

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з курсу
«МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ В
ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ»

№447

ДОНЕЦЬК ДонНТУ 2011

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
"ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ"



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з курсу
«МІКРОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ В
ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ»

Розглянуто на
засіданні кафедри
Електричні станції
протокол № 1 від 25.08.2011

Затверджено на засіданні
навчально-видавничої ради
ДонНТУ
протокол № 5 від 01.09.2011

УДК 621.316.925

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу "Мікропроцесорні системи захисту та автоматики в електричних системах" (для студентів спеціальності «Електричні станції» 8.090601) / Склали: М.В.Гребченко, І.В. Бельчев. - Донецьк: ДонНТУ, 2011.- 60с.

Наведені лабораторні роботи, розроблені на кафедрі з урахуванням особливостей виконання мікропроцесорних та напівпровідникових захистів елементів електричних станцій та резервування захистів у мережі власних потреб ТЕС.

Склали: М.В. Гребченко, д.т.н., проф.
І.В. Бельчев, ас.

Розглянуто на
засіданні кафедри
Електричні станції
протокол № 1 від 25.08.2011

Затверджено на засіданні
навчально-видавничої ради
ДонНТУ
протокол № 5 від 01.09.2011

ЗМІСТ

	Стор.
Лабораторна робота № 1. Дослідження статичного реле струму типу РСТ 11.....	6
Лабораторна робота № 2. Дослідження статичного реле часу типу РВ 01.....	10
Лабораторна робота № 3. Дослідження статичного реле напряду потужності РСМ 13.....	13
Лабораторна робота № 4. Дослідження принципів виконання пристроїв резервування відмови вимикачів та реле струму типу РТ 40/Р.....	20
Лабораторна робота №5. Дослідження мікропроцесорного пристрою захисту, автоматики, контролю та управління приєднань типу МРЗС-05.....	23
Лабораторна робота № 6. Дослідження мікропроцесорного захисту типу REX 521.....	36
Лабораторна робота № 7. Дослідження мікропроцесорного терміналу захисту фідера типу REF 541.....	43
Лабораторна робота № 8. Струмові захисти з використанням змінного оперативного струму. Комплект захисту типу КЗ-37.....	51

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Дослідження статичного реле струму типу РСТ 13

Мета роботи. Вивчення принципу дії статичного реле струму, його характеристик та переваг відносно електромеханічних реле, а також особливостей використання статичного реле струму.

Загальні відомості

Статичні реле максимального струму серій РСТ 11 - РСТ 14 використовуються як вимірювальні органи струмових захистів у всіх випадках, коли не потребуються спеціальні заходи по забезпеченню неспрацьовування реле з-за наявності аперіодичних складових та вищих гармонік.

Схема реле виконана з використанням часоімпульсного принципу, який забезпечує завадостійкість реле. Прийняте виконання забезпечує чітку роботу реле при великих кратностях струму пошкодження по відношенню до номінального струму трансформаторів струму, коли їх похибка може досягати 80-90%. Реле має підвищену сейсмостійкість та призначені для застосування в першу чергу на атомних електростанціях.

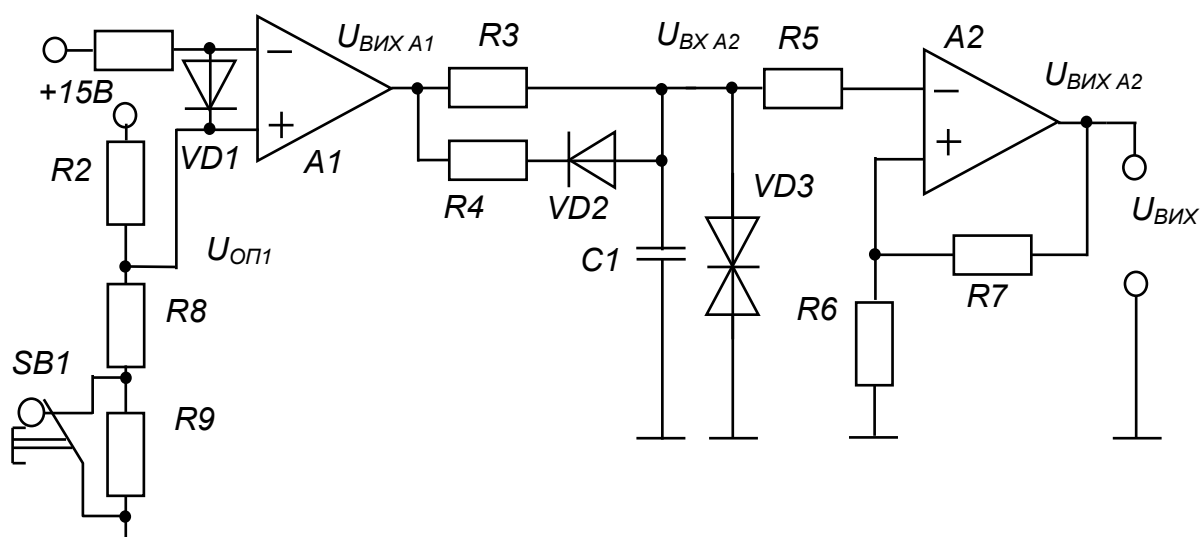


Рисунок 1.1 – Принципова схема вузла порівняння реле типу РСТ

Основним елементом реле струму типу РСТ (реле напруги типу РСН) є вузол порівняння (рисунок 1.1), який реагує на повне значення струму. В цьому блоці реалізується часоімпульсний принцип. Для його спрацьовування повинно виконуватись одночасно дві умови: вхідний сигнал перевищує задане значення; виконується співвідношення між часом перевищення заданого рівня та часом, коли вхідний сигнал нижче рівня спрацьовування. Реле напруги відрізняється від реле струму тільки тим, що в ньому замість давача струму встановлено давач напруги.

В схемі вузла порівняння (рисунок 1.1) є два індикатора рівня. Перший виконаний на операційному підсилювачі А1. На вхід А1, що не інвертує знак сигналу, через дільник на резисторах R2 та R8, R9 подається від джерела

живлення позитивна опорна напруга $U_{оп1}$, яка відповідає уставці реле. На вхід А1, що інвертує знак сигналу, подається випрямлена напруга, величина якої пропорційна струму (напрузі) від трансформатора струму ТА (трансформатора напруги TV). Якщо ця випрямлена напруга менше ніж опорна, то на виході А1 буде максимальна позитивна напруга +13 В. Цьому відповідає перший півперіод на часовій діаграмі (рисунок 1.2).

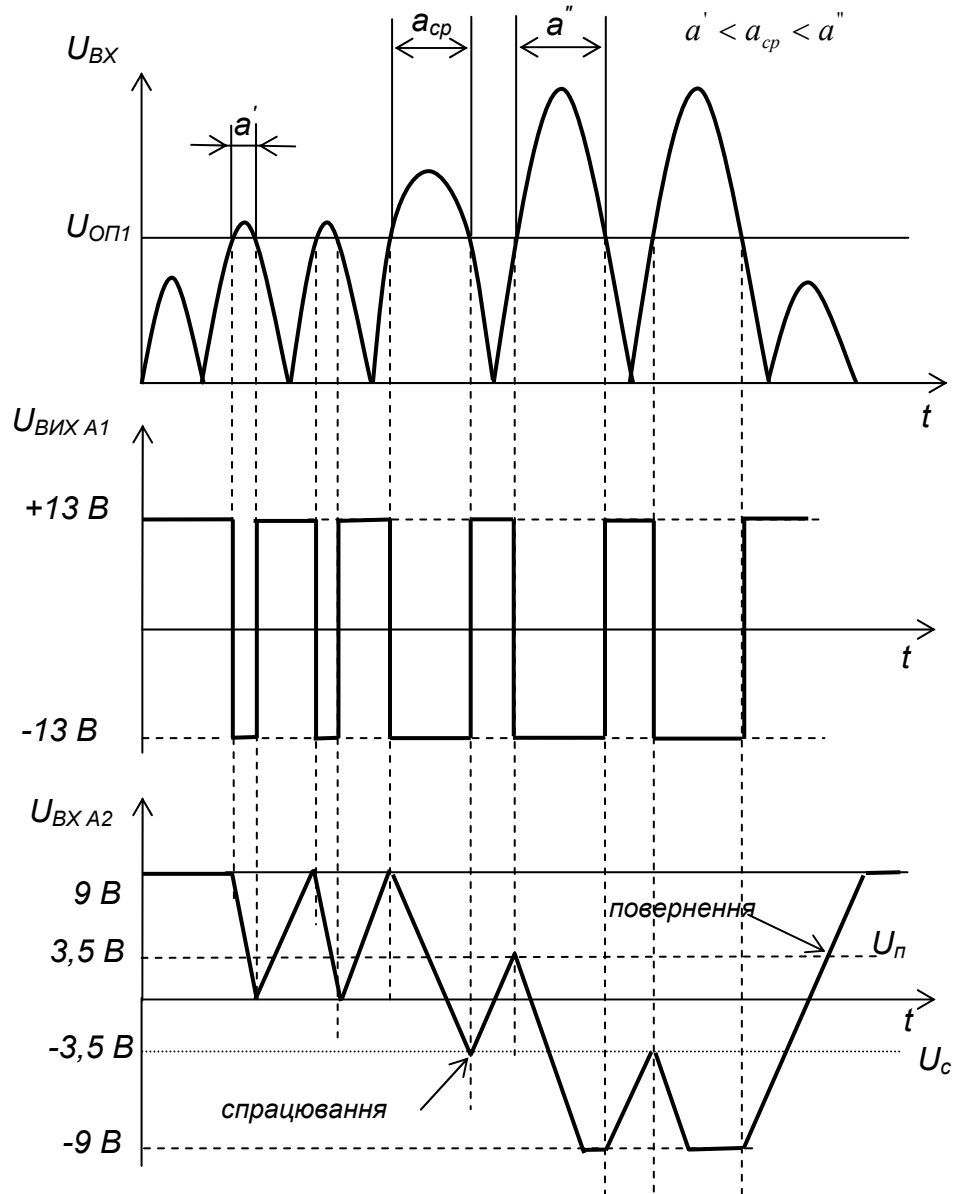


Рисунок 1.2 – Часова діаграма роботи вузла порівняння реле струму

Вихідна позитивна напруга А1 заряджає С1 через R3, VD2 закритий. Максимум напруги на С1 обмежується напругою стабілізації VD3, яка дорівнюється 9 В. Отримана напруга подається на другий індикатор рівня, яким є виконаний на ОУ А2 тригер Шмідта.

Позитивна напруга, що надходить з С1 на вхід А2, котрий інвертує знак сигналу, створює на виході ОУ напругу негативного знаку, величина якої

досягає мінус 13 В. Через ланцюг позитивного зворотного зв'язку на вхід А2, що не інвертує знак сигналу, подається частина цієї напруги, котра залежить від співвідношення між R6 і R7. Вона править за опорну напругу спрацювання

$$U_{\text{ОП2}} = U_{\text{ВХ А2}} \cdot \frac{R6}{R6 + R7}, \text{ що визначає другу умову спрацювання реле.}$$

Якщо вхідна напруга зростає до значення, яке перевищує значення опорної напруги, знак вихідної напруги А1 стає негативним, а величина дорівнює максимуму – 13 В. Зміна знаку напруги на виході А1 призводить до перезаряду С1. Якщо рівень $U_{\text{ВХ}}$ стає вище $U_{\text{ОП1}}$ на незначний проміжок часу, як це є в другому та третьому півперіодах $U_{\text{ВХ}}$, то С1 не встигає повністю перезарядитися. Виникає лише зниження напруги на С1 до значення, яке близьке до нуля, а потім після спадання $U_{\text{ВХ}}$ нижче $U_{\text{ОП1}}$ – повторний заряд ємності до максимального позитивного рівня.

Виконавча частина вузла порівняння спрацює тільки тоді, коли за рахунок зростання вхідного сигналу час перевищення $U_{\text{ВХ}}$ над $U_{\text{ОП1}}$, що дорівнює проміжку $a_{\text{СР}}$, стане достатнім, щоб С1 перезарядилася настільки, що негативна напруга на С1 стала нижче $U_{\text{ОП2}}$. Потенціал входу А2, котрий інвертує знак сигналу, при цьому досягає такого значення, що відбудеться негайна зміна знаку вихідної напруги тригера на позитивний. Це є ознакою спрацювання вузла.

Після зміни знаку напруги на виході А2 напруга на його вході, що не змінює знак, становиться також позитивною. Вона має назву опорної напруги повернення $U_{\text{ОП2, п}}$. Після закінчення проміжку часу, який відповідає $a_{\text{СР}}$, С1 знов почне заряджатися. Постійна часу заряду С1 завдяки діоду VD2 приблизно в 3 рази більше постійної розряду. Тому, коли ємність С1 знов почне заряджатися, вона не встигне досягти рівня $U_{\text{ОП2, п}}$, як знов почнеться розряд. Завдяки цьому досягається релейна дія реагуючого органа.

Для повернення необхідно, щоб $U_{\text{ВХ}}$ знизилось до такого значення, коли напруга на С1 стане вище $U_{\text{ОП2, п}}$. Цьому відповідає останній півперіод.

Аналіз показує, що $a_{\text{СР}}$ повинно дорівнювати приблизно 1,6 мс, за цей час вхідна напруга змінюється не більш ніж на 3%. Але завдяки такій властивості робота реле мало залежить від форми кривої вхідного сигналу, який надходить.

На відміну від електромеханічних реле струму для роботи статичних реле РСТ потребується живлення від стороннього джерела (РСТ 11,12 - змінна напруга 220 В; РСТ 13,14 - постійна напруга 220 В). Реле РСТ 12 та 14 призначені для роботи в мережі із частотою 60 Гц.

В умовному позначенні реле друге двозначне число означає максимальну уставку по струму реле типу цього виконання. Є сім варіантів типових виконань: 04 на струм 0,2 А, 09 - 0,6 А, 14 - 2 А, 19 - 6 А, 24 - 20 А, 29 - 60 А, и 32 - 120 А.

Зміна уставки струму спрацювання виконується ступенями по 0,1 від мінімальної уставки діапазону. Повний діапазон регулювання уставок реле - від

I_{\min} до $4,1 I_{\min}$.

Для завдання на реле струму спрацьовування, необхідно за допомогою викрутки поставити відповідні перемикачі $SB1 - SB5$ у виступаюче положення. Струм уставки реле

$$I_{уст} = I_{\min} (1 + \Sigma \Theta), \text{ A,}$$

де I_{\min} - мінімальний струм уставки, який дорівнюється $1/4$ значення струму, що відповідає другому числу в умовному позначенні реле;

$\Sigma \Theta$ - сума чисел, які нанесені під перемикачами, що поставлені в виступаюче положення. При цьому риски на торцях голівок перемикачів будуть спрямовані у бік обраних чисел.

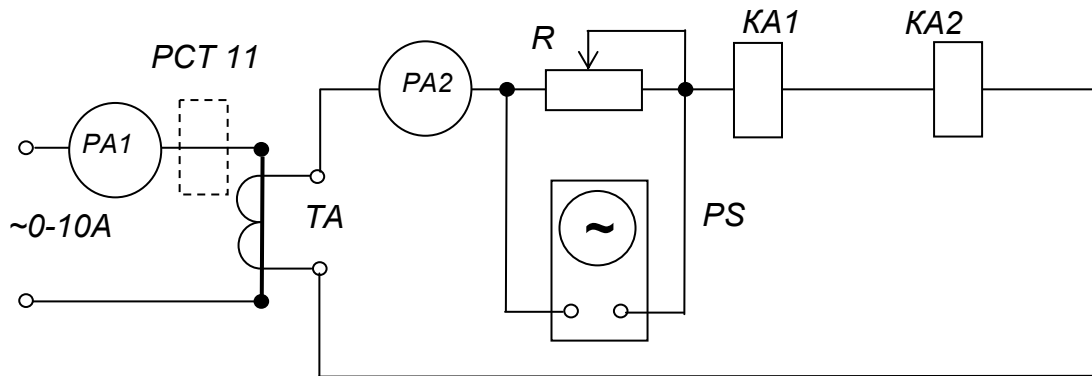


Рисунок 1.3 – Схема визначення характеристик та дослідження роботи реле струму у разі насичення вимірювального трансформатора струму ТА

Порядок виконання роботи

1. Вивчити принцип дії реле струму типу PCT 11.
2. Зібрати схему для визначення характеристик реле. Визначити струми спрацьовування та повернення для декількох уставок реле в діапазоні до 10 А. Розрахувати коефіцієнти повернення реле.
3. Для оцінки величини насичення трансформатора струму підключити до потенціометру R вхід осцилографа PS. Шляхом збільшення величини опору R перевести трансформатор струму в режим насичення, переконавшись в тому, що реле струму спрацьовує. Визначити максимально можливе насичення, при якому реле правильно працює.
4. Оформити звіт. Зробити висновки про переваги статичного реле в порівнянні з електромеханічним реле струму.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Дослідження статичного реле часу типу РВ-01

Мета роботи: вивчення принципу дії, конструкції, основних характеристик і схем включення статичного реле часу. Дослідження похибок і розрахунок ступені селективності МСЗ при використанні в ній електромеханічних і статичних реле часу.

Загальні відомості

Селективність дії МСЗ з незалежною характеристикою спрацьовування забезпечується за рахунок введення витримок часу. Витримки часу вибираються за ступінчастим принципом, відповідно до якого час спрацьовування захистів збільшується на ступень селективності Δt в напрямку від навантаження до джерела живлення.

Правильний вибір ступені селективності дозволяє знизити час відключення к.з., що доцільно у всіх випадках. Час відключення к.з. не повинен перевищувати допустимий виходячи з умови забезпечення термічної стійкості.

Ступінь селективності Δt повинна бути такою, щоб встиг спрацювати захист і відключитися вимикач на пошкодженій ділянці, перш ніж закінчиться витримка часу захисту на наступній (непошкодженій ділянці).

Для МСЗ з незалежною витримкою часу спрацьовування ступінь селективності Δt визначається з умови забезпечення селективної роботи двох суміжних захистів, які одночасно запускаються при виникненні к.з. При цьому враховується виникнення найбільш несприятливого співвідношення похибок реле часу цих двох захистів: через похибки реле часу захисту, що розташований ближче до місця к.з., час дії цього захисту збільшується, а час дії захисту, що розташований далі від місця к.з. зменшується через похибки реле часу цього захисту. Ступінь селективності Δt повинна перевищувати суму абсолютних значень похибок реле часу Δt_{KT1} і Δt_{KT2} , а тому визначається як:

$$\Delta t = t_{\text{відкл}} + \Delta t_{KT1} + \Delta t_{KT2} + t_{\text{зан}},$$

де $t_{\text{відкл}}$ - час відключення вимикача від моменту подачі імпульсу на вимикаючу котушку до моменту гасіння дуги на його силових контактах (у повітряних вимикачів 0,08-0,1 с, у масляних 0,08-0,25 с);

Δt_{KT1} - похибка реле часу захисту ушкодженої ділянки, яке може подіяти на відключення з витримкою часу більше розрахункової, тобто пізніше, ніж передбачалося. Для електромеханічних реле ця похибка в основному залежить від шкали реле часу і становить: 0,06 с у реле зі шкалою до 1,3 с; 0,8 с у реле до 20 с;

Δt_{KT2} - похибка реле часу захисту наступної до джерела живлення ділянки, яке може подіяти з витримкою часу менше розрахункового значення, тобто раніше, ніж передбачалося: значення Δt_{KT2} такі ж, як і Δt_{KT1} ;

$t_{\text{зан}}$ - час запасу, що враховує неточність регулювання реле часу, похибку секундоміра, за допомогою якого проводиться настройка реле часу, збільшення часу відключення вимикачів в зимовий час і інші чинники, приймається 0,1-

0,15 с.

