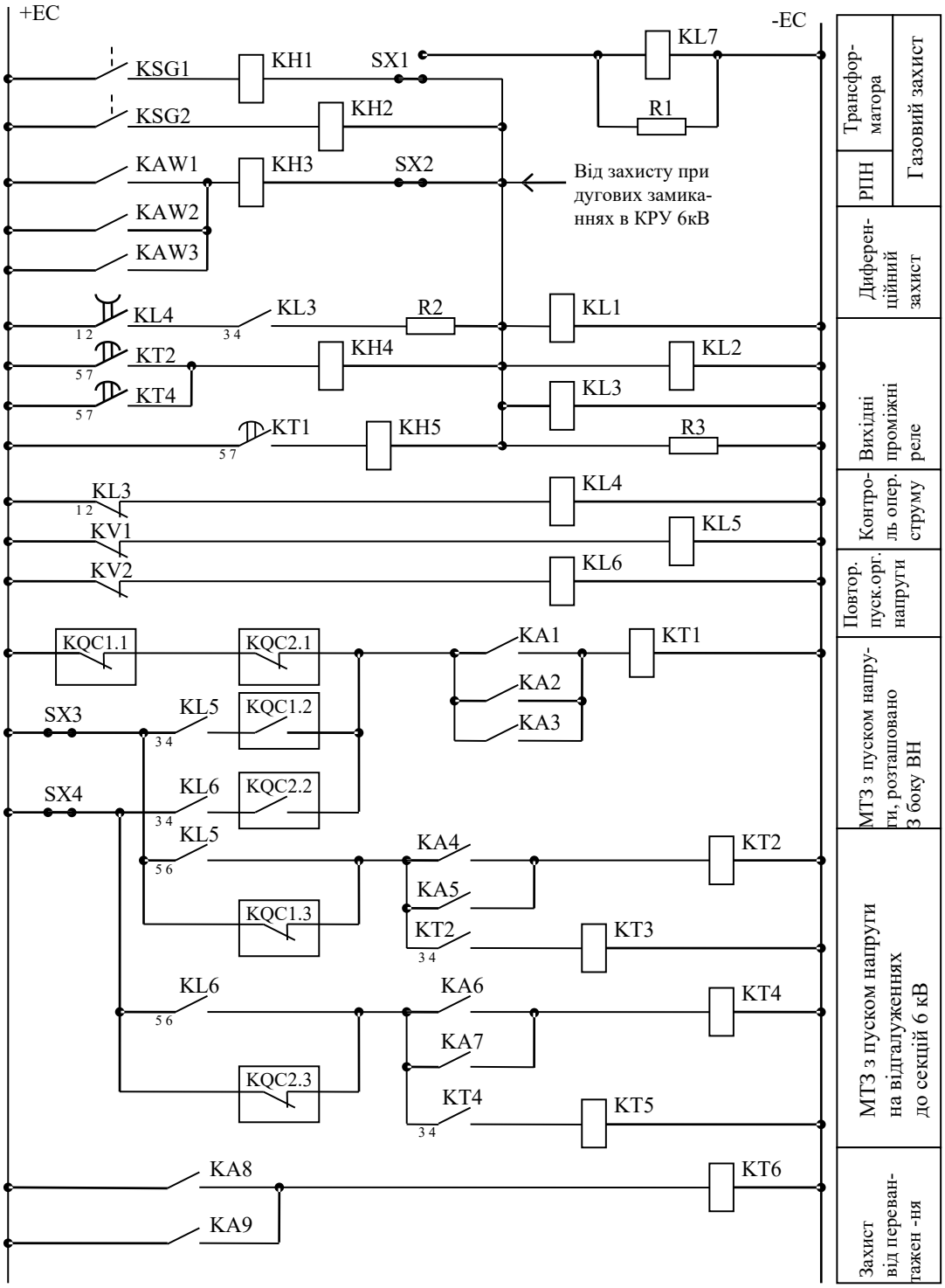

Рисунок 3.9 − Електрична принципова схема захисту. Ланцюги оперативного постійного струму

