

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та
природокористування

**С. В. Василюк, К. С. Василюк, В. В. Ільчук,
А. В. Килимчук**

**ОСНОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА
АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ
СИСТЕМ. ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

Рівне 2024

УДК 621.316.925.(075)

О-75

Рецензенти:

Квасніков В. П., доктор технічних наук, професор, Заслужений метролог України, завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету, м. Київ;

Сафоник А. П., доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики та водного господарства Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.

Протокол № 5 від 31 травня 2024 р.

Василець С. В., Василець К. С., Ільчук В. В., Килимчук А. В.

О-75 Основи релейного захисту та автоматизація електричних систем. Практикум : навч. посіб. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2024. – 171 с.

ISBN 978-966-327-593-2

У навчальному посібнику наведено порядок виконання лабораторних робіт із дослідження характеристик реле максимального струму, функціонування максимального струмового захисту із незалежною та залежною захисною характеристикою, дистанційного релейного захисту, блоку автоматичного введення резерву, цифрових лічильників електроенергії та цифрового аналізатора параметрів електромережі.

Посібник призначено для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

УДК 621.316.925.1

ISBN 978-966-327-593-2

© С. В. Василець, К. С. Василець,
В. В. Ільчук, А. В. Килимчук, 2024

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ЕЛЕМЕНТИ СХЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ	8
1.1. Лабораторна робота 1. Випробування реле струму РТ-40/2	8
1.1.1. Короткі теоретичні відомості.....	8
1.1.2. Опис лабораторного стенда.....	12
1.1.3. Завдання.....	13
1.1.4. Порядок виконання роботи.....	13
1.1.5. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	18
1.1.6. Контрольні питання.....	18
1.2. Лабораторна робота 2. Дослідження функціонування реле максимального струму АЛ-3-В.....	18
1.2.1. Реле максимального струму АЛ-3-В.....	18
1.2.2. USB приставка-осцилограф ISDS205X.....	24
1.2.3. Опис лабораторного стенда.....	25
1.2.4. Завдання.....	25
1.2.5. Порядок виконання роботи.....	25
1.2.5.1. Дослід 1. Вимірювання часу спрацювання реле АЛ-3-В.....	30
1.2.5.2. Дослід 2. Вимірювання струму спрацювання реле АЛ-3-В.....	31
1.2.6. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	33
1.2.7. Контрольні питання.....	33
1.3. Лабораторна робота 3. Дослідження характеристик реле максимального струму РС80М2-19.....	34
1.3.1. Короткі теоретичні відомості.....	34
1.3.1.1. Виводи реле та підключення.....	36
1.3.1.2. Характеристики реле.....	37
1.3.1.3. Налаштування уставки за струмом.....	38
1.3.1.4. Налаштування уставки за часом.....	40
1.3.1.5. Налаштування струму відсічки.....	40
1.3.1.6. Налаштування затримки відсічки.....	40
1.3.1.7. Відключення відсічки.....	41

1.3.1.8. Вибір характеристики спрацювання.....	41
1.3.2 Опис лабораторного стенда.....	41
1.3.3 Завдання.....	42
1.3.4 Порядок виконання роботи.....	42
1.3.4.1. Підготовка вихідних даних та протоколу.....	42
1.3.4.2. Виконання вимірювань на стенді.....	46
1.3.4.3. Оброблення результатів вимірювань.....	48
1.3.5. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	50
1.3.6. Контрольні питання.....	50
РОЗДІЛ 2. ТИПОВІ СХЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ.....	51
2.1. Лабораторна робота 4. Дослідження роботи схеми максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу.....	51
2.1.1. Короткі теоретичні відомості.....	51
2.1.2. Опис лабораторного стенда.....	53
2.1.3. Завдання.....	57
2.1.4. Порядок виконання роботи.....	57
2.1.5. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	64
2.1.6. Контрольні питання.....	64
2.2. Лабораторна робота 5. Дослідження функціонування схеми максимального струмового захисту із залежною витримкою часу.....	65
2.2.1. Короткі теоретичні відомості.....	65
2.2.2. Опис лабораторного стенда.....	65
2.2.3. Завдання.....	67
2.2.4. Порядок виконання роботи.....	67
2.2.4.1. Підготовка вихідних даних та протоколу.....	67
2.2.4.2. Виконання вимірювань на стенді.....	68
2.2.4.3. Оброблення результатів вимірювань.....	71
2.2.5. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	74
2.2.6. Контрольні питання.....	74
2.3. Лабораторна робота 6. Дослідження функціонування цифрових лічильників електроенергії.....	75
2.3.1. Опис лабораторного стенда.....	75
2.3.2. Завдання.....	76
2.3.3. Порядок виконання роботи.....	76
2.3.4. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	78
2.3.5. Контрольні питання.....	79

2.4. Лабораторна робота 7. Конфігурування цифрових лічильників НІК за допомогою програми UNIK.....	80
2.4.1. Опис лабораторного стенда.....	80
2.4.2. Завдання.....	80
2.4.3. Порядок виконання роботи.....	80
2.4.3.1. Додавання нового лічильника.....	83
2.4.3.2. З'єднання з лічильником.....	85
2.4.3.3. Читання даних з лічильника.....	86
2.4.4. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	88
2.4.5. Контрольні запитання.....	88
2.5. Лабораторна робота 8. Дослідження функціонування цифрового аналізатора параметрів мережі DIRIS A40.....	89
2.5.1. Опис лабораторного стенда.....	89
2.5.2. Завдання.....	89
2.5.3. Порядок виконання роботи.....	89
2.5.3.1. Конфігурування аналізатора.....	91
2.5.3.2. Зняття показів.....	94
2.5.4. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	96
2.5.5. Контрольні запитання.....	97
2.6. Лабораторна робота 9. Дослідження функціонування дистанцій- ного релейного захисту ЛЕП 110 кВ при трифазному короткому замиканні.....	97
2.6.1. Короткі теоретичні відомості.....	97
2.6.2. Опис лабораторного стенда.....	99
2.6.3. Порядок виконання роботи.....	109
2.6.3.1 Підготовка до проведення дослідів.....	109
2.6.3.2 Підготовка стенда до проведення дослідів.....	112
2.6.3.3 Дослідження функціонування захисту при трифазному короткому замиканні.....	113
2.6.3.4 Аналіз функціонування захисту при трифазному короткому замиканні.....	115
2.6.4. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	117
2.6.5. Контрольні запитання.....	117
2.7. Лабораторна робота 10. Дослідження роботи блоку АВР на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G...	117
2.7.1. Короткі теоретичні відомості.....	118
2.7.1.1. Автоматичне введення резерву.....	118

2.7.1.2. Призначення та функції пристрою AVR-02-G.....	119
2.7.1.3. Вбудовані реле пристрою AVR-02-G.....	121
2.7.1.4. Призначення виводів пристрою AVR-02-G.....	123
2.7.1.5. Налаштування пристрою AVR-02-G.....	125
2.7.1.6. Повідомлення на екрані пристрою.....	126
2.7.2. Опис лабораторного стенда.....	127
2.7.3. Завдання.....	131
2.7.4. Порядок виконання роботи.....	131
2.7.4.1. Підготовка схеми досліду.....	131
2.7.4.2. Конфігурування та перевірка пристрою АВР.....	131
2.7.4.3. Дослід 1. Дослідження автоматичного введення резерву.....	134
2.7.4.4. Дослід 2. Функціонування АВР при пошкодженні ліній до навантаження.....	137
2.7.4.5. Дослід 3. Функціонування АВР при обриві фази джерела.....	137
2.7.4.6. Дослід 4. Функціонування АВР при помилковому чергуванні фаз.....	138
2.7.4.7. Дослід 5. Функціонування АВР при відсутності синфазності.....	139
2.7.4.8. Аналіз результатів дослідів.....	140
2.7.5. Вміст звіту з лабораторної роботи.....	142
2.7.6. Контрольні питання.....	143
ГЛОСАРІЙ.....	144
ЛІТЕРАТУРА.....	148
ДОДАТОК А. Налаштування уставок реле максимального струму РС80М2-19.....	149
ДОДАТОК Б. Апроксимація. Метод найменших квадратів.....	155
ДОДАТОК В. Коди OBIS.....	158
ДОДАТОК Г. Схеми підключення аналізатора DIRIS A40.....	164
ДОДАТОК Д. Приклад побудови векторних діаграм.....	167

ВСТУП

Метою освітньої компоненти «Основи релейного захисту та автоматизація електричних систем» є засвоєння здобувачами освіти теоретичних основ та принципів технічної реалізації пристроїв релейного захисту електроенергетичних систем, освоєння базових схем релейного захисту та автоматизації.

Навчальний посібник включає десять лабораторних робіт. 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.

Практикум призначено для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

РОЗДІЛ 1. ЕЛЕМЕНТИ СХЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

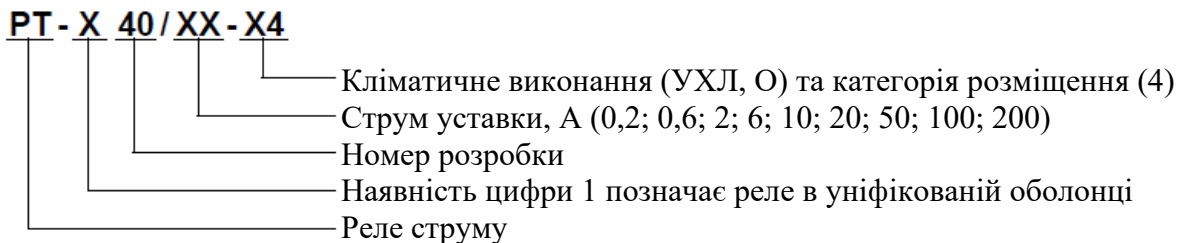
1.1. Лабораторна робота 1. Випробування реле струму РТ-40/2

Мета: експериментально визначити струм спрацювання, струм повернення та коефіцієнт повернення реле РТ-40.

1.1.1. 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:



Конструкцію реле РТ-40 пояснює рис. 1.1. Електромагніт 1 (П-подібний, з двома котушками 2, що з'єднуються послідовно або паралельно) притягує феромагнітний яркір 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.

При проходженні струму по обмотці реле магнітний потік, що створюється цим струмом, намагнічує рухомий яркір. Електромагнітна сила, що виникає при цьому, діє на яркір та обумовлює обертовий момент, який повертає рухоми систему за годинниковою стрілкою. Цьому переміщенню перешкоджає спіральна пружина, що створює протидіючий момент. Для надійного спрацювання реле необхідно, щоб момент, що обертає, перевищував момент опору пружини, тертя і маси рухомої системи. Однаковість моментів визначає граничну умову, тобто умову спрацювання реле. Звідси витікає, що для реле подібного типу найбільш простим способом зміни струму спрацювання є зміна натягіння пружини. Якщо ослабити закручування пружини 4, тобто зрушити вказівник 6 вліво за шкалою, то струм спрацювання реле зменшиться. У реле

типу РТ-40 при переміщенні вказівника від крайнього лівого в крайнє праве положення струм спрацювання збільшується в 2 рази.

