

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

Навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного господарства

Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих
технологій

04-03-435М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Автоматичне протиаварійне управління режимами енергосистем»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174
«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
ННІ ЕАВГ
Протокол № 6 від 28.01.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Автоматичне протиаварійне управління режимами енергосистем» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Василюк С. В., Василюк К. С., Ільчук В. В. – Рівне : НУВГП, 2025. – 51 с.

Укладачі:

- Василюк С. В.** професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, доктор технічних наук, професор;
- Василюк К. С.** доцентка кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, докторка філософії;
- Ільчук В. В.** старший викладач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Відповідальний за випуск:

Древецький В. В., завідувач кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, доктор технічних наук, професор

Керівник групи забезпечення спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»:

Христюк А. О., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, кандидат технічних наук, доцент

© С. В. Василюк,
К. С. Василюк,
В. В. Ільчук, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота №1. Випробування реле струму РТ-40/2.....	5
Лабораторна робота №2. Дослідження функціонування реле максимального струму АЛ-3-В.....	14
Лабораторна робота №3. Дослідження роботи схеми максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу.....	23
Лабораторна робота №4. Дослідження роботи блоку АВР на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G.....	35
Література.....	51

ВСТУП

Метою освітньої компоненти «Автоматичне протиаварійне управління режимами енергосистем» є формування у здобувачів освіти здатності аналізувати та прогнозувати умови функціонування окремих компонентів енергосистеми, їх взаємовплив та сукупний вплив на стан та показники роботи системи в цілому.

Основним завданнями дисципліни є формування у студентів здатності:

- аналізувати стійкість та надійність електроенергетичних режимів енергосистеми;
- розробляти заходи та приймати рішення з керування електроенергетичними режимами енергосистеми.

У методичних вказівках наявний опис чотирьох лабораторних робіт. Роботи стосуються дослідження принципу роботи та випробування реле струму РТ-40/2, дослідження функціонування реле максимального струму АЛ-3-В, вивчення особливостей роботи схеми максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу, а також дослідження роботи блоку АВР на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G. Для кожної роботи наведено короткі теоретичні відомості, опис лабораторного стенда, сформульовано завдання, подано порядок виконання роботи, вимоги до вмісту звіту з роботи та контрольні питання для підготовки до захисту звіту. Варіативна частина робіт включає 28 варіантів вихідних даних.

Перед виконанням лабораторних робіт здобувач вищої освіти має пройти інструктажі з охорони праці та пожежної безпеки, поставити підписи у відповідних журналах. Необхідно ознайомитися з теоретичними відомостями, лабораторним обладнанням, підготувати бланк протоколу для фіксації експериментальних даних. Також слід звернути увагу на розташування ввідного автоматичного вимикача лабораторії, автоматичного вимикача на кожному стенді. При збиранні схеми та проведенні дослідів необхідно стояти на діелектричному килимку, користуватися ізольованою викруткою. Зібрану схему на лабораторному стенді необхідно надати викладачу для перевірки. Забороняється подавати напругу на стенд без дозволу викладача. Після подачі напруги на стенд забороняється вносити будь-які зміни до схеми, від'єднувати або приєднувати провідники. Досліди слід проводити у повній відповідності до порядку виконання роботи. Після завершення експерименту необхідно відключити лабораторний стенд від живлення та, з дозволу викладача, розібрати схему. В подальшому слід опрацювати одержані дані та підготувати звіт за результатами виконання роботи, який захищається викладачеві на наступному занятті.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Випробування реле струму РТ-40/2

Мета: дослідити параметри спрацювання електромеханічного реле РТ-40.

1. Короткі теоретичні відомості

Реле РТ-40 та РТ-140 застосовуються в схемах релейного захисту та автоматики енергетичних систем в якості органа, що реагує на підвищення струму.

Структура умовного позначення:

РТ - X 40 / XX - X4

- Кліматичне виконання (УХЛ, О) та категорія розміщення (4)
- Струм уставки, А (0,2; 0,6; 2; 6; 10; 20; 50; 100; 200)
- Номер розробки
- Наявність цифри 1 позначає реле в уніфікованій оболонці
- Реле струму

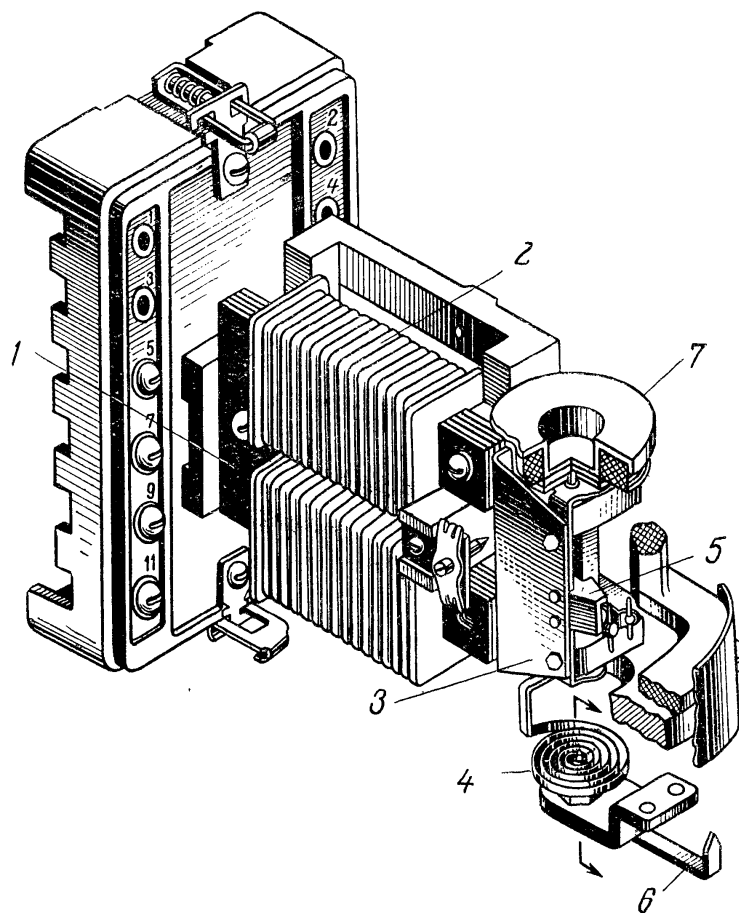


Рисунок 1.1 – Конструктивне виконання реле РТ-40

Конструкцію реле РТ-40 пояснює рис. 1.1. Електромагніт 1 (П-подібний, з двома котушками 2, що з'єднуються послідовно або паралельно) притягує феромагнітний якір 3. Останній при переміщенні повертає контактний місток 5, що жорстко з'єднаний з віссю. З цією ж віссю з'єднана протидіюча пружина 4. Її натягіння (закручування) регулюється за допомогою важеля 6. Замикання кола контактами 5 відбувається при їх зіткненні з контактними пружинами.

Струм спрацювання реле РТ-40 змінюється шляхом зміни натягіння пружини, або шляхом перемикання обмоток котушок з послідовного з'єднання на паралельне. Виводи котушок мають маркування 2, 4, 6 і 8 (рис. 1.2). Можливі способи розташування контактних перемичок наведені в табл. 1.1. Технічні характеристики реле наведені в табл. 1.2.

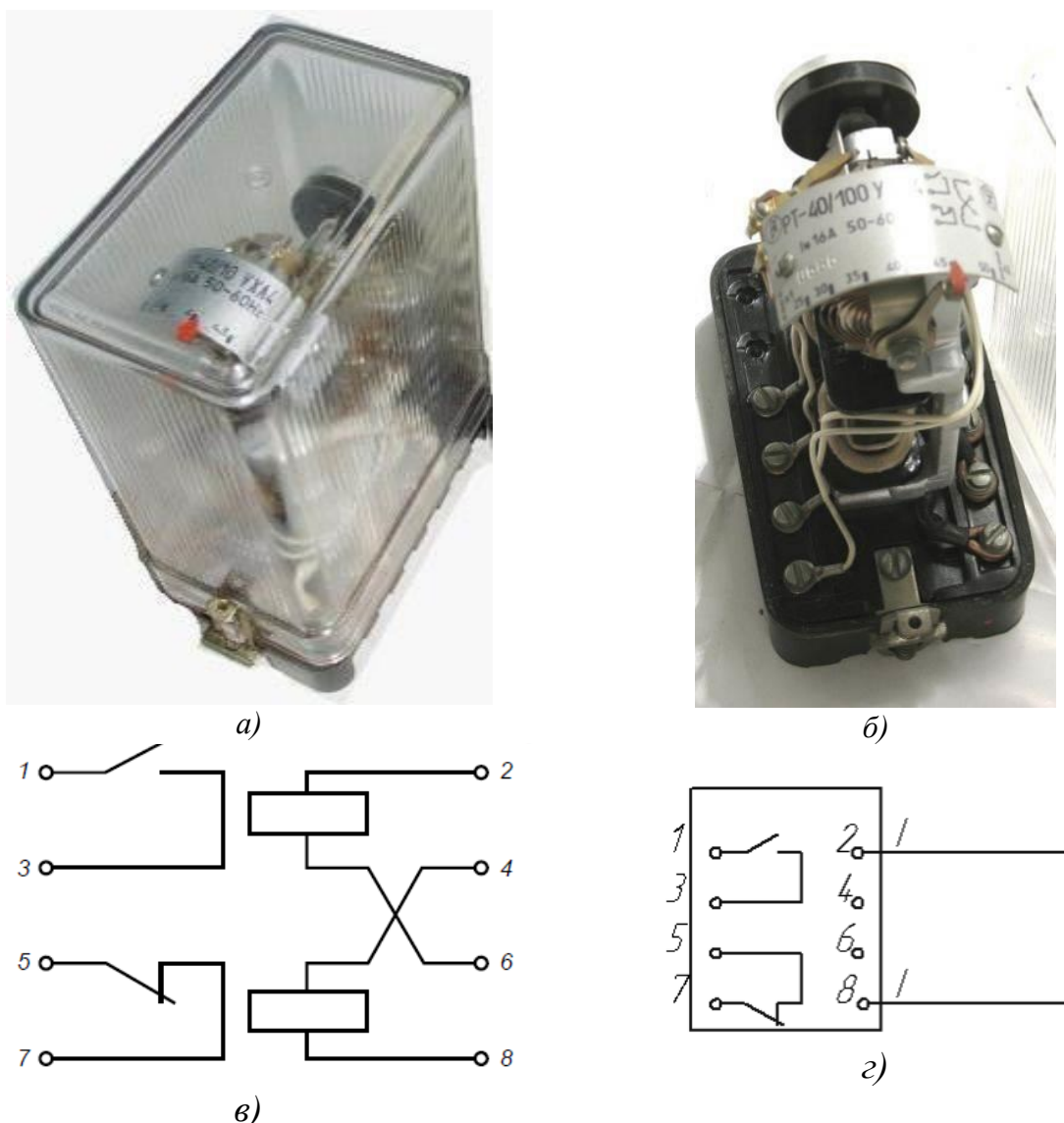




Рисунок 1.2 – Реле РТ-40: *а* – загальний вигляд в захисному кожусі; *б* – вигляд без кожуха; *в* – схема електрична принципова; *г* – електрична схема підключення реле РТ-40 (*I* – струм, що впливає на реле)

Схема підключення контактних перемичок

Діапазон уставок	Схема підключення перемичок	Переводний множник від шкали до дійсного значення уставки
1	 <p>2 ○ 4 ○ 6 ○ 8 ○ послідовно</p>	1
2	 <p>2 ○ 4 ○ 6 ○ 8 ○ паралельно</p>	2

Таблиця 1.2

Технічні характеристики реле РТ-40

Тип	Струм спрацювання, А при з'єднанні котушок		Споживана потужність, В·А, при струмі мін. уставки
	послідовно	паралельно	
РТ-40/0,2; РТ-140/0,2	0,05 ... 0,1	0,1 ... 0,2	0,2
РТ-40/0,6; РТ-140/0,6	0,15 ... 0,3	0,3 ... 0,6	
РТ-40/2; РТ-140/2	0,5 ... 1,0	1,0 ... 2,0	
РТ-40/6; РТ-140/6	1,5 ... 3,0	3,0 ... 6,0	0,5
РТ-40/10; РТ-140/10	2,5 ... 5,0	5,0 ... 10	
РТ-40/20; РТ-140/20	5 ... 10	10 ... 20	
РТ-40/50; РТ-140/50	12,5 ... 25	25 ... 50	0,8
РТ-40/100; РТ-140/100	25 ... 50	50 ... 100	1,8
РТ-40/200; РТ-140/200	50 ... 100	100 ... 200	8

2. Опис лабораторного стенда

Для виконання лабораторної роботи використовується лабораторний стенд, що розташований в ауд. 509, рис. 1.3.

На стенді розташовані реле КА1 та КА2 типу РТ-40/2. Також на стенді розташовано автотрансформатор типу LTC-500, що використовується для плавної зміни струму через реле. В якості навантаження можуть бути використані 6 ламп розжарювання потужністю 500 Вт, живлення на які подається від клем EL1–EL6 через автоматичні вимикачі QF1–QF6. Вимірювання струму спрацювання та повернення реле виконується мультиметром РАЗ, що працює в режимі амперметра змінного струму.

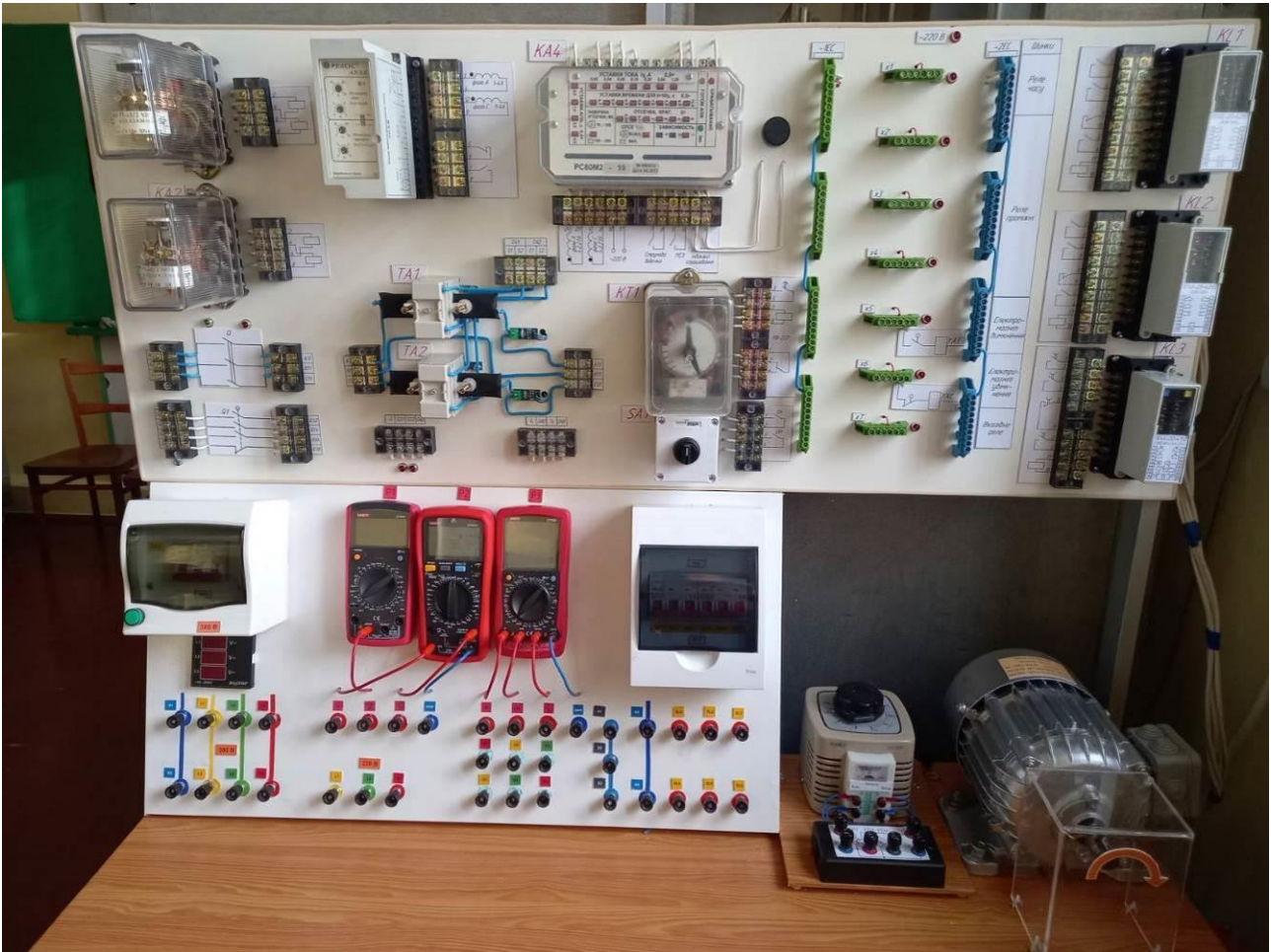


Рисунок 1.3 – Лабораторний стенд для дослідження функціонування релейного захисту

3. Завдання

Експериментально оцінити статистичні характеристики струму спрацювання, струму повернення та коефіцієнта повернення реле. Зробити висновок про придатність реле до експлуатації.