З урахуванням наведених значень складових ступінь селективності в середньому становить 0,4-0,6 с.

Відповідно до технічних даних реле РВ-01 середня основна похибка витримок часу (δ), виражена у відсотках від уставки, на будь-якій уставці при нормальних умовах не перевищує величин, розрахованих за формулою:

$$\delta = \pm \left| a + b \frac{T_M}{T} \right|,$$

де a - складова похибки, виражена у відсотках від уставки;

b - складова похибки, виражена у відсотках від максимальної уставки;

T_M - величина максимальної уставки номінального діапазону уставок, с;

T - значення уставки, с.

Таблиця 2.1 – Деякі технічні дані реле РВ-01 (діапазон уставок 0,1-1,0)

Мінімальна ступінь регулювання уставки, с	Коефіцієнти формули основної похибки		Клас точності	Основна похибка δ при різних значеннях T/T_M у % від уставки		Розкид витримок часу у % від уставки
	a	b		0,1	1,0	
0,01	2,5	1,2	a/b	14,5	3,7	не більш 0,6 δ при $T > 0,5$ с

На рисунку 2.1 приведена спрощена принципова схема внутрішніх з'єднань реле типу РВ-01. Принцип створення заданої витримки часу в реле заснований на використанні часу заряду конденсатора RC-кола.

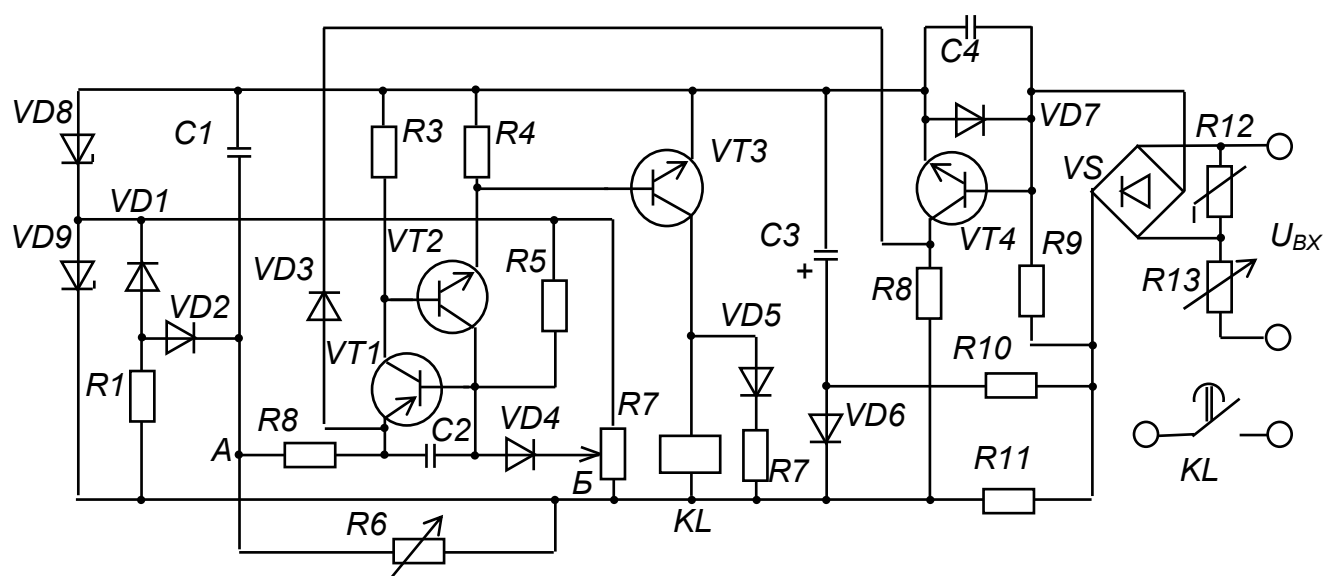


Рисунок 2.1 – Спрощена принципова схема реле часу типу РВ-01

Порядок виконання роботи

1. Вивчити принцип дії, конструкцію і основні характеристики статичного реле часу типу РВ-01.
 2. Зібрати схему для дослідження реле часу (вимірювання часу спрацьовування і похибки).
 3. Виконати вимірювання похибок реле часу. Розрахувати похибки реле часу РВ-01.
 4. Провести порівняльний аналіз розрахункових і експериментальних даних.
 5. На підставі отриманих експериментальних даних розрахувати ступінь селективності і витримку часу резервного струмового захисту вводу робочого живлення секції власних потреб 6 кВ при використанні в ній реле часу РВ-01.
- Сформулювати висновки про переваги і недоліки реле РВ-01.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Дослідження статичного реле потужності типу РСМ-13

Мета першої частини роботи: Вивчення принципу дії, галузі застосування та характеристик напівпровідникового реле потужності типу РСМ-13.

Загальні відомості

Реле типу РСМ-13 реагує на величину і напрям активної потужності (випускається замість індукційного реле активної потужності типу РБМ-275), має підвищену сейсмостійкість. Для роботи реле потрібен постійний оперативний струм.

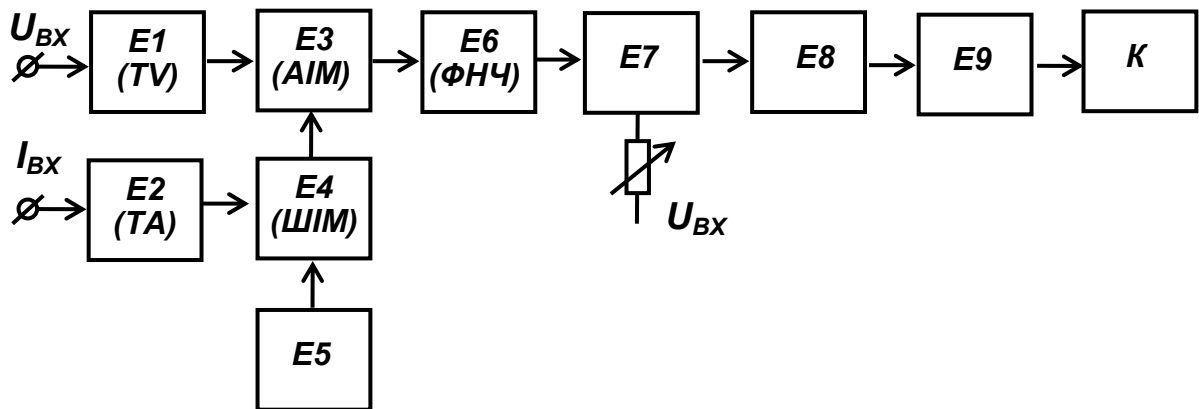


Рисунок 3.1 – Структурна схема реле

- E1 - проміжний трансформатор напруги TV;
- E2 - проміжний трансформатор струму ТА;
- E3 - амплітудно-імпульсний модулятор;
- E4 - широтно-імпульсний модулятор;
- E5 - генератор пилоподібної напруги;
- E6 - фільтр низьких частот;
- E7 - компаратор;
- E8 - інтегратор;
- E9 - пороговий елемент;
- K - вихідне реле.

Елементи E1 і E2 перетворюють вхідну напругу і струм реле в пропорційні їм напруги, зручні для подальшої обробки. Елементи E3-E6 утворюють часо-імпульсний помножувач аналогових сигналів. Часова діаграма напруг помножувача наведена на рисунку 3.2. Напруга з виходу елемента E2 подається на один вхід широтно-імпульсного модулятора (ШИМ) E4. На інший

вхід ШІМ подається пікоподібна напруга з виходу генератора Е5. Частота вихідної напруги генератора значно перевищує частоту вхідного струму реле. На виході ШІМ утворюються прямокутні імпульси, тривалість яких пропорційна миттєвому значенню вхідного струму реле. На один вхід амплітудно-імпульсного модулятора (АІМ) Е3 надходить напруга з виходу елемента Е1, на інший вхід АІМ надходить напруга з виходу ШІМ. На виході АІМ формується імпульсна напруга, тривалість імпульсів якого дорівнює тривалості імпульсів ШІМ, тобто миттєвому току на вході реле, а амплітуда пропорційна миттєвому значенню вхідної напруги. Таким чином, площа кожного імпульсу АІМ пропорційна миттєвому значенню повної потужності на вході реле. Число імпульсів в одиницю часу не змінюється. Постійна складова такої напруги пропорційна величині активної потужності на вході реле. Ця постійна складова виділяється фільтром низьких частот (ФНЧ) Е6. Вихідний сигнал ФНЧ порівнюється з опорною напругою компаратором Е7. Компаратор виконаний таким чином, що в момент рівності потужності на затискачах реле заданої уставки вихідний сигнал компаратора являє собою послідовність імпульсів, тривалість яких дорівнює тривалості пауз між ними. На виході компаратора стоїть інтегратор Е8, в умовах рівності тривалостей пауз і імпульсів Е8 знаходиться в рівновазі. При перевищенні тривалостей пауз Е8 має на виході деяку полярність, при перевищенні тривалостей імпульсів ця полярність змінюється на протилежну. Далі розташований граничний елемент Е9 і електромеханічне реле К, яке спрацьовує при одній полярності на виході Е8 і повертається за іншої його полярності.

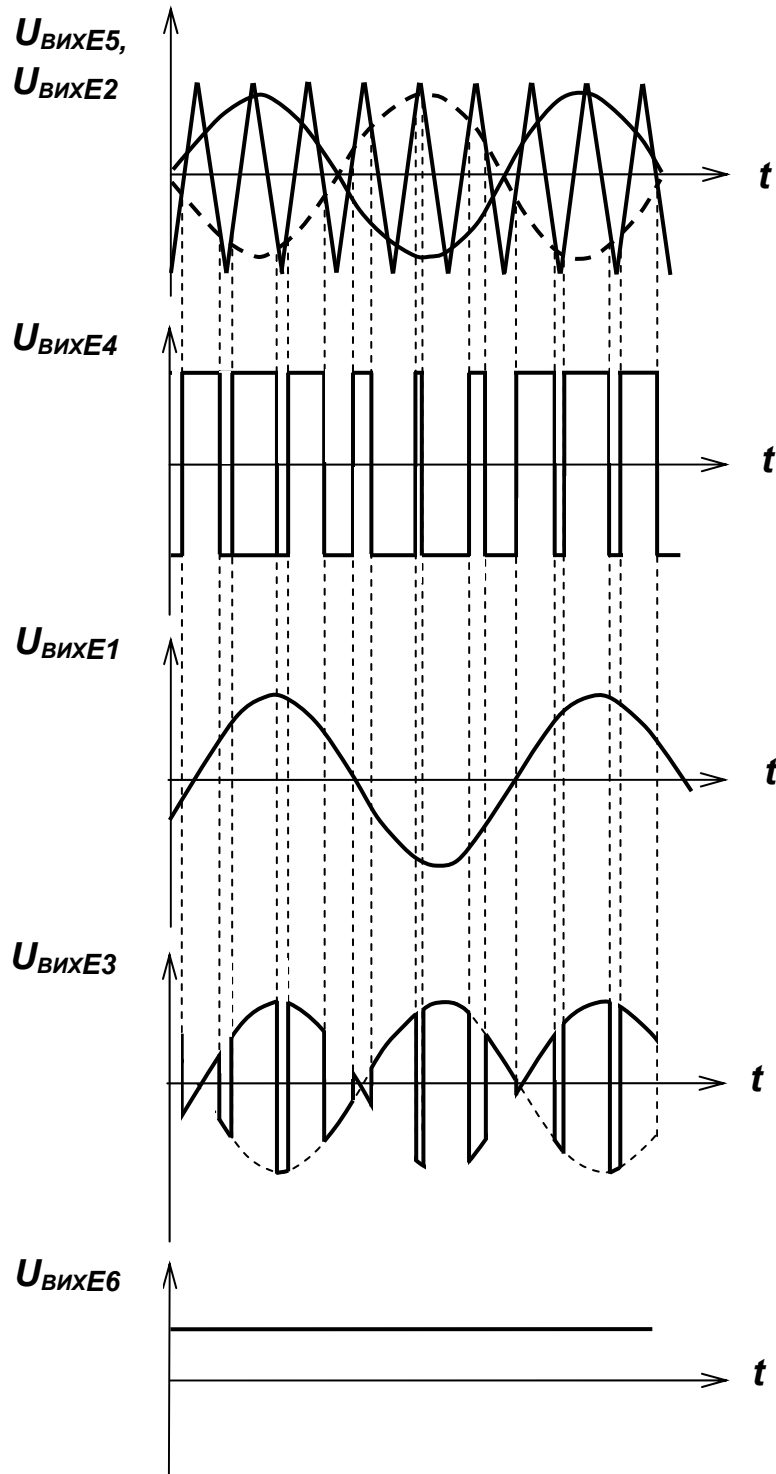


Рисунок 3.2 – Часова діаграма напруг помножувача

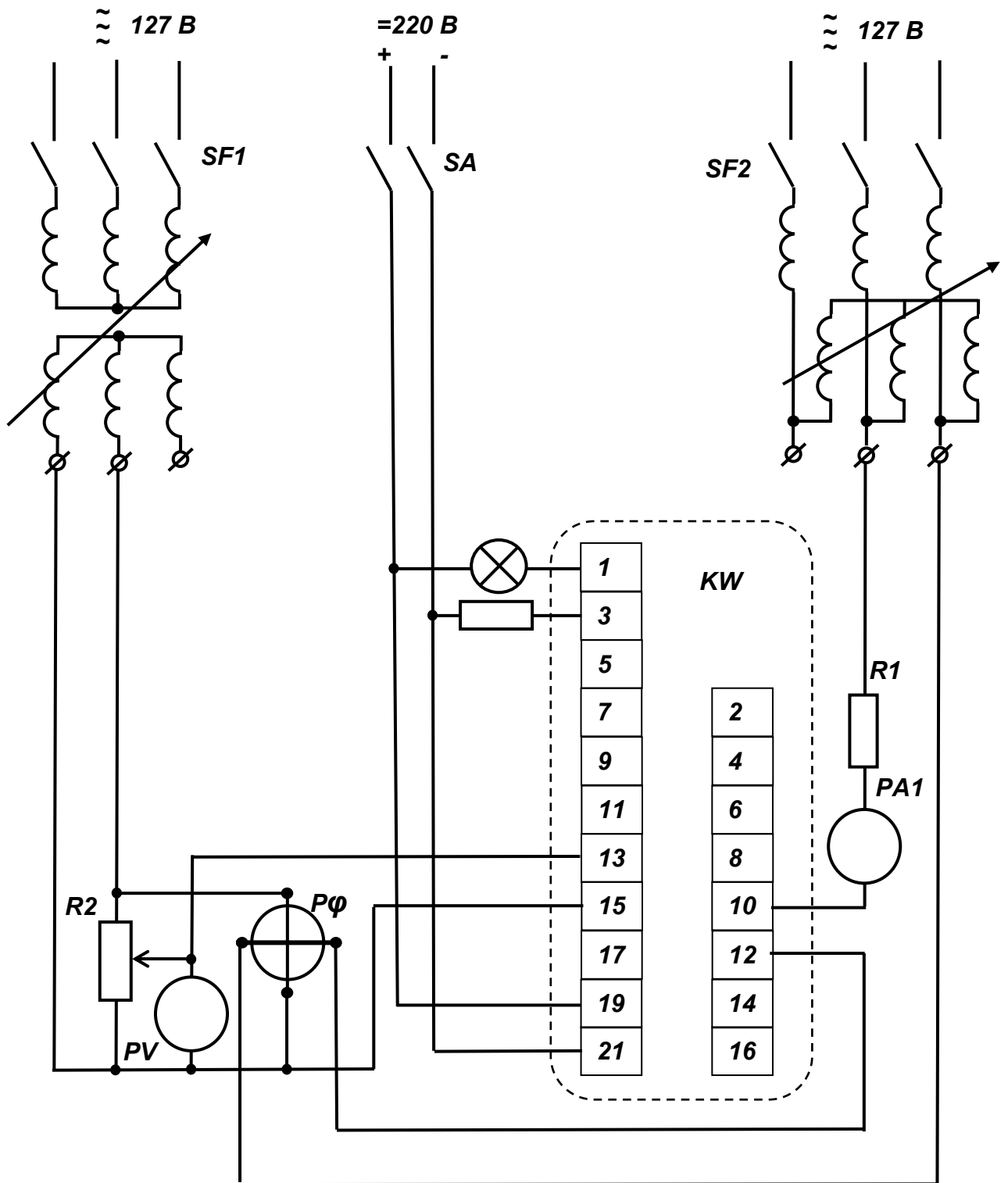


Рисунок 3.3 – Схема визначення характеристик реле типу РСМ-13

Реле типу РСМ-13 використовується як блокуючий орган при зовнішніх к.з. у чутливому струмовому резервному захисті живильних введів секцій 6 кВ В.П.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити принцип дії реле РСМ-13 і його технічні характеристики.
2. Записати дані реле, встановленого на лабораторному стенді.
3. Зібрати схему для дослідження реле типу РСМ-13.
4. Встановити номінальний струм реле і номінальну напругу.
5. Змінюючи кут між струмом і напругою, підведеними до реле, за допомогою фазорегулятора визначити зону роботи реле і його кут максимальної чутливості.
6. За мінімальної уставки спрацювання по потужності визначити мінімальну напругу спрацювання реле (шляхом зниження напруги, підведеної до реле). Зняти кутову характеристику.
7. За отриманими даними виконати аналіз роботи реле при самозапуску електродвигунів секцій 6 кВ, який викликаний багатofазним к.з. в мережі високої напруги електростанції.

Чутливий струмовий захист вводів живлення секцій в.п. 6 і 0,4 кВ

Мета другої частини роботи: Вивчити принцип дії, методику вибору параметрів спрацювання, особливості застосування захисту і характеристики основних елементів схеми захисту.

Загальні відомості

Відмінною особливістю в.п. є велика кількість різнотипних АД, що знаходяться на різному віддаленні від живильної секції 6 кВ. Це ускладнює забезпечення надійного резервування відмов захистів і вимикачів приєднань 6 і 0,4 кВ, особливо на блоках великої потужності.

У якості резервних захистів на вводах живлення в.п. 6 і 0,4 кВ можуть застосовуватися наступні захисти:

- МСЗ;
- МСЗ з пуском мінімальної напруги (комбінованим);
- дистанційні захисти.

Для запобігання загорянь у кабельній мережі 6 і 0,4 кВ в.п. повинно забезпечуватися відключення к.з. в будь-якій точці за час не більше 0,6 с. Дистанційні захисти, що застосовуються для цього на блоках менше 200 МВт мають обмежену зону дії, і не забезпечують необхідну чутливість при потужності трансформаторів в.п. 25-63 МВА (в мережі 0,4 кВ – 630-1000кВА) [7].

Забезпечити необхідну зону дії резервних захистів вводів живлення можна за рахунок зниження струму спрацювання захисту. Для виключення

спрацьовування цього захисту при самозапуску в чутливому резервному захисті цей режим виявляється логічною схемою.