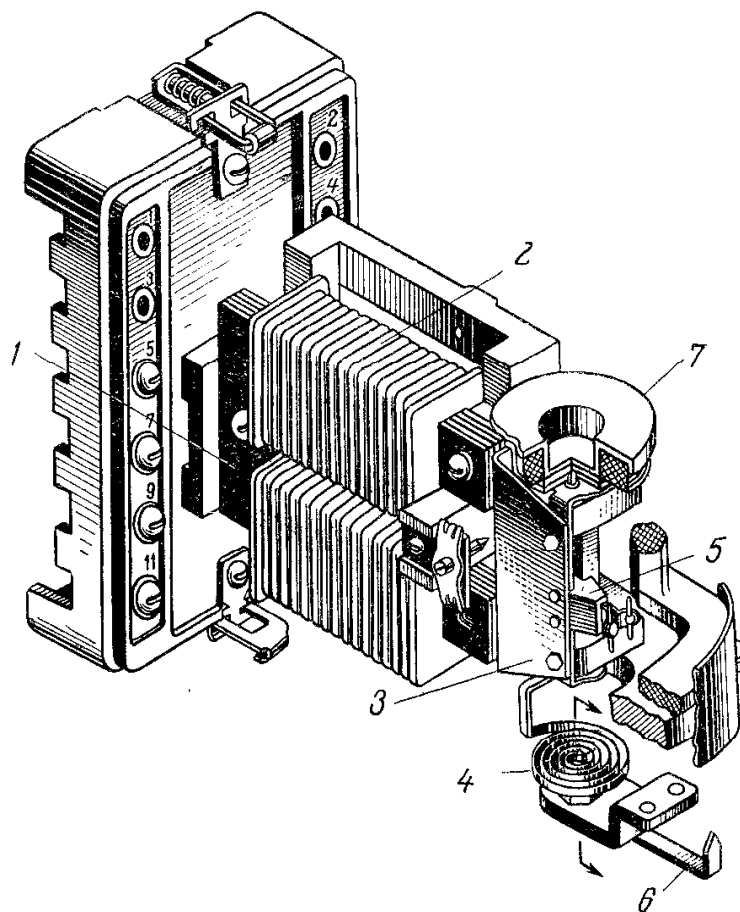


Рис. 1.1. Конструктивне виконання реле РТ-40

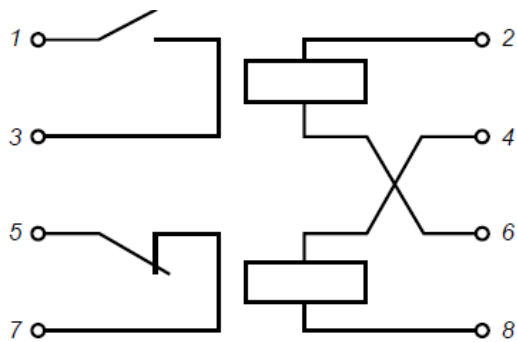
Струм спрацювання реле РТ-40 можна також міняти шляхом перемикання обмоток котушок з послідовного з'єднання на паралельне – в останньому випадку струм, що проходить по кожній з котушок, зменшується у 2 рази і, відповідно, в 2 рази зменшується намагнічувальна сила. Виводи котушок мають маркування 2, 4, 6 і 8 (рис. 1.2). Шкала реле проградуєвана на заводі для послідовного з'єднання секцій обмотки, тому при включенні секцій паралельно, уставку спрацювання реле потрібно збільшувати в 2 рази. Для узгодженого включення секцій реле повинно бути підключено до контрольованого кола завжди крайніми затискачами (2 і 8). При послідовному з'єднанні секцій перемичкою з'єднуються середні затискачі 4 і 6; при паралельному з'єднанні встановлюються дві перемички: одну між затискачами 2 і 4, іншу – 6 і 8 (табл. 1.1).



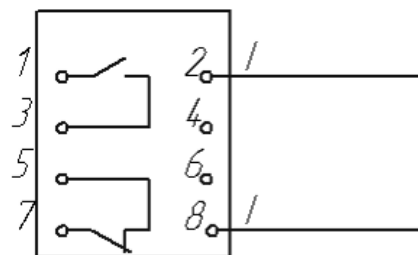
a)



б)



в)



г)

Рис. 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)

Знакозмінне зусилля, що діє на рухому систему з частотою, подвоєною в порівнянні з частотою мережі, викликає вібрацію якоря і пов'язаної з ним контактної системи. Для зменшення вібрації контактів в конструкції реле РТ-40 передбачені спільний хід рухомого і нерухомого контактів, а також спеціальний пристрій – гаситель вібрації 7 (рис. 1.1), який являє собою барабанчик, заповнений кварцовим піском, який закріплений на загальній осі з

якорем. Крім того, за рахунок інерційності гасителя вібрації досягається більш рівномірний обертовий момент.

Таблиця 1.1

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

Реле РТ-40 встановлюється на вертикальній площині. Допускається відхилення в будь-який бік не більше 5%. Технічні характеристики реле наведені в табл. 1.2.

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

1.1.2. Опис лабораторного стенда

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



Рис. 1.3. Лабораторний стенд для дослідження функціонування релейного захисту

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 РА3, що працює в режимі амперметра змінного струму.

Слід звернути увагу, що в схемі стенда використовується реле РТ-40/2 (табл. 1.2). Цифра «2» в позначенні реле визначає струм максимальної уставки, яка може бути реалізована при паралельному з'єднанні котушок, тобто 2 А. Максимальна уставка при послідовному з'єднанні котушок є в 2 рази меншою,

тобто 1 А. Шкала реле проградуєвана на заводі для послідовного з'єднання секцій обмотки від 0,5 А до 1 А.

1.1.3. Завдання

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

1.1.4. Порядок виконання роботи

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

Таблиця 1.3

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

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 0,5–1 А, то котушки слід з'єднати послідовно. Якщо значення уставки знаходиться в діапазоні 1–2 А, то котушки слід з'єднати паралельно. Результати занести до табл. 1.4.

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 $I_{c.p}, \text{ A}$ (РА3)	Повернення реле $I_{нов}, \text{ A}$ (РА3)	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			
$m + 2s$			
$m - 2s$			

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). Для узгодженого включення котушок, реле повинно бути підключено до контрольованого кола завжди крайніми затискачами (затискачі 2 і 8). При послідовному ввімкненні секцій провідником з'єднують середні затискачі 4 і 6. При паралельному – встановлюють два провідники: між затискачами 2 і 4, а також 6 і 8.

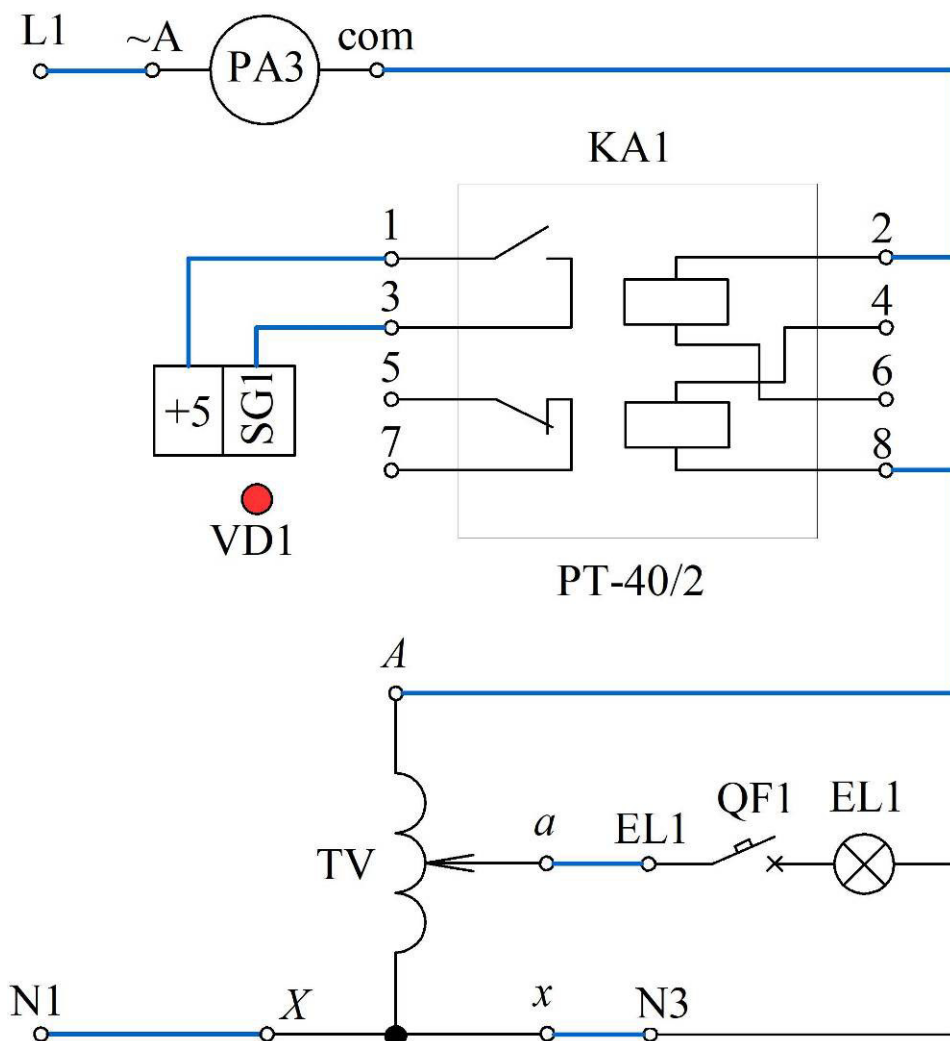


Рис. 1.4. Схема лабораторного стенда для дослідження функціонування реле PT-40/2 (перемички між котушками реле необхідно приєднати самостійно, перемички на схемі не вказані)

5. Зняти захисний кожух з реле струму KA1 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 РА3 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.

В Excel для обчислення математичного сподівання використовується функція AVERAGE.

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

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

В Excel для обчислення стандартного відхилення використовується функція STDEV.S.

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.

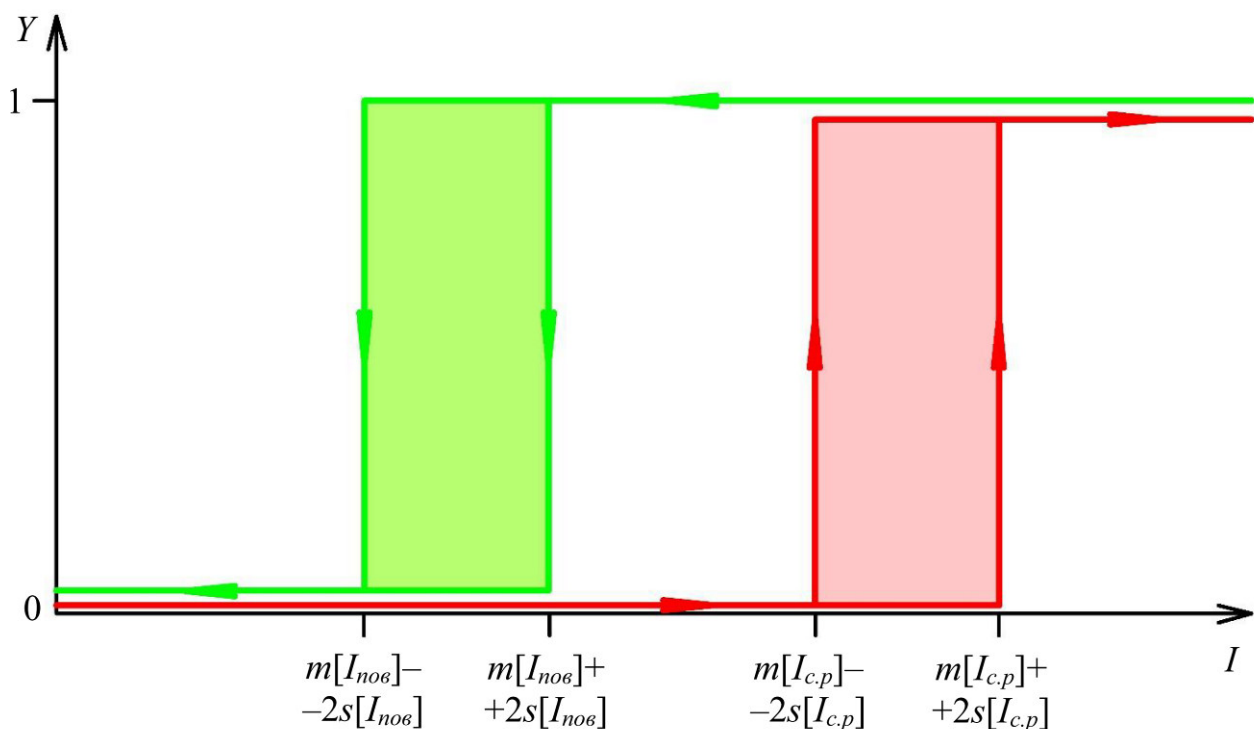


Рис. 1.5. Релейна характеристика реле струму, де струми спрацювання $I_{с.р}$ та повернення $I_{нов}$ подані інтервалами $m \pm 2\sigma$, що включають вибіркові значення відповідних струмів з імовірністю 0,95; Y – логічна змінна, що відповідає стану реле (0 – відключено; 1 – ввімкнено)

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

1.1.5. 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 $I_{с.р}$ та повернення $I_{нов}$ подані інтервалами $m \pm 2\sigma$ (відповідно до рис. 1.5).
6. Висновки.

1.1.6. 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?

1.2. Лабораторна робота 2. Дослідження функціонування реле максимального струму АЛ-3-В

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

1.2.1. Реле максимального струму АЛ-3-В

Реле максимального струму АЛ-3-В (рис. 1.6) призначено для застосування в схемах релейного захисту та противарійної автоматики в якості реле, що реагує на підвищення струму в контрольованих колах, та комутації електричних кіл при досягненні контрольованими параметрами певних, попередньо встановлених рівнів.