4. Порядок виконання роботи

1. Обрати вихідні дані (уставка за струмом спрацювання реле) відповідно до варіанта, табл. 1.3.

2. Визначити тип з'єднання котушок реле (послідовне або паралельне) та схему з'єднання клем реле. Для цього необхідно скористатися технічними характеристиками реле, що наведені в табл. 1.2. Якщо значення уставки знаходиться в діапазоні $0,5 \dots 1$ А, то котушки слід з'єднати послідовно. Якщо значення уставки знаходиться в діапазоні $1 \dots 2$ А, то котушки слід з'єднати паралельно. Результати занести до табл. 1.4.

3. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено та всі автоматичні вимикачі відключені.

4. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 1.4. При цьому котушки реле з'єднати відповідно до обраної схеми (послідовно або паралельно).

Вихідні дані для виконання роботи

Варіант	I_y, A	Варіант	I_y, A
1	0,8	15	1,85
2	1,15	16	0,65
3	0,6	17	1,5
4	1,3	18	1,8
5	1,4	19	1,55
6	1,25	20	0,75
7	1,9	21	1,05
8	0,85	22	1,95
9	1,35	23	1,6
10	1,1	24	1,65
11	1,45	25	1,7
12	0,7	26	1,75
13	1,2	27	0,95
14	0,9	28	0,55

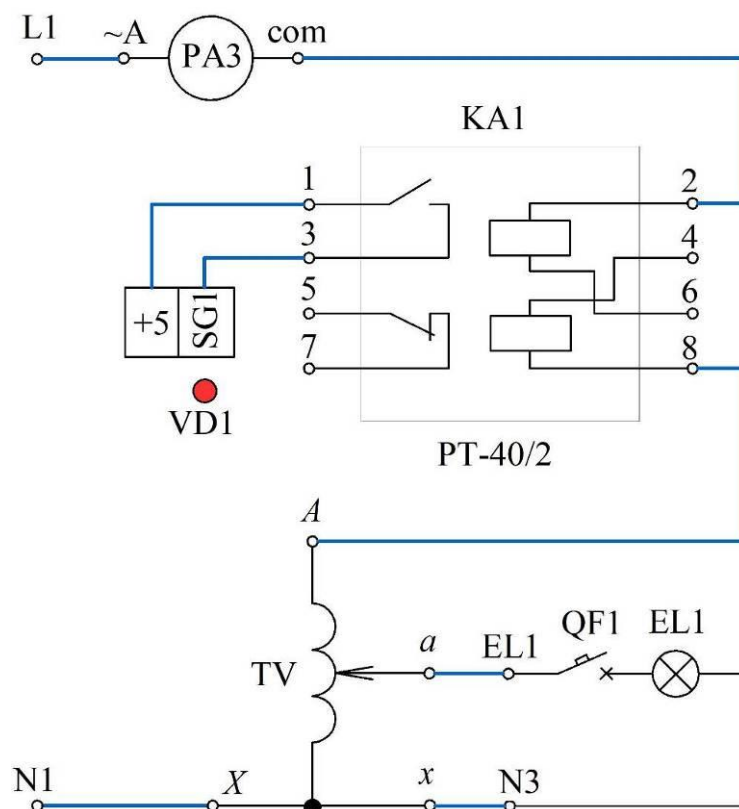


Рисунок 1.4 – Схема лабораторного стенда для дослідження функціонування реле РТ-40/2 (перемички між котушками реле необхідно приєднати самостійно, перемички на схемі не вказані)

Результати вимірювань та обчислень

ПІБ _____		Варіант _____	
Уставка спрацювання реле	$I_y = \text{_____} \text{ A}$		
З'єднання котушок реле (послідовне/паралельне)			
Схема з'єднання клем реле			
Фактичні струми в досліді №	Спрацювання реле $I_{c.p}, \text{ A}$ (РАЗ)	Повернення реле $I_{нов}, \text{ A}$ (РАЗ)	Коефіцієнт повернення $k_{нов} = \frac{I_{нов}}{I_{c.p}}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Математичне сподівання m			
Стандартне відхилення s			
$m + 2s$			
$m - 2s$			

5. Зняти захисний кожух з реле струму КА1 та виставити уставку спрацювання. Якщо котушки з'єднані послідовно, то за допомогою повзунка необхідно виставити значення уставки I_y . Якщо котушки з'єднані паралельно, то необхідно виставити $I_y / 2$. Одягнути кожух на реле.

6. Перевести ручку автотрансформатора в положення 0 В.

7. Налаштувати мультиметр РАЗ на вимірювання змінного струму, межа 20 А.

8. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.

9. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

10. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.

11. Ввімкнути автоматичний вимикач QF1, що підключає навантаження.

12. Плавно обертаючи ручку автотрансформатора за годинниковою стрілкою, слідкувати за збільшенням струму через реле. Про спрацювання реле свідчить загоряння світлодіода VD1. Записати до табл. 1.4 покази амперметра РА3, що відповідають спрацюванню реле. Записувати покази та починати зменшувати струм треба швидко, щоб не допустити перегрівання реле.

13. Плавно зменшувати струм через реле до моменту відключення. Зафіксувати до табл. 1.4 струм повернення.

14. Повторити за пп. 12, 13 досліди ще 9 разів, записуючи до табл. 1.4 результати.

15. Після проведення дослідів вивести ручку автотрансформатора в нульове положення, вимкнути автоматичні вимикачі QF1, QF0.

16. Показати одержані дані викладачеві. З дозволу викладача розібрати схему.

17. Для кожного дослідів обрахувати коефіцієнт повернення реле та результати занести до табл. 1.4.

18. Обрахувати значення математичного сподівання та стандартного відхилення для кожної з визначених величин. Результати занести до табл. 1.4.

Вибіркове значення математичного сподівання випадкової величини X обчислюється як:

$$m[X] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.1)$$

де n – обсяг вибірки; x_i – вибіркові значення.

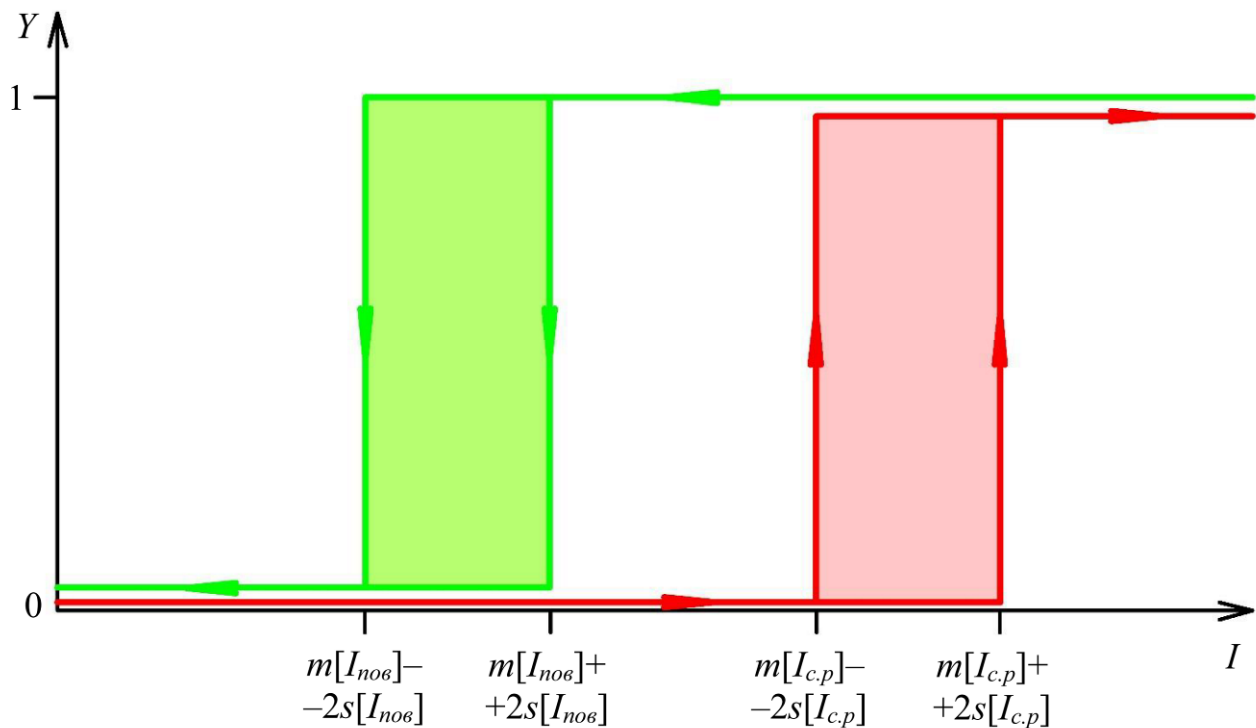
Вибіркове значення стандартного відхилення випадкової величини X при обсязі вибірки $n \leq 50$ визначається як:

$$s[X] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m[X])^2}. \quad (1.2)$$

Обрахувати межі інтервалів $m \pm 2s$, що включають вибіркові величини струмів спрацювання та повернення з імовірністю 0,95, результати занести до табл. 1.4.

19. З використанням одержаних даних побудувати релейну характеристику реле РТ-40/2 відповідно до рис. 1.5.

20. Реле можна вважати придатним до експлуатації, якщо математичне сподівання коефіцієнта повернення реле не менше 0,8.



Рисунки 1.5 – Релейна характеристика реле струму, де струми спрацювання $I_{c.p}$ та повернення $I_{нов}$ подані інтервалами $m \pm 2\sigma$, що включають вибіркові значення відповідних струмів з імовірністю 0,95; Y – логічна змінна, що відповідає стану реле (0 – відключено; 1 – ввімкнено)

5. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Схема лабораторного стенда.
3. Фото зібраної схеми на лабораторному стенді.
4. Заповнена табл. 1.4 з результатами вимірювань та обчислень.
5. Побудована за експериментальними даними релейна характеристика реле струму, де струми спрацювання $I_{c.p}$ та повернення $I_{нов}$ подані інтервалами $m \pm 2\sigma$ (відповідно до рис. 1.5).
6. Висновки.

6. Контрольні питання

1. Поясніть конструкцію реле РТ-40.
2. Яким чином можна міняти струм спрацювання електромагнітного реле струму?
3. Чому у реле РТ-40 при паралельному з'єднанні секцій обмотки струм спрацювання збільшується в 2 рази?
4. При перемиканні секцій обмотки реле РТ-40 треба дотримуватися визначеної полярності ввімкнення обмоток. Чи буде працювати реле при

струмі, що дорівнює струму уставки, якщо секції ввімкнено зустрічно-паралельно?

5. Чому для максимальних реле струму або напруги коефіцієнт повернення є меншим від одиниці, а для мінімальних реле – більше одиниці?

6. Яким чином мають бути встановлені перемички, щоб з'єднати секції обмотки паралельно або послідовно?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Дослідження функціонування реле максимального струму АЛ-3-В

Мета: експериментально дослідити функціонування реле максимального струму АЛ-3-В.

1. Короткі теоретичні відомості

Реле максимального струму АЛ-3-В (рис. 2.1) призначено для застосування в схемах релейного захисту та протиаварійної автоматики. Реле відноситься до двофазних реле максимального струму без оперативного живлення. Основні технічні характеристики реле АЛ-3-В наведені в табл. 2.1.



Рисунок 2.1 – Реле реле максимального струму АЛ-3-В

Таблиця 2.1

Основні технічні характеристики реле АЛ-3-В

Діапазони робочих струмів $I_{роб}$ фаз, А	Діапазони уставок по струму спрацювання $I_{с.р}$, А	Номінальний струм I_n , А	Діапазон уставок витримок часу спрацювання $T_{с.р}$, с
1 – 4	1 – 5	2,5	0,1 – 99,0
4 – 12	4 – 14	6,3	
12 – 30	12 – 99	16,0	

Призначення виводів реле ілюструє схема на рис. 2.2. При підключенні реле в коло контрольованих струмів необхідно звернути увагу на фазування вхідних обмоток трансреактора. Вхідні обмотки для фаз А і С повинні бути включені синфазно, початок кожної обмотки позначено крапкою.

Для налаштування уставок використовуються органи керування, що розташовані на передній панелі, рис. 2.3. Уставка за струмом виставляється потенціометрами I_1 та I_2 . Потенціометром I_1 виставляються десятки, I_2 – одиниці числа, що відповідає уставці. Також уставка задається за допомогою перемикача K_I , що має два положення (0,1 та 1). Уставка за струмом $I_{c.p}$ визначається за формулою, А:

$$I_{c.p} = (I_1 + I_2) \cdot K_I, \quad (2.1)$$

де I_1 – значення за шкалою потенціометра I_1 , А;

I_2 – значення за шкалою потенціометра I_2 , А;

K_I – положення перемикача K_I .

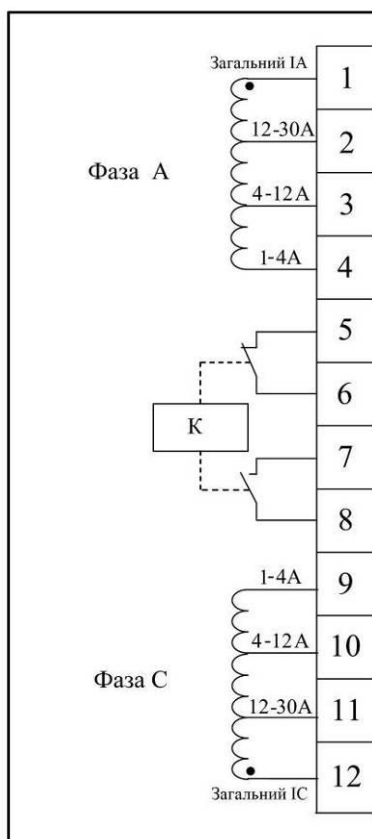


Рисунок 2.2 – Призначення виводів реле АЛ-3-В:

1–4 – входи фази А відповідно до номінального струму; 5,6 – нормально замкнені контакти вихідного реле К; 7,8 – нормально розімкнені контакти вихідного реле К; 9–12 – входи фази С відповідно до номінального струму

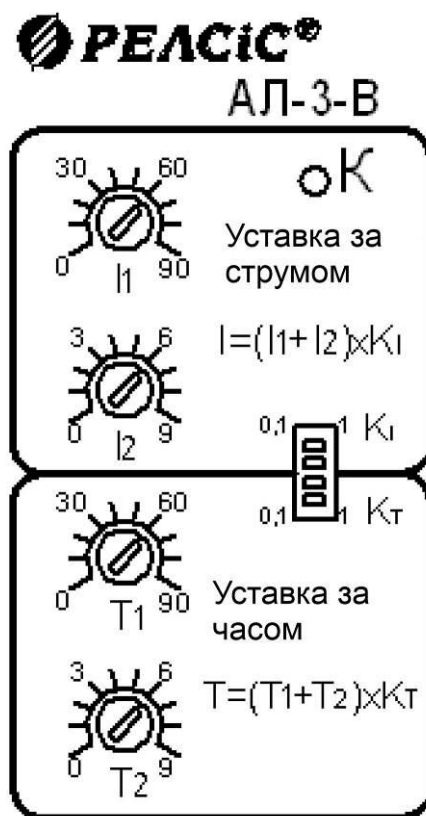


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд передньої панелі та органів керування реле АЛ-3-В

Уставка за часом спрацювання АЛ-3-В виставляється потенціометрами T_1 та T_2 , а також перемикачем K_T , що має два положення (0,1 та 1). Уставка за часом $T_{c.p}$ визначається за формулою, с:

$$T_{c.p} = (T_1 + T_2) \cdot K_T, \quad (2.2)$$

де T_1 – значення за шкалою потенціометра T_1 ;

T_2 – значення за шкалою потенціометра T_2 ;

K_T – положення перемикача K_T .