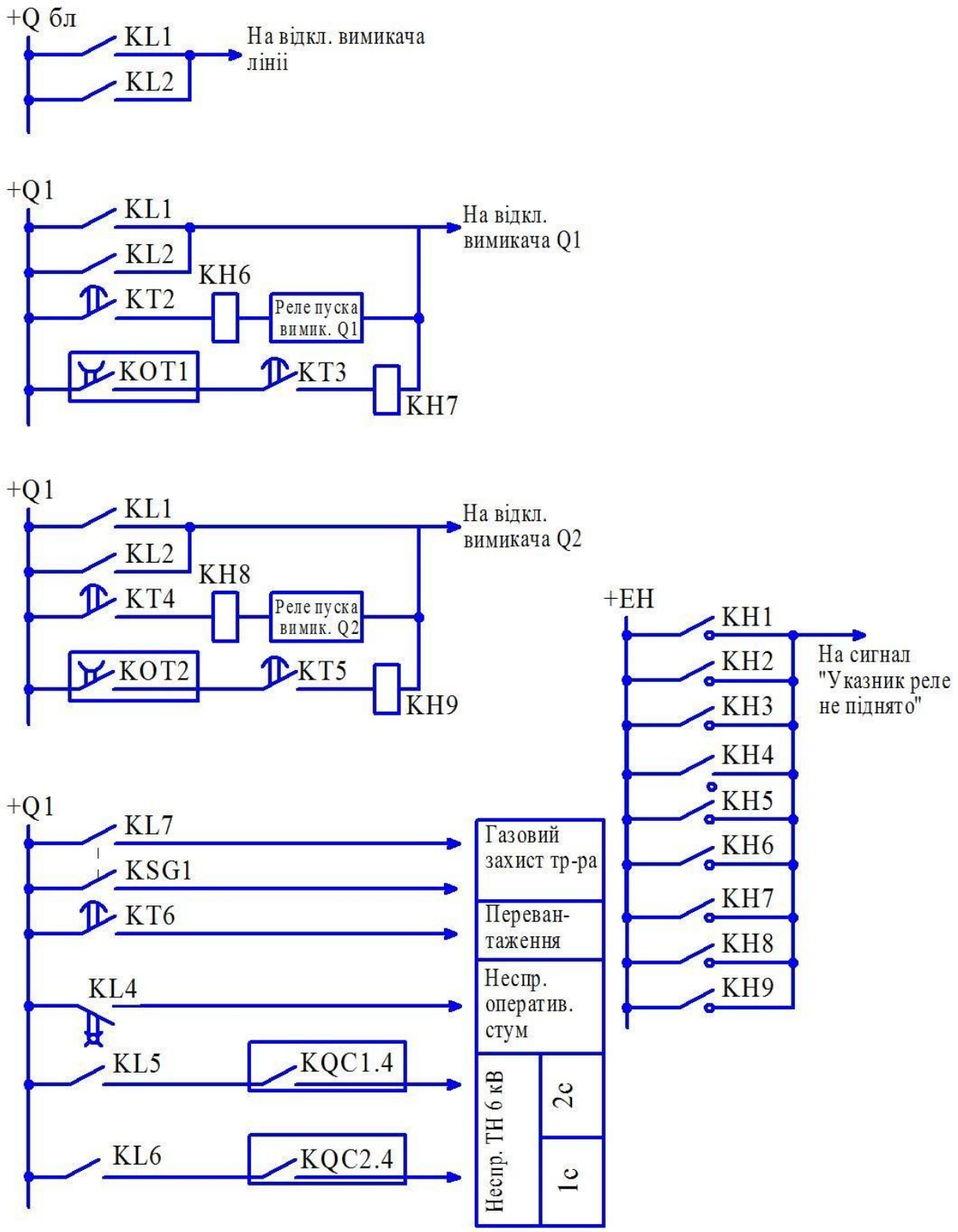

Рисунок 3.10− Електрична принципова схема захисту

Резервні захисти. Для резервування відключення багатофазних к.з.

на шинах НН, а також для резервування основних захистів трансформатора використовується МСЗ із пуском напруги установлено на стороні ВН. Захист містить три реле струму *КА1*, *КА2*, *КА3* і реле часу *КТ1*.

Комбінований пуск виконаний двома фільтрами: реле напруги зворотної послідовності типу РНФ−Ш (*KVZ1*, *KVZ2*) і двома мінімальними реле напруги типу РН−54/160 (*KV1*, *KV2*). При несиметричних к.з. з'являється напруга зворотної послідовності, реле *KVZ2* спрацьовує, розмикаючи тим самим свій контакт у ланцюзі реле *KV2*, яке дозволяє діяти МСЗ.