Струмний орган захисту відстроюється від струму повністю завантаженої секції в.п., що захищається, при пуску на цій секції найбільш потужного електродвигуна.

$$I_{с.з} = \frac{K_n}{K_g} \sqrt{(I_{н.секц} - I_{н.дв})^2 \cdot \cos^2 \varphi_n + \left[(I_{н.секц} - I_{н.дв}) \cdot \cos \varphi_n + \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{U_n}{K_n \sqrt{3} I_{н.дв}} + X_{тсн} + X_{ун} \right)} \right]^2}$$

де

K_n – коефіцієнт надійності, для РСТ-13, $K_n=1,1$;

K_g – коефіцієнт повернення, для РСТ-13, $K_g=0,9$;

$I_{сек.ном.}$, $\cos \varphi_{сек.ном.}$ – номінальний струм і номінальний коефіцієнт потужності навантаження секції, що захищається;

$I_{ном}$ і K_n – номінальний струм і кратність пускового струму найбільшого електродвигуна, який підключено до секції, що захищається.

Порядок виконання роботи

1. Отримати завдання у викладача і виконати розрахунок струму спрацьовування захисту та спрацьовування реле струму.

2. Виставити на реле струму РСТ-13 отриману уставку і визначити дійсний струм спрацьовування і коефіцієнт повернення реле.

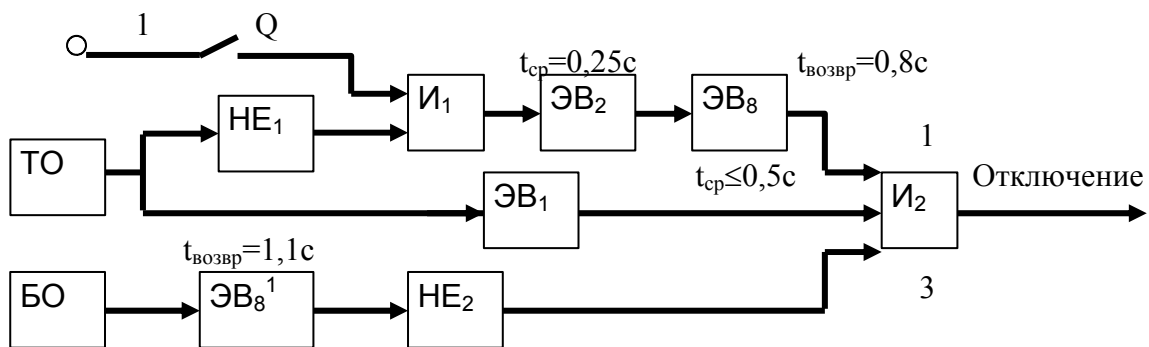


Рисунок 3.4 – Структурна схема захисту

3. Зібрати схему для дослідження реле напрямку потужності РСМ-13 (див. схему в лаб. роб. № 4). Виставити на реле необхідну потужність спрацьовування (рекомендується 10Вт). Визначити зону роботи реле, потужність спрацьовування і кут максимальної чутливості реле РСМ-13.

4. Проаналізувати роботу захисту за принциповою схемою в режимах пуску, самозапуску і відмови захистів (вимикачів) приєднань, що відходять.

5. Оформити звіт по роботі.

Звіт повинен містити

1. Назва та мета роботи.
2. Пояснювальну схему підключення захисту, тобто вказати до яких трансформаторів струму і напруги підключається захист.
3. Принципову схему кіл змінного і постійного струму.
4. Розрахунок параметрів (уставок) спрацьовування захисту.
5. Результати експериментальних досліджень реле струму типу РСТ-13.
6. Експериментальні характеристики реле потужності типу РСМ-13.
7. Висновки по роботі, що включають в себе аналіз характеристик чутливого струмового захисту.

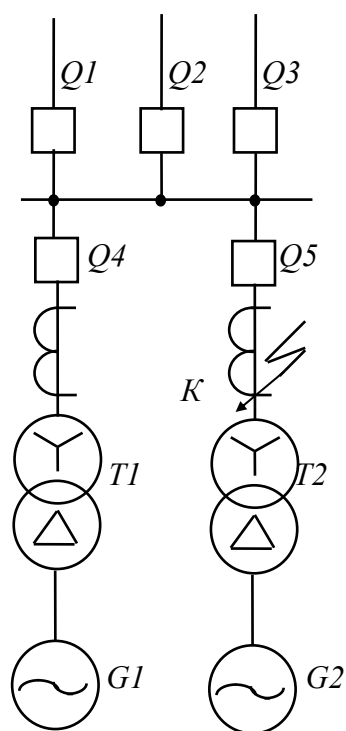
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Дослідження принципів виконання пристроїв резервування відмови вимикачів і реле струму типу РТ-40/Р

Мета роботи: Дослідження різних принципів побудови і вибору параметрів спрацьовування пристроїв резервування відмови вимикачів (ПРВВ), а також характеристик реле струму типу РТ-40/Р.

Загальні відомості

Для забезпечення надійного і найбільш швидкого відключення к.з. застосовується далеке і ближнє резервування. До системи ближнього резервування відносяться пристрої резервування відмови вимикачів (ПРВВ). ПРВВ запускається захистами вимикача, що відмовив, і діє на відключення усіх вимикачів, через які продовжує протікати струм к.з.



Наприклад, при к.з. в зоні дії диференційного захисту трансформатора в точці К1 і відмові вимикача Q5 с допомогою ПРВВ мають бути відключені вимикачі Q1, Q2, Q3 і Q4. Диференційний захист одночасно з поданням сигналу на відключення вимикача Q5 іншим контактом замикає коло живлення реле часу ПРВВ, який у разі невідключення Q5 за допустимий проміжок часу замикає кола відключення вимикачів Q1, Q2, Q3 і Q4.

Рисунок 4.1 – Фрагмент головної електричної схеми ТЕС

ВИБІР УСТАВОК ПРВВ

Трифазне струмове реле типу РТ-40/Р.

Для кожного приєднання (лінія, трансформатор, ШЗВ, ОВ) використовується однотипне коло, що складається з послідовно сполучених замикаючих контактів двох реле типу РТ-40/Р і розмикального контакту реле положення «включене» КҚС. Послідовне включення обмоток і послідовне включення контактів реле обумовлені вимогами надійності. Для підвищення надійності роботи контактів цих реле оперативні кола ПРВВ побудовані так,

щоб замикання і розмикання контактів при зміні навантаження по приєднанню в нормальному режимі відбувалося без комутації струму.

Реле типу РТ-40/Р має велике споживання. Реле з $I_H=5A$ має опір при струмах від 20 до 100% I_H складає 1,5-2 Ом залежно від режиму протікання струмів по обмоткам реле. Такі значні додаткові опори, що вносяться в струмові кола захистів, погіршують умови їх роботи, тому допустимість включення обмоток реле РТ-40/Р повинна перевірятися розрахунком.

Трифазні струмові реле РТ-40/Р, контролюючі наявність невідключеного к.з. на кожному вимикачі містить проміжний трансформатор Т з трьома первинними обмотками W_1 , W_2 , W_3 і однією вторинною W_{BT} . До вторинної обмотки через випрямляч включено реле РТ-40. Для захисту випрямлячів від перенапружень, що мають несинусоїдальний характер, встановлені конденсатор "С" і резистор "R". Обмотки W_2 і W_3 мають удвічі менше число витків, чим W_1 .

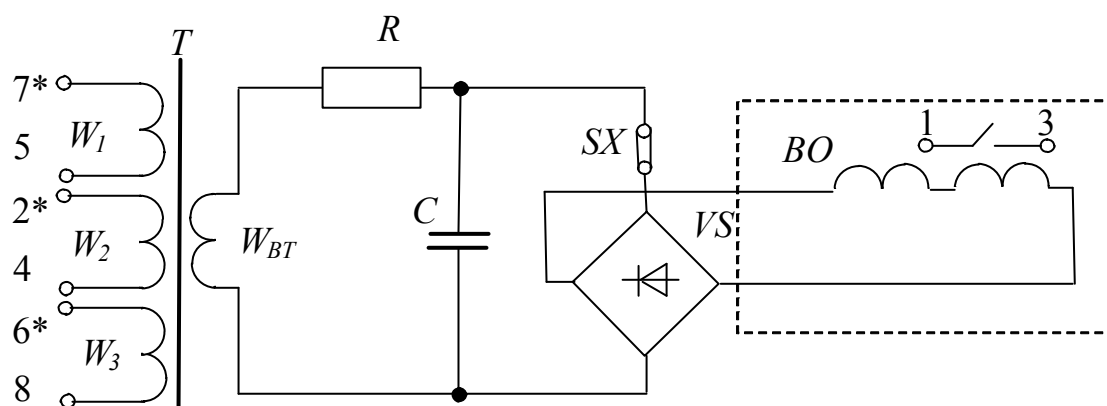


Рисунок 4.2 – Принципова електрична схема реле

Реле містить проміжний трансформатор Т з трьома первинними обмотками W_1 , W_2 , W_3 і вторинною W_{BT} . До W_{BT} через випрямляч VS підключений виконавчий орган ВО (РТ-40). Для захисту випрямлячів від перенапружень, що мають несинусоїдальний характер, встановлені конденсатор С і резистор R. Обмотки W_2 і W_3 мають удвічі менше число витків, ніж W_1 .

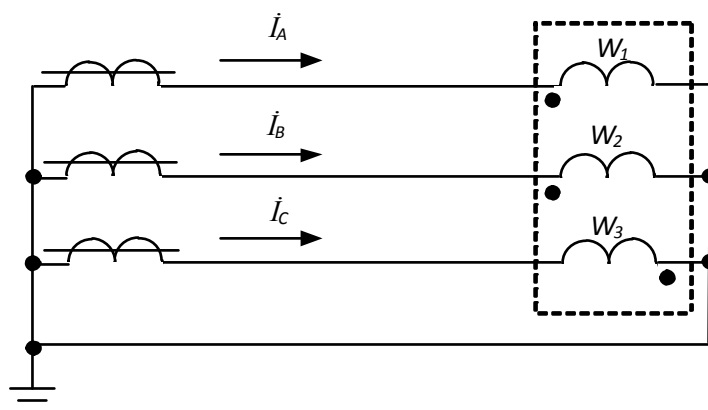


Рисунок 4.3 – Схема включення триобмоткового струмового реле

Різна кількість витків первинних обмоток при вказаній полярності їх включення забезпечує контроль наявності струму при будь-якому різному виді К.З.

При K^1 буде один струм і одна МДС і при K^1 -А — величина векторів буде більше в два рази, ніж при K^1 -В і С.

Максимальна чутливість реле буде при K^1 -А.

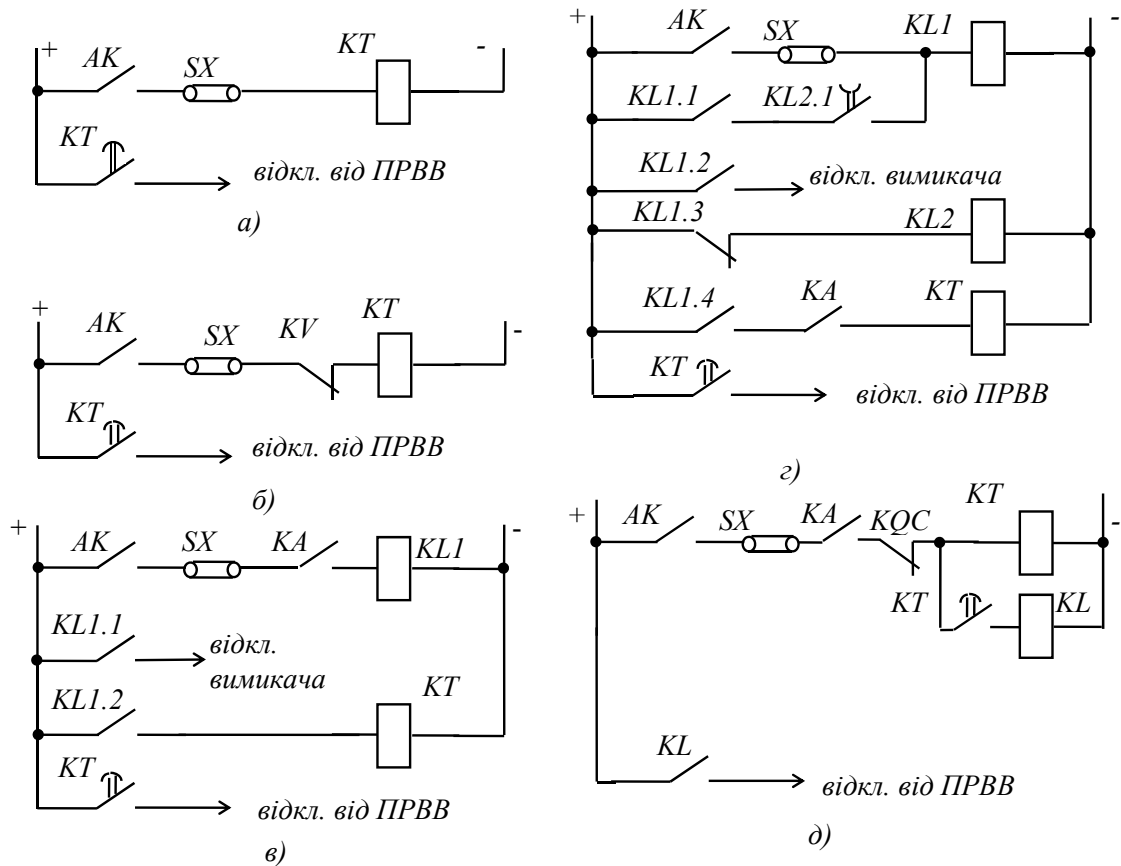


Рисунок 4.4 – Принципи дії ПРВВ:

- найбільш проста логічна схема ПРВВ;
- схема ПРВВ з додатковим контролем по напрузі;
- схема ПРВВ з контролем по струму і з попереднім відключенням вимикача;
- схема ПРВВ з контролем по струму, з попереднім відключенням вимикача, із запам'ятовуванням факту спрацьовування захисту на заданий час;
- схема ПРВВ з контролем по струму і з контролем посилення відключаючого імпульсу на відключення вимикача від захистів.

Для контролю стану вимикача (включений або відключений) в схемах ПРВВ використовується трифазне реле струму типу РТ-40/Р.

У схемі ПРВВ для кожного приєднання (лінія, трансформатор, ШЗВ, ОВ) використовується однотипне коло, що складається з послідовно сполучених замикаючих контактів двох реле типу РТ-40/Р і розмикаючого контакту реле

положення «Ввімкнено» КQC. Послідовне включення обмоток і послідовне включення контактів реле обумовлені вимогами надійності. Для підвищення надійності роботи контактів цих реле оперативні кола ПРВВ побудовані так, щоб замикання і розмикання контактів при зміні навантаження по приєднанню в нормальному режимі відбувалося без комутації струму.

Реле типу РТ-40/Р має велике споживання. Реле з $I_n=5A$ має опір при струмах від 20 до 100% I_n складає 1,5-2 Ом залежно від режиму протікання струмів по обмоткам реле. Такі значні додаткові опори, що вносяться в струмові кола захистів, погіршують умови їх роботи, тому припустимість включення обмоток реле РТ-40/Р повинна перевірятися розрахунком.

Трифазні струмові реле РТ-40/Р, які контролюють наявність к.з., що невідключені на кожному вимикачі містить проміжний трансформатор Т з трьома первинними обмотками W_1 , W_2 , W_3 і однієї вторинною W_{BT} . До вторинної обмотки через випрямляч включено реле РТ-40. Для захисту випрямлячів від перенапружень, що мають несинусоїдальний характер, встановлені конденсатор "С" і резистор "R". Обмотки W_2 і W_3 мають удвічі меншу кількість витків, ніж W_1 (рисунок 4.5).

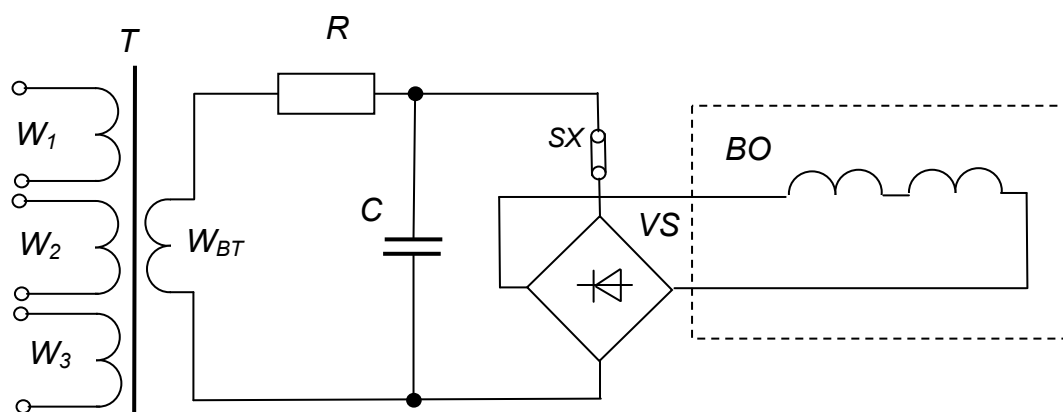


Рисунок 4.5 – Схема підключення проміжного трансформатору

Реле містить проміжний трансформатор Т з трьома первинними обмотками W_1 , W_2 , W_3 і вторинною W_{BT} . До W_{BT} через випрямляч VS підключений виконавчий орган БО (РТ-40). Для захисту випрямлячів від перенапружень, що мають несинусоїдальний характер, встановлені конденсатор С і резистор R. Обмотки W_2 і W_3 мають удвічі менше число витків, ніж W_1 .

На сисунці 4.6 наведено схему включення триобмоткового струмового реле.

Різна кількість витків первинних обмоток при вказаній полярності їх включення забезпечує контроль наявності струму при будь-якому різному виді к.з.

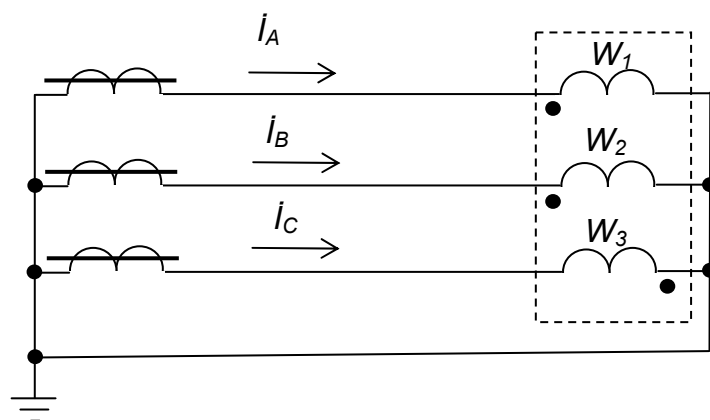
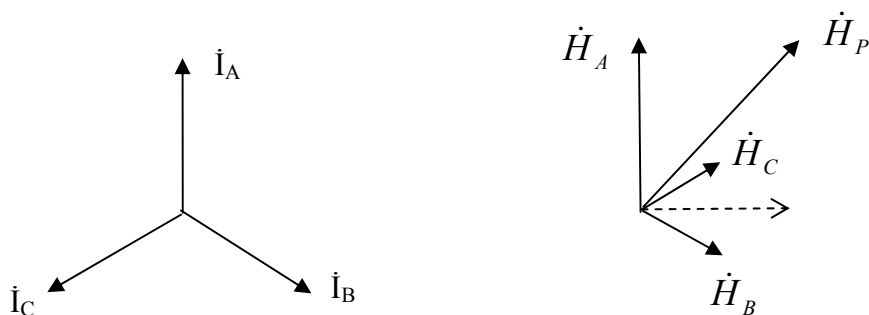


Рисунок 4.6 – Схема включення триобмоткового струмового реле

За наявності струмів в трьох фазах (струму симетричного навантаження або трифазного к.з.) геометрична сума магніторушійних сил від струмів трьох фаз визначається результиючим вектором \dot{H}_P .