Уставка $T_{c.p}$ за часом спрацювання не повинна перевищувати час $T_{m.c}$ термічної стійкості реле, що визначається за табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Допустима уставка часу спрацювання АЛ-3-В при кратностях перевантаження від 1,6 до 10,0







Кратність перевантаження за струмом $I_{роб} / I_n$, в.о.	Час термічної стійкості $T_{m.c}$, с (максимально допустима уставка за часом)
1,6	99,00
1,7	99,00
1,8	99,00
1,9	76,34
2,0	58,82
2,5	25,32
3,0	14,93
3,5	10,05
4,0	7,30
4,5	5,57
5,0	4,41
6,0	2,97
7,0	2,14
8,0	1,62
9,0	1,27
10,0	1,02

Реле живиться від струму, що проходять по фазам А або С. Реле стає працездатним при проходженні по фазі А або С струму вище рівня 0,75 від мінімального струму підключеного діапазону. При цьому вихідне реле К відключено.

На передній панелі встановлено світловий індикатор, режими його роботи перелічені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Режими роботи світлового індикатора

Умова	Індикація
Якщо уставка за струмом вище 30 А, а співвідношення між уставками за струмом $I_{c.p}$ та часом $T_{c.p}$ спрацювання відповідно до табл. 1.6 вибрані невірно, світлодіодний індикатор починає по чергово блимати зеленим і червоним кольором. Це означає, що необхідно зменшити час спрацювання АЛ-3-В до допустимого рівня відповідно до табл. 1.6.	
Якщо фактичний струм менше уставки $I_{c.p}$, світлодіодний індикатор світиться зеленим кольором.	
При перевищенні фактичним струмом уставки $I_{c.p}$ в реле вмикається таймер затримки на ввімкнення і світлодіодний індикатор починає часто блимати червоним кольором.	
Після ввімкнення вихідного реле К світлодіодний індикатор світиться червоним кольором постійно.	
Якщо струм знизився до значення, визначеного коефіцієнтом повернення, вихідне реле К відключається, а світлодіодний індикатор знову світиться зеленим кольором.	
У разі повного відключення струму світлодіодний індикатор гасне.	

2. Опис лабораторного стенда

Для виконання лабораторної роботи використовується наступне обладнання:

- реле АЛ-3-В, що позначене КА3, характеристики якого досліджуються;
- мультиметр РЗ, що використовується в якості амперметра РА3 для вимірювання діючого значення струму спрацювання реле;
- давач струму ТА3 типу ACS712 30А для вимірювання миттєвих значень струму;
- лампа розжарювання EL1 потужністю 500 Вт, що використовуються для створення навантаження та вмикається автоматичним вимикачем QF1;
- автотрансформатор типу LTC-500 для точного налаштування струму навантаження;
- USB приставка-осцилограф ISDS205X;
- комп'ютер.

3. Завдання

Визначити статистичні характеристики струму спрацювання та часу спрацювання реле максимального струму АЛ-3-В.

4. Порядок виконання роботи

1. Обрати вихідні дані відповідно до табл. 2.4. Занести вихідні дані до протоколу вимірювань, табл. 2.5.

2. Визначити положення потенціометрів та перемикачів на передній панелі реле відповідно до заданих уставок, користуючись залежностями (2.1) та (2.2). Необхідні положення занести до протоколу, табл. 2.5.

3. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено та всі автоматичні вимикачі відключені.

Таблиця 2.4

Вихідні дані

Вар. №	$I_{c.p}$, А	$T_{c.p}$, с	Вар. №	$I_{c.p}$, А	$T_{c.p}$, с
1	1,5	3,5	15	1,7	4,4
2	1,1	4,6	16	1,6	3,2
3	1,2	5,2	17	1,2	3,3
4	1,3	4,2	18	1,3	4,3
5	1,4	3,1	19	1,9	3,4
6	1,5	5,3	20	2	5,7
7	1,6	5,7	21	1,5	4,7
8	1,7	3,9	22	1,4	3,6
9	1,8	4,5	23	1,1	5
10	1,9	3,7	24	1,8	5,4
11	2	4,8	25	1,9	5,6
12	1,4	5,1	26	2	4,9
13	1,8	3,8	27	1,4	5,5
14	2	4,1	28	1,5	3,4

4. Виставити за допомогою органів керування реле уставки за струмом та часом спрацювання.

5. Зібрати схему для проведення дослідів відповідно до рис. 2.4.

6. Приєднати щупи до приставки-осцилографа. При цьому жовтий щуп приєднується до жовтого роз'єму, синій – до синього.

7. Приєднати щупи до роз'ємів стенда відповідно до рис. 2.4.

8. Приєднати приставку-осцилограф до комп'ютера за допомогою USB-кабелю.

9. Запустити на комп'ютері програму Multi VirAnalyzer, обрати пункт Data Recorder.

10. Налаштувати програму для роботи з двома каналами осцилографа. Для цього встановити:

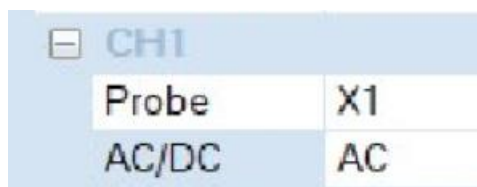


Таблиця 2.5

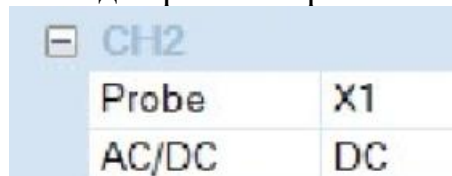
Протокол вимірювань параметрів реле максимального струму АЛ-3-В

Варіант _____		Виконавець _____		
$I_{c.p} =$ _____ А		$T_{c.p} =$ _____ с		
Положення потенціометра I_1 : _____		Положення потенціометра T_1 : _____		
Положення потенціометра I_2 : _____		Положення потенціометра T_2 : _____		
Положення перемикача K_I : _____		Положення перемикача K_T : _____		
Дослід 1. Вимірювання часу спрацювання реле АЛ-3-В				
№	t_1, c	t_2, c	$T_{c.p.\phi} = t_2 - t_1, c$	$\delta = \frac{T_{c.p.\phi} - T_{c.p.}}{T_{c.p.\phi}} \cdot 100\%$
1				
2				
3				
4				
5				
Дослід 2. Вимірювання струму спрацювання реле АЛ-3-В				
№	$I_{c.p.\phi}, A$	$I_{n.p.\phi}, A$	$k_{n.\phi} = I_{n.p.\phi} / I_{c.p.\phi}$	
1				
2				
3				
4				
5				

11. Налаштувати канал CH1 для роботи з роботи зі змінним сигналом (AC):



12. Налаштувати канал CH2 для роботи з роботи з DC:



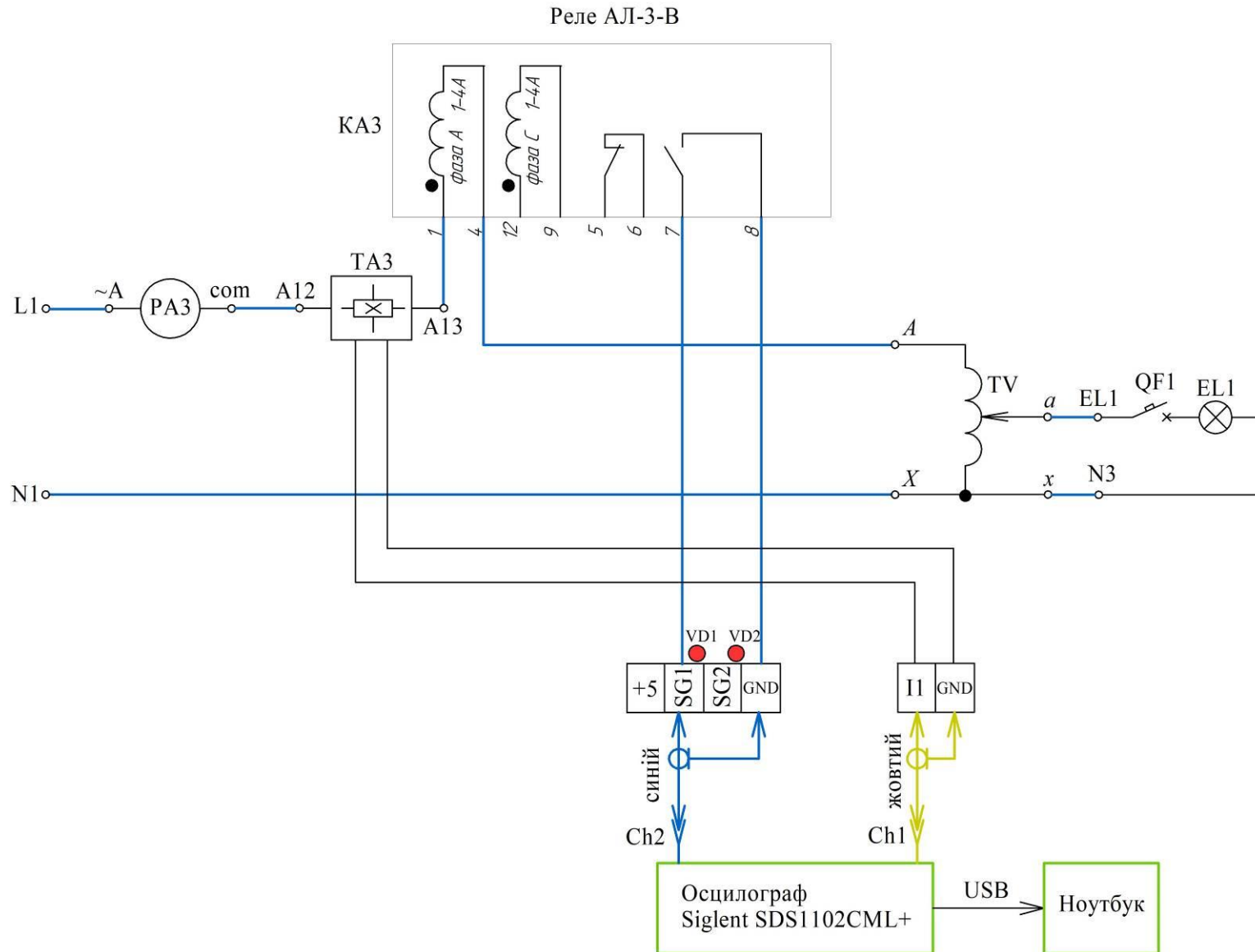


Рисунок 2.4 – Схема лабораторного станда для дослідження характеристик реле АЛ-3-В

13. Перевести ручку автотрансформатора в положення 0 В.
14. Налаштувати мультиметр РАЗ на вимірювання змінного струму, межа 20 А.
15. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.

Дослід 1. Вимірювання часу спрацювання реле АЛ-3-В

1. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!
2. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.
3. Перевести ручку автотрансформатора в положення 220 В.
4. Почати запис осцилограми, для чого слід натиснути кнопку



5. Ввімкнути автоматичний вимикач QF1, що підключає навантаження. Світлодіод на реле має почати часто блимати червоним кольором.
6. Дочекатися спрацювання реле, про що свідчить постійне світіння червоним кольором індикатора на реле, а також загоряння світлодіода VD1.
7. Зупинити запис осцилограми, повторно натиснувши кнопку «Start Record».
8. Відключити автоматичний вимикач QF1.
9. Зберегти вигляд екрану для додавання до звіту. Зберігати вигляд екрану можна лише для одного досліду.
10. За одержаними осцилограмами визначити момент t_1 подачі струму на реле та момент t_2 спрацювання реле. Занести одержані дані до протоколу, табл. 2.5.
11. Повторити пп. 4–10 це 4 рази, заносючи результати до табл. 2.5.
12. Перевести ручку автотрансформатора в положення 0 В.
13. Відключити автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.

Дослід 2. Вимірювання струму спрацювання реле АЛ-3-В

1. Перевести потенціометри T_1 і T_2 реле, які відповідають часу спрацювання, у нульове положення.
2. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.
3. Ввімкнути автоматичний вимикач QF1, що підключає навантаження.
4. Плавнo обертаючи ручку автотрансформатора за годинниковою стрілкою, слідкувати за збільшенням струму через реле. Про спрацювання реле свідчить загоряння світлодіода VD1. Записати до табл. 2.5 покази амперметра РАЗ, що відповідають фактичному струму спрацювання реле $I_{с.р.ф}$.
5. Плавнo зменшувати струм через реле до моменту відключення. Зафіксувати до табл. 2.5 фактичний струм повернення реле $I_{н.р.ф}$.
6. Повторити дослід ще 4 рази, записуючи результати.
7. Після проведення дослідів вивести ручку автотрансформатора в нульове положення, вимкнути автоматичні вимикачі QF1, QF0.

8. Показати одержані дані викладачеві. З дозволу викладача розібрати схему.

9. Для кожного досліду обрахувати коефіцієнт повернення реле та результати занести до табл. 2.5.

10. Проаналізувати одержані дані і зробити висновок про придатність реле до експлуатації. Реле вважається придатним до експлуатації, якщо у всіх дослідах відносна похибка δ за часом спрацювання реле не перевищує 1% та фактичний коефіцієнт повернення реле $k_{n,\phi}$ знаходиться в діапазоні 0,7–0,9 в.о.

5. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фото лабораторного стенда.
3. Схема лабораторного стенда.
4. Заповнений протокол вимірювань параметрів реле.
5. Висновки.

6. Контрольні питання

1. Що означає термін «реле максимального струму»?
2. До якого типу відноситься реле АЛ-3-В за принципом дії?
3. Що означає: реле уповільнене із незалежною витримкою часу?
4. Яким чином здійснюється живлення реле АЛ-3-В?
5. У скількох фазах реле АЛ-3-В контролює струм?
6. Що означає: струм тривалої термічної стійкості?
7. Що означає: час термічної стійкості?
8. Яким чином в реле АЛ-3-В реалізована зміна діапазонів робочих струмів?
9. Що означає: кратність перевантаження за струмом?
10. Що означає: уставка за струмом спрацювання, уставка за часом спрацювання?
11. Яким чином задаються уставки спрацювання реле АЛ-3-В?
12. Чим відрізняється струм спрацювання і струм повернення?
13. Як визначається коефіцієнт повернення реле?
14. Чи можна використовувати реле з одиничним коефіцієнтом повернення? Обґрунтуйте відповідь.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Дослідження роботи схеми максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу

Мета: проаналізувати функціонування схеми максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу на основі електромеханічних реле.

1. Короткі теоретичні відомості

Струмові захисти є основним видом релейних захистів мереж 6(10) кВ від міжфазних коротких замикань. Також використовуються в мережах напругою 35 кВ і в мережах вищих класів напруг. Струмові захисти характеризуються відносною селективністю.

Задачею максимального струмового захисту є не тільки захистити власну лінію, але і забезпечити дальнє резервування у випадку відмови захисту або вимикача при пошкодженні на наступній лінії. Наприклад, основна задача захисту A1 (рис. 2.1) – захистити лінію W1, захисту A2 – захистити лінію W2. Але у разі короткого замикання на лінії W2 та відмови вимикача Q2 або захисту A2, захист A1 також має відключити вимикач Q1, тобто реалізувати дальнє резервування.