Несиметрія напруг і відповідно напруга зворотної послідовності виникають також у початковому моменті перед трифазним к.з. Після зникнення несиметрії контакт реле *KVZ2* знову замикається, а реле *KV2* залишиться у спрацьованому стані, якщо напруга повернення реле буде менше залишкової напруги в місці установлення МСЗ. Чутливість пускового органа напруги при трифазних к.з. підвищується за рахунок того, що напруга повернення реле *KV2* на 10−15 % більше напруги спрацьовування. Від багатофазних к.з. на шинах НН, а також для резервування відключення к.з. на приєднаннях встановлюють МСЗ із пуском напруги на відгалуженнях до секцій 6 кВ. Захисти виконані з використанням реле струму типу РТ−40 (*КА4*, *КА5*, *КА6*, *КА7*) і реле часу *КТ2* і *КТ4*. Від симетричних перевантажень встановлюють максимальний струмовий захист із двома реле струму типу РТ−40 (*КА8*, *КА9*) і реле часу *КТ6*. Від ушкоджень у шафах КРУ 6 кВ встановлюють захист при дугових к.з.

Елемент, що відключає газове реле захисту бака трансформатора за допомогою накладки *SX1*, може бути переведений для дії на сигнал (*KL7*). Газовий захист контакторного відсіку РПН виконує дію тільки на відключення. МСЗ із комбінованим пуском з напруги, установленим на стороні ВН, діє з витримкою часу *КТ1* на відключення всіх вимикачів трансформаторів. Максимальні струмові захисти з комбінованим пуском з напруги, установлені на відгалуженнях до секцій шин НН, діють із першою витримкою часу, створюваною відповідними реле *КТ2* або *КТ4*, на відключення вимикачів *Q1* або *Q2* (через імпульсний контакт реле часу) і з другою витримкою часу, створюваною також зазначеними реле, на відключення всіх вимикачів. Захисти при дугових к.з. у шафах КРУ вимикачів уведень до шин НН діють одночасно на відключення відповідного вимикача уведення

й на відключення всіх вимикачів трансформаторів (через *KL1* й *KL2*). Пуск автоматичного прискорення максимальних струмових захистів, установлених з боку НН, здійснюється контактами *KQT1* й *KQT2* реле положення "вимкнено" вимикачів *Q1* й *Q2* відповідно. Прискорення виконується з витримкою часу реле *КТ3* і *КТ5*. З метою підвищення надійності передбачається дублювання дії вихідних проміжних реле на відключення вимикача. Контроль несправностей у ланцюгах виконується за допомогою контактів проміжних реле *KL5*, *KL6* і реле положення "увімкнено" *KQCl* (*KQC2*) вимикачів *Q1* й *Q2* відповідно.

3.12 Висновок

У цьому розділі необхідно стисло викласти основні результати виконаної роботи з курсового проекту «Релейний захист електроустановок вузла навантаження потужністю ……... МВА».

Контрольні питання

1. Поясніть призначення і вимоги до проектованої системи релейного захисту електроустановок вузла навантаження.
2. На прикладі схеми електричної мережі вузла навантаження покажіть основні та резервні види захисту.
3. Поясніть принцип дії струмового відсічення лінії з однобічнім живленням.
4. Поясніть принцип дії диференційного захисту трансформатора на реле типу РНТ.
5. Поясніть принцип дії диференційного захисту на реле типу ДЗТ−11.
6. Поясніть принцип дії мікропроцесорного диференційного захисту трансформатора.
7. Поясніть принцип дії максимального струмового захисту трансформатора.
8. Поясніть принцип дії захисту фідера «лінія − трансформатор».
9. Поясніть, як здійснюється вибір параметрів МСЗ? Як вибираються параметри струмових відсічок.

10. Як визначаються коефіцієнти чутливості струмового захисту трансформатора?

11. Опишіть способи виконання диференційних струмових захистів. У чому полягає принцип їх дії? Відповідь поясніть прикладами.

12. Опишіть призначення, принцип дії, струми небалансу і відбудови від них, параметри подовжнього диференційного струмового захисту. Яким чином відбувається відбудова від струмів небалансу за допомогою реле з гальмуванням?

13. Які переваги і недоліки захистів, що базуються на диференційному принципі? Відповідь поясніть порівняльними прикладами.

14. Які додаткові фактори необхідно враховувати для диференційного захисту трансформаторів у порівнянні з аналогічним захистом генераторів? Відповідь поясніть прикладами.

15. Розгляньте фрагмент схеми релейного захисту трансформатора. Охарактеризуйте подану схему захисту.

16. Назвіть параметри і режими роботи розглянутого трансформатора, необхідні для вибору його захистів.

17. Поясніть вибір уставок мікропроцесорного диференційного захисту трансформатора.

18. Поясніть зони дії та способи узгодження проектованих захистів електроустановок вузла навантаження.

19. За рахунок чого забезпечується селективність дії максимального струмового захисту?

20. За рахунок чого забезпечується селективність дії струмового відсічення?

21. Як виконується комбінованій пуск максимального струмового захисту?