При проходженні струму двофазного к.з. фаз В і С фазні струми створюють рівні за значенням магніторушійні сили, які складаються при діючій в даному випадку полярності струмів і вибраною схемою включення первинних обмоток.

При $K^{(1)}$ буде один струм і одна МРС і при $K^{(1)}$ -А — величина векторів буде вдвічі більше, ніж при $K^{(1)}$ -В і С.

Максимальна чутливість реле буде при $K^{(1)}$ -А.

До уставок струмових реле пред'являють дві суперечливі вимоги:

1. Струмові реле мають бути чутливі при усіх к.з. у кінці лінії, що відходить від даної ПС або за трансформатором. При роботі ПРВВ в режимі супутньої відмови (наприклад, відмови вимикача, захисти якого працюють в режимі далекого резервування), по цій же умові струмові реле мають бути чутливі при ушкодженні у кінці суміжної ділянки. Для виконання цієї умови доцільно, щоб реле було більш чутливим ніж останні ступені захистів від міжфазних к.з. і захистів від замикань на землю. Оскільки струми ушкодження у кінці зони дії захистів при $K^{(2)}$ і $K^{(3)}$, як правило, більше ніж при $K^{(1)}$ на землю і, оскільки реле РТ-40/Р має підвищену чутливість до міжфазних ушкоджень,

досить прийняти уставку реле в режимі живлення його тільки по обмотці з малою кількістю витків (В і С) менше уставки останньої ступені захисту від замикань на землю.

2. Струм повернення реле має бути більше ніж ємнісний струм відповідної лінії. Це необхідно, наприклад, при спрацьовуванні захисту, відмові вимикача, а потім після самогасіння дуги.

Відстроювання від струму повернення повинне виконуватися в трифазному режимі, коли реле РТ-40/Р має найвищу чутливість. Струм спрацьовування реле в 1,32 рази менший, ніж при обтіканні струмом однієї обмотки з найбільшою кількістю витків і для кіл з I_H вторинної обмотки 5А складає 0,5-1А, а струм повернення 0,35-0,7 А. У практичних розрахунках ця умова не є визначальною для мережі 110 кВ і, в деяких випадках, враховується в мережі 220 кВ.

Порядок виконання роботи

1. Визначити струми спрацьовування реле на різних уставках.
2. Перевірити роботу реле при одно- двох- і трифазних к.з.
3. Привести векторні діаграми м.р.с. при різних видах к.з.

Звіт повинен містити

1. Назву і мету роботи.
2. Пояснюючу схему підключення ПРВВ, тобто вказати до яких трансформаторів струму і напруги підключається.
3. Принципову схему ланцюгів змінного і постійного струму.
4. Розрахунок параметрів (уставок) спрацьовування ПРВВ.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Мікропроцесорний пристрій захисту, автоматики, контролю і управління приєднань 6 - 35 кВ типу МРЗС-05

Мета роботи: вивчення принципів побудови і визначення параметрів спрацьовування МРЗС-05, способів завдання необхідної конфігурації, дослідження роботи пристрою при різних видах ушкоджень, освоєння методів і придбання навичок аналізу дії автоматики при виникненні ушкоджень на устаткуванні, що контролюється.

Загальні відомості

Мікропроцесорні пристрої захисту, автоматики, контролю і управління приєднань 6-35 кВ МРЗС-05 призначені для застосування на знижуючих підстанціях 35/10(6) кВ. Прилади сертифіковані.

Функції релейного захисту :

- триступінчатий максимальний струмовий захист МСЗ;
- захист від замикань на землю по струму нульової послідовності;
- захист максимальної напруги;
- захист мінімальної напруги.

Функції автоматики:

- дворазове або одноразове автоматичне повторне включення;
- резервування відмови вимикача;
- автоматичне частотне розвантаження АЧР;
- автоматичне прискорення МСЗ при включенні вимикача.

Пристрій забезпечує контроль наступних величин :

- трьохфазної або лінійної напруги;
- трьохфазних струмів;
- струму нульової послідовності;
- частоти в мережі.

Окрім цього, пристрій забезпечує контроль:

- у нормальному режимі:
 - активної потужності;
 - реактивної потужності;
- у аварійному режимі:
 - максимального струму в пошкодженій фазі;
 - мінімальної напруги на пошкодженій фазі.

Індикація і управління

Управління і конфігурація МРЗС ведеться за допомогою вмонтованих кнопок управління і рідкокристалічного дисплея, а також за допомогою ПК, який підключається через інтерфейс RS-232. Оперативна зміна алгоритмів

роботи МРЗС можлива через 8 дискретних оптроних входів, призначення яких програмується користувачем.

МРЗС має 7 дискретних виходів для видачі команд і сигналізації у вигляді "сухих" контактів реле (призначення 6-тьох виходів програмується користувачем).

Можливий варіант виконання МРЗС з 16 дискретними входами і 13 дискретними виходами.

Окрім рідкокристалічного дисплея є індикація на 7-мох світлодіодах (призначення 6-тьох світлодіодів програмується користувачем).

На рідкокристалічному дисплеї відображається інформація про спрацьовування захистів і автоматики, значення параметрів спрацьовування, значення уставок, конфігурація системи, призначення дискретних входів, виходів і світлодіодних індикаторів. Доступ до інформації на дисплеї зручний і швидкий за допомогою вмонтованих кнопок і різноманітних меню. Індикація на дисплеї легко помітна - є підсвічування.

У пристрої використовується автоматична корекція ходу годинника (цифрове налаштування ходу), що підвищує точність прив'язки реєстрації до поточного часу.

Гнучкість і зручність управління індикацією і зміною уставок, можливість зміни алгоритмів роботи і їх оптимізації гарантується програмним забезпеченням.

Конфігурація МРЗС

МРЗС дозволяє встановлювати або вимикати функції МРЗС, ранжирувати дискретні входи, виходи, світлові індикатори, задавати тривалість команд, задавати коефіцієнт трансформації трансформаторів струму і напруги.

При заданості параметрів функцій захисту і автоматики МРЗС дозволяє:

- включати і вимикати східці;
- включати і вимикати окремі функції захисту і автоматики

встановлювати:

- уставки спрацьовування;
- витримки часу;
- варіанти МТЗ, варіанти характеристик.

Інформація про конфігурацію МРЗС зберігається в енергонезалежній пам'яті.

Самодіагностування

МРЗС забезпечує самодіагностування з виявленням несправності з точністю до змінного блоку. Формування впливів, що управляють, на включення і виключення комутаційних апаратів ведеться тільки після перевірки достовірності необхідності виконання операції і справності каналів управління. Забезпечується безперервна перевірка справності програмного забезпечення (методом контрольних сум). При включенні МРЗС ведеться контроль справності МРЗС з видачею повідомлення на дисплей у разі несправності.

Реєстрація

МРЗС здійснює реєстрацію подій: усіх вхідних дискретних сигналів; спрацьовування усіх захистів; спрацьовування функцій автоматики; усіх дискретних сигналів, які видаються.

Реєстрація усіх подій здійснюється з прив'язкою до поточного часу. Реєструються останні 50 подій.

МРЗС здійснює реєстрацію аварійних ситуацій із записом миттєвих значень струмів і напруг при аваріях з прив'язкою до поточного часу (зберігається інформація про дев'ять останніх аварій) і із записом дискретних сигналів під час аварії. Існує можливість пуску реєстратора аварій при спрацьовуванні окремих (обраних) функцій захисту і автоматики. Інформація реєстраторів зберігається в енергонезалежній пам'яті.

Пристрій здійснює контроль ресурсу вимикача по кількості вимикань.

Зареєстровані події можна проглянути на рідкокристалічному дисплеї. Інформацію про події і аварії можна скопіювати на ПК, який підключається через інтерфейс RS-232.

Технічні дані пристрою приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Технічні дані МРЗС-05

Номінальні вхідні сигнали	Вхідний змінний струм фаз, I_n , А Вхідний змінний струм нульової послідовності, А Вхідна змінна напруга лінійна, U_n , В Частота змінного струму, Гц	5 або 1 0,1 100 50
Електроживлення	Напруга оперативного постійного струму, В Напругу змінного струму мережі 50 Гц, В Споживана потужність по ланцюгах живлення, Вт у режимі чергування у режимі видачі команд Час автономної роботи за відсутності U, мс	від 150 до 250 від 150 до 245 не більше 10 не більше 15 не менше 50
Вхідні аналогові ланцюги	Потужність, споживана по вхідних ланцюгах при номінальних значеннях струму і напруги, ВА Перевантаження по струму по напрузі	не більше 0,5 на фазу 3 I_n довгостроково 30 I_n упродовж 1 с; 1,3 I_n довгостроково
Вхідні дискретні сигнали	Кількість Рівень логічного "нуля", В Рівень логічної "одиниці", В	8 від 0 до 132 від 143 до 250

Початкові дискретні сигнали	Кількість - командні, що програмуються - сигнал несправності Комутаційна можливість контактів реле: - при замиканні і розмиканні кіл змінного струму; - при замиканні кіл постійного струму; - при розмиканні кіл постійного струму при напрузі до 250 В; - допустимий струм	6 1 не менше 250 В, 8 А, 1000 ВА не менше 250 В, 5 А, 1000Вт не менше 30 Вт 8 А довгостроково
Світлодіодні індикатори	що програмуються (червоні) робота/несправність (зелений)	6 1
Час спрацьовування	Мінімальний час спрацьовування захисту по струму і напрузі, с Час повернення після зниження	не більше 0,035 не більше 0,04
Готовність до роботи	Час готовності МРЗС до роботи після подання на нього живлення, с	не більше 0,3
Відхилення параметрів спрацьовування	Відхилення параметрів спрацьовування по струму і напрузі, % Похибка відліку часу: - при витримці до 5 с - при витримці від 5 до 130 с	не більше 5 не більше 0,01 не більше 0,05
Електрична міцність ізоляції	Кіл струму, що включені в різні фази між собою і відносно корпусу, кіл напруги відносно корпусу, входних кіл живлення відносно корпусу. Інших гальванічно розв'язаних кіл Вхідні кола струму і напруги стійки до впливу: 1) імпульсів напруги 2) високочастотного сигналу з амплітудою: - при подовжній схемі включення - при поперечній схемі включення	2000 В змін. струму частоти 50 Гц упродовж 1 хвилини 1500 В змін. струму частоти 50 Гц упродовж 1 хвилини 5 кВ, 1,2/50 мкс 3 позитивних 3 негативних 2,5 кВ 1 кВ
Кліматичні умови	Граничне значення кліматичних чинників зовнішнього середовища при експлуатації Збереження і транспортування	поГОСТ15543.1 і ГОСТ15150, виконання УХЛ, категорії 4, для країн із стриманим кліматом, від - 20° до +50° по ГОСТ 15543.1 і ГОСТ 15150 виконання УХЛ3.1, від - 40 до +70°

<p>Максимальний струмовий захист (МСЗ) з блокуванням по напрузі</p>	<p>МСЗ з незалежною від струму витримкою часу - діапазон уставок 1 ступені по струму спрацьовування - діапазон уставок 2 і 3 ступені по струму спрацьовування - діапазон уставок за часом спрацьовування МТЗ із залежною від струму витримкою часу - діапазон уставок по струму спрацьовування - види характеристик</p>	<p>від $0,2I_n$ до $30 I_n$ з дискретністю $0,1I_n$ від $0,1 I_n$ до $8I_n$ з дискретністю $0,1 I_n$ від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с</p> <p>від $0,1 I_n$ до $8I_n$ з дискретністю $0,1 I_n$ 1) нелінійна (полога і крута) 2) лінійна</p>
<p>Ненаправлений захист від замикань на землю</p>	<p>- кількість ступенів за часом спрацьовування - діапазон уставок по струму спрацьовування (відхилення не більше $\pm 10\%$) - діапазон уставок за часом спрацьовування - час дії захисту</p>	<p>2</p> <p>від 0,005 до 0,3 А з дискретністю 0,005 А</p> <p>від 0 до 32 с з дискретністю 0,01с не більше 60 мс</p>
<p>Захист максимальної напруги</p>	<p>- діапазон уставок по напрузі спрацьовування - діапазон уставок за часом спрацьовування</p>	<p>від 0,4 до $1,5 U_n$ з дискретністю 0,1 В від 0 до 32 с з дискретністю 0,01с</p>
<p>Захист мінімальної напруги</p>	<p>- діапазон уставок по напрузі спрацьовування - діапазон уставок по струму спрацьовування - діапазон уставок за часом спрацьовування</p>	<p>від 0,25 до $1,1 U_n$ з дискретністю 0,1 В від $0,05 I_n$ до $1,01 I_n$ з дискретністю $0,05 I_n$ від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с</p>
<p>Автоматичне повторне включення вимикача (АПВ)</p>	<p>- діапазон уставок за часом першого циклу АПВ - діапазон уставок за часом другого циклу АПВ - діапазон регулювання часу блокування запуску першого циклу АПВ після його закінчення - діапазон регулювання блокування запуску АПВ після закінчення другого циклу АПВ - діапазон часу блокування запуску АПВ після включення вимикача через дискретний вхід</p>	<p>від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с від 5 до 75 с з дискретністю 0,01 с від 5 до 80 с з дискретністю 0,01 с</p> <p>від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с</p> <p>від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с</p>

Пристрій резервування відмови вимикача (ПРВВ)	- кількість ступенів за часом спрацьовування - діапазон уставок по струму спрацьовування - діапазон уставок за часом спрацьовування першого ступеня - діапазон уставок за часом спрацьовування другого ступеня	2 від 0,05 до 1In з дискретністю 0,05In від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с
Автоматичне частотне розвантаження (АЧР)	- діапазон уставок спрацьовування АЧР і уставок повернення АЧР - діапазон уставок за часом спрацьовування	від 45 до 50 Гц з дискретністю 0,05 Гц від 0,1 до 120 с з дискретністю 0,1 с
Прискорення МСЗ при включенні вимикача	- діапазон уставок за часом введення прискорення - діапазон уставок прискорення	від 0 до 32 с з дискретністю 0,01 с від 0 до 5 с з дискретністю 0,01 с
Включення / відключення вимикача	- діапазон уставок за тривалістю команди включення - діапазон уставок за тривалістю команди відключення	від 0,15 до 5 с з дискретністю 0,01 с від 0,15 до 5 с з дискретністю 0,01 с
Реєстрація	- кількість подій в дискретному реєстраторі - кількість подій в реєстраторі статистики - тривалість масиву аварійної ситуації	до 50 50 останніх 100 мс до моменту аварії + 1 с після аварії
Габаритні розміри		180x225x281