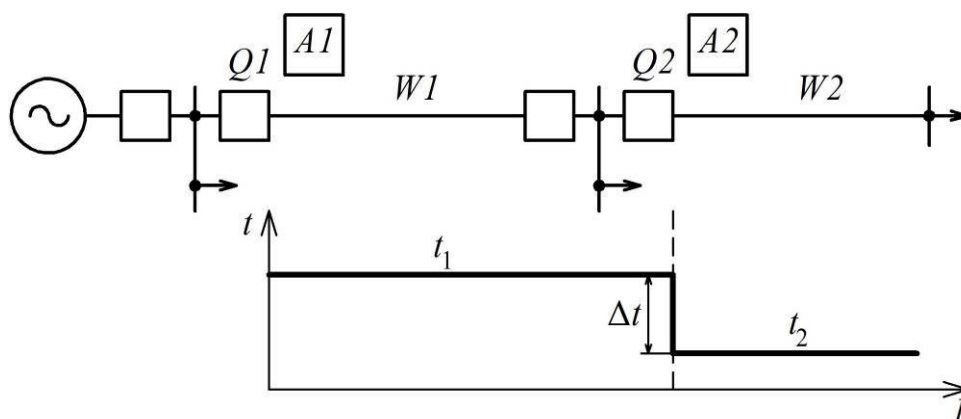


Рисунок 3.1 – Забезпечення селективності МСЗ з незалежною витримкою часу

Селективність МСЗ забезпечується часом спрацювання. Витримки часу спрацювання суміжних захистів відрізняються на величину Δt , яка називається ступенем селективності. Захисти, що розташовані ближче до джерела живлення, мають більший час спрацювання. Наприклад, на рис. 2.1 час спрацювання захисту A2 дорівнює t_2 , а час спрацювання захисту A1 становить $t_1 = t_2 + \Delta t$. Недоліком МСЗ є неприпустиме збільшення часу спрацювання захистів при наближенні до джерела живлення, що збільшує обсяг ушкоджень.

Витримка часу спрацювання МСЗ може бути незалежною або залежною від величини струму.

Розглянемо схеми струмових (первинних) та оперативних (вторинних) кіл максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу, рис. 2.2.

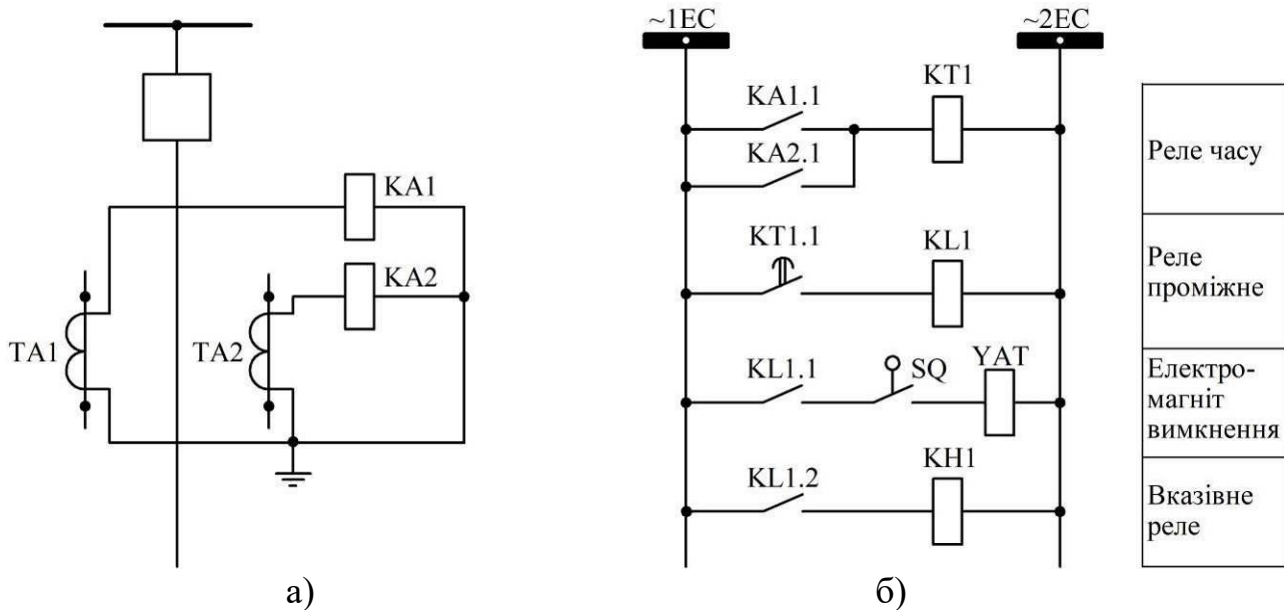


Рисунок 3.2 – Схеми струмових (первинних) кіл, а, та оперативних (вторинних) кіл, б, максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу

Вимірювальна частина захисту включає вимірювальні трансформатори струму ТА1, ТА2, які включені у фази А та С приєднання, та реле максимального струму КА1, КА2. Наведена схема з'єднання елементів вимірювальної частини називається двофазна дворелейна схема (схема неповної зірки). Логічна частина захисту реалізована реле часу КТ1. Функції вихідного органу виконує проміжне реле КЛ1. Виконавчий орган – електромагніт відключення УАТ вимикача Q. Сигнальний орган – вказівне реле КН1.

При виникненні короткого замикання у приєднанні струм через ТА1, або через ТА2, або через ТА1 та ТА2 підвищується. Відповідно підвищується струм у вторинному колі одного (або двох) трансформаторів струму. Якщо такий струм перевищує уставку реле струму, то хоча б одне реле струму спрацює. Відповідно, у схемі оперативних кіл (рис. 2.2, б) замкнеться контакт КА1.1, або КА2.1, або обидва контакти. Це подасть оперативну напругу на обмотку реле часу КТ1, яке почне відраховувати час спрацювання. Спрацювання реле часу призводить до замикання його контакту КТ1.1. Це подає напругу на обмотку проміжного реле КЛ1, контакти КЛ1.1 та КЛ1.2 якого замикаються. Оскільки високовольтний вимикач Q знаходиться у ввімкненому стані, то блок-контакт SQ його положення є замкненим. Тому замикання контакту КЛ1.1 подає оперативну напругу на електромагніт вимкнення УАТ вимикача Q, що забезпечує його вимкнення та відключення пошкодженого приєднання. Одночасно блок-контакт SQ розмикається, що перериває струм через електромагніт УАТ для запобігання його перегріву. Замикання контакту КЛ1.2 забезпечує спрацювання вказівного реле КН1, яке фіксує (запам'ятовує)

спрацювання захисту. Відключення вимикача Q перериває струм короткого замикання, що спричиняє повернення реле струму КА1, КА2, реле часу КТ1, проміжного реле КЛ1 у відключений стан. В спрацьованому стані лишається тільки вказівне реле КН1, повернути у вихідний стан його можливо тільки вручну, натиснувши кнопку.

2. Опис лабораторного стенда

Для виконання лабораторної роботи використовується наступне обладнання.

1. Вимикач вакуумний типу ВРС-10 з електромагнітним приводом, що розміщений у шафі типу ШВВ-10-20-01-630, рис. 3.3.

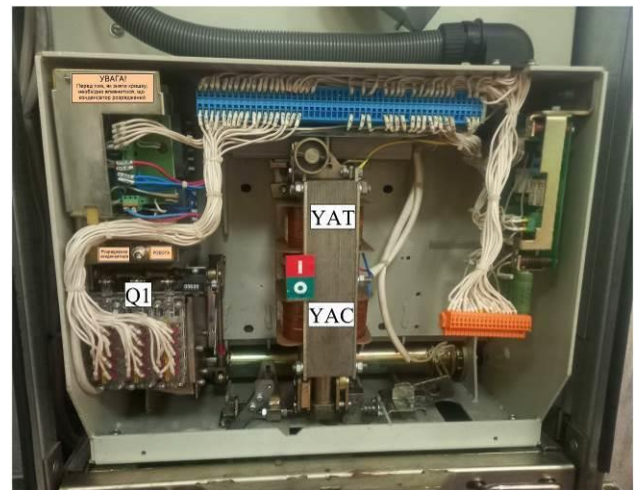
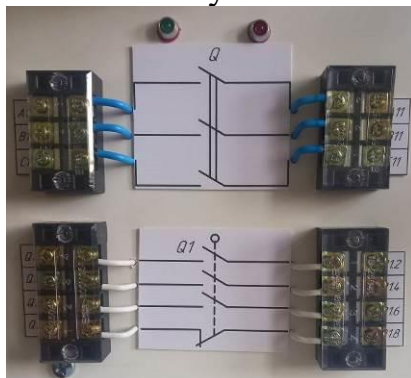


Рисунок 3.3 – Вимикач вакуумний типу ВРС-10 з електромагнітним приводом: а – загальний вигляд; б – елементи блока управління

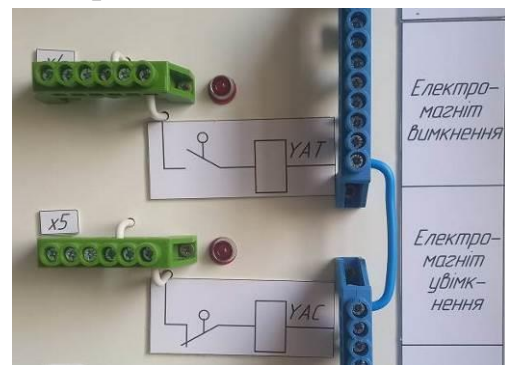
На передню панель стенда виведено:

– виводи силових кіл Q та блок-контактів Q1 положення вимикача, рис. 3.4, а;

– виводи кіл команд «Вимкнути» та «Увімкнути» (електромагніти вимкнення YAT та увімкнення YAC, відповідно), рис. 3.4, б.



а)



б)

Рисунок 3.4 – Виводи силових кіл (Q) та блок-контактів (Q1) положення вимикача ВРС-10 (а), кіл команд «Вимкнути» (YAT) та «Увімкнути» (YAC) (б)

2. Перемикач SA1 для керування вимикачем (On/Off), рис. 3.5.
3. Вимірювальні трансформатори струму 10/5, що позначені TA1, TA2, рис. 3.6.



Рисунок 3.5 – Перемикач SA1

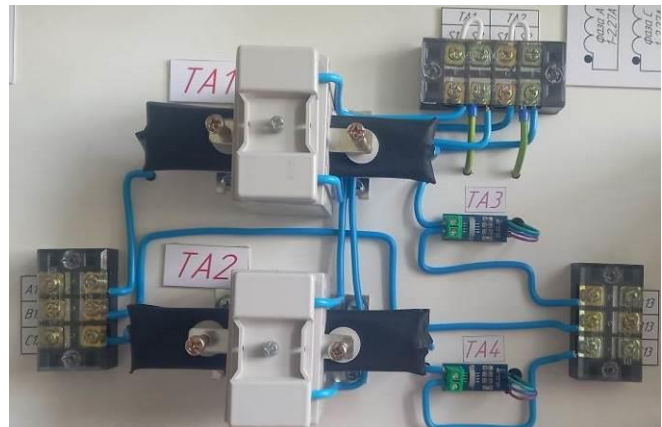


Рисунок 3.6 – Вимірювальні трансформатори струму TA1, TA2

4. Лампи розжарювання EL1–EL6 потужністю 500 Вт кожна, що використовуються для створення навантаження та імітації короткого замикання, вмикаються автоматичними вимикачами QF1–QF6.

5. Автоматичний вимикач на окремій панелі, що імітує виникнення короткого замикання.

6. Реле струму РТ-40/2 електромагнітного типу, що позначені КА1 та КА2, рис. 3.7.

7. Реле часу РВ-237 електромагнітного типу, що позначене КТ1, рис. 3.8.



Рисунок 3.7 – Реле струму РТ-40/2



Рисунок 3.8 – Реле часу РВ-237

8. Проміжне реле ПЕ40-20-42УЗ, що позначене КЛ1, рис. 3.9.

9. Вказівне реле РЕУ-11-11, що позначене КН1, рис. 3.10.



Рисунок 3.9 – Проміжне реле ПЕ40-20-42УЗ



Рисунок 3.10 – Вказівне реле РЕУ-11-11

10. Шинки оперативного струму $\sim 1\text{ЕС}$, $\sim 2\text{ЕС}$ (напруга $\sim 220\text{ В}$), що використовуються для живлення кіл релейного захисту, рис. 3.11.

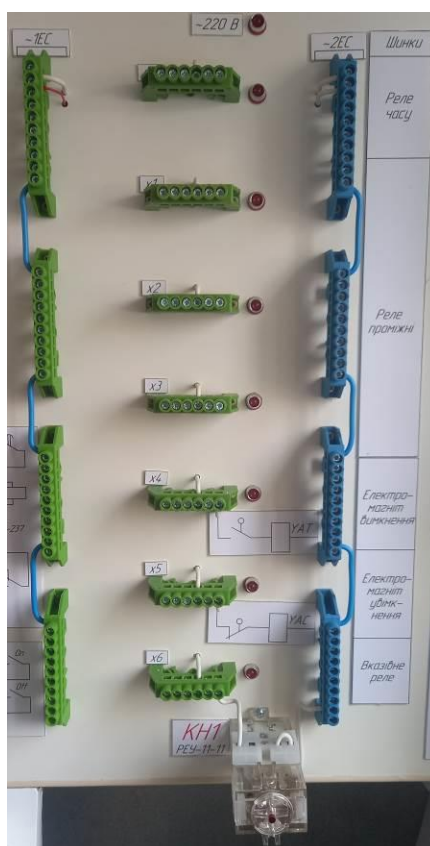


Рисунок 3.11 – Шинки оперативного струму

11. Комп'ютер та USB приставка-осцилограф ISDS205X, що використовується в режимі логічного аналізатора та підключена до проміжних

клемників x0–x6, а також до блок-контактів положення вимикача через плату опторозв'язки.

3. Завдання

Визначити фактичний час спрацювання максимального струмового захисту із незалежною витримкою часу.

4. Порядок виконання роботи

1. Розрахувати уставку реле струму.

Номінальний лінійний струм навантаження, А:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi_n}, \quad (3.1)$$

де P_n – номінальна активна потужність навантаження, Вт, прийняти $P_n=1500$ Вт (три лампи розжарювання по 500 Вт);

$U_n=380$ В – номінальна лінійна напруга мережі;

$\cos \varphi_n$ – коефіцієнт потужності навантаження в номінальному режимі, для активного навантаження коефіцієнт потужності дорівнює одиниці: $\cos \varphi_n=1$.

Прийmemo, що сумарний максимальний струм робочого навантаження лінії в усталеному режимі перевищує номінальний струм на 10%, тобто:

$$I_{p \max} = 1,1 \cdot I_n. \quad (3.2)$$

Для обрахування струму спрацювання максимального струмового захисту за умови неспрацювання захисту при надмірних струмах післяаварійних перевантажень, скористаємося виразом:

$$I_{c.z} = \frac{k_{\text{від}}}{k_{\text{нов}}} I_{p \max}, \quad (3.3)$$

де $k_{\text{від}}$ – коефіцієнт відведення реле, для реле типу РТ-40 $k_{\text{від}}=1,1$;

$k_{\text{нов}}$ – коефіцієнт повернення реле, для реле РТ-40 прийняти $k_{\text{нов}}=0,82$.

Вторинний струм спрацювання реле, А:

$$I_{c.p} = \frac{k_{cx}}{k_I} I_{c.z}, \quad (3.4)$$

де k_{cx} – схемний коефіцієнт, що враховує схему з'єднання трансформаторів струму, в роботі використана двофазна дворелейна схема, для якої $k_{cx}=1$;

k_I – коефіцієнт трансформації трансформатора струму, $k_I = I_{TA1n}/I_{TA2n}$. Вимірювальні трансформатори струму ТА1 та ТА2, що встановлені на стенді, розраховані на наступні номінальні струми: первинний $I_{TA1n}=10$ А, вторинний $I_{TA2n}=5$ А.

Після визначення $I_{c.p}$ необхідно обрати тип з'єднання обмоток реле струму. Для цього необхідно скористатися технічними характеристиками реле РТ-40/2:

Струм спрацювання, А, при з'єднанні котушок:

послідовно.....0,5 ... 1,0
 паралельно.....1,0 ... 2,0

При послідовному з'єднанні котушок на шкалі реле РТ-40 треба виставити значення $I_{c.p}$. При паралельному з'єднанні – виставити $I_{c.p} / 2$.