Рис. 1.6. Реле реле максимального струму АЛ-3-В

За класифікаційними ознаками реле є:

- за принципом дії – статичне;
- за видом характеристик спрацювання – уповільнене із незалежною витримкою часу;
- за способом регулювання уставок спрацювання – з плавним регулюванням;
- за кількістю діапазонів уставок струму спрацювання – багатодіапазонне;
- за виглядом шкали уставок – з оцифрованою шкалою;
- за способом монтажу на панелі та приєднанням проводів – з виступаючим монтажем, з переднім або заднім приєднанням зовнішніх проводів.

Реле відноситься до двофазних реле максимального струму без оперативного живлення.

Основні технічні характеристики реле АЛ-3-В наведені в табл. 1.5.

На лицьовій панелі розміщені органи управління з оцифрованою шкалою для встановлення уставок за часом і струмом, перемикач діапазонів, а також двоколірний світлодіод, що інформує про нормальне або завищене значення струму та спрацювання вихідного реле.

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	

Струм тривалої термічної стійкості – $2I_n$.

Струм односекундної термічної стійкості при номінальному струмі до 6,3 А становить не більше $30 I_n$, при номінальному струмі більше 6,3 А – не більше 250 А.

Час термічної стійкості $T_{m.c}$ в усьому діапазоні кратностей перевантаження, починаючи з $1,6 I_n$, відповідає наступній залежності, с:

$$T_{m.c} = \frac{100}{(I_{роб} / I_n)^2 - 2,3}, \quad (1.3)$$

де $I_{роб}$ – робочий струм, А;

I_n – номінальний струм діапазону, А.

При кратностях перевантаження більше 1,6 уставка часу спрацювання АЛ-3-В не повинна перевищувати час термічної стійкості $T_{m.c}$, розрахований за формулою (1.3). Результати розрахунків за (1.3) для кратностей перевантаження від 1,6 до 10,0 наведені в табл. 1.6.

Коефіцієнт повернення:

- до моменту спрацювання вихідного реле..... 0,9–0,95;
- після спрацювання вихідного реле..... 0,7–0,9.

Час спрацювання вихідного реле АЛ-3-В (при нульовій уставці) при підвищенні струму від нуля до:

- 1,2 струму спрацювання не більше 60 мс;
- 3,0 струму спрацювання не більше 50 мс.

Час повернення (відпускання) вихідного реле при зменшенні струму з рівня 1,2 струму спрацювання до:

- 0,7–0,8 струму спрацювання не більше 50 мс;
- до нуля..... не більше 30 мс.

Таблиця 1.6

Допустима уставка часу спрацювання АЛ-3-В при кратностях перевантаження від 1,6 до 10,0, що обрахована за залежністю (1.3)

Кратність перевантаження за струмом $I_{роб} / I_n$, в.о.	Час термічної стійкості $T_{т.с}$, 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

Призначення виводів реле ілюструє схема на рис. 1.7. 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. 1.8. Для виставлення уставок необхідно зняти прозору кришку з реле. Для цього вставити викрутку в паз між кожухом і кришкою та звільнити защіпку. Перевести в потрібне положення перемикачі. За допомогою викрутки, вставленої в шліць ручки необхідного потенціометра, повернути її в положення, що відповідає потрібній уставці. Після виставлення уставок закрити реле кришкою.

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 $I_{с.р}$ визначається за формулою, А:

$$I_{с.р} = (I_1 + I_2) \cdot K_I , \quad (1.4)$$

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 .

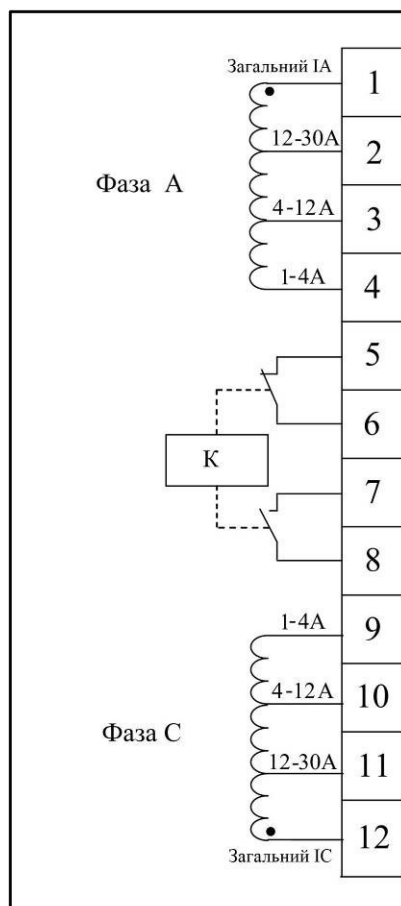


Рис. 1.7. Призначення виводів реле АЛ-3-В:
 1–4 – входи фази А відповідно до
 номінального струму; 5, 6 – нормально
 замкнені контакти вихідного реле К; 7, 8 –
 нормально розімкнені контакти вихідного
 реле К; 9–12 – входи фази С відповідно до
 номінального струму



Рис. 1.8. 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:

$$T_{c.p} = (T_1 + T_2) \cdot K_T, \quad (1.5)$$

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 формулою (1.3) або за табл. 1.6.

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. 1.7.

Таблиця 1.7

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 почергово 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.	

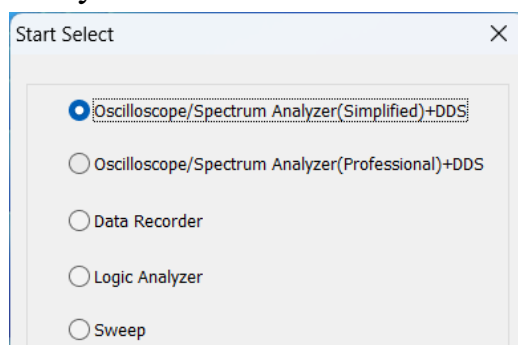
1.2.2. USB приставка-осцилограф ISDS205X

ISDS205X являє собою двоканальний цифровий осцилограф, що підключається до комп'ютера через USB, рис. 1.9. Пристрій реалізує функції осцилографа, аналізатора спектра, реєстратора даних, логічного аналізатора, цифрового обчислювального синтезатора (DDS).



Рис. 1.9. Загальний вигляд USB приставки-осцилографа ISDS205X

Для роботи з приставкою-осцилографом використовується програма Multi VirAnalyzer (доступна за посиланням <http://surl.li/qwlpn>, для встановлення треба запустити файл English Version(3.9.2.0).exe). Після запуску програми на екрані з'являється вікно режиму:



Доступні наступні режими роботи приставки:

– Oscilloscope/Spectrum Analyzer (Simplified)+DDS – Осцилограф / спектральний аналізатор (спрощений) + цифровий обчислювальний синтезатор (DDS);

– Oscilloscope/Spectrum Analyzer (Professional)+DDS – Осцилограф / спектральний аналізатор (професійний) + цифровий обчислювальний синтезатор (DDS);

- Data Recorder – реєстратор даних;
- Logic Analyzer – логічний аналізатор;
- Sweep – генератор з хитаннями частоти.

При підключенні осцилографа та запуску реєстратора даних (Data Recorder) з'являється вікно, зображене на рис. 1.10.

1.2.3. Опис лабораторного стенда

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

1.2.4. Завдання

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

1.2.5. Порядок виконання роботи

1. Обрати вихідні дані відповідно до табл. 1.8. Занести вихідні дані до протоколу вимірювань, табл. 1.9.

2. Визначити положення потенціометрів та перемикачів на передній панелі реле відповідно до заданих уставок, користуючись залежностями (1.4) та (1.5). Необхідні положення занести до протоколу, табл. 1.9.

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

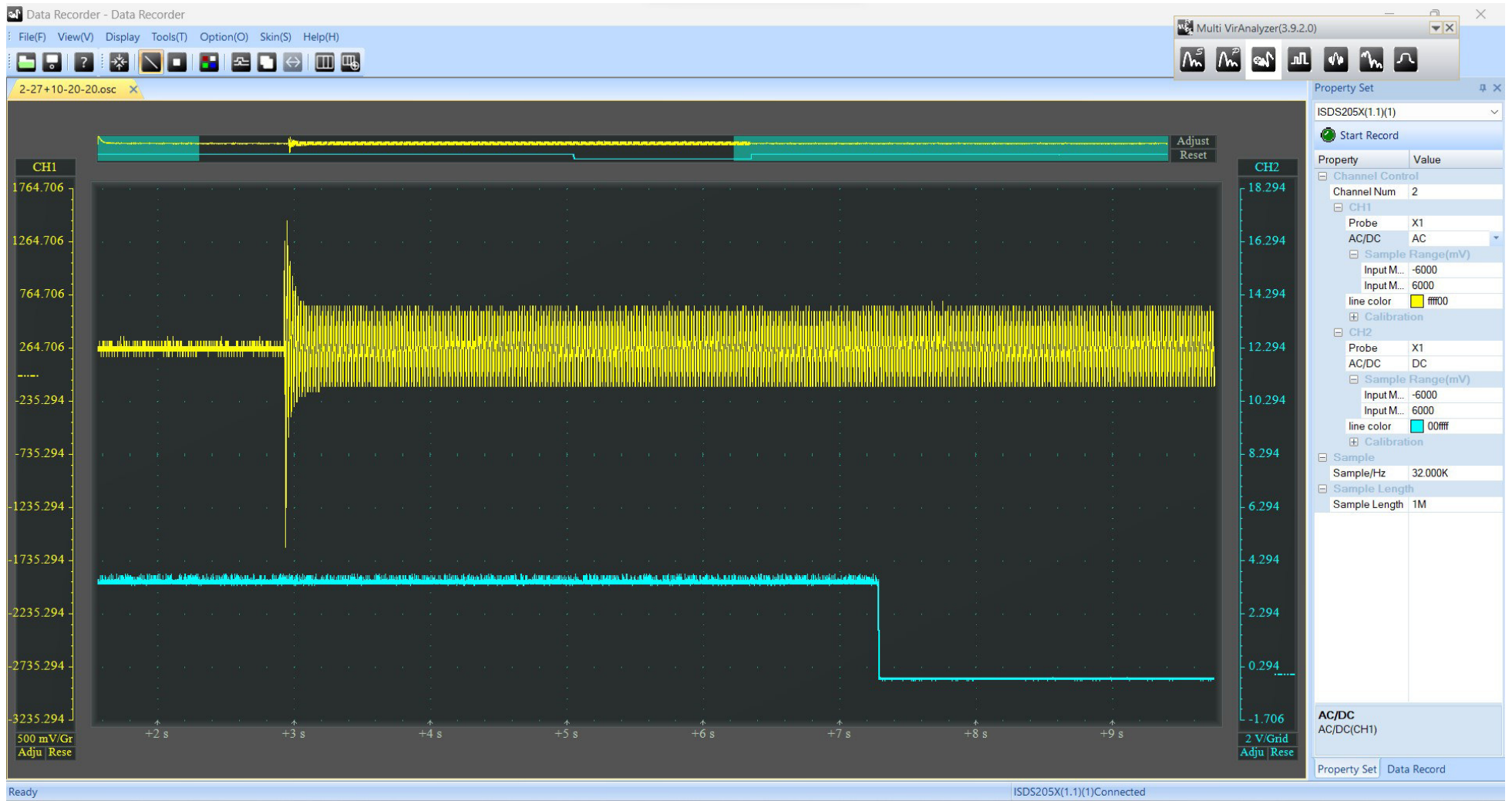


Рис. 1.10. Вікно реєстратора даних (Data Recorder)

Таблиця 1.8

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. 1.11.

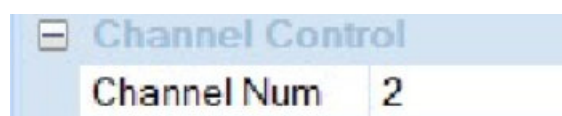
6. Приєднати щупи до приставки-осцилографа. При цьому жовтий щуп приєднується до жовтого роз'єму, синій – до синього.

7. Приєднати щупи до роз'ємів стенда відповідно до рис. 1.11.