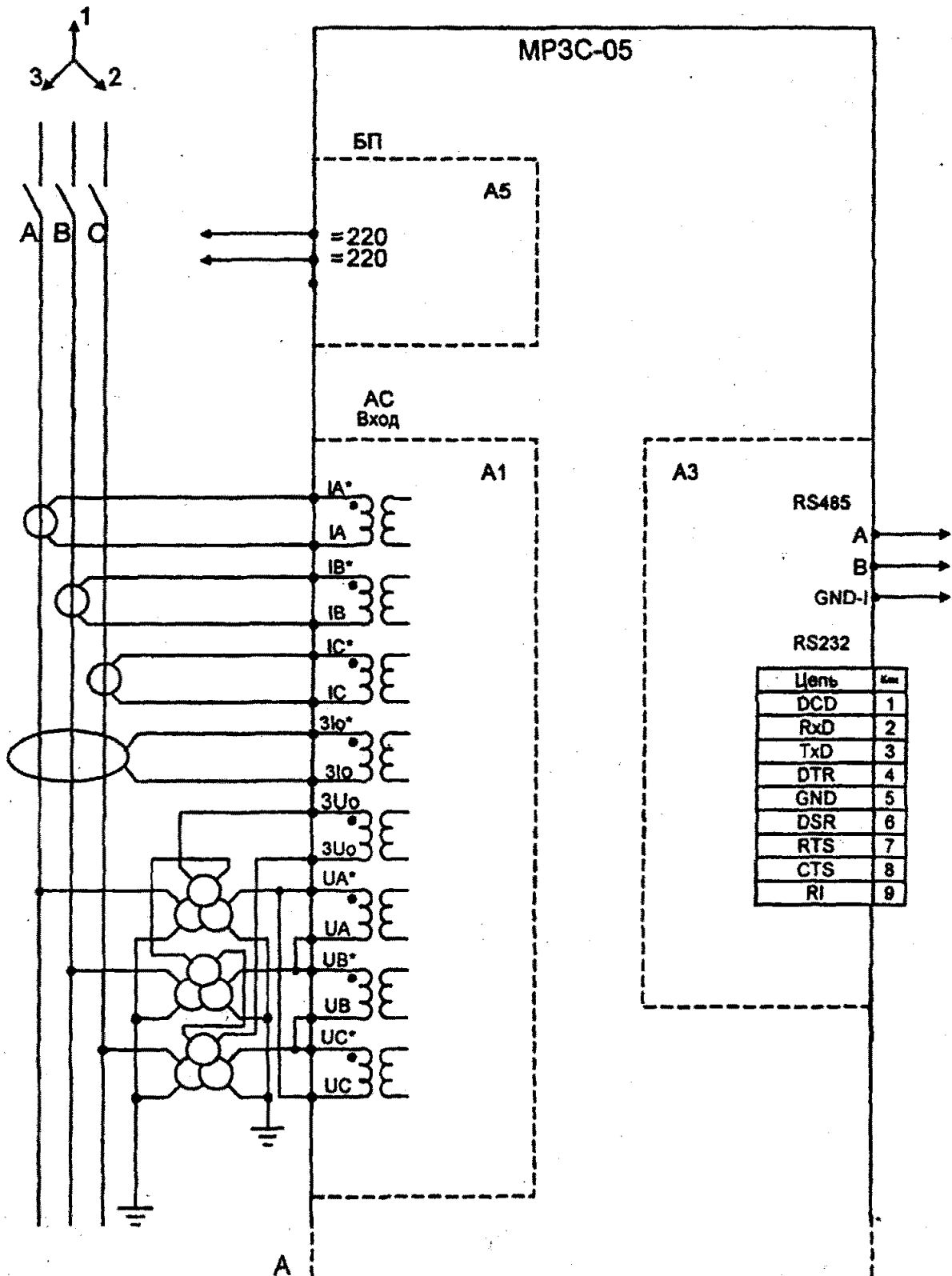


Рисунок 5.1 – Спрощена схема підключення МРЗС

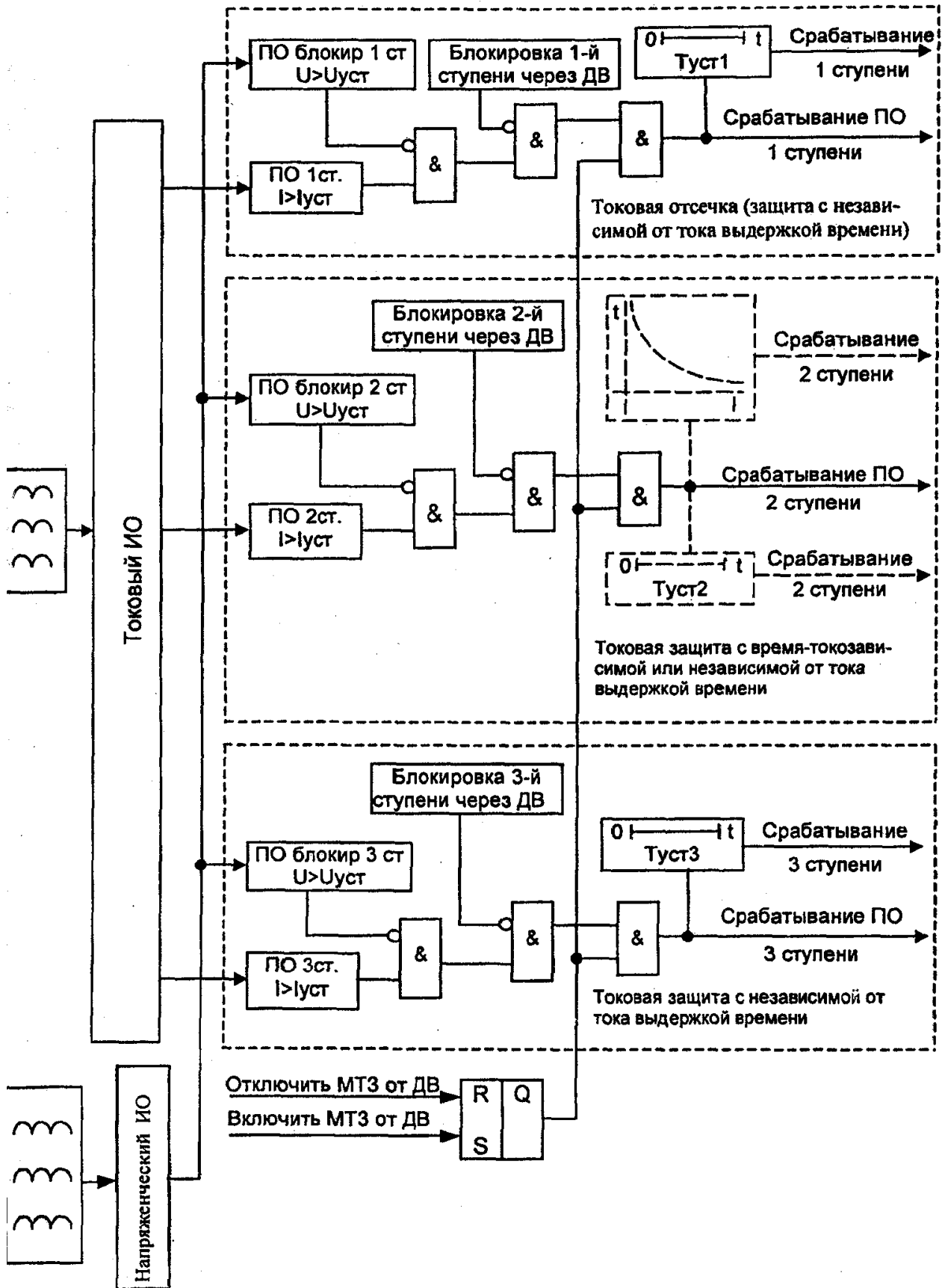


Рисунок 5.2 – Функціональна схема блоку максимального струмового захисту (МСЗ) з можливістю блокування мінімальною напругою (МСЗБН)