2. Занести до протоколу випробувань (табл. 3.1) значення струму спрацювання реле $I_{c.p}$, спосіб з'єднання котушок та значення, що необхідно виставити на шкалі реле.

Таблиця 3.1

Протокол випробування схеми максимального струмового захисту із незалежною витримкою часу

Варіант _____		Виконавець _____		
$I_{c.p} =$ _____ А	Обмотки КА1, КА2: _____ (паралельно, послідовно)		На шкалі КА1, КА2: _____ А	$T_{c.з} =$ _____ с
Виміряно:				
№ досліду	$t_{КА},$ с	$t_Q,$ с	$T_{ф.с.з} = t_Q - t_{КА},$ с	
1				
2				
3				
4				
5				
Обраховано:				
Математичне сподівання m				
Стандартне відхилення s				
$m + 2s$				
$m - 2s$				

3. Обрати час $T_{c.з}$ спрацювання захисту відповідно до табл. 3.2. Внести значення $T_{c.з}$ до протоколу випробувань (табл. 3.1).

Таблиця 3.2

Вихідні дані

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_{c.з},$ с	6,5	4,5	8,0	6,0	5,5	8,5	9,0	7,5	6,0	7,0	5,0	4,5	6,0	5,5
Вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$T_{c.з},$ с	2,5	5,5	7,5	8,0	6,5	9,0	7,5	8,5	6,5	6,0	5,5	3,5	2,5	7,0

4. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено та всі автоматичні вимикачі відключені.

5. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 3.12, 3.13.

6. Зняти захисні кожухи з реле струму КА1, КА2 та виставити уставку спрацювання відповідно до табл. 3.1. Одягнути кожухи на реле.

7. Зняти захисний кожух з реле часу КТ1 та виставити уставку $T_{c.з}$. Одягнути кожух на реле.

8. Якщо проміжне реле КН1 у спрацьованому стану, то натиснути на кнопку та привести його у вихідний стан.

9. Підключити інформаційний шлейф до приставки-осцилографа.

10. Приєднати осцилограф до комп'ютера. Запустити програму Multi VirAnalyzer, обрати пункт Logic Analyzer. Встановити значення параметрів відповідно до рис. 3.14.

11. Ввімкнути автоматичні вимикачі QF1–QF6.

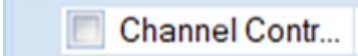
12. Відключити автоматичний вимикач QF7.

13. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.

14. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

15. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.

16. Перевести перемикач SA1 в положення Оп. Вимикач ВРС-10 буде ввімкнено.

17. Ввімкнути логічний аналізатор на запис, для цього поставити галочку у полі .

18. Здійснити імітацію короткого замикання, для чого ввімкнути автоматичний вимикач QF7. Спрацюють реле струму, загориться світлодіод біля x1, реле часу почне працювати, після витримки часу спрацює проміжне реле, вимикач ВРС-10 відключиться, спрацює проміжне реле.

19. Якщо реєстрація даних не завершилася, можна натиснути на кнопку Стоп.

20. Відключити автоматичний вимикач QF0.

21. Відключити автоматичний вимикач QF7.

22. За осцилограмами (рис. 3.15) визначити:

– момент $t_{КА}$ спрацювання реле КА1, 2;

– момент t_Q відключення автоматичного вимикача.

Занести одержані дані до протоколу (табл. 3.1).

Зберегти осцилограму одного досліду для оформлення звіту.

23. Повторити дослід відповідно до пп. 15–22, заносючи результати до табл. 2.1. Загалом дослід повторюється 5 разів.

24. Обрахувати фактичний час спрацювання захисту $T_{ф.с.з} = t_Q - t_{КА}$ для кожного з дослідів, результати занести до табл. 3.1.

25. Показати результати викладачеві.

26. З дозволу викладача розібрати схему.

27. Обрахувати значення математичного сподівання та стандартного відхилення для фактичного часу спрацювання захисту $T_{ф.с.з}$. Результати занести до табл. 3.1.

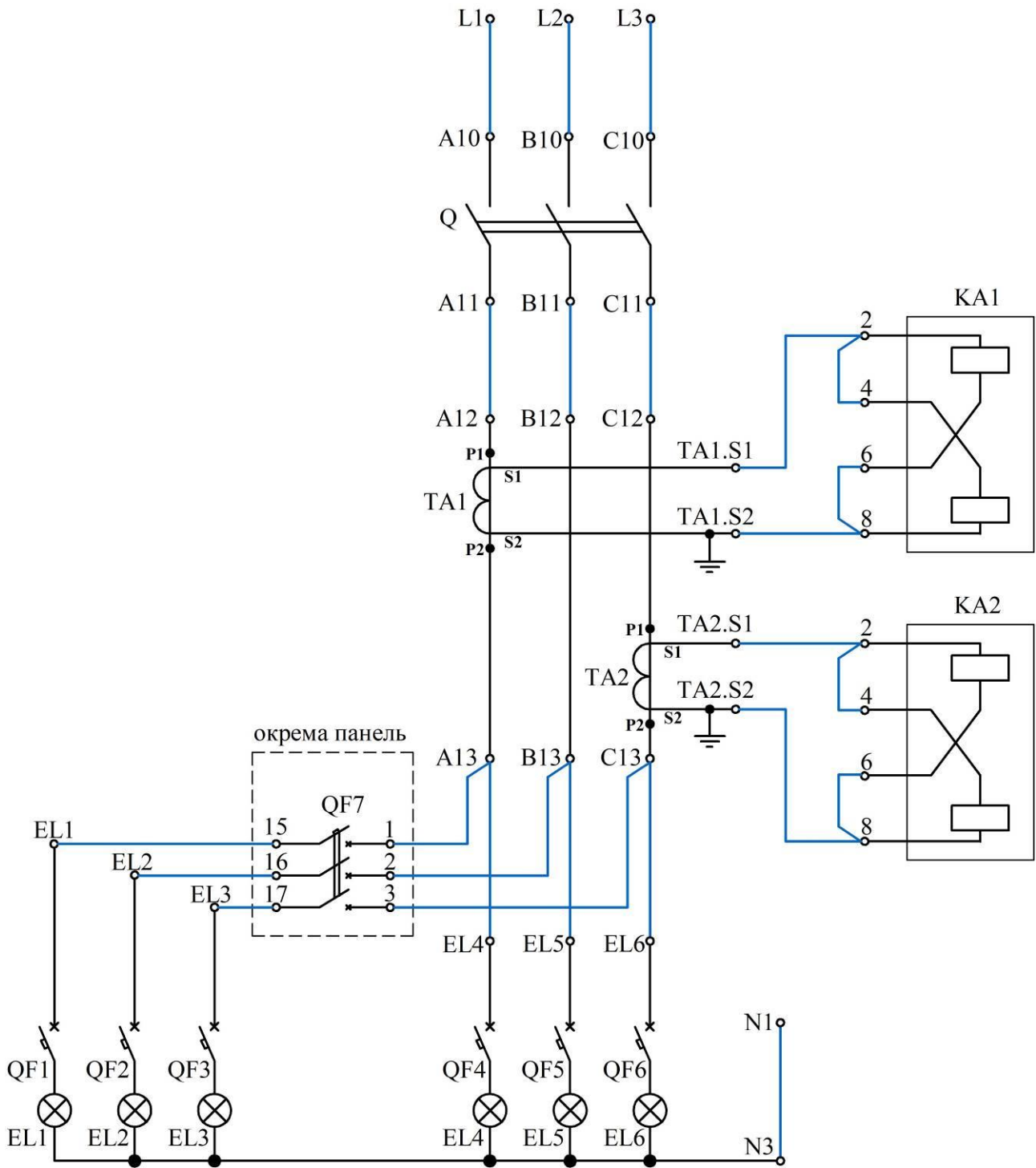


Рисунок 3.12 – Електрична схема з'єднань струмових (первинних) кіл максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу

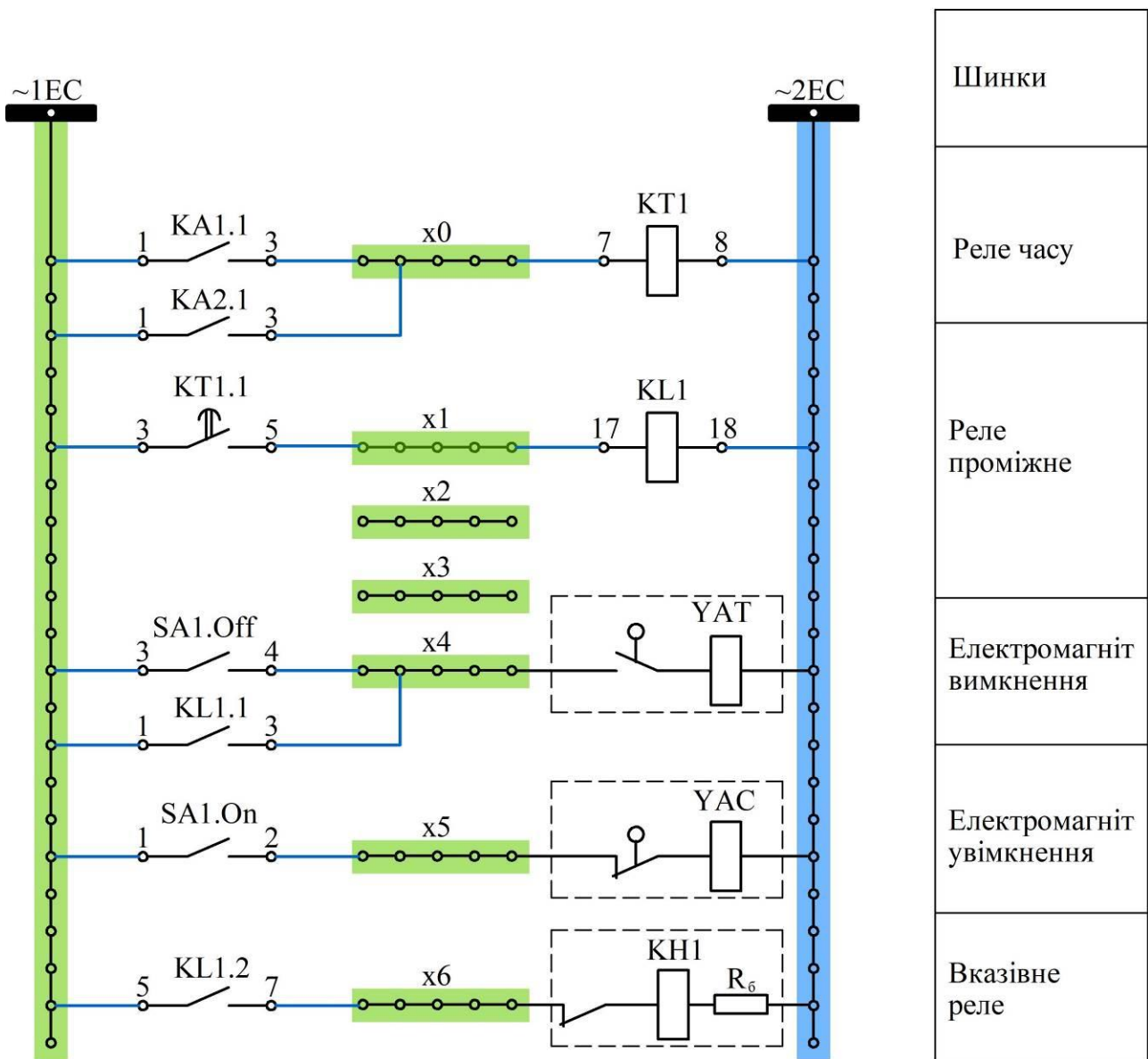


Рисунок 3.13 – Електрична схема з'єднань оперативних (вторинних) кіл максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу

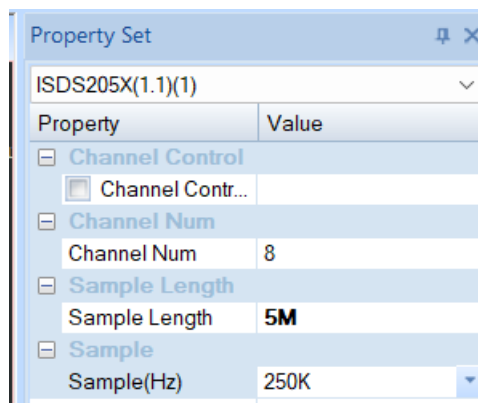
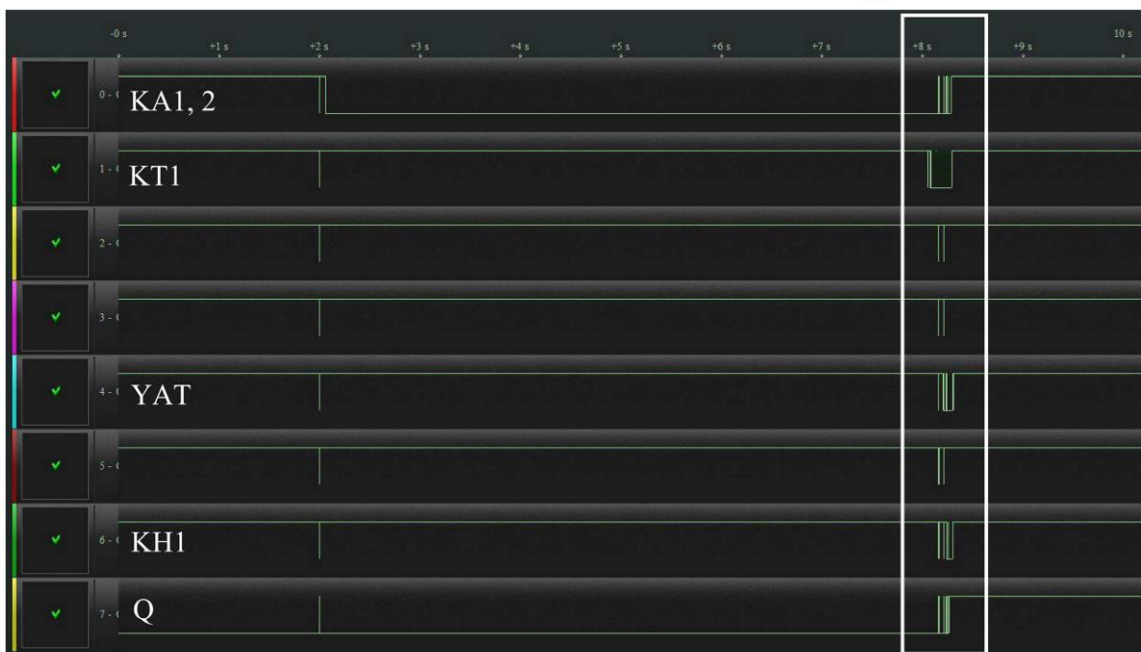


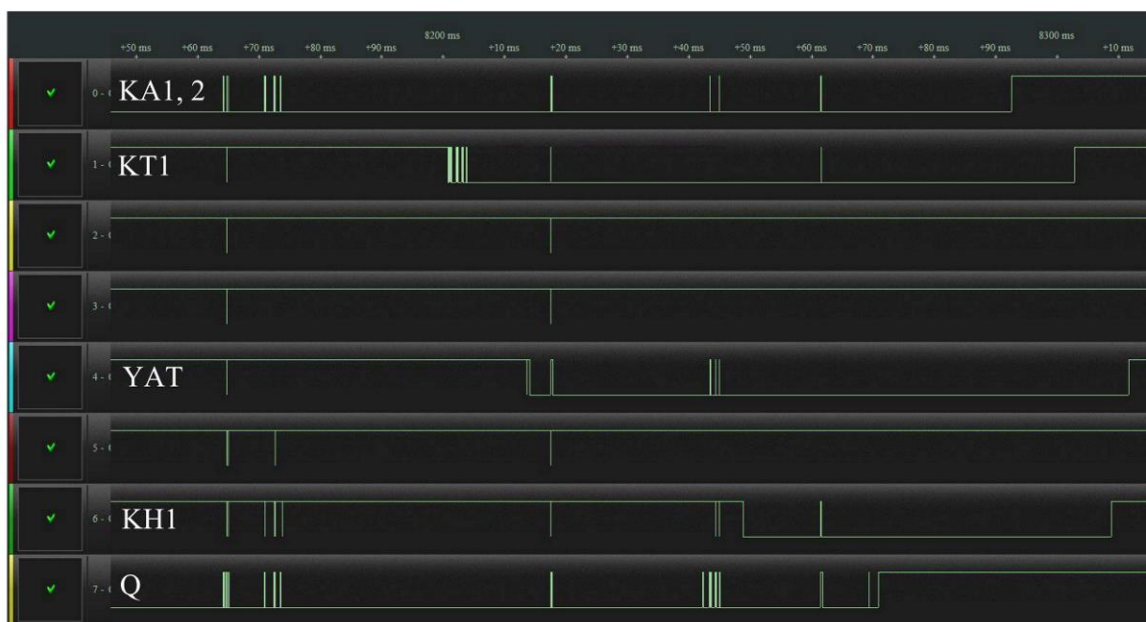
Рисунок 3.14 – Налаштування значень параметрів логічного аналізатора

фрагмент А



$$t_{KA} = 2,059 \text{ c}$$

а)



$$t_{KT1} = 8,202 \text{ c}$$

$$t_{YAT} = 8,218 \text{ c}$$

$$t_Q = 8,268 \text{ c}$$

$$t_{KH1} = 8,247 \text{ c}$$

б)

Рисунок 3.15 – Приклади осцилограмми стану реле МСЗ з незалежною витримкою часу: а – загальний вигляд; б – фрагмент А; рівні сигналів інвертовано: «0» – ввімкнено; «1» – відключено

Обрахувати межі інтервалів $m \pm 2s$, що включають вибіркові величини $T_{ф.с.з}$ з імовірністю 0,95, результати занести до табл. 3.1.