22. Дайте стислий опис структурної схеми традиційного захисту розглянутої електроустановки.

23. Дайте стислий опис принципової схеми захистів розглянутої електроустановки.

24. Дайте стислий опис структурної схеми цифрового захисту розглянутої електроустановки.

Додаток А

(Зразок листа завдання до курсового проекту)

Затверджую

зав. кафедрою

ЗАВДАННЯ

На курсовий проект студентові(ці) гр._____

_____

_

Тема проекту: **Релейний захист електроустановок вузла навантаження потужністю …..... МВА**

Термін здачі студентом закінченого проекту _____

Вихідні дані до проекту: додаток Б, варіант № ____

Зміст розрахунково−пояснювальної записки: Реферат. Вступ (вихідні дані й завдання проектування).

1.Вибір захистів; 1.1 Релейний захист високовольтних ліній; 1.2 Релейний захист трансформаторів; 2. Розрахунки струмів нормальних та аварійних режимів; 3. Струмове відсічення лінії з однобічним живленням; 4.Диференціальний захист трансформатора на реле типу РНТ; 5.Диференціальний захист трансформатора на реле типу ДЗТ – 11; 6.Мікропроцесорний диференціальний захист трансформатора; 7.Максимальний струмовий захист трансформатора; 8. Захист трансформатора від перевантаження; 9. Захист фідера "лінія – трансформатор"; 10. Структурні схеми традиційних і цифрових захистів; 11. Принципові схеми захистів. Висновок. Список використаних джерел.

Перелік графічного матеріалу: аркуш формату А1− електрична принципова схема захистів (ланцюги змінного й постійного струму).

Керівник проекту _____.

Додаток Б
(вихідні дані)

Таблиця Б.1 – Варіанти курсового проекту

Варіант №	Потужність ПС:*S*, МВ А	Напруга: *U*, кВ		Опір системи *Xc*, Ом		Довжина лінії: *l*, км	Напруга к. з., *Uk*, %			Однотиність трансформа-торів струму	Тип трансформатора
		ВН	НН	макс	мін		мін	перес	макс		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2×10	115	6,6	4,4	7,0	22,0	8,5	9,5	10,0	1	ТДН-10000/110
2	2×48	220	27,5/27,5	5,0	7,0	25,0	11,5	12,5	13,0	1	ОРДНЖ-16000/220
3	2×25	115	6,3/6,3	4,5	6,0	25,0	8,5	9,5	10,0	1	ТРДН-25000/110
4	2×10	121	10,5	10,5	12,5	10,0	-	10,5	-	1	ТЦ-10000/110
5	2×16	115	6,6	5,7	7,8	23,0	8,5	9,5	10,0	1	ТДН-16000/110
6	2×48	115	27,5/27,5	6,0	8,0	20,0	9,5	10,0	10,5	1	ОРДНЖ-16000/110
7	2×40	230	6,6/6,6	7,0	9,0	31,0	8,5	9,5	10,0	1	ТРДН-40000/220
8	2×16	121	10,5	8,5	10,5	12,0	-	10,5	-	1	ТД-16000/110
9	2×32	115	6,3/6,3	4,4	6,4	26,0	9,0	10,5	11,0	1	ТРДН-32000/110
10	2×25	121	10,5	6,5	10,0	14,0	-	10,5	-	1	ТД-2500/110
11	2×40	115	6,3/6,3	4,2	6,5	27,0	9,0	10,5	11,0	1	ТРДН-40000/110
12	2×32	121	10,5	5,0	7,0	18,0	-	10,5	-	1	ТД-32000/110
13	2×16	158	6,6	10,0	12,0	28,0	9,0	10,5	11,0	1	ТДН-16000/150
14	2×6,3	35,0	6,3	3,5	4,5	11,0	7,0	7,5	8,0	1	ТМН-6300/35
15	2×32	158	6,3/6,3	9,0	11,0	29,0	9,0	10,5	11,0	1	ТРДН-32000/150
16	2×40	115	6,3/6,3	5,0	7,0	34,0	8,5	9,5	10,0	1	ТРДН-40000/110
17	2×32	115	6,3/6,3	7,0	9,0	33,0	8,5	9,5	10,0	1	ТРДН-32000/110
18	2×25	115	6,3/6,3	6,0	8,0	32,0	8,5	9,5	10,0	1	ТРДН-25000/110
19	2×32	230	6,6/6,6	8,0	10,0	30,0	9,0	10,5	11,0	1	ТРДН-32000/220