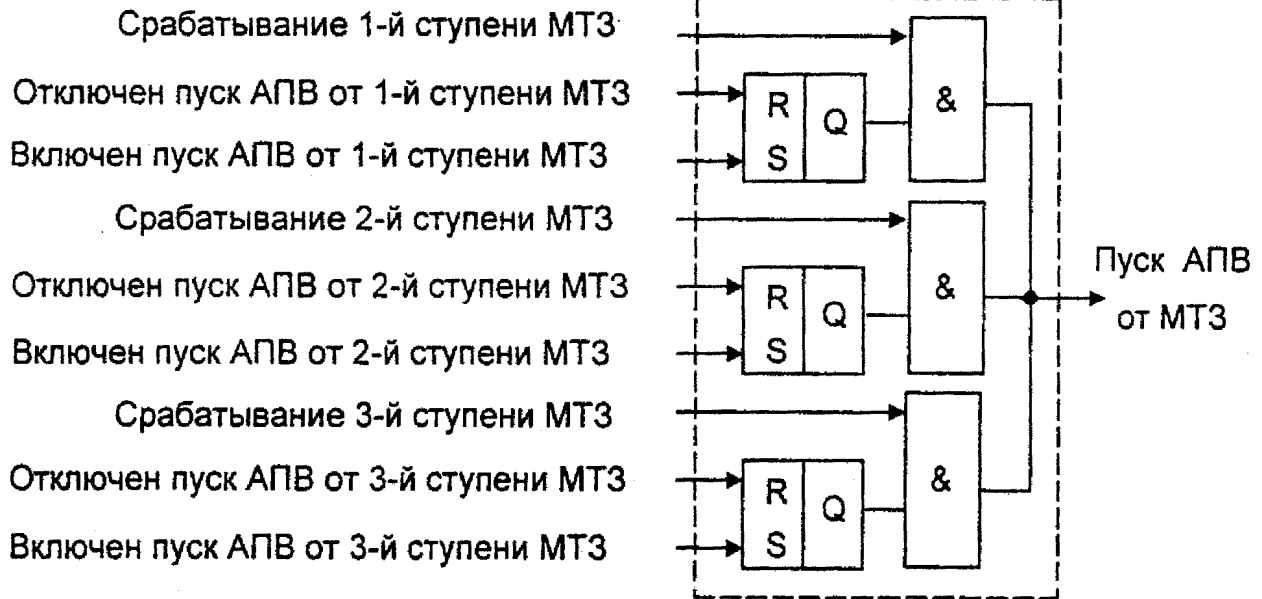


Рисунок 5.3 – Функціональна схема блоку формування команди пуску АПВ від МСЗ

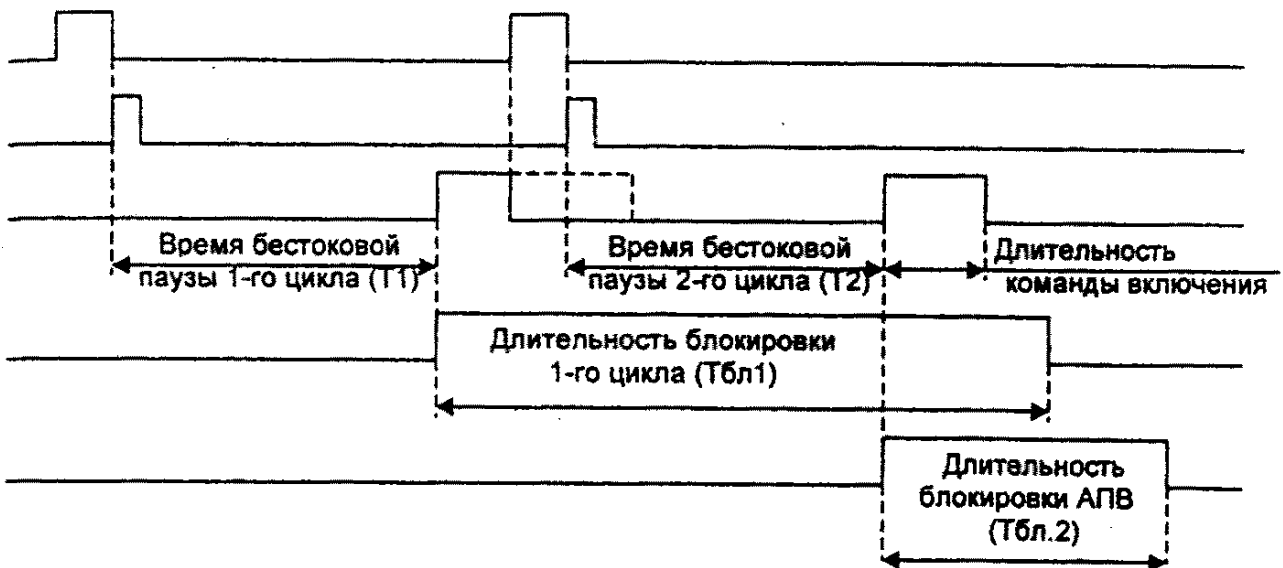


Рисунок 5.4 – Часові діаграми роботи двократного АПВ

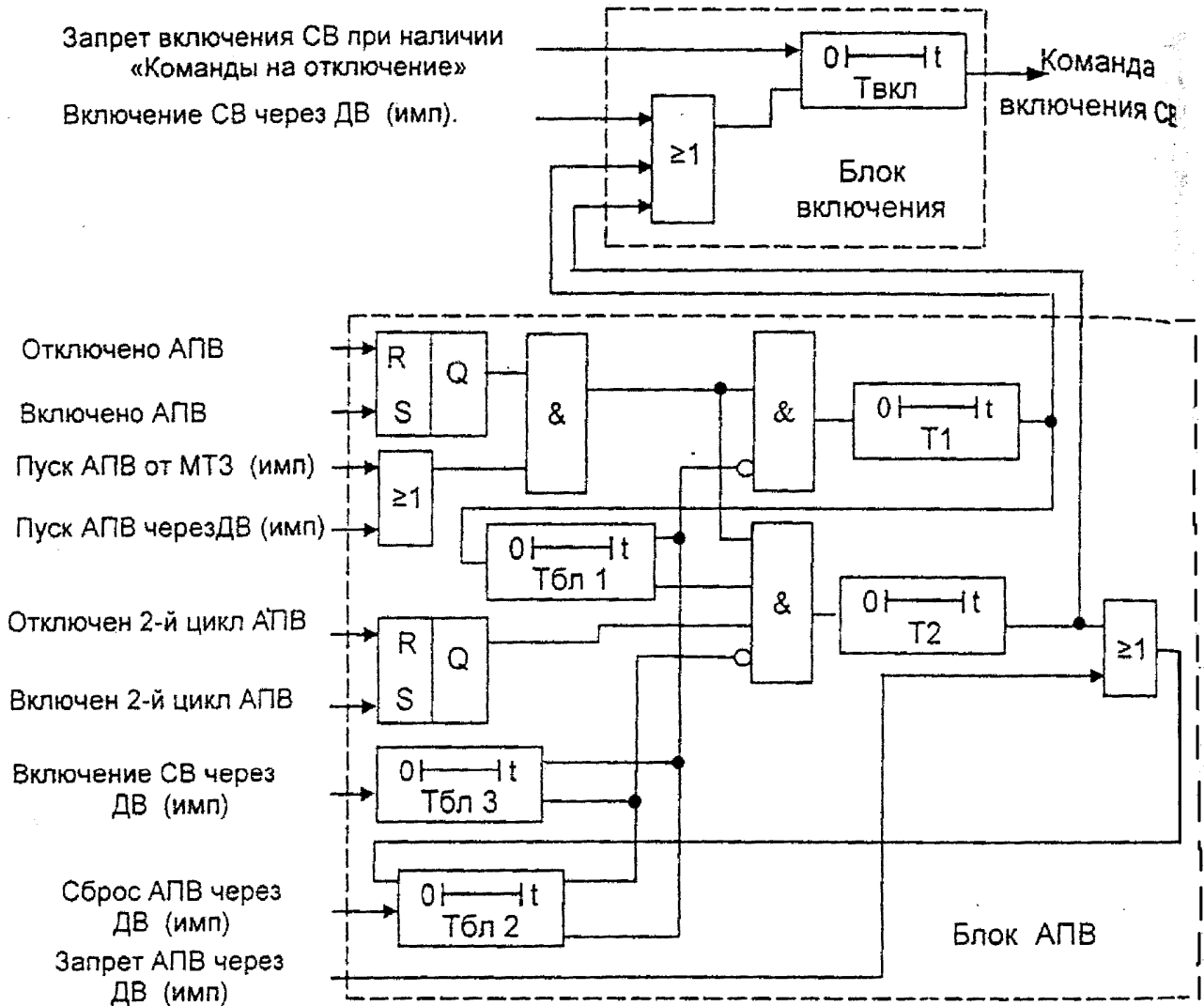


Рисунок 5.5 – Функціональна схема блоку АПВ і блоку включення

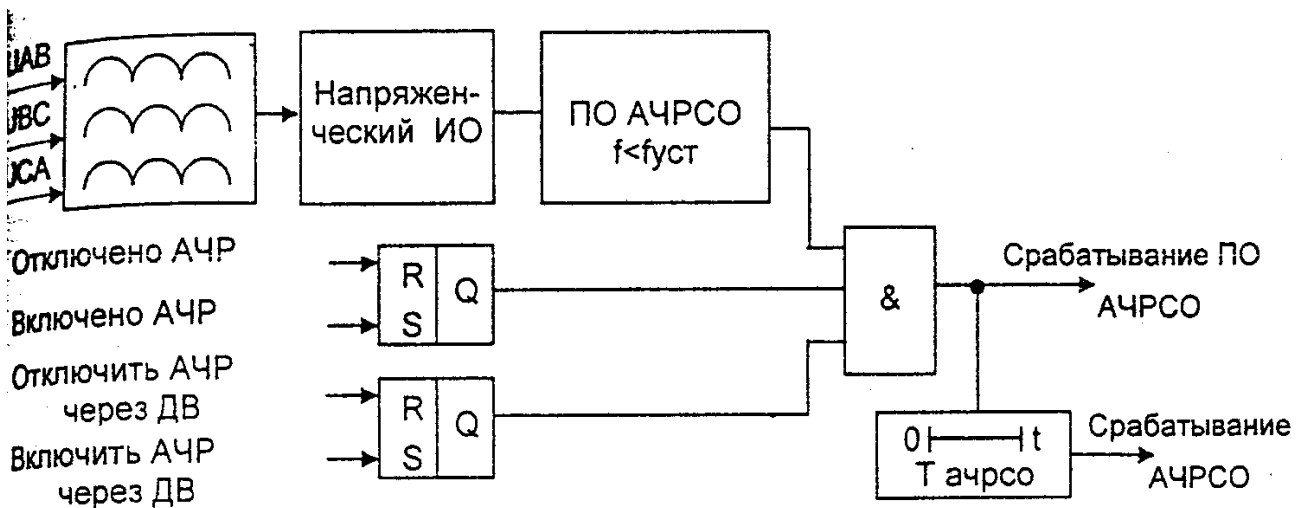


Рисунок 5.6 – Функціональна схема блоку АЧРСО

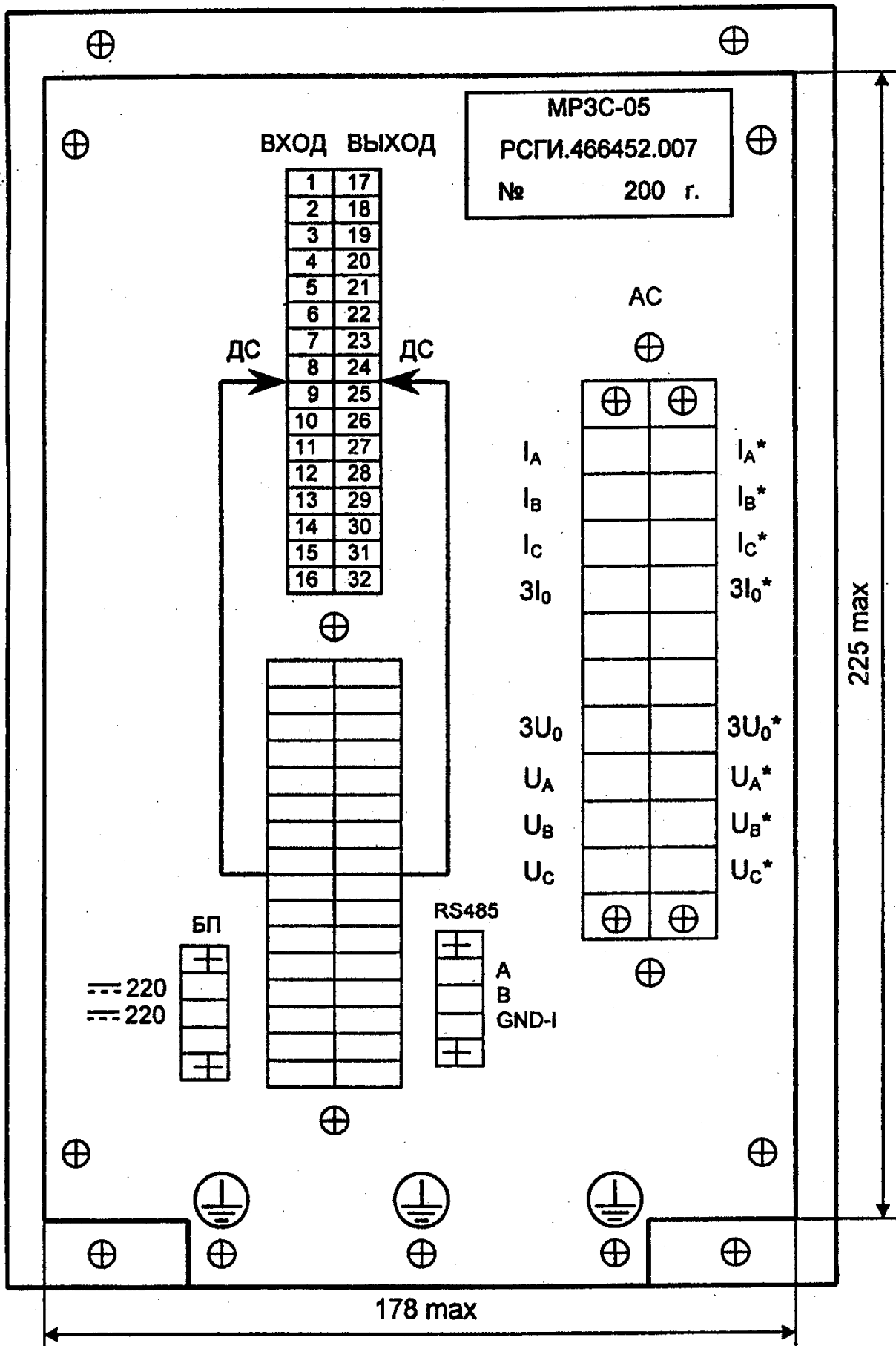


Рисунок 5.7 – Вид ззаду

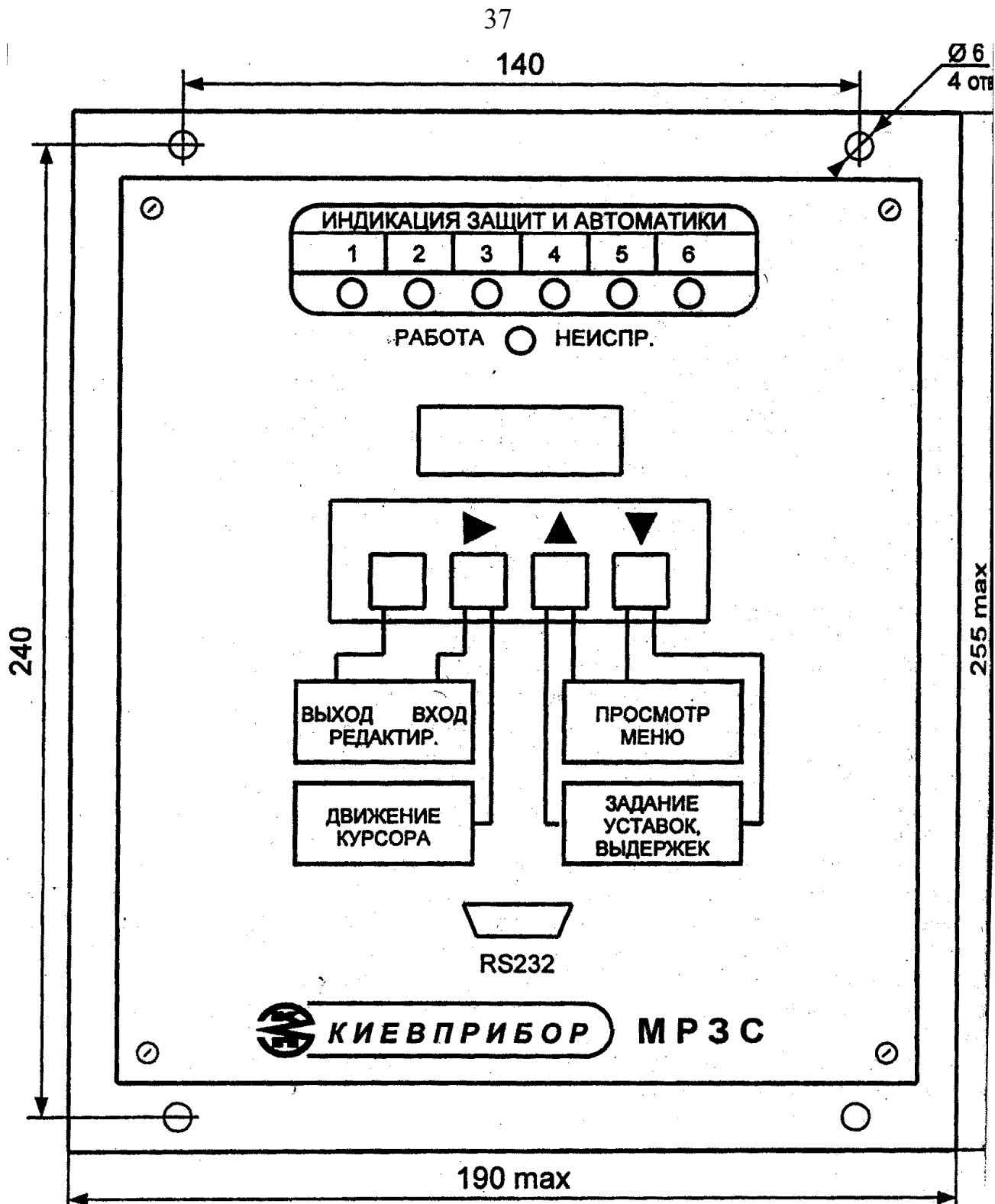


Рисунок 5.8 – Вид спереду

Порядок виконання роботи

1. Вивчити призначення, функціональний склад і схеми включення МРЗС-05.
2. Вивчити схему фізичної моделі ділянки мережі.
3. Відповідно до завдання виконати розрахунок параметрів спрацьовування і конфігурації МРЗС.

4. Зібрати схему для імітації двофазного К.З. на виводах АД (рис. 5.9). Включити стенд, виконати двофазне К.З. на виводах АД. Надрукувати осцилограму режиму К.З. Виконати аналіз дії пристрою МРЗС.
5. Те ж, що в П. 4, але для зовнішнього двофазного К.З.
6. Зібрати схему для імітації К.З. на землю однієї фази. Створити замикання фази на землю на контрольованому приєднанні. Надрукувати осцилограму режиму замикання і виконати аналіз дії МРЗС.
7. Те ж, що в П. 6, але для зовнішнього замикання на землю.
8. Зробити загальні висновки і оформити звіт.

Таблиця 5.2 – Завдання для вибору типів і параметрів спрацьовування захисту

Захищає мий об'єкт	$S_{\text{сист}}'', \text{ МВт}$	Потужність живильного тр-ра, МВт	Довжина і переріз кабелю приєдн. м/мм ²	Ємність фази мережі, мкФ
Кабельна лінія 6 кВ (статичне навантаження)	300,0	10	500/120	8,0
Повітряна лінія 35 кВ				
Приєднання двигуна 6 кВ, $P_{\text{ном}}=1000 \text{ кВт}$				
Приєднання двигуна 6 кВ, $P_{\text{ном}}=2500 \text{ кВт}$				
Приєднання тр-ра 6/0,4 кВ $S_{\text{T}}=630 \text{ кВА}$				

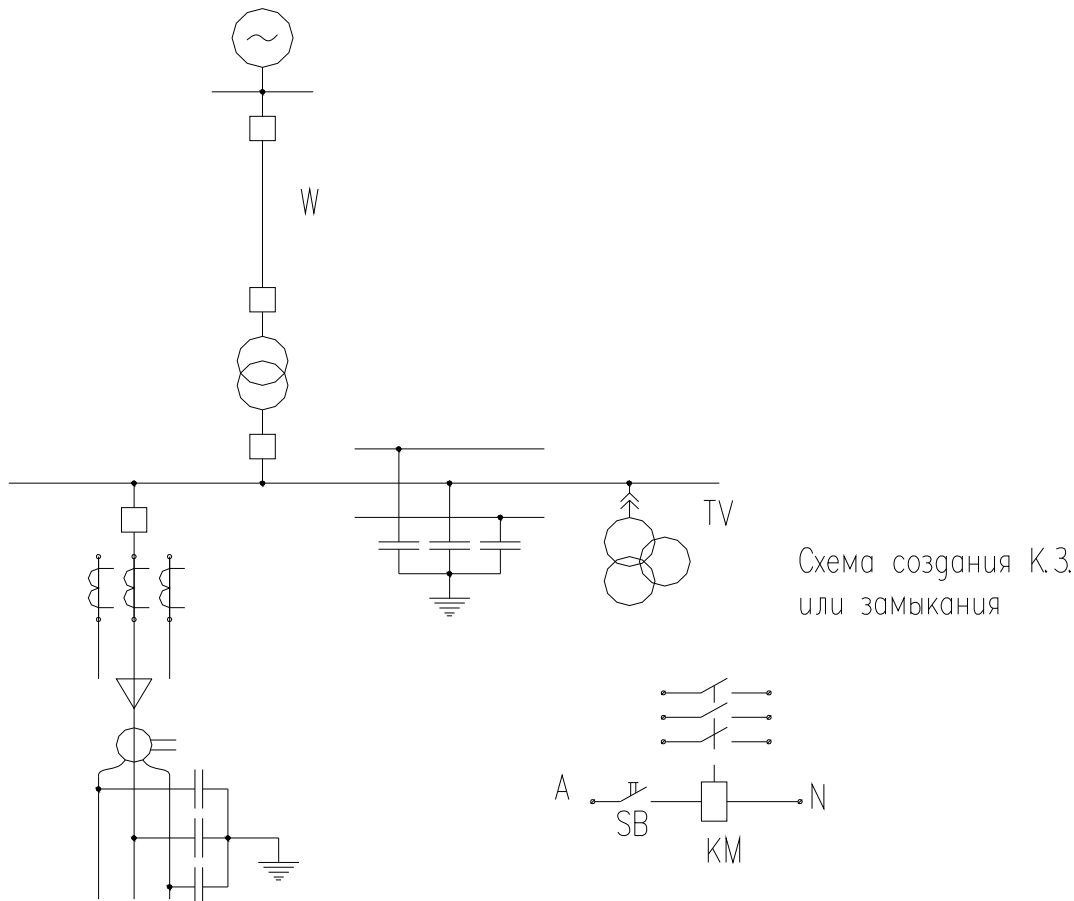


Схема создания К.З.
или замыкания

Рисунок 5.9 – Схема фізичної моделі ділянки мережі

Приклад. Конфігурація МРЗС для приєднання асинхронного електродвигуна 6 кВ потужністю 630 кВт.

Відповідно до ПУЕ приймаємо наступні захисти:

- від міжфазних коротких замикань - струмову відсічку;
- від замикань на землю - струмовий захист нульової послідовності;
- від перевантаження (механізм схильний до технологічних перевантажень) – двоступінчатий максимальний струмовий захист: перший ступінь діє на сигнал і розвантаження механізму; другий ступінь – на відключення вимикача приєднання;
- захист мінімальної напруги (II -й ступінь) з дією на відключення;
- АПВ.

При конфігурації МРЗС окрім вказаних захистів необхідно задати:

- коефіцієнти трансформації ТА і TV;
- функцію реєстрації аварійних ситуацій із записом миттєвих значень струмів і напруги.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Дослідження мікропроцесорного захисту типу REX521

Мета роботи: вивчення принципів побудови і визначення параметрів спрацьовування мікропроцесорного захисту типу REX521, способів завдання необхідної конфігурації, дослідження роботи пристрою при різних видах ушкоджень, освоєння методів і придбання навичок аналізу дії автоматики при виникненні ушкоджень на контрольованому устаткуванні.

Загальні відомості

Метою цього керівництва є надання користувачеві основної інформації про реле REX521. Особлива увага приділяється використанню інтерфейсу людина-машина MMI реле.

Реле захисту REX 521

Реле захисту REX 521 призначене для використання в розподільчих мережах середньої напруги в якості пристрою захисту, управління, виміру і моніторингу. Типовими рішеннями застосування пристрою є схеми захистів і автоматики вводів і приєднань, що відходять, а так само захистів рівня підстанції. За замовчуванням реле розраховане для роботи з традиційними трансформаторами струму і напруги. Проте по окремому запиту реле може бути виконано для роботи з датчиками. Реле захисту виконане на мікропроцесорній базі, що підвищує його робочі характеристики. Цифрова обробка сигналів в комбінації з потужним ЦПУ покращують точність виміру і час реакції. Локальний інтерфейс людина-машина (MMI) включає рідкокристалічний дисплей, завдяки якому використання реле стає простішим і надійнішим. Реле захисту REX 521 є частиною системи автоматизації підстанцій розподільчих мереж середньої напруги і завдяки застосуванню сучасних технологій підвищують гнучкість і функціональність системи в цілому.

Характеристики MMI (інтерфейсу людина-машина)

- Вибір мови інтерфейсу
- Управління підсвічуванням дисплея
- Управління контрастністю дисплея
- Тестування дисплея
- Відображення первинних вимірних величин в Амперах і Вольтах
- Клавіші навігації так само клавіші Очищення (Clear) і Введення (Enter)
- Оптично ізольований порт послідовного зв'язку

Паролі (Passwords)

Усі уставки захищені від несанкціонованої зміни за допомогою пароля. Є два різні паролі: один для MMI, інший — для зміни уставок по послідовному зв'язку. У разі, якщо пароль загублений або забутий, існує можливість перегляду НМІ пароля і його зміни за системою послідовного зв'язку.

Значенням за умовчанням для пароля MMI є «999», для SPA — «001». З уставкою «999» пароль MMI неактивний, і в ньому немає необхідності при зміні значень параметрів.

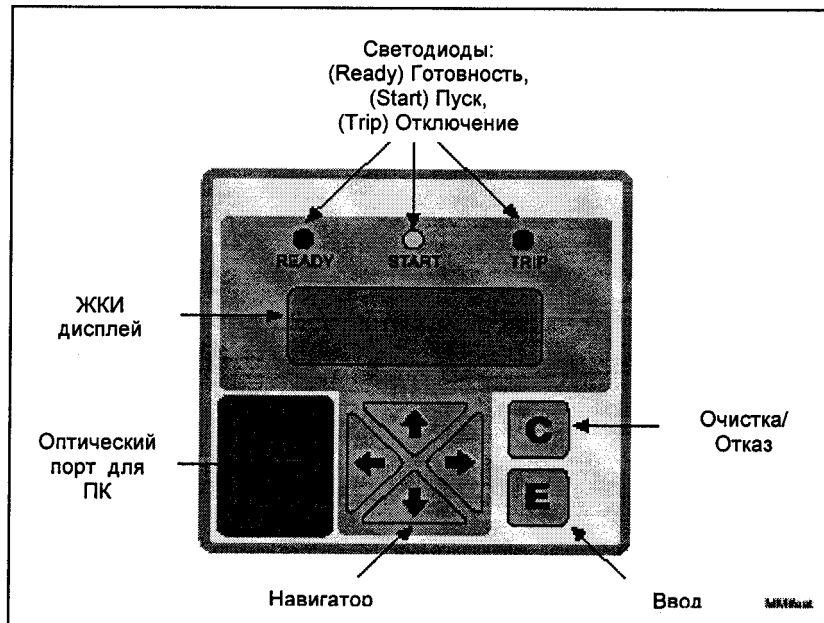


Рисунок 6.1 – Дисплей в режимі тестування при включенні живлення

При поданні напруги живлення включається підсвічування і запускається коротка програма тестування дисплея. Ця програма включає перевірку світлодіодів і самого дисплея. Одночасно запалюються усі світлодіоди і потім перевіряються пікселі дисплея. Після проходження тесту дисплей повертається в режим очікування. Режим тестування можна запустити вручну. Для цього необхідно увійти до меню: ConfigurationDisplayTest display і натиснути клавішу [E] (введення). У другому рядку меню з'явиться миготливий символ [0] (нуль). Натисніть клавішу [↑] і символ [0] зміниться на повідомлення переходу в режим тестування — миготливе повідомлення Test display. Підтвердіть режим натисненням клавіші [E]. Після проходження тесту дисплей повертається в початкове меню Test display. Для повернення в режим очікування кілька разів натисніть клавішу [C].

Вибір режиму перегляду параметрів в первинних значеннях (Primary values)

Значення уставок вимірних параметрів і записаних значень у відносних одиницях можуть так само бути представлені безпосередньо в амперах і вольтах. У меню ConfigurationDisplayPrimary values виберіть "Primary values" замість значення "Per unit values", встановленого за умовчанням.

Для правильного перетворення значень у відносних одиницях в первинні, необхідно правильно задати параметри вимірювальних ТС і ТН. Перейдіть в меню Configuration Meas devices Current trafo і задайте параметри використовуваних ТС і ТН або датчиків. Для детальної інформації використайте технічний опис - "Technical Reference Manual, General" (1MRS

751108 - MUM), розділи "Setting the rated values for the unit" і "Technical data of the protected measuring devices".

Використання клавіш

Інтерфейс MMI у своєму складі містить кнопки пересування для роботи з реле. Натиснення на клавішу ↑ або ↓ розглядається як крок вгору або вниз в меню або як мінімальний крок вгору або вниз в режимі зміни параметрів. Якщо курсор знаходиться в самому верхньому рядку меню, натиснення на клавішу [↑] ніяк не відіб'ється на дисплеї; замість цього використайте клавішу [↓]. Відповідно, якщо курсор знаходиться в нижньому рядку меню, натиснення на клавішу [↓] не приведе до переміщення курсору. Для цього необхідно використати клавішу [↑].

Установлення параметрів

Для зміни значення конкретного параметра пересувайтеся по меню використовуючи клавіші переміщення. Списки уставок функцій захисту і управління реле перелічені в описі функціональних блоків.

1. Увійдіть до режиму зміни уставок натисненням на клавішу [E]. Якщо пароль був змінений, на екрані з'явиться текст PASSWORD, і Вам доведеться ввести пароль. Якщо як і раніше діє пароль «999» введення пароля не знадобиться.

2. Підтвердіть пароль натисненням клавіші [E]. Вибраний параметр почне блимати.

3. Введіть нове значення параметра натисненням клавіш [→] і [←] для переміщення курсору, а клавіші [↑] і [↓] для зміни параметра. Натисніть клавішу [E] для підтвердження введення. Якщо параметр знаходиться в межах можливого діапазону, він буде збережений в енергонезалежній пам'яті.

4. Якщо значення параметра виходить за межі допустимого діапазону, на дисплеї з'явиться інформація про те, що значення є неправильним (INVALID) і попереднє значення параметра залишається незмінним.

Общие технические данные**Входные величины**

Номинальная частота		50/60 Гц	
Токовые входы: до 5	Номинальный ток	0.2 A/1 A/5 A	
	Ток термической стойкости	Длительно	1.5 A/4 A/20 A
		В течение 1 с	20 A/100 A/500 A
	Ток динамической стойкости, значение полупериода		50 A/250 A/1250 A
Входное сопротивление		<750 МОм/<100 МОм/<20 МОм	
Входы напряжения: 1	Номинальное напряжение	100 В/110 В/115 В/120 В	
	Термическая стойкость цепей напряжения, длительно	2 x U _н (240 В)	
	Потребление при номинальном напряжении	<0.5 ВА	

Источники питания

Тип блока питания	PS/87H	PS/87L
Входное напряжение переменного тока	110/125/220/240 В	-
Входное напряжение постоянного тока	110/125/220 В	24/48/60 В
Потребляемая мощность	< 20 Вт	

Дискретные входы

Тип блока питания	PS/87H	PS/87L
Входное напряжение постоянного тока	110/125/220	24/48/60/110/125/220
Диапазон напряжения постоянного оперативного тока	80...265	18...265
Потребляемый ток, мА	~2...25	
Потребляемая мощность/на вход, Вт	< 0,8	

Дискретные выходные реле отключения/включения

Номинальное напряжение	250 В переменного/постоянного тока	
Длительно допустимый ток	5 А	
Ток в течение 0.5 с	30 А	
Ток в течение 3 с	15 А	
Отключающая способность контактов реле с постоянной времени L/R < 40 мс при U 48/110/220 В постоянного тока	5 A/3 A/1 A	
Минимальная нагрузка на контакты	100 мА, 24 В перем./пост. тока (2,4 ВА)	
Контроль цепи управления	Диапазон напряжения оперативного тока	20...265 В переменного/постоянного тока
	Потребление тока цепями контроля	Приблизительно 1,5 мА (0.99...1.72 мА)
	Напряжение срабатывания	20 В переменного/постоянного тока (15...20 В)

Дискретные выходные реле сигнализации

Номинальное напряжение, В	250 В переменного/постоянного тока
Длительно допустимый ток, А	5,0
Ток в течение 0,5 с, А	10,0
Ток в течение 3 с, А	8,0
Отключающая способность контактов реле с постоянной времени L/R < 40 мс напряжении 48/110/220 В постоянного тока, А	1,0 /0,25 /0,15

Условия окружающей среды

Рабочий диапазон температур	-10...+55°C	
Температура хранения и транспортировки	-40...+70°C	
Степень защиты	Передняя панель, утопленный монтаж	IP 54
	Задняя панель, соединительные зажимы	IP 20

Стандартные испытания

Проверка изоляции	Проверка на диэлектрическую прочность изоляции (МЭК 60-2; BS 932: Часть 2 и МЭК 255-5; BS 5992: Часть 3)	Испытательное напряжение	2 кВ, 50 Гц, 1 мин
	Проверка импульсным напряжением (МЭК 255-5)	Испытательное напряжение	5 кВ, однополярные импульсы, форма сигнала 1,2/50 мкс, энергия сточника 0,5 Дж
	Измерения сопротивления изоляции (МЭК 255-5)	Сопротивление изоляции	>100 МОм, 500 В пост. тока
Механические воздействия	Воздействие вибрации (синусоидальные)	МЭК 255-21-1, класс I	
	Ударопрочность	МЭК 255-21-1, класс I	
Проверка на электромагнитную совместимость	Устойчивость к высокочастотным электрическим импульсам	IEC 255-22-1 класс III (1МГц, 2,5 кВ)	
	Устойчивость к электростатическому разряду	IEC 255-22-2 класс III (6 и 8 кВ)	
	Устойчивость к радиочастотным воздействиям	IEC 255-33-3 метод C	
	Устойчивость к воздействию быстрых переходных процессов	IEC 255-22-4 и IEC 61000-4-4	