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

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

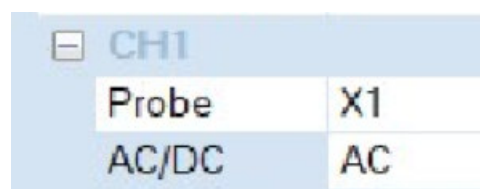
10. Налаштувати програму для роботи з двома каналами осцилографа. Для цього встановити:



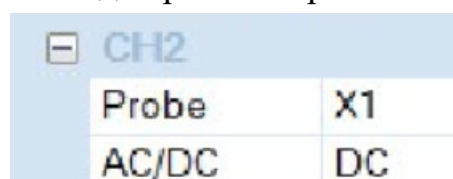
Протокол вимірювань параметрів реле максимального струму АЛ-3-В

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				
№	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$T_{c.p.\phi} = t_2 - t_1, \text{с}$	$\delta = \frac{T_{c.p.\phi} - T_{c.p.}}{T_{c.p.\phi}} \cdot 100\%$
1				
2				
3				
4				
5				
Дослід 2. Вимірювання струму спрацювання реле АЛ-3-В				
№	$I_{c.p.\phi}, \text{А}$	$I_{n.p.\phi}, \text{А}$	$k_{n.\phi} = I_{n.p.\phi} / I_{c.p.\phi}$	
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:



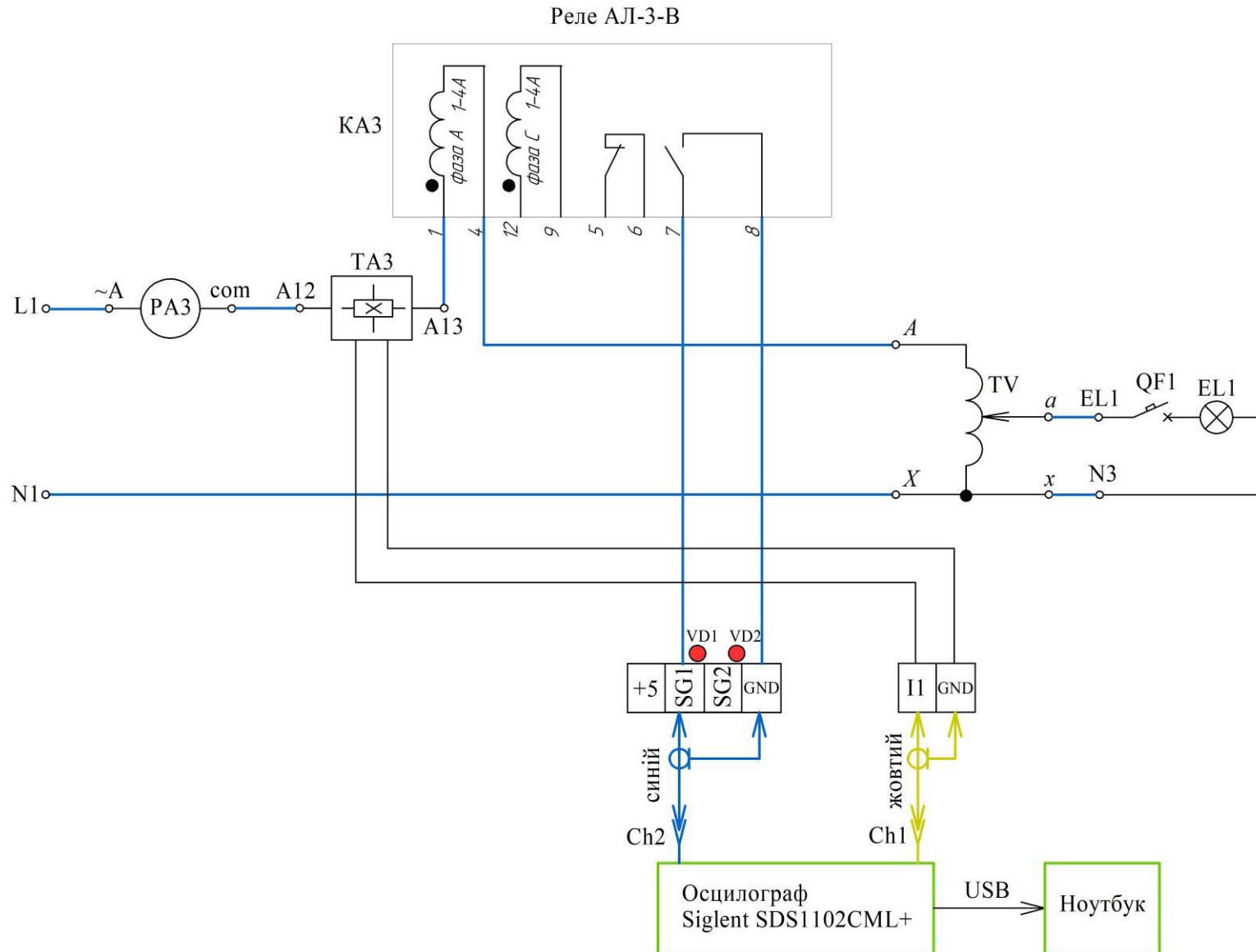


Рис. 1.11. Схема лабораторного стенда для дослідження характеристик реле АЛ-3-В

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.

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

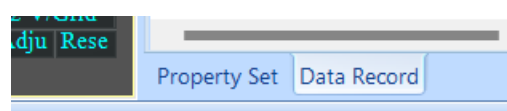
1. Подавати напругу на стенд можна тільки з дозволу викладача!
2. Ввімкнути автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.
3. Перевести ручку автотрансформатора в положення 220 В.
4. Почати запис осцилограми, для чого слід натиснути кнопку



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. На екрані мають бути осцилограми, аналогічні зображенням на рис. 1.10. Зберігати вигляд екрану можна лише для одного досліджу.
10. За одержаними осцилограмами визначити момент t_1 подачі струму на реле та момент t_2 спрацювання реле. Занести одержані дані до протоколу, табл. 1.9. При цьому для зміни коефіцієнта вертикальної розгортки можна скористатися віконцями, що знаходяться під осями:



Осцилограми можна наближати та віддаляти за допомогою коліщатка миші, для переміщення вверх/вниз необхідно графік захопити мишею. Осцилограми автоматично зберігаються, пізніше їх можна переглянути навіть за відсутності приставки-осцилографа. Збережені результати доступні у секції Data Record:



Приклад визначення моментів часу за осцилограмами.

Для наведеної на рис. 1.12 осцилограми момент t_1 подачі струму на реле дорівнює (жовта крива):

$$t_1 = 5660 \text{ мс} + 1 \text{ мс} = 5661 \text{ мс} = 5,661 \text{ с.}$$

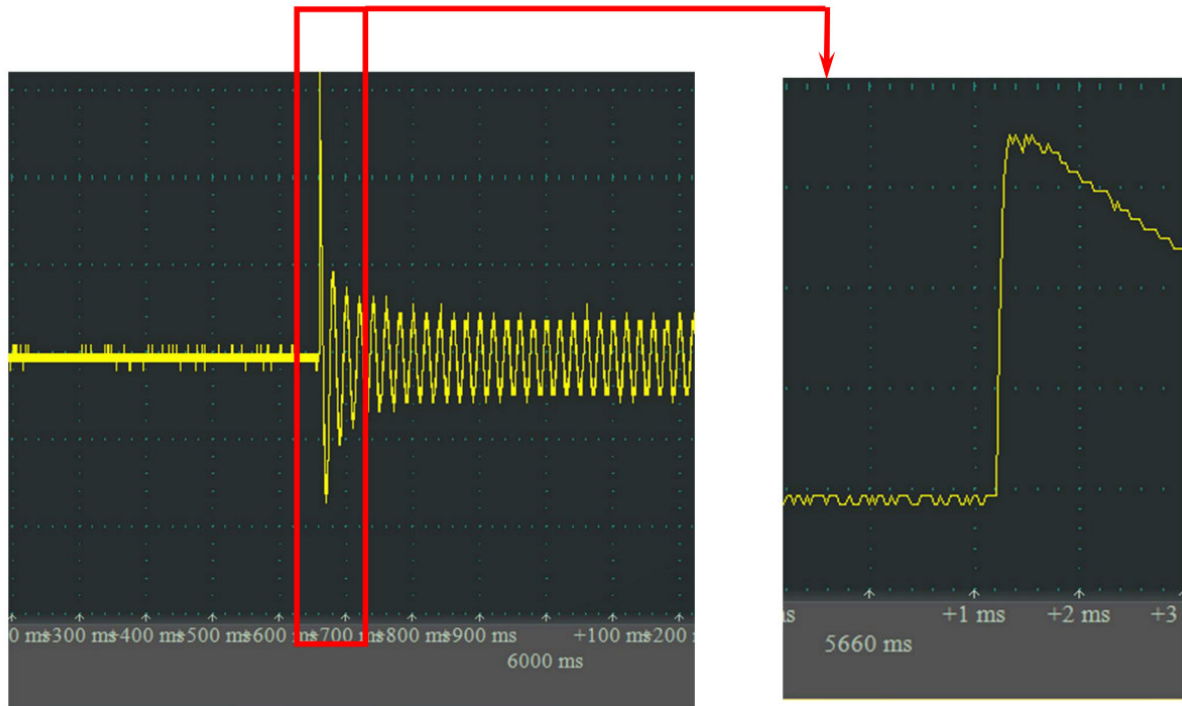


Рис. 1.12. Визначення моменту t_1 подачі струму на реле
(за жовтою кривою)

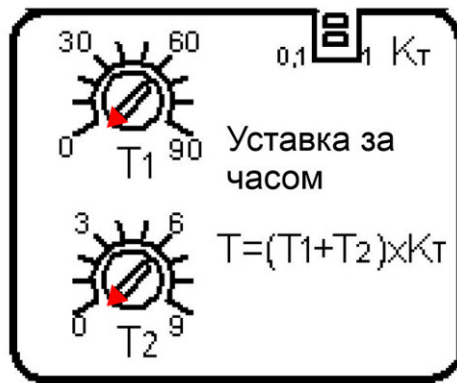
Момент t_2 спрацювання реле визначається за зміною рівня логічного сигналу (синя крива) з лог. «1» (+5В) до лог. «0» (0 В). Для наведеної на рис. 1.13 осцилограми момент t_2 дорівнює:

$$t_2 = 9200 \text{ мс} + 6 \text{ мс} = 9206 \text{ мс} = 9,206 \text{ с.}$$

11. Повторити пп. 4–10 це 4 рази, заносючи результати до табл. 1.9.
12. Перевести ручку автотрансформатора в положення 0 В.
13. Відключити автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.

1.2.5.2. 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. Плавню обертаючи ручку автотрансформатора за годинниковою стрілкою, слідкувати за збільшенням струму через реле. Про спрацювання реле свідчить загоряння світлодіода VD1. Записати до табл. 1.9 покази амперметра РАЗ, що відповідають фактичному струму спрацювання реле $I_{c.p.ф}$.

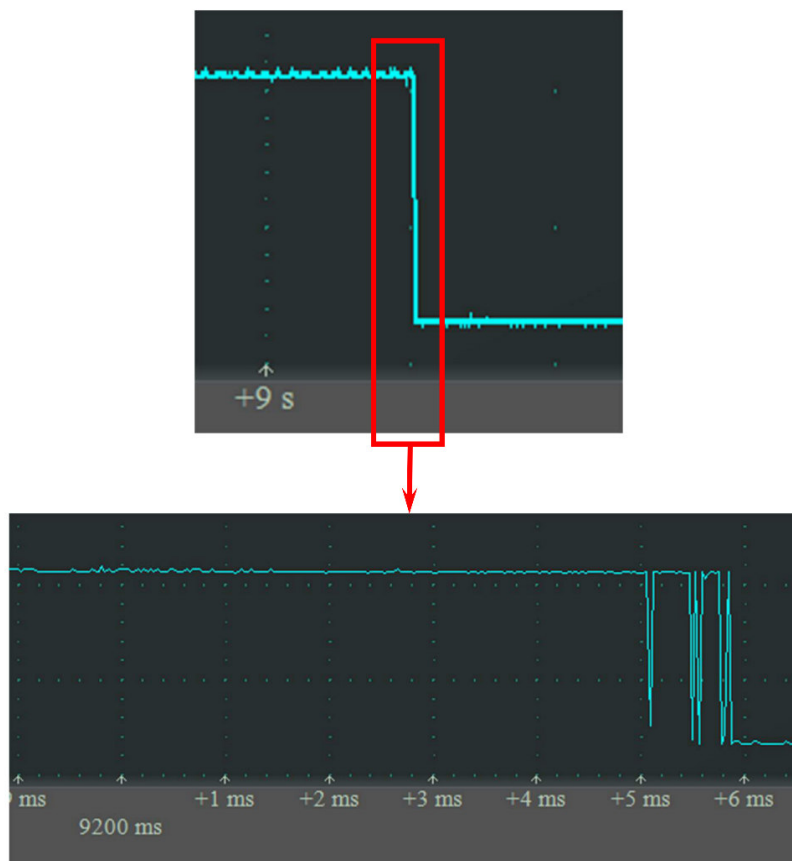


Рис. 1.13. Визначення моменту t_2 спрацювання реле (за синьою кривою)

5. Плавню зменшувати струм через реле до моменту відключення. Зафіксувати до табл. 1.9 фактичний струм повернення реле $I_{n.p.ф}$.