28. Проаналізувати співвідношення між заданим $T_{с.з}$ часом та статистичними межами фактичного $T_{ф.с.з}$ часу спрацювання захисту. Зробити висновки.

2.1.5. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Принцип дії максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу.
3. Розрахунок уставки реле струму.
4. Електричні схеми з'єднань струмових (первинних) кіл та оперативних (вторинних) кіл максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу, відповідно до яких були виконані підключення на лабораторному стенді.
5. Фото зібраної схеми на лабораторному стенді.
6. Осцилограми стану реле МСЗ з незалежною витримкою часу, отримані на лабораторному стенді, для одного з дослідів.
7. Протокол випробувань (табл. 3.1).
8. Висновки з аналізом співвідношення між заданим $T_{с.з}$ часом та статистичними межами фактичного $T_{ф.с.з}$ часу спрацювання захисту.

2.1.6. Контрольні питання

1. Які види струмових захистів Вам відомі?
2. Що таке селективність захисту?
3. Яким чином забезпечується селективність МСЗ?
4. Що таке ступінь селективності?
5. Назвіть недоліки максимального струмового захисту.
6. Поясніть роботу МСЗ за схемою на рис. 2.2.
7. Пояснити призначення трансформатора струму.
8. Умовне та позиційне позначення трансформатора струму.
9. Конструкція трансформатора струму.
10. Якщо вторинне коло трансформатора струму, ввімкненого в мережу, тимчасово не використовується, як слід поступити з затискачами S1, S2 ?
11. Чи треба заземлювати вторинні кола трансформаторів струму?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Дослідження роботи блоку АВР на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G

Мета: ознайомитися з функціонуванням блоку автоматичного введення резерву, що побудований на основі мікропроцесорного пристрою управління резервним живленням.

1. Короткі теоретичні відомості

Підключення споживачів до резервного джерела в разі відмови основного джерела здійснюють пристрої автоматичного введення резерву (АВР). Особливо актуальним є використання пристроїв АВР в схемах живлення споживачів I категорії. Пристрої АВР використовуються на трансформаторах, секційних вимикачах, лініях електропередачі, в схемах живлення двигунів тощо.

В якості прикладу розглянемо порядок роботи схеми АВР секційного вимикача для двотрансформаторної підстанції, рис. 4.1. Трансформатор Т1 живиться від джерела S1, Т2 – від S2. В нормальному режимі: від трансформатора Т1 через вимикач Q1 живиться перша секція збірних шин (1С); від Т2 через вимикач Q3 живиться друга секція збірних шин (2С); секційний вимикач Q5 відключений. Припустимо, з певної причини вимикач Q1 відключився. Тоді споживачі, які живляться від 1С, будуть знеструмлені. Для відновлення живлення до цих споживачів пристрій АВР має подати сигнал на ввімкнення секційного вимикача Q5. Після цього обидві секції збірних шин будуть одержувати живлення від трансформатора Т2. В разі відновлення роботи трансформатора Т1, пристрій АВР відключає секційний вимикач Q5 та вмикає Q1.

В лабораторній роботі розглядається функціонування пристрою AVR-02-G (рис. 4.2), який призначено для роботи у складі шаф (блоків) автоматичного введення резерву для трифазних споживачів електроенергії.

Пристрій AVR-02-G може забезпечувати реалізацію функцій АВР в наступних схемах електропостачання.

1. Схема N1+G, рис. 4.3, а. В такій схемі джерело N1 – робоче (наприклад, силовий трансформатор), джерело G – резервне (в якості якого може використовуватися генератор). В нормальному режимі комутаційний апарат Q1 ввімкнений, Q2 відключений. В разі зникнення напруги робочого джерела N1 через затримку часу T_3 пристрій подає сигнал на відключення комутаційного апарату Q1. Через 3 с пристрій подає сигнал на запуск генератора G. Через витримку часу T_2 , яка потрібна для запуску генератора, за умови знаходження напруги генератора в допустимих межах, пристрій подає сигнал на ввімкнення Q2. Завдяки цьому споживачі одержують живлення від генератора.

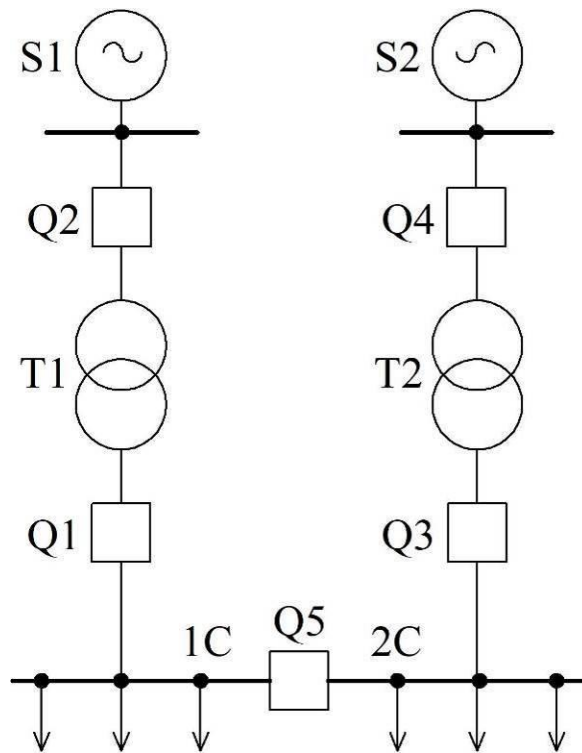


Рисунок 4.1 – Спрощена схема двотрансформаторної підстанції



Рисунок 4.2 – Пристрій управління резервним живленням AVR-02-G

В разі відновлення напруги робочого джерела, через витримку часу T_6 пристрій відключає Q2. Через витримку часу перемикання T_n пристрій вмикає Q1 і споживачі одержують живлення від робочого джерела N1.

2. Схема N1+N2, рис. 4.3, б. В такій схемі наявні два джерела живлення (наприклад, силові трансформатори): N1 – робоче, N2 – резервне. Робота схема аналогічна схемі N1+G, за виключенням того, що відсутня необхідність подавати сигнал на запуск генератора.

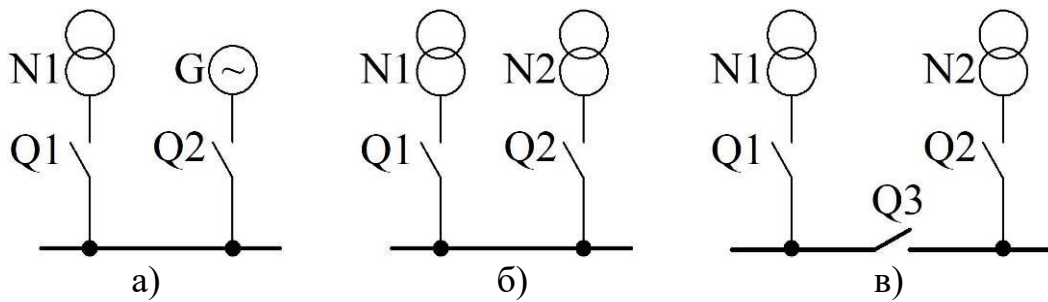


Рисунок 4.3 – Схеми систем електропостачання, в яких АВР забезпечується пристроєм AVR-02-G:

а – схема N1+G; б – схема N1+N2; в – схема N1+N2+S

3. Схема N1+N2+S, рис. 4.3, в. В нормальному режимі джерела N1 та N2 подають живлення через комутаційні апарати Q1 та Q2 на відповідні секції збірних шин, секційний вимикач Q3 відключений.

2. Опис лабораторного стенда

Лабораторна робота виконується з використанням блоку АВР на основі пристрою AVR-02-G (рис. 4.4).

До складу блоку АВР входять:

- пристрій AVR-02-G;
- електромагнітні контактори КМ1–КМ3 типу SCG-9;
- індикаторні лампи, кнопка, перемикачі.

Принципова електрична схема блоку АВР наведена на рис. 4.5.

Для проведення лабораторної роботи блок АВР підключається до лабораторного стенда в ауд. 508. Живлення на блок АВР подається від пункту розподілу електроенергії ПР-11, рис. 4.6. В якості першого навантаження використовується асинхронний двигун АОЛ2-11-4У3, рис. 4.7, а. Друге навантаження – лампи розжарювання, рис. 4.7, б. Вимірювання струму здійснюється струмовими кліщами UT204+, рис. 4.8.

3. Завдання

Дослідити режими роботи блоку автоматичного введення резерву, що побудований на основі мікропроцесорного пристрою управління резервним живленням AVR-02-G.

4. Порядок виконання роботи

1. В ауд. 508 пересвідчитися, що стенд знеструмлено (автоматичний вимикач ЩРН відключений). Також пересвідчитися, що в ПР-11 всі автоматичні вимикачі відключені.

2. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 4.9.

3. Перевести органи управління блоку АВР у наступні положення:

- S1 «Автоматичний режим» – «Заблоковано»;
- S2 «Лінія 1» – «Норма»;
- S3 «Лінія 2» – «Норма»;

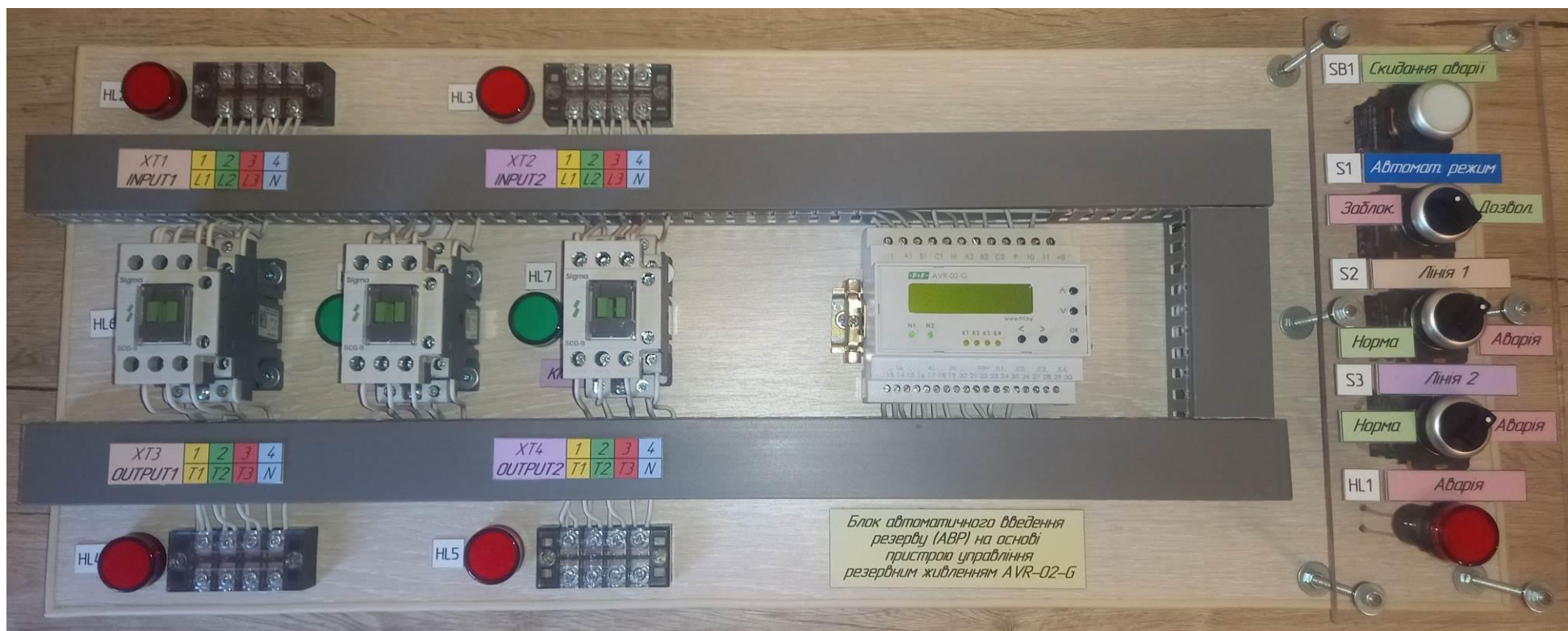


Рисунок 4.4 – Блок АВР на основі пристрою AVR-02-G

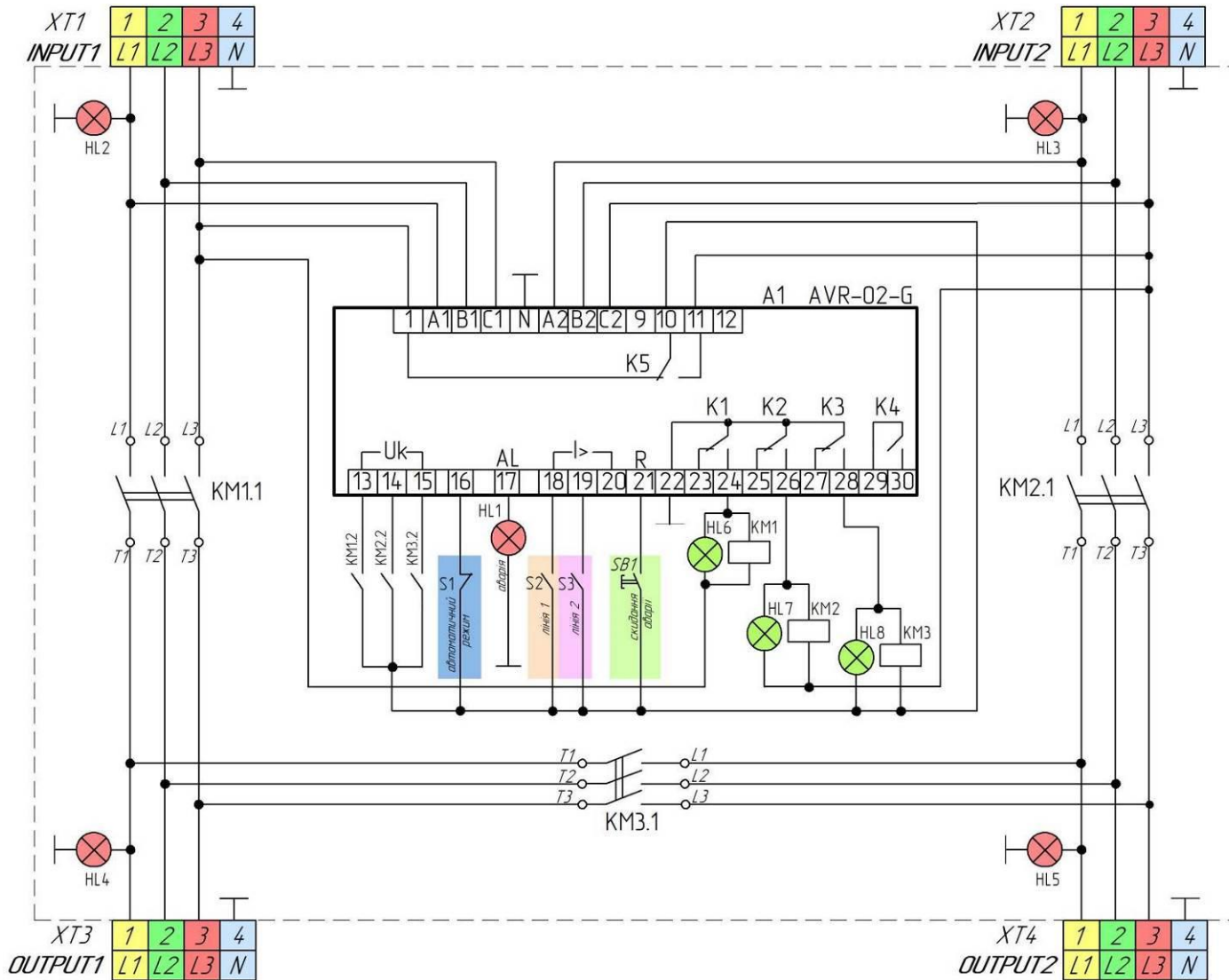


Рисунок 4.5 – Принципова електрична схема блоку автоматичного введення резерву (АВР) на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G