Рисунок 6.2 – Загальні технічні дані терміналу REX521

Функции защит	Наименование функции	REX521 B	REX521 M
3I>	Максимальная токовая защита, медленная ступень	X	X
3I>>	Максимальная токовая защита, быстрая ступень	X	X
3I>>>	Токовая отсечка	X	X
Io>	Ненаправленная земляная защита, медленная ступень	X	
Io>>	Ненаправленная земляная защита, быстрая ступень	X	
Io>>>	Ненаправленная земляная защита, отсечка	X	
Io> -->	Направленная земляная защита, медленная ступень		X
Io>> -->	Направленная земляная защита, быстрая ступень		X
Io>>> -->	Направленная земляная защита, отсечка		X
3Iub>	Защита обрыва фазы	X	X
3Ith>	Защита термической перегрузки кабеля	X	X
3I2f>	Определение броска тока намагничивания или пускового тока	X	X
O-->I	АПВ	(X)	(X)
Uo>	Защита максимального напряжения 3Uo, медленная ступень		X
Uo>>	Защита максимального напряжения 3Uo, быстрая ступень		X
Uo>>>	Защита максимального напряжения 3Uo, мгновенная ступень		X
CBFP	УРОВ	X	X
Функции управления			
I<-->O CB1	Управление выключателем	X	X
Измерения			
3I	Токи трех фаз	X	X
Io	Ток 3Io		X
Uo	Напряжение 3Uo		X
DREC	Запись аварийных событий	X	X
Мониторинг состояния			
CB wear	Износ выключателя	X	X
TCS	Контроль цепей отключения	X	X
3I MCS	Контроль входных цепей тока	X	X
Качество эл.энергии			
3I-harm	Гармонический спектр по току	X	X

(X) – функция по выбору в зависимости от типа конфигурации :

Базовая версия (B)

- B01 - без АПВ
- B02 - с АПВ

Средняя версия (M)

- M01- без АПВ
- M02 - с АПВ

Рисунок 6.3 – Функції захисту, управління і моніторингу терміналу REX521

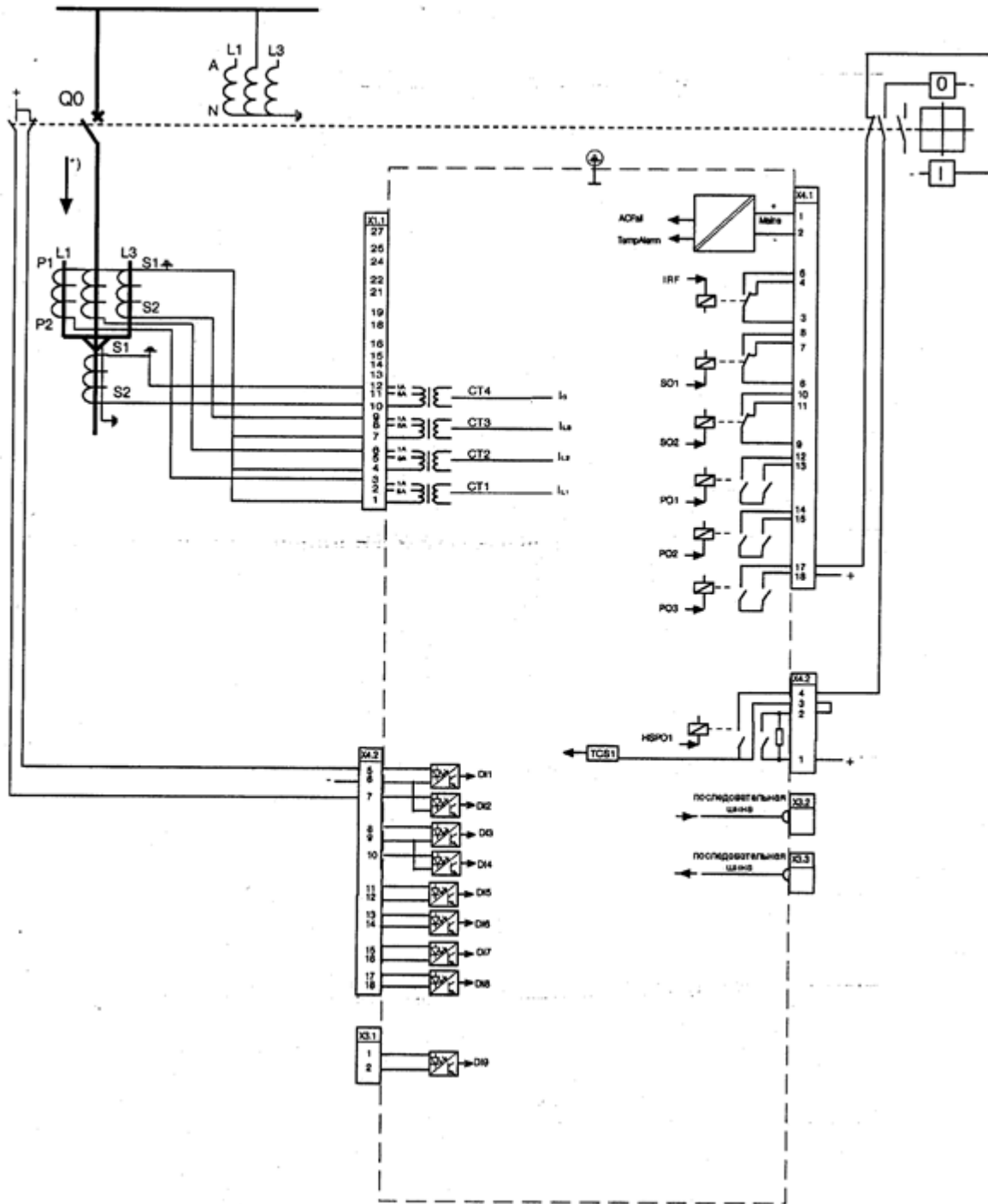


Рисунок 6.4 – Схема з'єднань REX521

Порядок виконання роботи

1. Вивчити призначення, функціональний склад і схеми включення REX521.
2. Вивчити схему фізичної моделі ділянки мережі.
3. Відповідно до завдання виконати розрахунок параметрів спрацьовування і конфігурацію REX521.
4. Зібрати схему для імітації двофазного К.З. на виводах АД. Включити стенд, виконати двофазне К.З. на виводах АД. Надрукувати осцилограму режиму К.З. Виконати аналіз дії облаштування REX521.

5. Те ж, що в П. 4, але для зовнішнього двофазного К.З.

6. Зібрати схему для імітації К.З. на землю однієї фази. Створити замикання фази на землю на контрольованому приєднанні. Надрукувати осцилограму режиму замикання і виконати аналіз дії REX521.

7. Те ж, що в П. 6, але для зовнішнього замикання на землю.

8. Зробити загальні висновки і оформити звіт.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

Дослідження мікропроцесорного терміналу захисту типу REF 541

Мета роботи: Вивчення принципу дії, основних способів конфігурації, характеристик, схем включення мікропроцесорного терміналу захисту фідера типу REF 541, а також ознайомлення з програмою конфігурації CAP 505, вивчення методів вибору функцій, необхідних для реалізації терміналом REF 541, їх записи в пам'ять терміналу у вигляді програмного забезпечення (проекту), а також методів коригування наявного в терміналі проекту.

Загальні відомості

Використання мікропроцесорних (МП) захистів принципово відрізняється від реалізації захистів з окремих реле, кожне з яких виконує одну функцію (вимірювальні реле: струму, напруги і так далі; допоміжні: часу, проміжні, вказівні). МП захисту виконуються таким чином, що в одному терміналі реалізований один складний захист (наприклад, дистанційна або диференціальна) або в одному терміналі реалізовані усі захисту, необхідні для захисту усього елемента ЕЕС від усіх видів ушкоджень (наприклад, МРЗС 05, до складу якого входять захисту від міжфазних к.з., від замикань на землю і так далі). При цьому один фізичний пристрій (термінал) виконує усі необхідні функції захисту об'єкту від усіх видів ушкоджень (лінії, трансформатора, генератора і так далі), управління, сигналізації, фіксації параметрів аварійного режиму, виміру і візуалізації параметрів робочого режиму об'єкту.

Таблиця 7.1 – Вхідні величини

Номінальна частота		50,0/60,0 Гц	
Діапазон частот		13-та гармоніка	
Струмові входи	Номінальний струм		0,2 А / 1 А / 5 А
	Струм термічної стійкості	Тривало	1,5 А / 4 А / 20 А
		На протязі 1 с	20 А / 100 А / 500А
	Струм динамічної стійкості, значення напівперіоду		50А / 250А / 1250А
	Вхідний опір		<750 мОм / <100 мОм / <20 мОм
Входи напруги	Номінальна напруга		100В/110В / 115В/120В (параметризація)
	Витримувана напруга, тривало		2×U _н (240 В)
	Навантаження при номінальній нарузі		<0,5 ВА
Входи датчика, макс. 8	Діапазон напруг, середньоквадратичне значення		±9,4 В
	Діапазон напруг		±12 В
	Вхідний опір		>4,7 МОм
	Вхідна ємність		<1 нФ

Таблиця 7.2 – Блоки оперативного живлення

Тип	PS1 / 240 В (REF 541, REF 543)	PS2 / 240 В (тільки REF 545)	PS1 / 48 В (REF 541, REF 543)	PS2 / 48 В (тільки REF 545)
Вхідна напруга змінного струму	110/120/220/240 В		-	
Вхідна напруга постійного струму	110/125/220 В		24/48/60 В	
Робочий діапазон	змінний струм 85...110%, постійний струм 80...120% від номінального значення		постійний струм 80...120% від номінального значення	
Вторинне навантаження статична/робоча	~20/~40 Вт			
Пульсація оперативної напруги постійного струму	Макс. 12% від значення постійного струму			
Час переривання оперативної напруги постійного струму без скидання	> 50 мс, 110 В та > 100 мс, 200 В			
Індикація внутрішнього перегріву	+ 78° С (+75...+83° С)			

Таблиця 7.3 – дискретні входи

Робочий діапазон	18...265 В змінного струму (24/48/110/220 В постійного струму)
Споживаний струм	~2...25 мА
Споживана потужність/на вхід	<0,8 Вт
Лічильник імпульсів (спеціальні дискретні входи), діапазон частот	0...100 Гц

Детальний опис різних функцій, режимів роботи окремих блоків, конфігурації терміналу і т.д. наведено в керівництві оператора, а також в інших інструкціях фірми-виготівника.

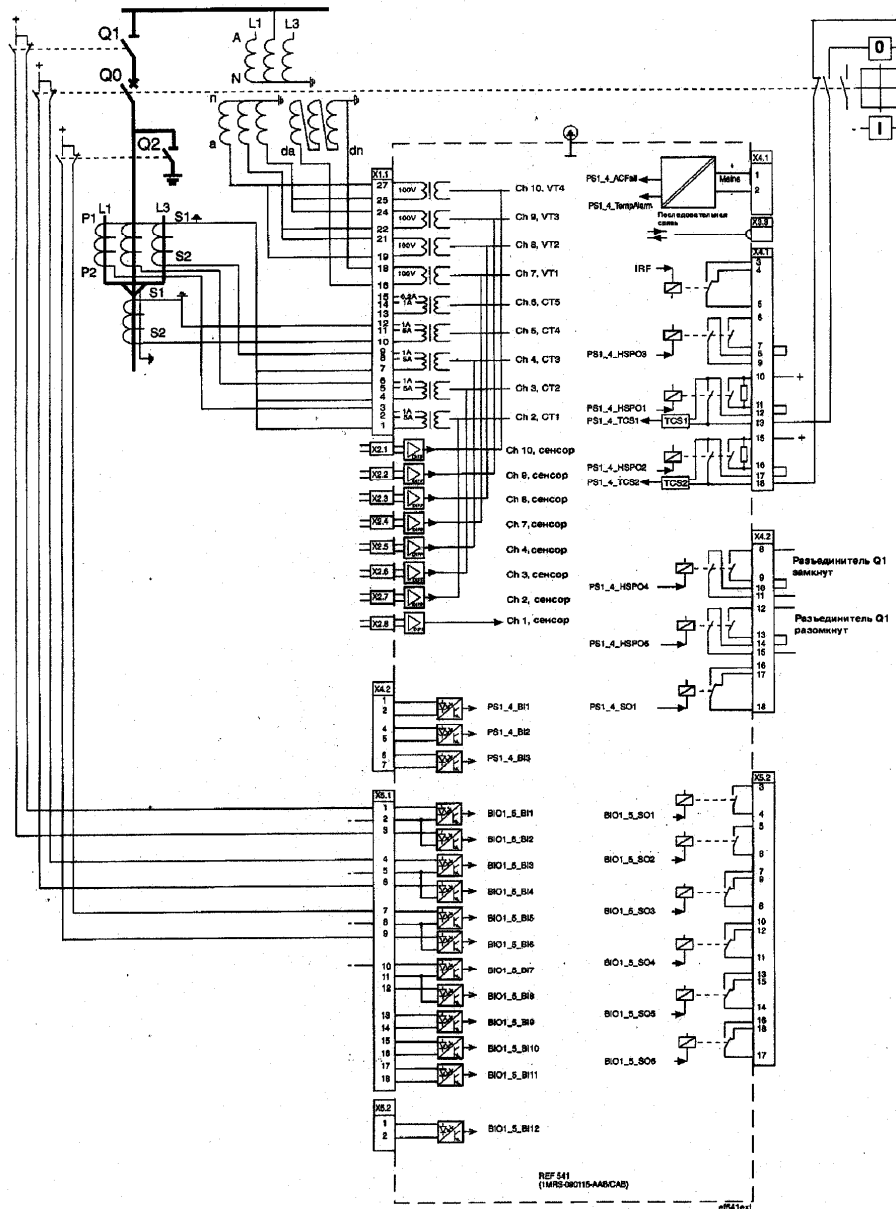


Рисунок 7.1 – Схема включення терміналу REF 541

На передній панелі терміналу (рис. 7.2) знаходяться наступні елементи:

- Графічний рідко-кристалічний інтерфейс (РКІ) з роздільною здатністю екрану 128×160 пікселів, який включає в себе 19 рядків, що розділені на два вікна.
- Головне вікно (17 рядків), в яке виводиться докладна інформація на мнемосхемах, об'єкти, події, дані вимірювань, аварійної сигналізації і параметри терміналу.
- Допоміжне вікно (2 рядки) для індикації стану захисту, що зв'язаний з терміналом і аварійних сигналів та для виводу загальних довідкових повідомлень.
- Три кнопки управління об'єктами.
- Вісім довільно програмовуваних світлодіодів аварійної сигналізації різних кольорів і з різними режимами роботи у відповідності до

конфігурації (відкл., зелений, жовтий, красний, світиться постійно, блимає).

- Світлодіод для перевірки управління і блокування.
- Три світлодіоди індикатори захисту.
- Група кнопок НМІ з чотирма кнопками зі стрілками та кнопками для очищення екрану [C] і вводу [E].
- Оптично ізолюваний порт послідовного каналу зв'язку.
- Регульована яскравість фонового підсвічування і контрасту.
- Довільно програмувана кнопка [F].
- Кнопка вибору дистанційного/локального управління (кнопка позиції управління [R\L])

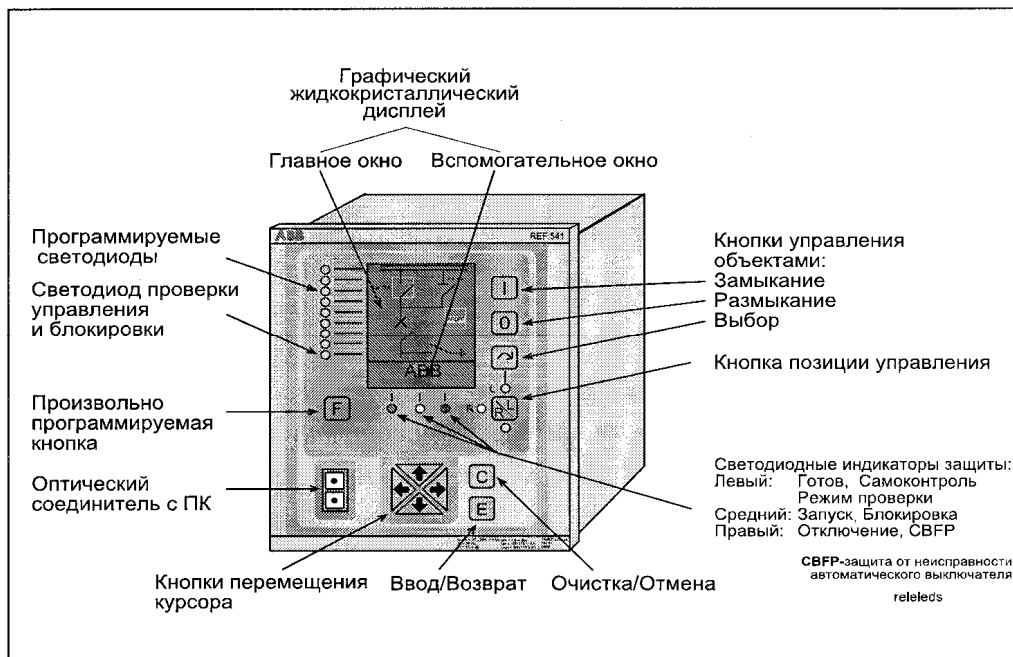


Рисунок 7.2 – Термінал, вигляд зпереду

Кнопки переміщення курсору, очищення і вводу:

НМІ містить натискні кнопки для роботи з терміналом (рис. 7.3).

При роботі на технічному рівні короткочасне натискання на кнопку [↑] або [↓] (менше 1 секунди) інтерпретується як:

- переміщення в меню на один крок вверх або вниз
 - Якщо курсор знаходиться у верхньому рядку, натискання на [↑] призводить до переміщення курсору на останній рядок меню.
 - Якщо курсор знаходиться на останньому рядку, натискання на [↓] призводить до переміщення курсору на верхній рядок меню.

та

- як мінімальний крок вверх або вниз у режимі задавання параметру (цифрового значення, символу, варіанту із перелічених і т.д.)



Рисунок 7.3 – Кнопки переміщення курсора, очищення і вводу

Після включення стенду і персонального комп'ютера стає можливим читання проекту, наявного в пам'яті терміналу.