6. Повторити досліди 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. 1.9.
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.

1.2.6. 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 з аналізом одержаних результатів.

1.2.7. 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.

1.3. Лабораторна робота 3. Дослідження характеристик реле максимального струму РС80М2-19

Мета: зняти експериментальну характеристику спрацювання реле максимального струму РС80М2-19.

1.3.1. Короткі теоретичні відомості

Реле струму РС80М2-19 призначене для використання в схемах релейного захисту та протиаварійної автоматики для захисту електричних машин, трансформаторів та ліній електропередачі при коротких замиканнях та перевантаженнях, рис. 1.14. Реле є статичним без додаткового джерела живлення. Живлення елементів реле здійснюється від вхідного струму. Додаткове живлення (постійна або змінна напруга 220 В) потрібне тільки для забезпечення функції автоматичного повторного ввімкнення (АПВ).

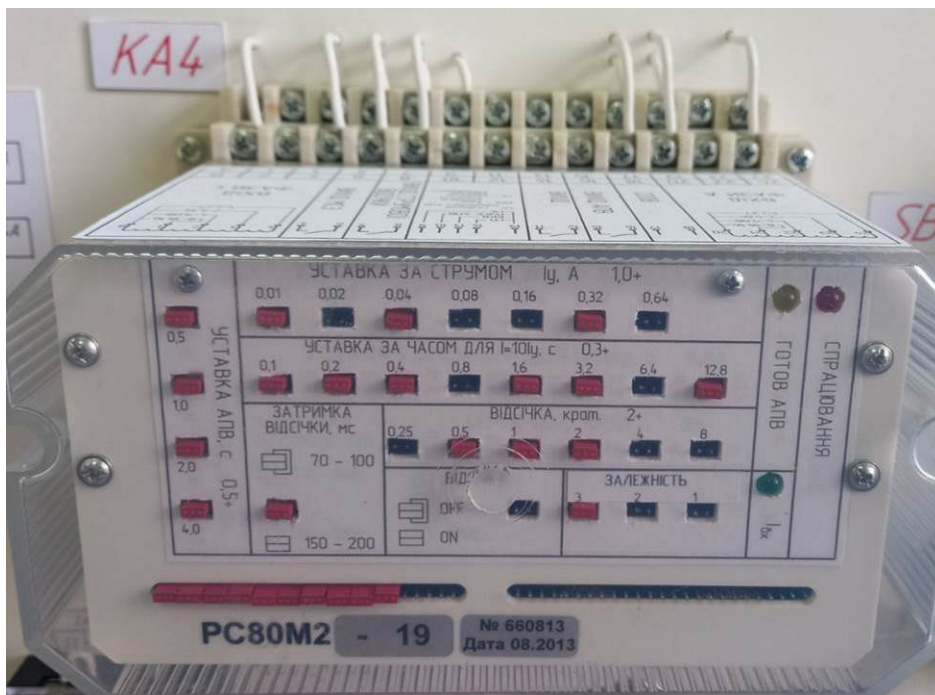


Рис. 1.14. Реле РС80М2-19 на лабораторному стенді

Реле забезпечує:

- максимальний струмовий захист (МСЗ) з незалежною та двома залежними характеристиками спрацювання (за вибором з передньої панелі);
- струмову відсічку (СВ) із часовою затримкою 70–100 мс або 150–200 мс, яка задається з передньої панелі;
- можливість відключення струмової відсічки з передньої панелі реле;

- можливість задавання спільних для вхідних струмів двох фаз уставок струму спрацювання МСЗ, струму спрацювання відсічки (у в.о. відносно струму спрацювання МСЗ), часу спрацювання МСЗ;
- спрацювання МСЗ та (або) струмової відсічки за найбільшим з вхідних струмів;
- функція однократного АПВ;
- індикація наявності струму у вхідних колах реле;
- індикація (до скидання) спрацювання МСЗ та (або) струмової відсічки (тільки за наявності постійної або змінної напруги величиною 220 В на клеммах 17, 18);
- індикацію готовності АПВ;
- сигналізацію роботи АПВ;
- можливість внутрішнього (при спрацюванні МСЗ або СВ) або зовнішнього пуску АПВ;
- можливість зовнішнього скидання готовності АПВ.

Реле має комбіновану характеристику спрацювання. Уставки регулюють дискретно. Реле має: 4 діапазони уставок за струмом спрацювання, 1 діапазон уставок витримки часу та струму відсічки.

Клас точності реле 5,0. Розкид струму спрацювання МСЗ та струму відсічки, у відсотках від середнього значення струму спрацювання, не перевищує $\pm 1,5\%$. Коефіцієнт повернення реле – не менше 0,85.

Значення уставок струму спрацювання, витримки часу, кратності струму відсічки, витримки часу АПВ, їх кількість та дискретність наведені у табл. 1.10.

Таблиця 1.10

Характеристики уставок реле РС80М2-19

Уставка	Діапазон	Кількість значень	Дискретність
за струмом спрацювання	1 А ... 2,27 А	128	0,01 А
	2 А ... 4,54 А	128	0,02 А
	4 А ... 9,08 А	128	0,04 А
	8 А ... 18,16 А	128	0,08 А
за витримкою часу	0,3 с ... 25,8 с	256	0,1 с
за струмом відсічки (відносно струму спрацювання)	2 в.о. – 17,75 в.о.	64	0,25 в.о.
за часом АПВ	0,5 с – 8 с	16	0,5 с

1.3.1.1. Виводи реле та підключення

Реле має наступні виводи, рис. 1.15:

Струмкові кола:

при уставці за струмом спрацювання 1 А ... 2,27 А:

20, 24 – фаза А; В, 4 – фаза С;

при уставці за струмом спрацювання 2 А ... 4,54 А:

20, 23 – фаза А; В, 3 – фаза С;

при уставці за струмом спрацювання 4 А ... 9,08 А:

20, 22 – фаза А; В, 2 – фаза С;

при уставці за струмом спрацювання 8 А ... 18,16 А:

20, 21 – фаза А; В, 1 – фаза С.

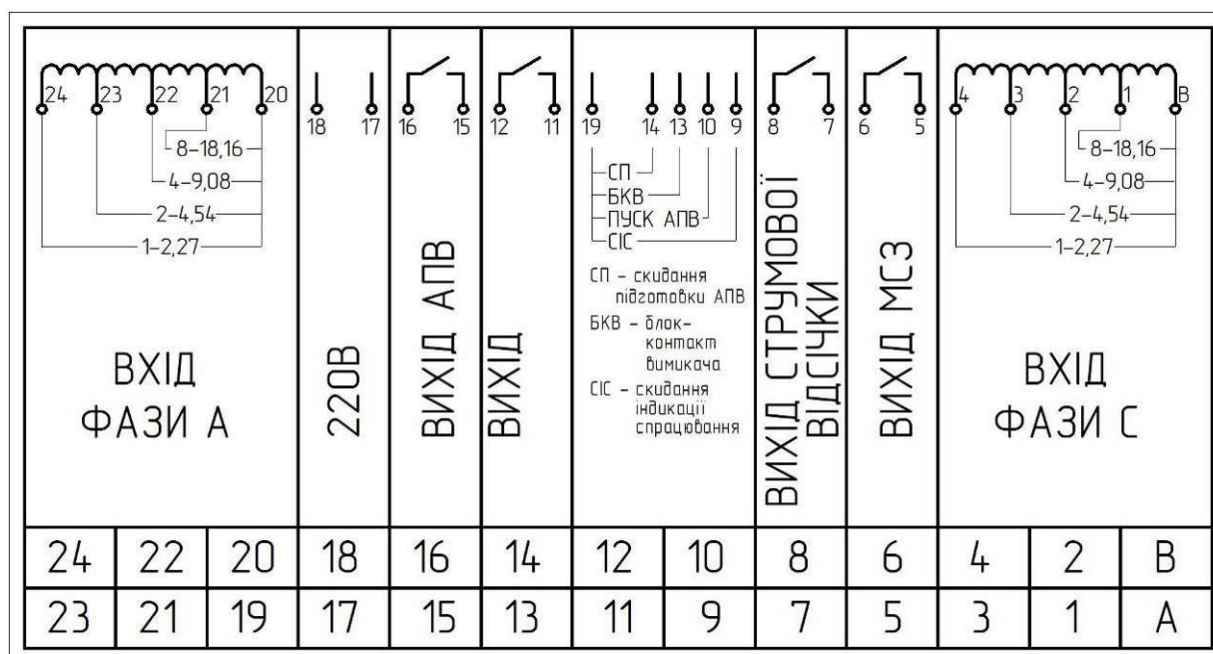


Рис. 1.15. Призначення виводів реле РС80М2-19

Вихідні контакти (нормально розімкнені, між собою електрично не пов'язані):

5, 6 – вихід МСЗ;

7, 8 – вихід СВ;

15, 16 – вихід АПВ;

11, 12 – вихід «Пуск АПВ» (прослизуючий контакт, час утримання у ввімкненому стані 0,25–0,4 с).

Кола керування:

19, 9 – скидання індикації спрацювання (при замиканні цих клем, наприклад – нормально розімкненою кнопкою з робочою напругою не менше 250 В, гаситься світлодіод «Спрацювання»);

19, 10 – пуск АПВ (зовнішній пуск від іншого захисту, до вказаних клем необхідно підключити нормально розімкнений контакт іншого захисту);

19, 13 – коло блок-контакта вимикача (підключається нормально розімкнений блок-контакт високовольтного вимикача);

19, 14 – зовнішнє скидання підготовки АПВ (при замиканні цих клем, наприклад – нормально розімкненою кнопкою з робочою напругою не менше 250 В, гаситься світлодіод «Готовність АПВ»).

Живлення:

17, 18 – змінна або постійна напруга 220 В, допустимий діапазон 150 В ... 250 В.

1.3.1.2. Характеристики реле

Реле забезпечує наступні залежності відносного часу спрацювання T / T_y від відносного значення струму I / I_y в діапазоні $I / I_y = 2 \dots 10$ в.о., рис. 1.16:

1) характеристика № 1 – незалежна, для якої

$$T / T_y = 1, \quad (1.6)$$

тобто фактичний час спрацювання T дорівнює уставці за часом спрацювання T_y ;

2) характеристика № 2 – залежна нормальна, що описується рівнянням:

$$T / T_y = \frac{4,71 \cdot 10^{-2}}{(I / I_y)^{0,02} - 1}; \quad (1.7)$$

3) характеристика № 3 – залежна крута, що описується рівнянням:

$$T / T_y = \frac{9}{(I / I_y) - 1}, \quad (1.8)$$

де T – фактичний час спрацювання реле, с;

T_y – уставка за часом спрацювання (при $I / I_y = 10$ в.о.), с;

I – найбільше діюче значення з двох вхідних струмів (фази А і фази С), А;

I_y – уставка за струмом спрацювання, А.

При $I / I_y > 10$ час спрацювання не перевищує часу спрацювання при $I / I_y = 10$.