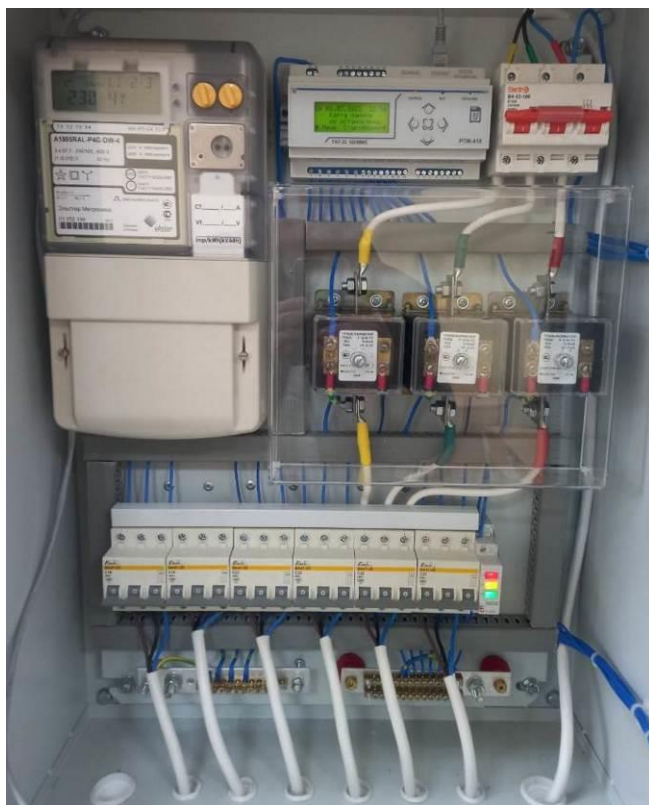


Рисунок 4.6 – Пункт розподілу електроенергії ПР-11



а)



б)

Рисунок 4.7 – Асинхронний двигун АОЛ2-11-4У3 (а) та панель з лампами розжарювання (б)



Рисунок 4.8 – Струмові кліщі UT204+.

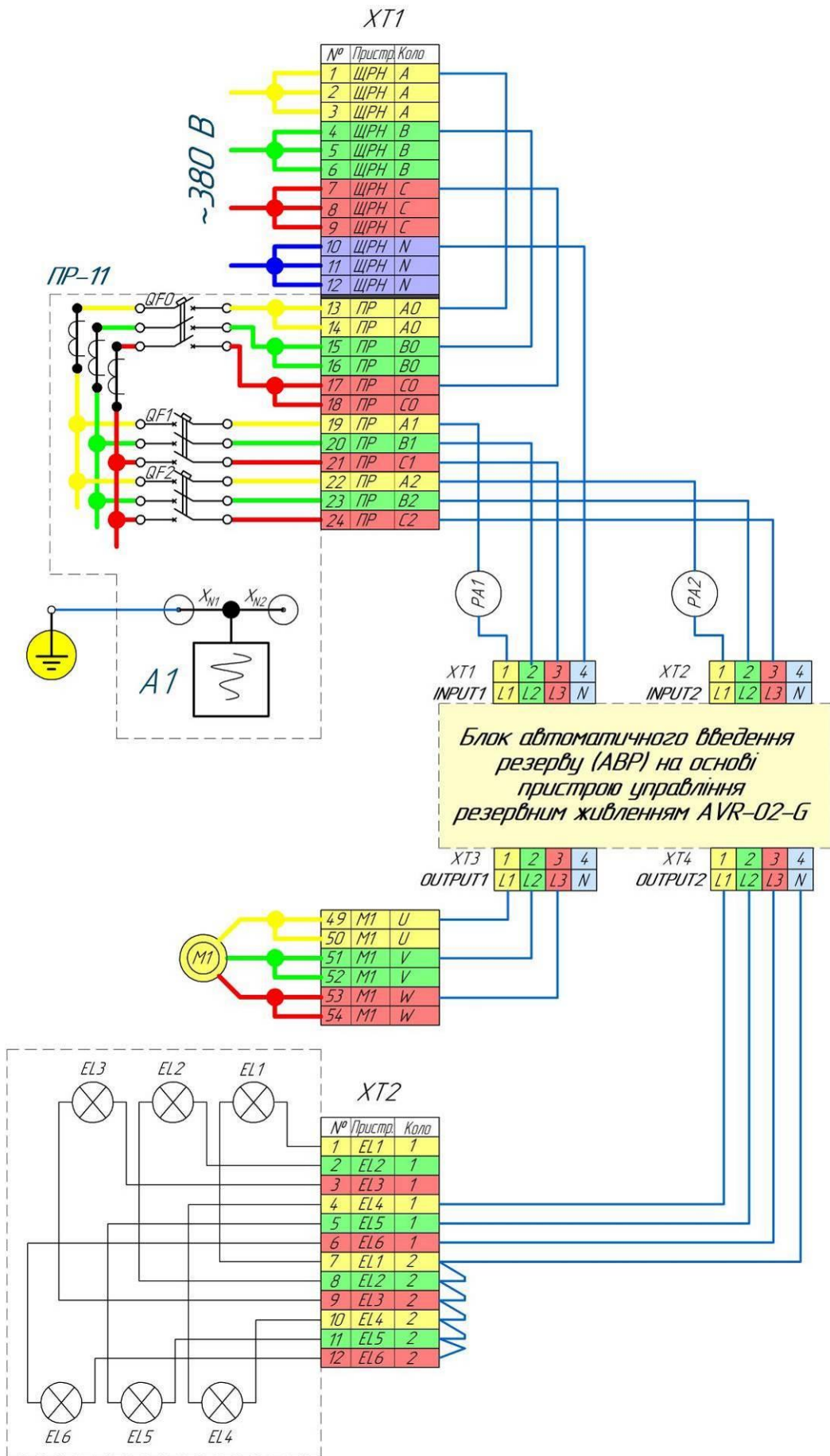


Рисунок 4.9 – Схема лабораторного станда для дослідження роботи блоку АВР

4. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.

5. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

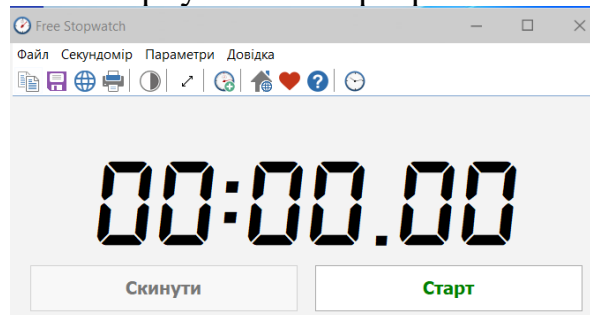
6. Ввімкнути автоматичний вимикач ЩРН, що подає напругу на стенд.

7. Ввімкнути автоматичні вимикачі QF0, QF1, QF2 у складі ПР-11.

В режимі МЕНЮ встановити значення параметрів та функцій відповідно до табл. 4.1.

Дослід 1. Дослідження автоматичного введення резерву

1. Включити комп'ютер, що вбудований у стенд. Запустити програму таймера Free Stopwatch. Розгорнути вікно програми на весь екран:



2. Перевести перемикач S1 «Автоматичний режим» в положення «Дозволено». Контактори КМ1, КМ2 мають включитися, КМ3 – бути відключеним, двигун і лампи ввімкнуться.

Занести стан елементів системи, значення напруг та струмів до рядка 1а протоколу випробувань, табл. 4.2.

3. Одночасно виконати дві дії (краще запросити одногрупника): відключити автоматичний вимикач QF1 у складі ПР-11 та натиснути кнопку «Старт» у програмі таймера. Слідкувати за спрацюванням АВР (спрацьовує із заданими витримками часу). В момент запуску двигуна натиснути кнопку «Стоп» у програмі таймера. Занести дані до рядка 1б протоколу випробувань. При цьому значення витримку часу, що визначено таймером, занести до клітинки ΔT_1 .

4. Скинути таймер.

5. Одночасно виконати дві дії: ввімкнути автоматичний вимикач QF1 у складі ПР-11 та натиснути кнопку «Старт» у програмі таймера. Слідкувати за спрацюванням АВР (спрацьовує із заданими витримками часу). В момент запуску двигуна натиснути кнопку «Стоп» у програмі таймера. Занести витримку часу до клітинки ΔT_2 (рядок 1б). Скинути таймер.

6. Одночасно виконати дві дії: відключити автоматичний вимикач QF2 у складі ПР-11 та натиснути кнопку «Старт» у програмі таймера. Слідкувати за спрацюванням АВР (спрацьовує із заданими витримками часу). В момент ввімкнення ламп натиснути кнопку «Стоп» у програмі таймера. Занести дані до рядка 1в протоколу випробувань. При цьому значення витримку часу, що визначено таймером, занести до клітинки ΔT_1 .

Таблиця 4.1

Значення параметрів пристрою АВР

Параметр, функція	Варіант 1		Варіант 2		Примітка
	Значення (вибір кнопками «вправо», «вліво»: on, off)	Сигнал аварії (вибір кнопками «вверх», «вниз»: “А” сигнал подається, “–“ не подається)	Значення (вибір кнопками «вправо», «вліво»: on, off)	Сигнал аварії (вибір кнопками «вверх», «вниз»: “А” сигнал подається, “–“ не подається)	
Відключення при помилці чергування	on	A	on	A	
Відключення при помилці синфазності	on	A	on	A	
Аварія при спрацюванні розчіплювача	–	A	–	A	
Зустрічна напруга	–	–	–	A	
Час відключення при $U < U_{\min}$	15 с	A	7 с	A	T_3
Час відключення при $U > U_{\max}$	1,0 с	–	1,5	A	
Час відключення при асиметрії	8 с	A	12 с	A	
Макс. напруга U_{\max}	260 В	–	250 В	–	
Мін. напруга U_{\min}	170 В	–	180 В	–	
Асиметрія напруги U_{asimm}	60 В	–	40 В	–	
Час перемикання $T_{\text{п}}$	4,0 с	–	5,9 с	–	T_n
Час відновлення $T_{\text{в}}$	5 с	–	7 с	–	T_e

Таблиця 4.2

Протокол випробування блоку АВР на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G

№ стану	Стан автоматичних вимикачів ПР-11		Перемикачі, що імітують аварію на лінії до навантаження		Напруга на вході INPUT1 блоку АВР			Напруга на вході INPUT2 блоку АВР			Стан контакторів			Напруга на виходах блоку АВР		Сигнал аварії	Струм		Фактичні затримки			
					HL2, 0/1	$U_{A1},$ В	$U_{B1},$ В	$U_{C1},$ В	HL3, 0/1	$U_{A2},$ В							$U_{B2},$ В	$U_{C2},$ В	I ₁ , А	I ₂ , А	$\Delta T_1, c$	$\Delta T_2, c$
	QF1	QF2	S2 Лінія1	S3 Лінія2		На екрані пристрою Вв1	На екрані пристрою Вв2	KM1 (HL6), 0/1		KM3 (HL8), 0/1	KM2 (HL7), 0/1	OUTPUT1 (HL4), 0/1	OUTPUT2 (HL5), 0/1	HL1, 0/1	PA1		PA2					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Дослід 1. Дослідження автоматичного введення резерву																						
1а	on	on	норма	норма																	x	x
1б	off	on	норма	норма																		
1в	on	off	норма	норма																		
Дослід 2. Функціонування АВР при пошкодженні ліній до навантаження																						
2а	on	on	аварія	норма																	x	x
2б	on	on	норма	аварія																	x	x
Дослід 3. Функціонування АВР при обриві фази джерела																						
3	on	on	норма	норма																	x	x
Дослід 4. Функціонування АВР при помилковому чергуванні фаз																						
4	on	on	норма	норма																	x	x
Дослід 5. Функціонування АВР при відсутності синфазності																						
5	on	on	норма	норма																	x	x

7. Скинути таймер.

8. Одночасно виконати дві дії: ввімкнути автоматичний вимикач QF2 у складі ПР-11 та натиснути кнопку «Старт» у програмі таймера. Слідкувати за спрацюванням АВР (спрацьовує із заданими витримками часу). В момент ввімкнення ламп натиснути кнопку «Стоп» у програмі таймера. Занести витримку часу до клітинки ΔT_2 (рядок 1в).

Дослід 2. Функціонування АВР при пошкодженні ліній до навантаження

1. Перевести перемикач S2 «Лінія 1» в положення «Аварія».

2. Слідкувати за спрацюванням АВР. Занести дані щодо стану системи до рядка 2а протоколу випробувань.

3. Перевести перемикач S2 «Лінія 1» в положення «Норма». Короткочасно натиснути кнопку SB1 «Скидання аварії». Слідкувати за спрацюванням АВР.

4. Перевести перемикач S3 «Лінія 2» в положення «Аварія».

5. Слідкувати за спрацюванням АВР. Занести дані щодо стану системи до рядка 2б протоколу випробувань.

6. Перевести перемикач S3 «Лінія 2» в положення «Норма». Короткочасно натиснути кнопку SB1 «Скидання аварії». Слідкувати за спрацюванням АВР.

7. Вимкнути комп'ютер, що вбудований у стенд (Пуск – Завершити роботу).

8. Відключити автоматичний вимикач ЩРН.

Дослід 3. Функціонування АВР при обриві фази джерела

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено.

2. Внести зміни до схеми лабораторного стенда відповідно до рис. 4.10, а саме – від'єднати провід, що з'єднує клеми 24/ПР/С2 та ХТ2/3/Л3.

3. Показати зібрану схему викладачеві.

4. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

5. Ввімкнути автоматичний вимикач ЩРН, що подає напругу на стенд.

6. Слідкувати за станом АВР. Занести дані щодо стану системи до рядка 3 протоколу випробувань.

7. Відключити автоматичний вимикач ЩРН.

Дослід 4. Функціонування АВР при помилковому чергуванні фаз

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено.

2. Внести зміни до схеми лабораторного стенда відповідно до рис. 4.11. Проводи, які необхідно переключити, виділені червоним.

3. Показати зібрану схему викладачеві.

4. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

5. Ввімкнути автоматичний вимикач ЩРН, що подає напругу на стенд.

6. Слідкувати за станом АВР. Занести дані щодо стану системи до рядка 4 протоколу випробувань.

7. Відключити автоматичний вимикач ЩРН.