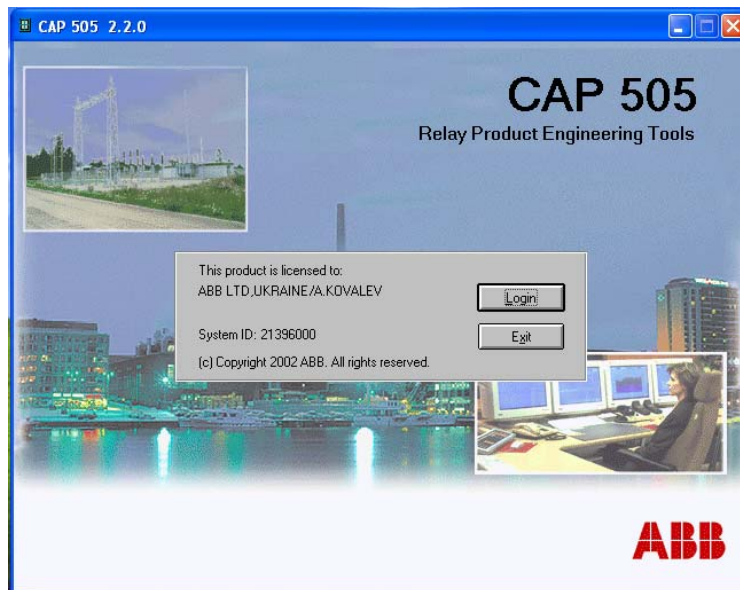


Рисунок 7.4 – Вікно після запуску програми CAP505
Для читання наявного проекту запускається навігатор.

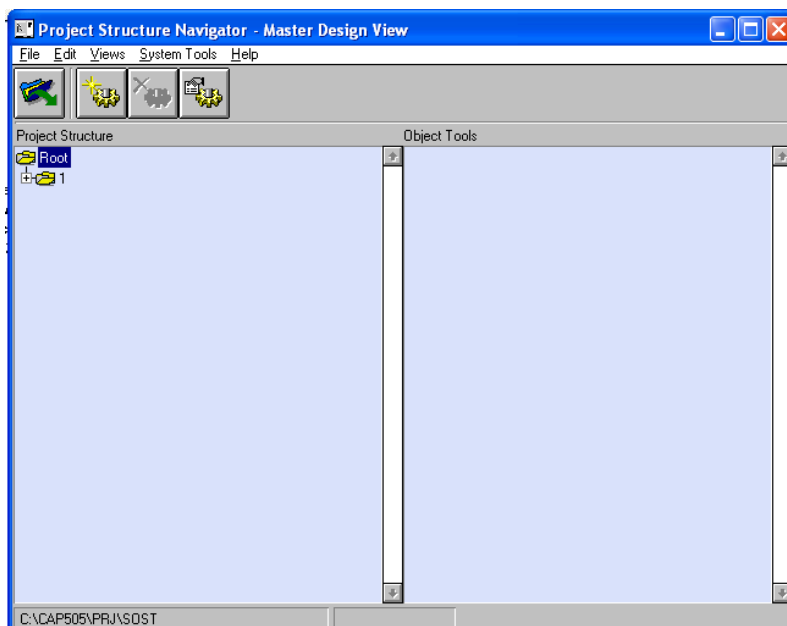


Рисунок 7.5 – Навігатор

Після наступного кроку:

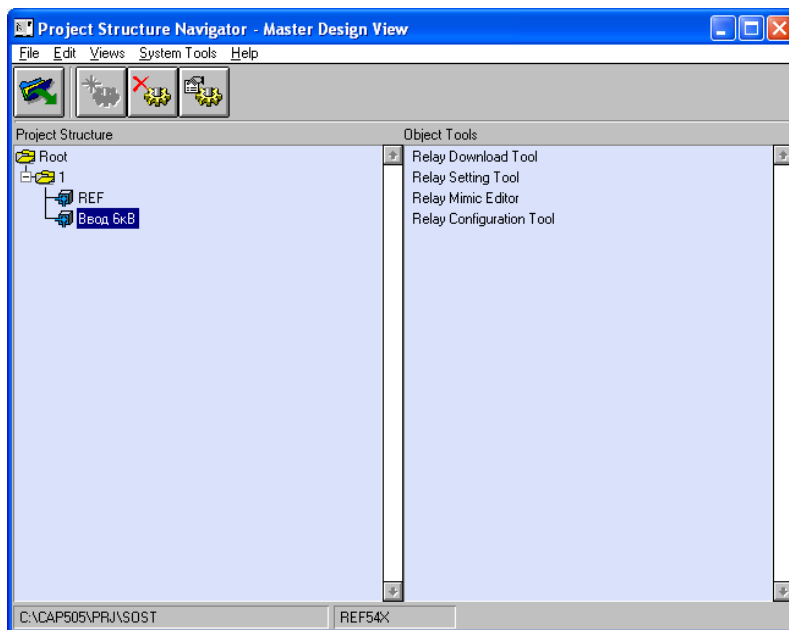


Рисунок 7.6 – Навігатор з відображенням проєктів

Після читання вікно конфігурації виглядає наступним чином:

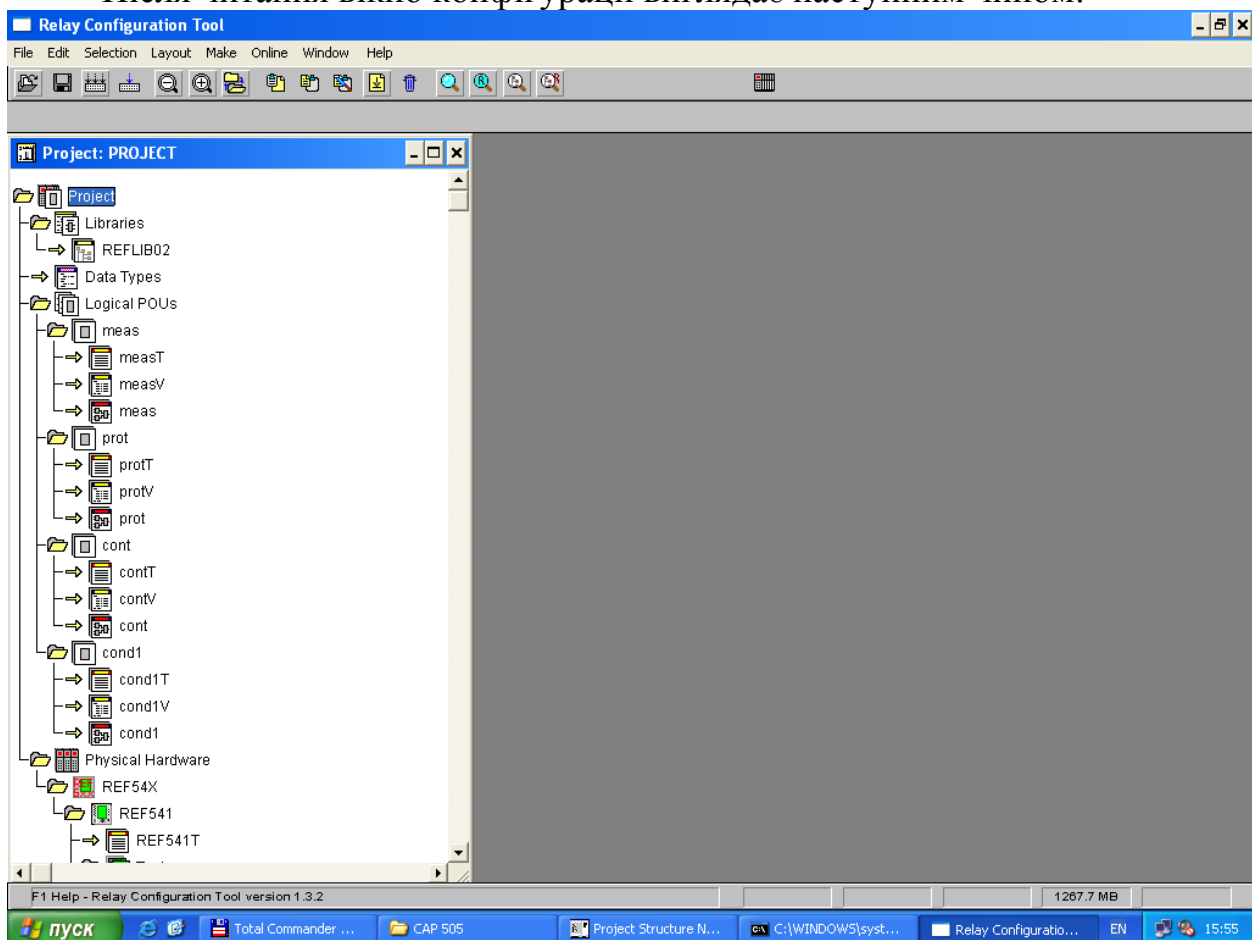


Рисунок 7.7 – Вікно з відображенням дерева конфігурації

На лабораторному стенді зібрана фізична модель приєднання електродвигуна. Фазні струми приєднання і напруги фаз підведені до терміналу REF 541 (схема первинних з'єднань приведена в лабораторній роботі МРЗС 05). Для живлення терміналу використовується оперативний струм ~ 220 В. Допоміжні контакти вимикача приєднання підключені до відповідних входів терміналу, що дозволяє правильно відображати положення вимикача на екрані терміналу. На стенді є трифазний контактор з дугогасильними камерами. Схема управління контактора дозволяє включати і відключати контактор. Виводи силових контактів виведені на передню панель стенду. Вибір схеми підключення цих виводів до відповідних затисків первинних обмоток трансформаторів струму дозволяє імітувати різні види к.з. (однофазне, двофазне, трифазне) і місце к.з.: зовнішнє і внутрішнє.

Порядок операцій при створенні нового проекту за допомогою програми CAP 505

1. У меню File знаходять директорію Organize Project, в ній відкривається вікно Create Project. Задається назва нового проекту. Потім в меню File у вікні Open Project відкривається проект створюється.
2. У вікні Project Structure створюється новий напрям проекту. Далі вибирається рівень: Add Project Object -> Object type groups -> User Structurization Item. У вікні Add Layer вводиться ім'я, наприклад, Prisoedinenie1. У вікні Project Structure -> Insert Object.
3. Add Project Object -> Object type вибирається тип терміналу, наприклад, REF 541.
4. Конфігурація за допомогою Project Configuration Tools і компіляція проекту.
5. Створення за допомогою вбудованого графічного редактора електричної схеми приєднання, що відображається на дисплеї терміналу.
6. Передача проекту в пам'ять терміналу.

Послідовність виконання заміни мнемосхеми

1. Вибираємо *Download Tool* (інструмент завантаження);
2. У вікні *Relay Download Tool* вибираємо вкладку *Receive* і відмічаємо *Mimic Configuration*. Потім натискаємо кнопку *Receive*;
3. Виходимо з *Download Tool* і заходимо в *Relay Mimic Editor*;
4. Після чого в самому *Editor* міняємо схему за власним розсудом;
5. Потім проходимо наступний шлях: *File - Save - Exit*;
6. Повертаємося в *Relay Download Tool*, у вкладці **Send** відмічаємо *Mimic Configuration* і натискаємо кнопку *Send*;
7. Після успішної передачі конфігурації натискаємо кнопку *FB List*.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Перевірити підключення оптичного кабелю від комп'ютера до терміналу. Отримати у викладача завдання для моделювання к.з. Зібрати схему моделювання к.з.
2. Включити живлення стенду.
3. Прочитати з пам'яті терміналу наявний проект.
4. Внести необхідні зміни в проект, що відповідають завданню. Перевірити налаштування пуску реєстратора (осцилографа).
5. Включити живлення приєднання електродвигуна. Імітувати к.з.
6. Зчитати з терміналу осцилограму к.з. Побудувати векторну діаграму до аварійного і аварійного режимів.
7. Оформити звіт по лабораторній роботі. Проаналізувати роботу терміналу. Зробити висновки правильності функціонування захистів терміналу.

Струмові захисти на змінному оперативному струмі. Комплект захисту типу КЗ-37

Мета роботи: Вивчення призначення, принципу дії, принципової схеми, характеристик і схем включення комплекту захисту на змінному оперативному струмі типу КЗ-37.

Загальні відомості

Комплект типу КЗ-37 дозволяє виконати струмову відсічку миттєвої дії і максимальний струмовий захист з витримкою часу в двофазному трьохрелейному виконанні.

Відмітними особливостями комплекту є те, що він призначений для використання в схемах захистів з дешунтуванням соленоїдів відключення вимикачів, а також те, що для його живлення використовується змінний оперативний струм, що отримується від вимірювальних трансформаторів струму.

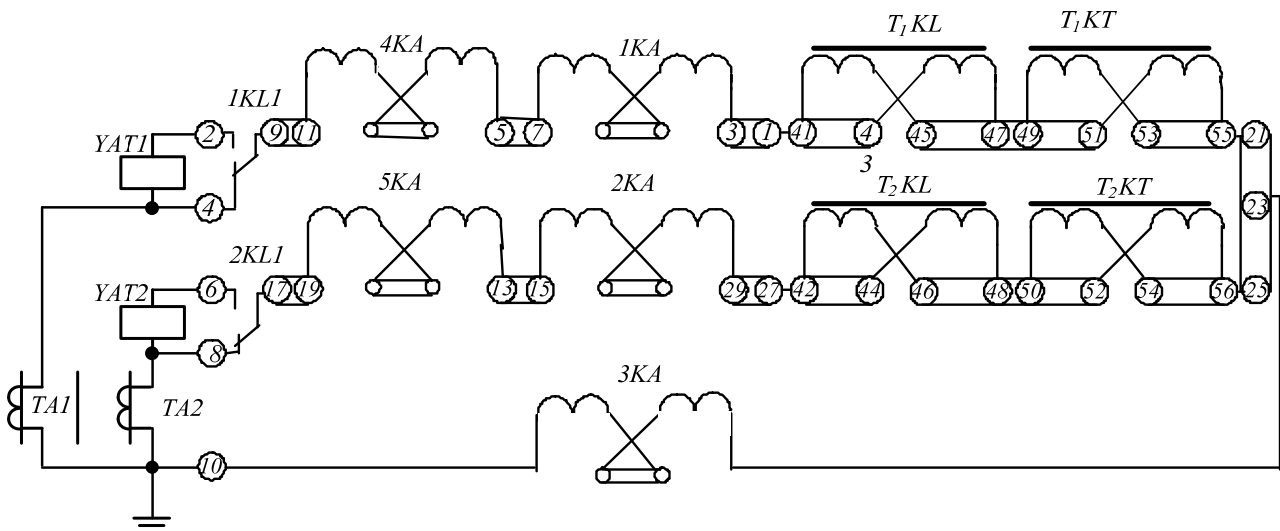
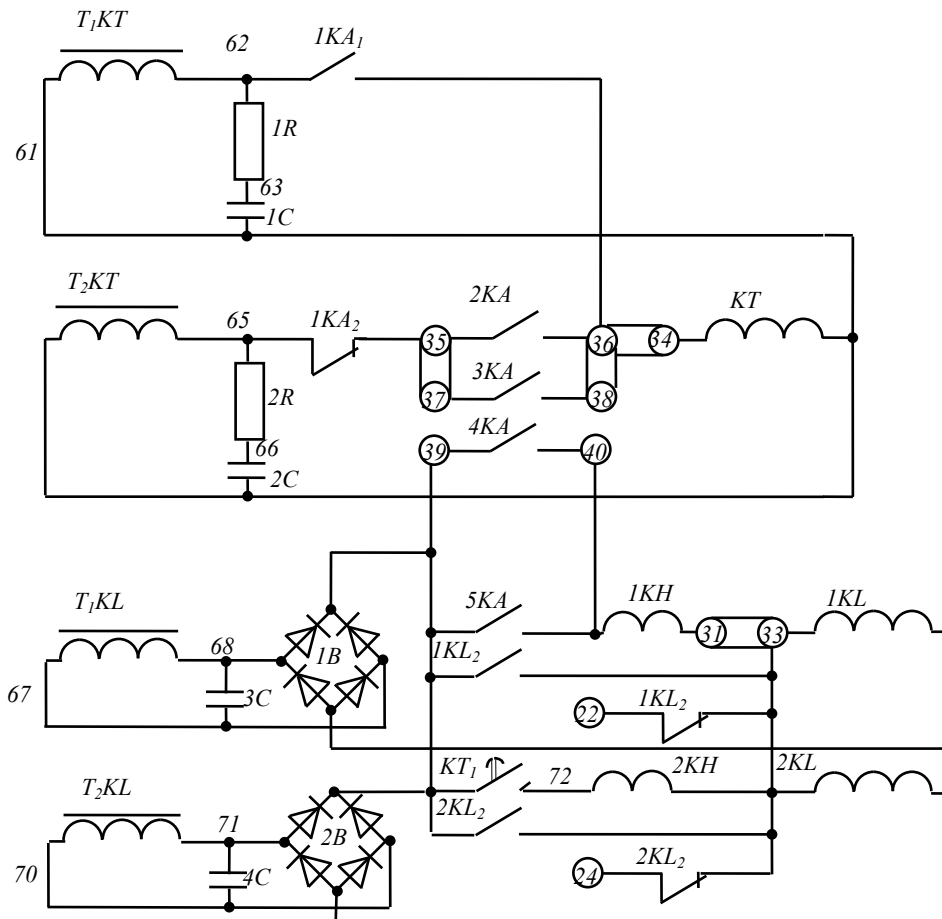


Рисунок 8.1 – Принципова схема кіл змінного струму комплекту КЗ-37



Рисунко 8.2 – Принципова схема кіл оперативного змінного струму

Можливі варіанти використання комплекту і особливості розрахунків наведені в [1, 2].

Порядок виконання роботи

1. Вивчити призначення, принцип дії, принципову схему, характеристики і схеми включення комплекту захисту на змінному оперативному струмі типу КЗ-37.
2. Записати основні паспортні дані реле, на яких виконаний комплект КЗ-37 в лабораторії (струмові, проміжні, часу).
3. Розробити і привести в звіті схему ступінчатого захисту лінії 6 кВ.
4. Розрахувати струми спрацьовування реле струмової відсічки і МСЗ. Виставити уставки на відповідних реле.
5. Зібрати схему для перевірки захисту (без електромагнітів відключення).
6. Виміряти струм спрацьовування і повернення МСЗ. Визначити потужність, яку споживає захист при струмі спрацьовування. Порівняти отримане значення з потужністю, що споживає реле струму типу РТ-40, яке використовується в захисті.
7. Зробити висновки щодо виконаних досліджень і достоїнствах і недоліках захисту на змінному оперативному і постійному струмі.

Література

1. Шабад М.А. Максимальная токовая защита.-Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991.- 96 с.: ил. (Биб-ка электромонтера; Вып.640). стр.96.
2. Линт Г.Э. Серийные реле защиты, выполненные на интегральных микросхемах. М. Энергоатомиздат, 1990. (Биб-ка электромонтера; Вып.629). 112 с.
3. Основы техники релейной защиты/ М.А.Беркович, В.В.Молчанов, В.А.Семенов .-6-е изд., перераб. и доп.-М.: Энергоатомиздат, 1984. стр.161 и стр.165-166.
4. Комплекты защиты типов КЗ 35 04-КЗ 38 04. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
5. Таубес И.Р. Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ) в сетях 110-220 кВ.-М.: Энергоатомиздат, 1988.-88 с.:ил.-(Библиотека электромонтера; Вып.608).
7. Зильберман В.А. Дальнее резервирование в сети собственных нужд блочных электростанций / Электрические станции, 1988, №9. Стр.76-82.
8. Собственные нужды тепловых электростанций. / Э.М. Аббасова, Ю.М. Голоднов, В.А. Зильберман. Под ред. Ю.М. Голоднова. М.: Энергоатомиздат, 1991.
9. Алексеев В.С. Варганов В.П. Панфилов Б.И. Розенблюм Р.З. Реле защиты.М.Энергия.1976.
10. Справочник по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций. Под ред. Э.С.Мусаэляна М Энергоатомиздат.1989.