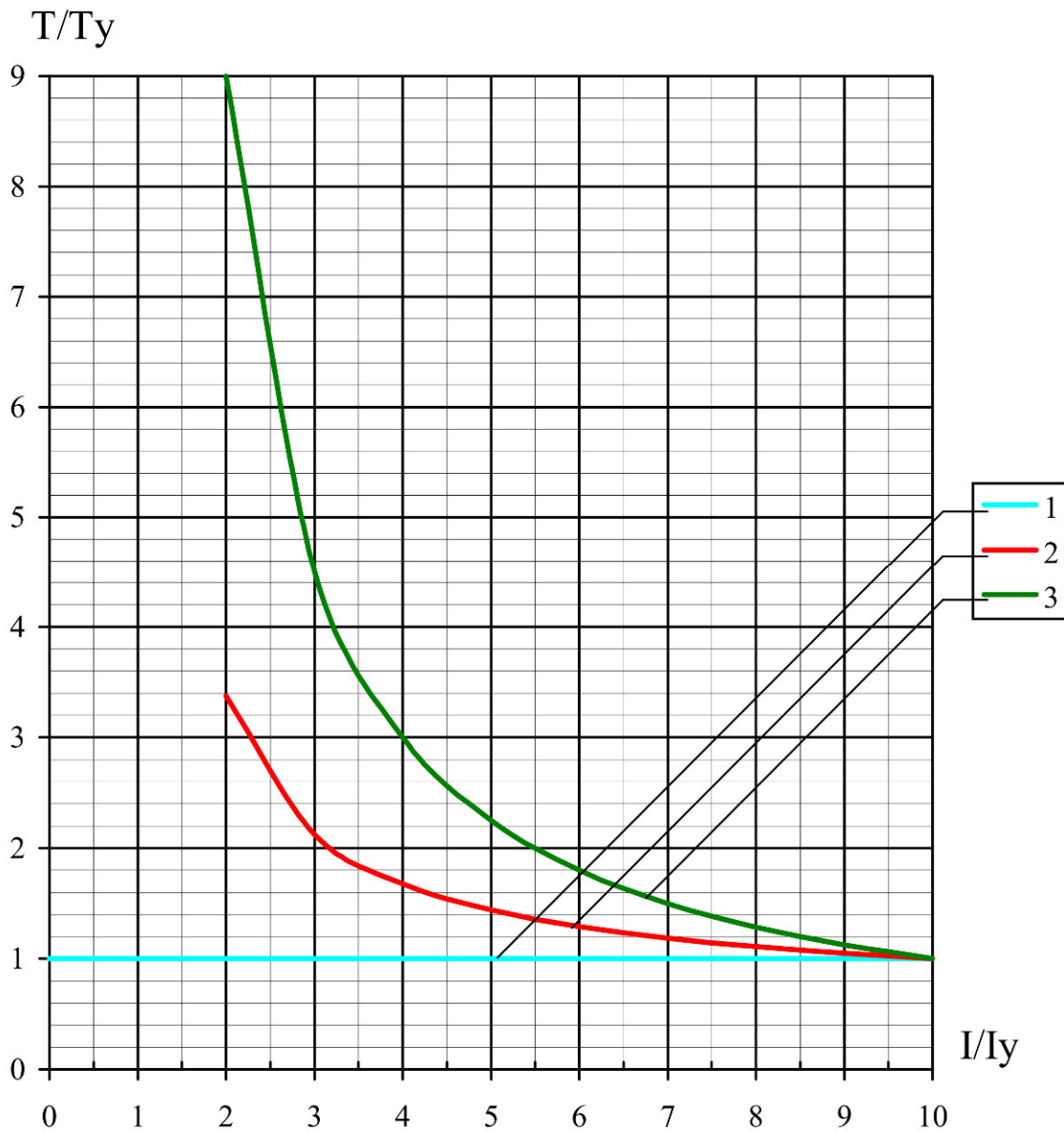


Рис. 1.16. Характеристики спрацювання реле РС80М2-19 (залежність відносного часу спрацювання від відносного струму реле):
 1 – незалежна, описується рівнянням (1.6);
 2, 3 – залежні, описуються залежностями (1.7), (1.8), відповідно

1.3.1.3. Налаштування уставки за струмом

Налаштування значень уставок здійснюється за допомогою перемичок, що вставляються у відповідні гнізда, рис. 1.14. Для зміни положення перемичок необхідно зняти верхню прозору кришку реле після відкручування двох гвинтів. На панелі під кришкою за допомогою гвинтів може кріпитися змінна планка з маркуванням для задавання уставки струму спрацювання. Креслення на рис. 1.17 схематично зображує передню панель реле.

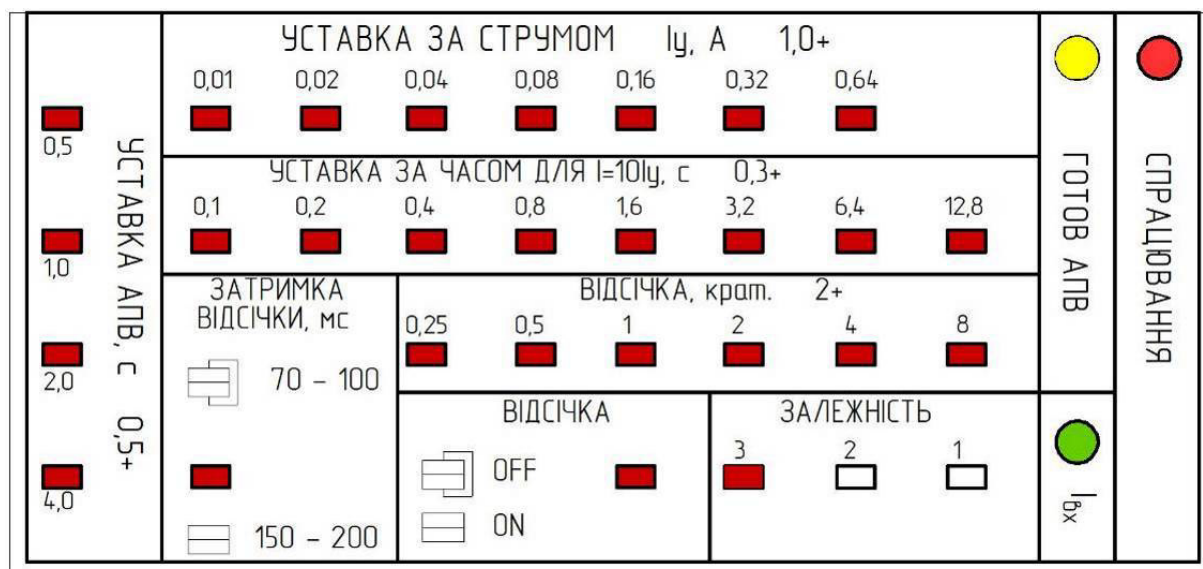


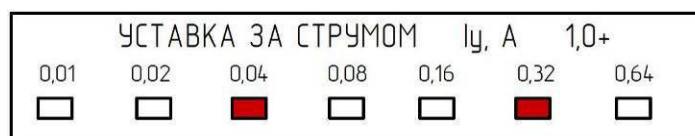
Рис. 1.17. Схематичне зображення передньої панелі реле РС80М2-19

На передній панелі необхідно встановити змінну планку, що відповідає схемі підключення струмових кіл. Якщо вхідний струм протікає через клеми 20 і 24 (для фази А) та В і 4 (для фази С), то змінну планку встановлювати не потрібно, оскільки значення уставок струму для діапазона 1 А...2,27 А нанесені безпосередньо на передній панелі (про що свідчить напис «1,0+»).

Для розділу «Уставка за струмом» встановлена у гніздо перемичка збільшує значення уставки за струмом на величину, що вказана біля гнізда. Відповідно, вийнята перемичка зменшує уставку на зазначену величину.

У додатку А (табл. А.1) вказано розташування перемичок в гніздах «Уставка за струмом» в залежності від уставки спрацювання реле за струмом для діапазона уставок 1 А...2,27 А.

Приклад. Змінна планка не встановлена і передня панель відповідає рис. 1.17, тобто діапазон уставок за струмом становить 1 А...2,27 А. Для задавання уставки за струмом спрацювання $I_y=1,36$ А необхідно вставити перемички в гнізда біля написів «0,04» та «0,32»:



Тоді уставка становитиме:

$$I_y = 1,0 + 0,04 + 0,32 = 1,36 \text{ А.}$$

1.3.1.4. Налаштування уставки за часом

Задавання уставок за часом здійснюється за допомогою переминок «Уставка за часом».

Встановлена перемикачка зменшує уставку за часом на величину, що вказана біля гнізда. Вийнята перемикачка збільшує уставку за часом на відповідну величину. Мінімальна уставка за часом становить 0,3 с.

У додатку А (табл. А.2) вказано розташування переминок в гніздах «Уставка за часом» в залежності від уставки спрацювання реле за часом.

Приклад. Для встановлення уставки за часом $T_y = 4,3$ с необхідно вийняти перемикачки з гнізд «0,8», «3,2». У всіх інших гніздах перемикачки мають бути встановлені:

УСТАВКА ЗА ЧАСОМ ДЛЯ $I=10I_y$, с							
0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Тоді уставка за часом складатиме:

$$T_y = 0,3 + 0,8 + 3,2 = 4,3 \text{ с.}$$

1.3.1.5. Налаштування струму відсічки

Уставка відсічки I_g задається у відносних одиницях (кратностях) до уставки за струмом спрацювання (I_g/I_y). Мінімальне значення уставки відсічки становить 2 в.о.

Для розділу «Відсічка» встановлена у гніздо перемикачка збільшує значення уставки відсічки на величину (у в.о.), що вказана біля гнізда. Відповідно, вийнята перемикачка зменшує уставку на зазначену величину.

У додатку А (табл. А.3) наведено розташування переминок в гніздах «Відсічка» в залежності від уставки струмової відсічки.

Приклад. Для задавання відсічки $I_g = 5,25$ в.о. необхідно вставити перемикачки у гнізда «0,25», «1», «2»:

ВІДСІЧКА, крат.					
0,25	0,5	1	2	4	8
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Тоді уставка відсічки становитиме:

$$I_g = 2 + 0,25 + 1 + 2 = 5,25 \text{ в.о.}$$

1.3.1.6. Налаштування затримки відсічки

Для задавання затримки відсічки 70–100 мс необхідно вставити перемикачку до гнізда «Затримка відсічки».

Для задавання затримку відсічки 150–200 мс необхідно вийняти перемичку з гнізда «Затримка відсічки».

1.3.1.7. Відключення відсічки

Для відключення (OFF) відсічки необхідно вставити перемичку до гнізда з написом «Відсічка».

Для використання (ON) відсічки необхідно вийняти перемичку з гнізда з написом «Відсічка».

1.3.1.8. Вибір характеристики спрацювання

Вибір типу характеристики спрацювання (№№ 1, 2, або 3) здійснюється встановленням перемички тільки в одне гніздо з написом «Залежність». Наприклад, характеристика № 3 обрана, якщо перемичка вставлена у гніздо з номером «3»:



1.3.2. Опис лабораторного стенда

Для виконання лабораторної роботи використовується лабораторний стенд, що розташований у ауд. 509, рис. 1.3. Зокрема, використовується наступне обладнання:

- реле РС80М2-19, що позначене КА4, характеристики якого досліджуються;
- мультиметр РЗ, що використовується в якості амперметра РАЗ для вимірювання діючого значення струму спрацювання реле;
- давач струму ТА3 типу ACS712 30А для вимірювання миттєвих значень струму;
- лампи розжарювання EL1–EL6 потужністю 500 Вт кожна, що використовуються для створення навантаження, та вмикаються автоматичними вимикачами QF1–QF6;
- автотрансформатор типу LTC-500 для точного налаштування струму навантаження;
- автоматичний вимикач QF7 (розташований на окремій панелі), що використовується для ступінчатої зміни струму через реле;
- USB приставка-осцилограф ISDS205X;
- комп'ютер.

1.3.3. Завдання

Експериментальним шляхом дослідити характеристики спрацювання реле РС80М2-19.

1.3.4. Порядок виконання роботи

1.3.4.1. Підготовка вихідних даних та протоколу

1. Обрати вихідні дані відповідно до варіанта, табл. 1.11. Вихідними даними є: уставка за струмом спрацювання реле I_y , А; уставка за часом спрацювання реле T_y , с; уставка за струмом відсічки I_{ϕ} , в.о.; затримка відсічки ΔT_{ϕ} , мс; використання відсічки; № характеристики спрацювання реле.

2. Вихідні дані занести до табл. 1.12.

3. Користуючись додатком А, занести до табл. 1.12 положення перемичок.

4. У табл. 1.12 виконати необхідні обчислення.