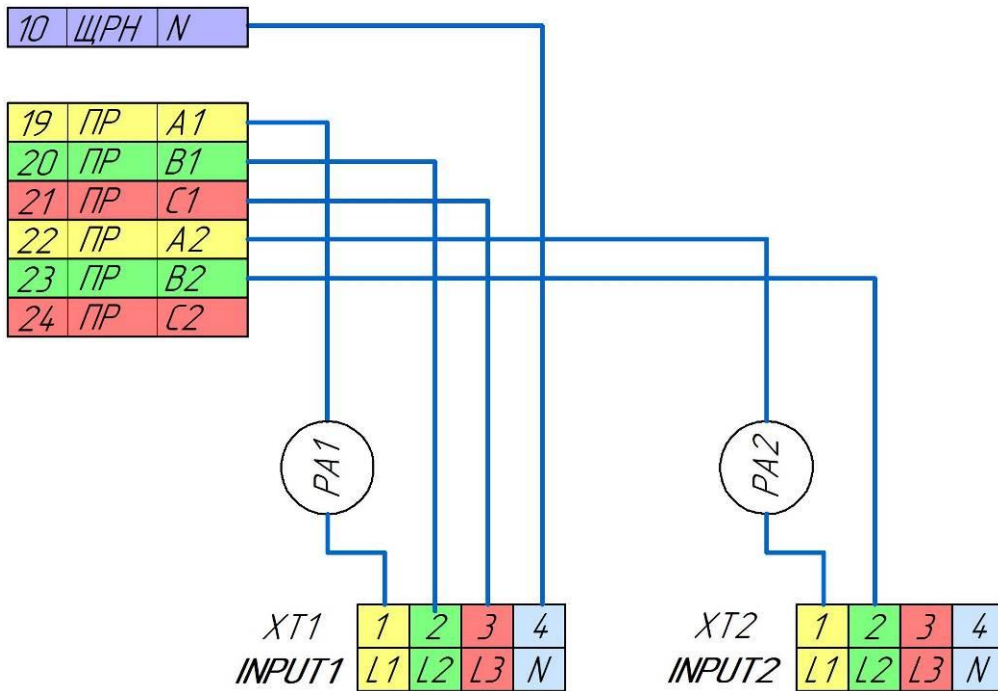


Рисунок 4.10 – Схема лабораторного стенда для дослідження роботи блоку АВР при обриві фази джерела (дослід 3)

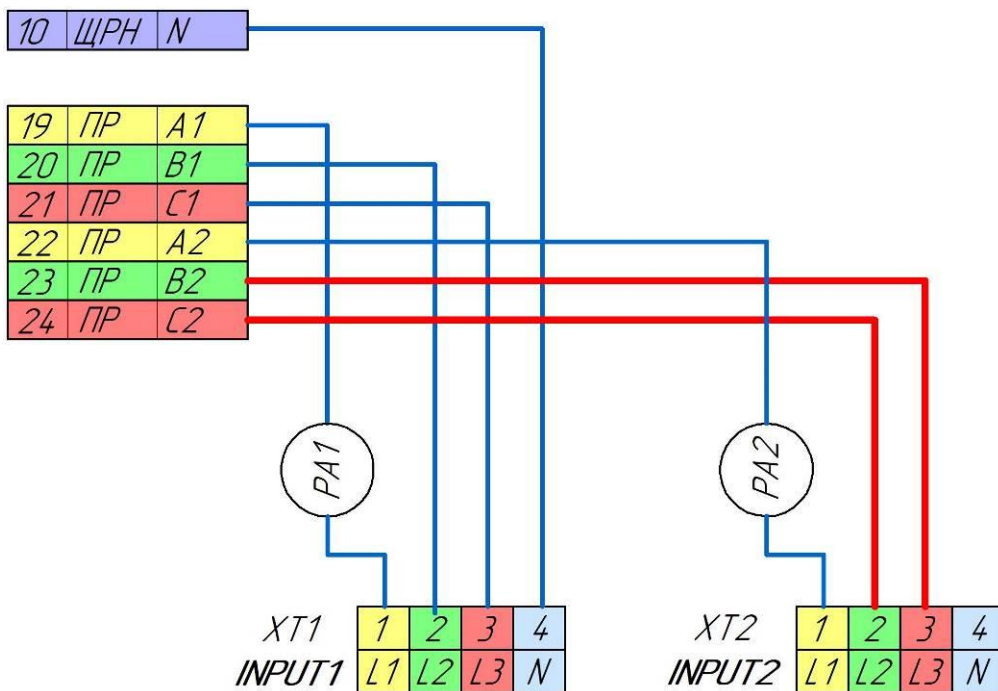


Рисунок 4.11 – Схема лабораторного стенда для дослідження роботи блоку АВР при помилковому чергуванні фаз (дослід 4)

Дослід 5. Функціонування АВР при відсутності синфазності

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено.

2. Внести зміни до схеми лабораторного стенда відповідно до рис. 4.12.

Проводи, які необхідно переключити, виділені червоним.

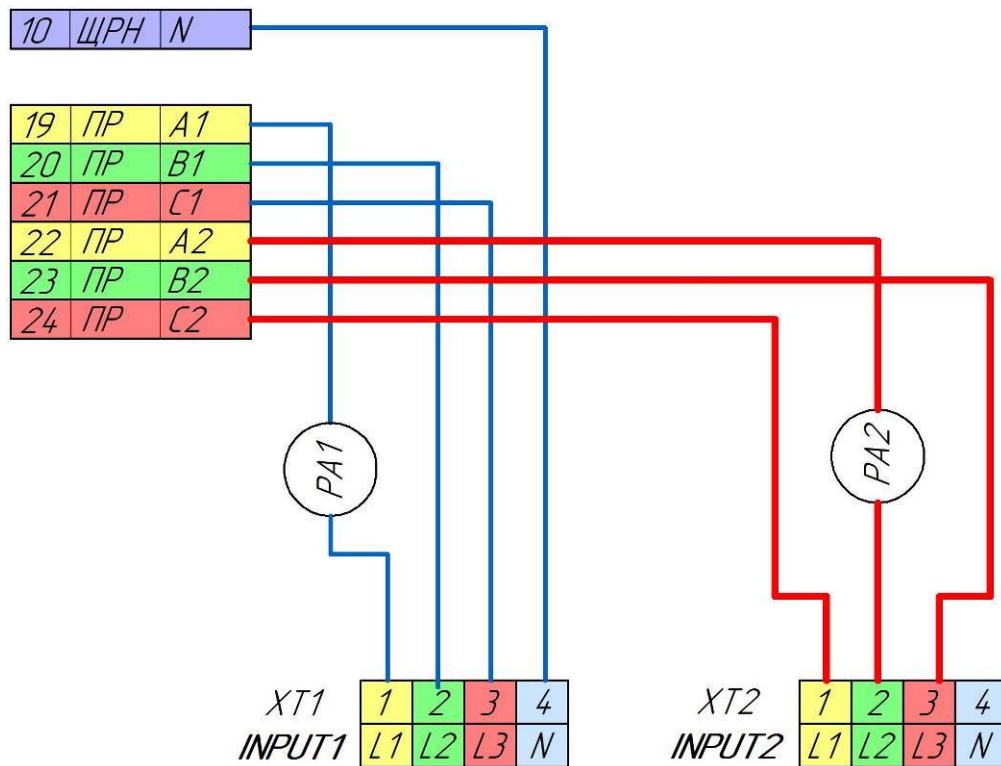


Рисунок 4.12 – Схема лабораторного стенда для дослідження роботи блоку АВР при відсутності синфазності (дослід 5)

3. Показати зібрану схему викладачеві.

4. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!

5. Ввімкнути автоматичний вимикач ЩРН, що подає напругу на стенд.

6. Слідкувати за станом АВР. Занести дані щодо стану системи до рядка 5 протоколу випробувань.

7. Відключити автоматичний вимикач ЩРН. Відключити автоматичні вимикачі QF0, QF1, QF2 у складі ПР-11.

Аналіз результатів дослідів

1. На основі експериментальних даних (рядки 1а, 1б табл. 4.2) побудувати графіки, що відображають цикл спрацювання АВР при втраті живлення від першого джерела. За віссю абсцис необхідно відкладати час t , с. За осями ординат:

- фазна напруга U_{A1} , В, першої фази на вході INPUT1 блоку АВР;
- лінійний струм I_1 , А, першої фази входу INPUT1 блоку АВР;
- фазна напруга U_{A2} , В, першої фази на вході INPUT2 блоку АВР;
- лінійний струм I_2 , А, першої фази входу INPUT2 блоку АВР;

– логічна змінна, яка відповідає наявності («1») або відсутності («0») напруги на виході OUTPUT1 блоку АВР;

– логічна змінна, яка відповідає наявності («1») або відсутності («0») напруги на виході OUTPUT2 блоку АВР.

При побудові графіка на осі абсцис мають бути відкладені витримки часу ΔT_1 , ΔT_2 , що були експериментально виміряні (рядок 1б табл. 4.2). Для побудови графіка можна скористатися шаблоном, що наведений на рис. 4.13.

2. На основі експериментальних даних скласти текстовий опис циклу спрацювання АВР при втраті живлення від першого джерела. Приділити увагу наявності напруг на входах та виходах блоку АВР, величинам струмів, що споживаються від кожного з джерел, стану контакторів, витримкам часу.

3. На основі експериментальних даних (рядки 1а, 1в табл. 4.2) побудувати графіки, що відображають цикл спрацювання АВР при втраті живлення від другого джерела. Графік необхідно будувати аналогічно попередньому на окремому шаблоні.

4. На основі експериментальних даних, скласти текстовий опис циклу спрацювання АВР при втраті живлення від другого джерела.

5. На основі експериментальних даних (рядки 2а, 2б табл. 4.2) скласти текстовий опис функціонування блоку АВР при виникненні аварії на одній з ліній, які живлять навантаження.

6. Скласти текстовий опис функціонуванню блоку АВР при обриві фази джерела (рядок 3 табл. 4.2).

7. Скласти текстовий опис функціонуванню блоку АВР при помилковому чергуванні фаз (рядок 4 табл. 4.2).

8. Скласти текстовий опис функціонуванню блоку АВР при відсутності синфазності між системами напруг джерел (рядок 5 табл. 4.2).

5. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.

2. Фото лабораторного стенда.

3. Налаштовані значення параметрів пристрою.

4. Протокол випробування блоку АВР на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G, табл. 4.2.

5. Графіки, що відображають цикл спрацювання АВР при втраті живлення від першого джерела (за шаблоном рис. 4.13).

6. Опис циклу спрацювання АВР при втраті живлення від першого джерела.

7. Графіки, що відображають цикл спрацювання АВР при втраті живлення від другого джерела (за шаблоном рис. 4.13).

8. Опис циклу спрацювання АВР при втраті живлення від другого джерела.

9. Опис функціонування блоку АВР при виникненні аварії на одній з ліній, які живлять навантаження.

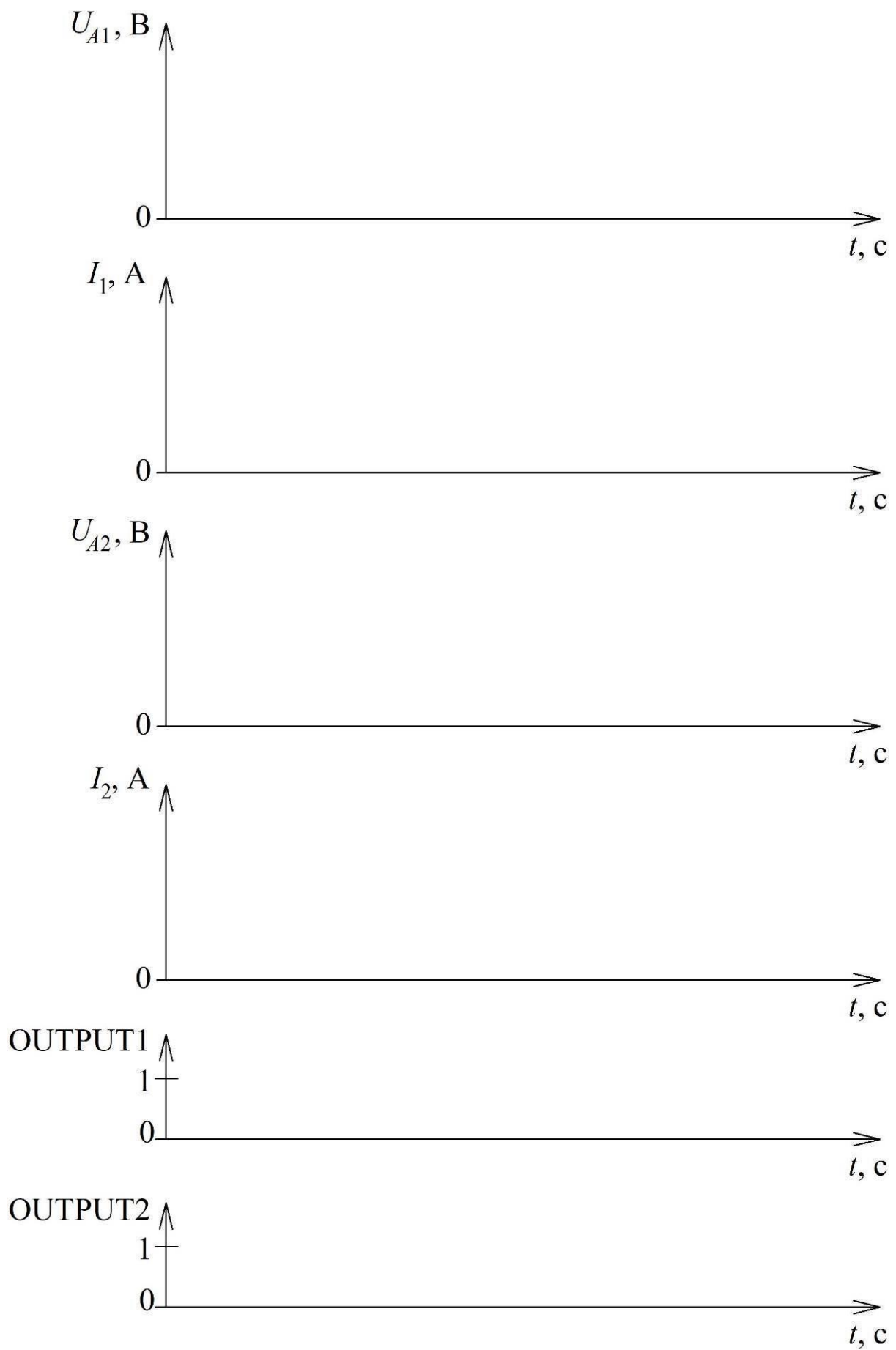


Рисунок 4.13 – Шаблон для побудови графіків спрацювання АВР

10. Опис функціонуванню блоку АВР при обриві фази джерела.
11. Опис функціонуванню блоку АВР при помилковому чергуванні фаз.
12. Опис функціонуванню блоку АВР при відсутності синфазності між системами напруг джерел.
13. Висновки.

6. Контрольні питання

1. Для чого використовується автоматичне введення резерву?
2. Які основні вимоги висуваються до пристроїв АВР?
3. Охарактеризуйте порядок роботи схеми АВР секційного вимикача для двотрансформаторної підстанції.
4. Розкрийте призначення та функції пристрою AVR-02-G.
5. Опишіть типові схеми електропостачання, в яких може застосовуватися пристрій AVR-02-G.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник. Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2013. 533 с.
- 2 Релейний захист і автоматика : навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. Харків : УкрДУЗТ, 2020. Ч. 1. 250 с.
- 3 Сокол Є. І., Сендерович Г. А., Гриб О. Г. та ін. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. 306 с.
- 4 Яндульський О. С., Дмитренко О. О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем : навч. посіб.; під загальною редакцією д.т.н. О. С. Яндульського. К. : НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.
- 5 Автоматика протиаварійного управління електроенергетичних систем : підручник / Є. І. Сокол та ін. Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. 216 с.
- 6 Баженов В. М., Одегов М. М. Автоматика електроустановок електроенергетичних систем. Харків : Планета-Прінт, 2022. 186 с.
- 7 Матвійчук В. А., Рубаненко О. О., Гунько І. О. Інтелектуалізація електроенергетичних систем. Вінниця : видавничий центр ВНАУ: 2018 р. (навчальний посібник). 109 с.
- 8 Баран П. М., Кідиба В. П., Пришляк Я. Д. Цифрові пристрої релейного захисту трансформаторів (автотрансформаторів). Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 208 с.