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20	2×40	121	10,5	4,0	6,0	20,0	-	10,5	-	1	ТД-40000/110
21	2×32	230	11/11	8,0	10,0	30,0	9,0	10,5	11,0	0,5	ТРДН-32000/220
22	2×16	38,5	10,5	2,0	3,5	12,0	-	7,5	-	0,5	ТД-16000/35
23	2×10	115	11	5,5	7,5	14,0	8,5	9,5	10,0	0,5	ТДН-10000/110
24	2×48	230	27,5/27,5	9,0	11,0	30,0	9,5	10,0	11,0	0,5	ОРДНЖ-16000/220
25	2×25	115	10,5/10,5	4,5	6,0	25,0	8,5	10,5	10,0	0,5	ТРДН-25000/110
26	2×10	121	6,3	9,5	11,5	11,0	-	10,5	-	0,5	ТД-10000/110
27	2×16	115	11	5,0	7,0	24,0	8,5	9,5	10,0	0,5	ТДН-16000/110
28	2×48	110	27,5/27,5	5,0	7,0	15,0	8,5	9,5	10,0	0,5	ОРДНЖ-16000/110
29	2×40	230	11/11	7,0	9,0	31,0	8,5	9,5	10,0	0,5	ТРДН-40000/220
30	2×16	121	6,3	7,5	9,5	13,0	-	10,5	-	0,5	ТД-16000/110
31	2×32	115	10,5/10,5	4,4	6,4	26,0	9,0	10,5	11,0	0,5	ТРДН-32000/110
32	2×25	121	6,3	6,0	8,0	15,0	-	10,5	-	0,5	ТД-25000/110
33	2×40	115	10,5/10,5	4,2	6,5	27,0	9,0	10,5	11,0	0,5	ТРДН-40000/110
34	2×32	121	6,3	5,2	7,7	17,0	-	10,5	-	0,5	ТД-32000/110
35	2×16	158	11	10,0	12,0	28,0	9,0	10,5	11,0	0,5	ТДН-16000/150
36	2×6,3	38,5	11	2,4	3,2	14,0	6,5	7,0	7,5	0,5	ТМН-6300/35
37	2×32	158	10,5/10,5	9,0	11,0	29,0	9,0	10,5	11,0	0,5	ТРДН-32000/150
38	2×40	115	10,5/10,5	5,0	7,0	34,0	8,5	9,5	10,0	0,5	ТРДН-40000/110
39	2×32	115	10,5/10,5	7,0	9,0	33,0	8,5	9,5	10,0	0,5	ТРДН-32000/110
40	2×25	115	10,5/10,5	6,0	8,0	32,0	8,5	9,5	10,0	0,5	ТРДН-25000/110
41	2×16	38,5	6,3	3,0	4,5	10,0	-	8,0	-	1	ТД-16000/35
42	2×40	121	6,3	4,2	6,4	21,0	-	10,5	-	0,5	ТД-40000/110
43	2×16	35,0	6,3	2,5	3,3	10,0	-	8,0	-	1	ТД-16000/35
44	2×16	38,5	10,5	3,3	4,1	15,0	-	9,0	-	0,5	ТД-16000/35

ЗМІСТ

Вступ 3

1. Мета й організація виконання курсового проекту 4
2. Завдання до курсового проекту 6
3. Методичні вказівки до виконання курсового проекту 7

3.1. Вступ 7

3.2. Вибір захистів 7

3.3. Струмове відсічення лінії з однобічним живленням 12

3.4. Диференційний захист трансформатора на реле типу РНТ 14

3.5. Диференційний захист трансформатора на реле типу ДЗТ – 11 16

3.6. Мікропроцесорний диференційний захист трансформатора 18

3.7. Максимальний струмовий захист трансформатора 24

3.8. Захист трансформатора від перевантаження 28

3.9. Захист фідера «лінія – трансформатор» 30

3.10. Структурні схеми традиційних і цифрових захистів 33

3.11. Принципові схеми захистів 37

3.12. Висновок 43

Контрольні питання 43

Список використаних джерел 45

Додаток А. Зразок листа завдання до курсового проекту 47

Додаток Б. Вихідні дані 48

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання курсового проекту з дисципліни “Релейний захист”
для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності
7.05070106 «Системи управління виробництвом та розподілом
електроенергії»

Укладач БАЖЕНОВ Володимир Миколайович

Відповідальний за випуск О.Г. Гриб
Роботу рекомендував до видання Ю.М. Вепрік

Редактор О.І. Шпільова

План 2013 р., поз. 145

Підп.до друку 2014 р. Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 3,5
Наклад 100 прим. Зам. № Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Друкарня НТУ «ХПІ». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.