5. У табл. 1.13 виділити рядки, що знаходяться між початковою та кінцевими точками, інші рядки закреслити. Вимірювання будуть проводитися тільки для виділених рядків табл. 1.13. Наприклад, якщо початкова точка, відповідно до табл. 1.12, має № 8, а кінцева – № 19, то табл. 1.13 матиме вигляд:

№ точки	Умови дослідів						Результати вимірювань				Обчислено		
	Авто-трансформ.	Стан QF					\bar{I}, A	$I_{c.p.\phi}, \text{A}$	t_1, c	t_2, c	$T_{c.p.\phi} = t_2 - t_1, \text{c}$	$\frac{I_{c.p.\phi}}{I_y}$	$\frac{T_{c.p.\phi}}{T_y}$
		QF1	QF2	QF3	QF4	QF5							
1	50	1	0	0	0	0	0,25						
2	100	1	0	0	0	0	0,65						
3	150	1	0	0	0	0	1,20						
4	200	1	0	0	0	0	1,85						
5	0	1	1	0	0	0	2,20						
6	50	1	1	0	0	0	2,45						
7	100	1	1	0	0	0	2,85						
8	150	1	1	0	0	0	3,40						
9	200	1	1	0	0	0	4,05						
10	0	1	1	1	0	0	4,40						
11	50	1	1	1	0	0	4,65						
12	100	1	1	1	0	0	5,05						
13	150	1	1	1	0	0	5,60						
14	200	1	1	1	0	0	6,25						
15	0	1	1	1	1	0	6,60						
16	50	1	1	1	1	0	6,85						
17	100	1	1	1	1	0	7,25						
18	150	1	1	1	1	0	7,80						
19	200	1	1	1	1	0	8,45						
20	0	1	1	1	1	1	8,80						
21	50	1	1	1	1	1	9,05						
22	100	1	1	1	1	1	9,45						
23	150	1	1	1	1	1	10,00						
24	200	1	1	1	1	1	10,65						
25	0	1	1	1	1	1	11,00						
26	50	1	1	1	1	1	11,25						
27	100	1	1	1	1	1	11,65						
28	150	1	1	1	1	1	12,20						
29	200	1	1	1	1	1	12,85						

Вихідні дані

Варіант	I_y, A	T_y, c	$I_{\theta}, \text{в.о.}$	$\Delta T_{\theta}, \text{мс}$	Відсічка	№ характеристики
1	1,37	7,5	5,5	70–100	ON	3
2	1,93	6,4	4,5	150–200	ON	3
3	1,68	8,3	4,25	70–100	ON	2
4	1,78	7,6	5,5	150–200	ON	3
5	1,88	9,2	5,25	70–100	ON	3
6	2,06	6,7	5,75	150–200	ON	3
7	1,27	7,2	5,25	70–100	ON	2
8	1,84	6,5	5,5	150–200	ON	3
9	2,00	7,1	5,75	70–100	ON	2
10	1,72	7,7	5,5	150–200	ON	3
11	1,41	6,6	4,75	70–100	ON	2
12	1,63	7,3	5	150–200	ON	3
13	1,34	9,1	5,75	70–100	ON	2
14	1,59	8,1	5,25	150–200	ON	3
15	1,18	6,9	5,25	70–100	ON	2
16	1,56	7,9	5,75	150–200	ON	3
17	1,31	8,2	5,25	70–100	ON	2
18	1,07	8,8	5,75	150–200	ON	3
19	1,96	7,5	5,5	70–100	ON	2
20	1,75	8,4	5,5	150–200	ON	3
21	1,39	6,9	5	70–100	ON	2
22	1,04	8,5	4,75	150–200	ON	3
23	1,45	7,3	5,25	70–100	ON	2
24	1,11	9,2	4,75	150–200	ON	3
28	1,23	8,6	5,25	70–100	ON	2
26	1,48	9,6	5,5	150–200	ON	3
27	1,51	7,8	5,25	70–100	ON	2
28	1,54	6,5	5,75	150–200	ON	3

Умови дослідження характеристик реле РС80М2-19

Варіант _____	Виконавець _____
<i>Вихідні дані</i>	<i>Положення перемичок</i>
$I_y = \underline{\hspace{2cm}}$ А	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> УСТАВКА ЗА СТРУМОМ I_y, А 1,0+ 0,01 0,02 0,04 0,08 0,16 0,32 0,64 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div>
$T_y = \underline{\hspace{2cm}}$ с	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> УСТАВКА ЗА ЧАСОМ ДЛЯ $I=10I_y$, с 0,3+ 0,1 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,4 12,8 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div>
$I_e = \underline{\hspace{2cm}}$ в.о.	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ВІДСІЧКА, крат. 2+ 0,25 0,5 1 2 4 8 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div>
$\Delta T_e = \underline{\hspace{2cm}}$ мс	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="text-align: center;">ЗАТРИМКА ВІДСІЧКИ, мс</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <i>перемичка вставлена</i> <input type="checkbox"/> 70 - 100 </div> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <i>перемичка вийнята</i> <input type="checkbox"/> 150 - 200 </div> </div> </div>
Відсічка _____	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="text-align: center;">ВІДСІЧКА</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <i>перемичка вставлена</i> <input type="checkbox"/> OFF </div> <div style="text-align: center;"> <input type="checkbox"/> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <i>перемичка вийнята</i> <input type="checkbox"/> ON </div> </div> </div>
№ характ. _____	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ЗАЛЕЖНІСТЬ 3 2 1 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div>
Найбільший час спрацювання	$T_{\max} = \left\{ \begin{array}{l} 3,4T_y, \text{ для х-ки №2} \\ 9T_y, \text{ для х-ки №3} \end{array} \right\} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ с}$
Абсолютне значення заданого струму відсічки	$I_{e.a} = I_e \cdot I_y = \underline{\hspace{2cm}} \text{ А}$
Діапазон досліджуваних струмів	$I_{\min} = 2,1 \cdot I_y = \underline{\hspace{2cm}} \text{ А}$
	$I_{\max} = \max \{6I_y; I_{e.a}\} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ А}$
№ початкової точки _____ (табл. 1.13) відповідає найменшій точці, для якої $\tilde{I} > I_{\min}$	
№ кінцевої точки _____ (табл. 1.13) відповідає найменшій точці, для якої $\tilde{I} > I_{\max}$	

Таблиця 1.13

Результати дослідження характеристик реле РС80М2-19

№ точки	Умови дослідів							Результати вимірювань				Обчислено		
	Авто- трансформ.	Стан QF						\tilde{I} , А	$I_{c.p.\phi}$, А	t_1 , с	t_2 , с	$T_{c.p.\phi} = t_2 - t_1$, с	$\frac{I_{c.p.\phi}}{I_y}$	$\frac{T_{c.p.\phi}}{T_y}$
		QF1	QF2	QF3	QF4	QF5	QF6		РАЗ	Осцилограма				
1	50	1	0	0	0	0	0	0,25						
2	100	1	0	0	0	0	0	0,65						
3	150	1	0	0	0	0	0	1,20						
4	200	1	0	0	0	0	0	1,85						
5	0	1	1	0	0	0	0	2,20						
6	50	1	1	0	0	0	0	2,45						
7	100	1	1	0	0	0	0	2,85						
8	150	1	1	0	0	0	0	3,40						
9	200	1	1	0	0	0	0	4,05						
10	0	1	1	1	0	0	0	4,40						
11	50	1	1	1	0	0	0	4,65						
12	100	1	1	1	0	0	0	5,05						
13	150	1	1	1	0	0	0	5,60						
14	200	1	1	1	0	0	0	6,25						
15	0	1	1	1	1	0	0	6,60						
16	50	1	1	1	1	0	0	6,85						
17	100	1	1	1	1	0	0	7,25						
18	150	1	1	1	1	0	0	7,80						
19	200	1	1	1	1	0	0	8,45						
20	0	1	1	1	1	1	0	8,80						
21	50	1	1	1	1	1	0	9,05						
22	100	1	1	1	1	1	0	9,45						
23	150	1	1	1	1	1	0	10,00						
24	200	1	1	1	1	1	0	10,65						
25	0	1	1	1	1	1	1	11,00						
26	50	1	1	1	1	1	1	11,25						
27	100	1	1	1	1	1	1	11,65						
28	150	1	1	1	1	1	1	12,20						
29	200	1	1	1	1	1	1	12,85						

1.3.4.2. Виконання вимірювань на стенді

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

2. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 1.18.

3. Відкрутивши два гвинти, зняти прозору кришку з реле РС80М2-19.

4. Виставити перемички відповідно до табл. 1.12.

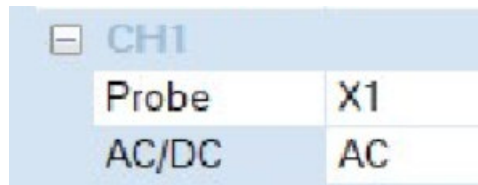
5. Приєднати до схеми щупи осцилографа відповідно до рис. 1.18.

Приєднати осцилограф до комп'ютера. Запустити на комп'ютері програму Multi VirAnalyzer, обрати пункт Data Recorder.

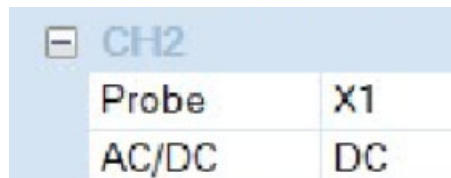
6. Налаштувати програму для роботи з двома каналами осцилографа. Для цього встановити:



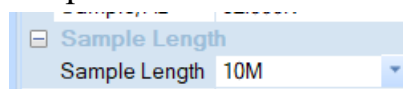
7. Налаштувати канал CH1 для роботи з роботи зі змінним сигналом (AC):



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



9. Встановити довжину вибірки 10M:



10. Налаштувати мультиметр РА3 на вимірювання змінного струму, межа 20 А.

11. Показати викладачеві встановлені перемички. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.

12. Одягнути прозору кришку на реле РС80М2-19 та закрутивши два гвинти.

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

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

15. Задати режим навантаження відповідно до першого рядка, що обраний для проведення досліду, з табл. 1.13. Необхідно виставити ручку автотрансформатора в задане положення. Також слід ввімкнути необхідні автоматичні вимикачі (QF1–QF6), що комутують лампи.

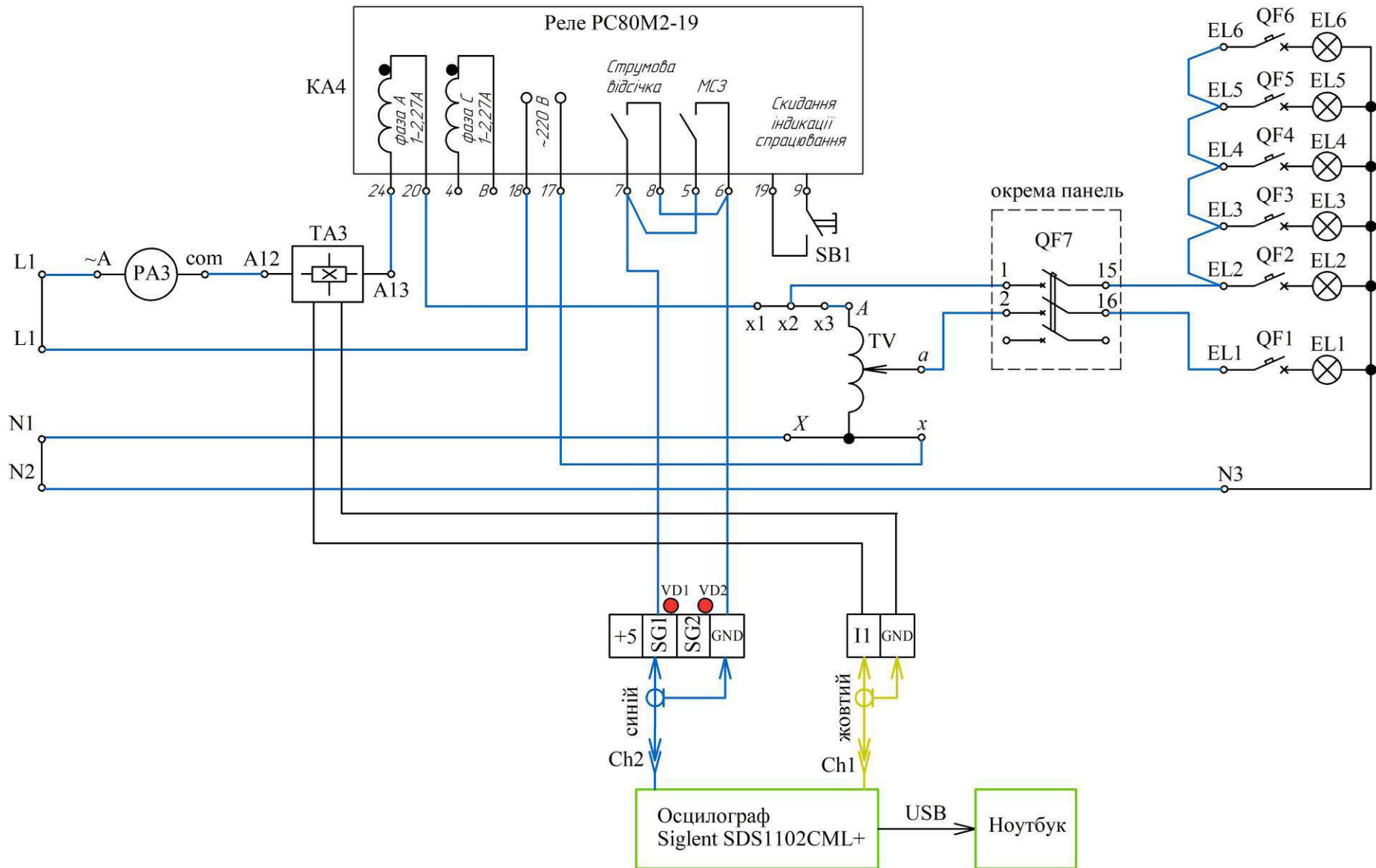
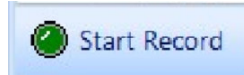


Рис. 1.18. Схема лабораторного станда для дослідження характеристик реле PC80M2-19

16. Почати запис осцилограми, для чого слід натиснути кнопку



17. Ввімкнути автоматичний вимикач QF7, який розташовано на окремій панелі, для ступінчатого підключення навантаження. Запам'ятати величину струму за показами мультиметра РА3 і слідкувати за станом світлодіода VD1. Як тільки світлодіод загориться, зразу відключити автоматичний вимикач QF7, який розташований на окремій панелі.

18. Зупинити запис осцилограми, повторно натиснувши кнопку «Start Record».

19. Занести запам'ятовану величину фактичного струму спрацювання до колонки $I_{c.p.\phi}$ табл. 1.13.

20. За одержаними осцилограмами визначити момент t_1 подачі струму на реле та момент t_2 спрацювання реле. Моменти визначати аналогічно до попередньої лабораторної роботи. Занести одержані значення до відповідних колонок табл. 1.13. Зберегти осцилограму для одного з дослідів для додавання до звіту.

21. Задати режим навантаження відповідно до наступного рядка з табл. 1.13. Повторити послідовність дій відповідно до пп. 15–20.

22. Відключити автоматичний вимикач QF0, що подає напругу на стенд.

1.3.4.3. Оброблення результатів вимірювань

1. Виконати обчислення для кожного виконаного дослідів в табл. 1.13:

- фактичного часу $T_{c.p.\phi}$ спрацювання реле;
- відносного значення фактичного струму спрацювання ($I_{c.p.\phi} / I_y$);
- відносного значення фактичного часу спрацювання ($T_{c.p.\phi} / T_y$).

2. Нанести на характеристики спрацювання реле експериментально одержані точки, для цього:

- відкрити MATLAB;
- перейти в робочу папку;
- створити (кнопкою «New Script») і зберегти новий m-файл;
- скласти m-файл, що будує характеристики реле та наносить експериментальні точки, зразок наведено на рис. 1.19. Зокрема, у цьому файлі:
 - відповідно до значень зі стовпчика $I_{c.p.\phi} / I_y$ табл. 1.13 сформувати вектор Ifly відносних значень струму спрацювання реле;

- відповідно до значень зі стовпчика $T_{c.p.\phi} / T_y$ табл. 1.13 сформувати вектор $TfTy$ відносних значень часу спрацювання реле;
- задати абсолютне значення струму відсічки (змінна Iva);
- запустивши m-файл (меню Editor–Run), побудувати характеристики спрацювання реле з нанесеними експериментальними точками, приклад наведено на рис. 1.20.

```

relay1.m x +
1
2 IfIy=[2.42 2.42]; %координати експериментальних точок (ЗАДАТИ СВОЇ)
3 TfTy=[6.3 2.52];
4 Iv=7.5; %відносне значення струму відсічки (ЗАДАТИ СВОЄ)
5
6 IIy=2:0.1:10;
7 TTy2=4.71e-2./(IIy.^0.02-1); %характеристика №2
8 TTy3=9./(IIy-1); %характеристика №3
9
10 figure(1),plot(IIy,TTy2,'-r','Linewidth',2),grid on %графік х-ки №2
11 figure(1),hold on
12 figure(1),plot(IIy,TTy3,'-g','Linewidth',2),grid on %графік х-ки №3
13 figure(1),hold on
14 figure(1),plot([Iv Iv],[0 10],'-k','Linewidth',2),grid on %графік відсічки
15 figure(1),hold on
16 figure(1),plot(IfIy,TfTy,'.b','MarkerSize',20),grid on %експ точки
17 figure(1),axis([0 10 0 9])

```

Рис. 1.19. Зразок m-файлу для побудови характеристик спрацювання реле та нанесення експериментальних точок

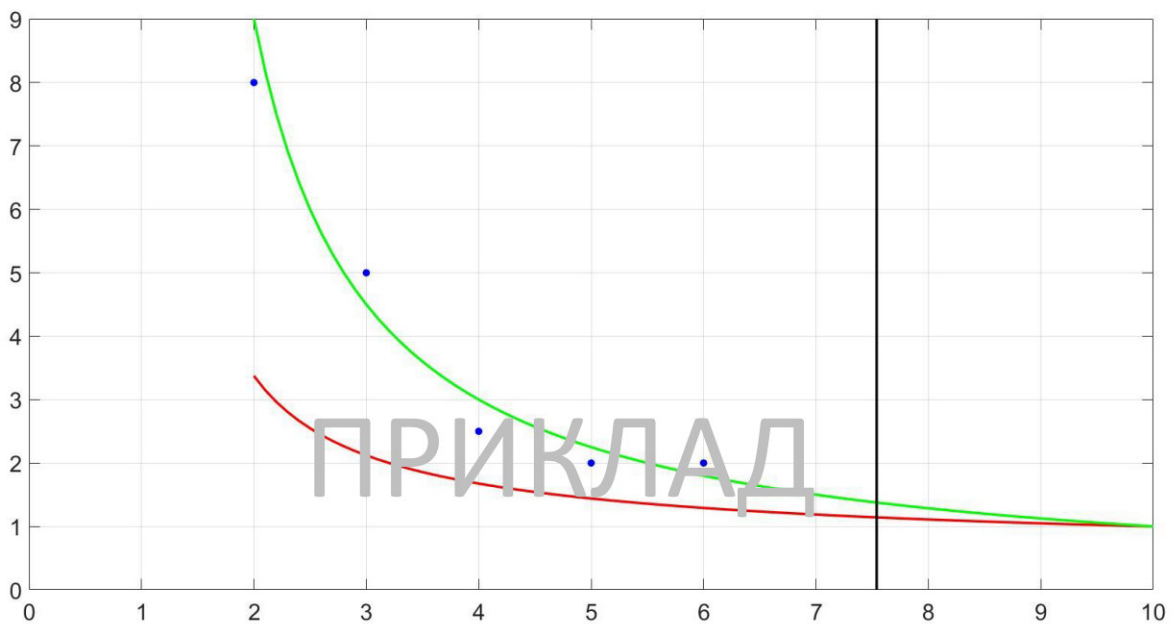


Рис. 1.20. Приклад побудови характеристик спрацювання реле та нанесення експериментальних точок

1.3.5. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фото лабораторного стенда.
3. Схема лабораторного стенда.
4. Умови дослідження характеристик реле РС80М2-19 (заповнена табл. 1.12).
5. Осцилограми, що одержані в одному з дослідів.
6. Результати дослідження характеристик реле РС80М2-19 (заповнена табл. 1.13).
7. m-файл для побудови характеристик спрацювання реле та нанесення експериментальних точок.
8. Характеристики спрацювання реле з нанесеними експериментальними точками.
9. Висновки з аналізом одержаних результатів.

1.3.6. Контрольні питання

1. Яке призначення реле РС80М2-19?
2. Який параметр електромережі контролює реле РС80М2-19?
3. Які функції виконує реле РС80М2-19?
4. Які характеристики спрацювання може реалізувати реле РС80М2-19?
5. Що означає «залежна характеристика спрацювання»?
6. Що означає «струмову відсічку»?
7. Яким чином виставляються уставки спрацювання реле РС80М2-19?
8. Яким чином реле РС80М2-19 реалізує функцію вказівного реле?
9. Поясніть роботу реле за характеристиками, що наведені на рис. 1.16.

РОЗДІЛ 2. ТИПОВІ СХЕМИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

2.1. Лабораторна робота 4. 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.

2.1.1. 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. Захисти реагують на величину струму, що визначає їх назву.

В залежності від способу забезпечення селективності, розрізняють наступні види струмових захистів:

- максимальний струмовий захист (МСЗ) – селективність спрацювання забезпечена вибором часу спрацювання захисту;
- струмова відсічка – селективність спрацювання забезпечена вибором величини струму спрацювання захисту;
- струмова відсічка з витримкою часу – селективність спрацювання забезпечена вибором величин часу та струму спрацювання.

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 А1 (рис. 2.1) – захистити лінію W1, захисту А2 – захистити лінію W2. Але у разі короткого замикання на лінії W2 та відмови вимикача Q2 або захисту А2, захист А1 також має відключити вимикач Q1, тобто реалізувати дальнє резервування.

МСЗ контролює струм через елемент, що захищається, відводиться від струму навантаження та в разі перевищення струму уставки з витримкою часу забезпечує відключення високовольтного вимикача.

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 А2 дорівнює t_2 , а час спрацювання захисту А1 становить

$t_1 = t_2 + \Delta t$. Недоліком МСЗ є неприпустиме збільшення часу спрацювання захистів при наближенні до джерела живлення, що збільшує обсяг ушкоджень.

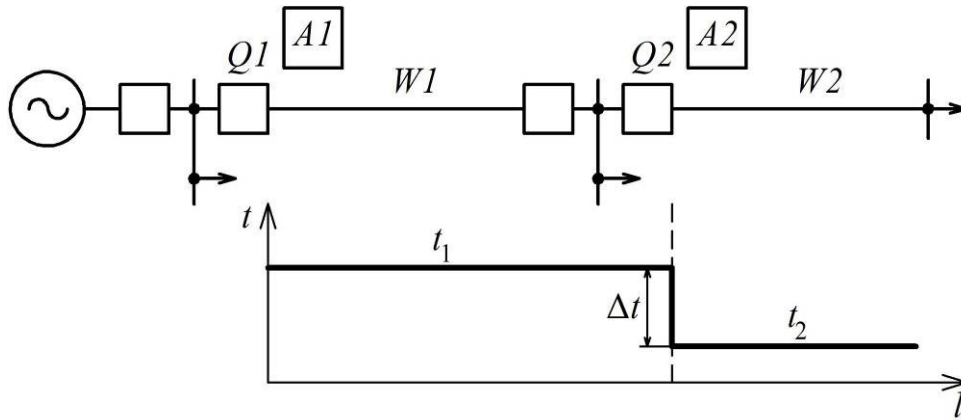


Рис. 2.1. Забезпечення селективності МСЗ з незалежною витримкою часу

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.

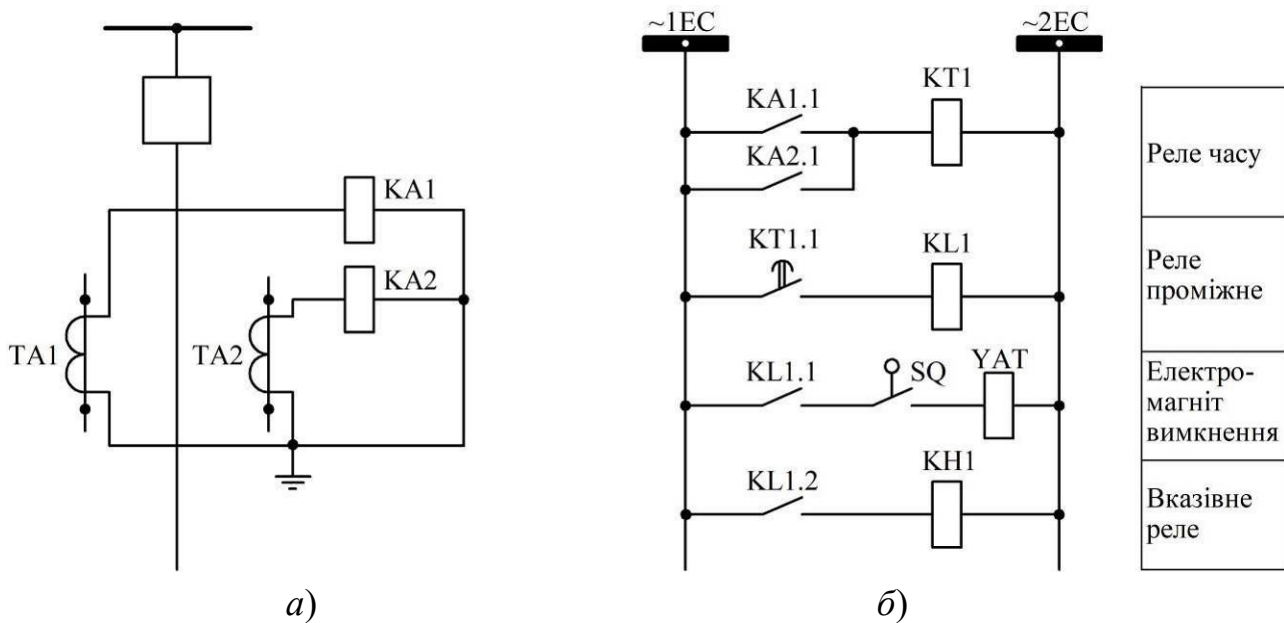


Рис. 2.2. Схема максимального струмового захисту: *а* – первинні (струмові) кола; *б* – оперативні (вторинні) кола

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.

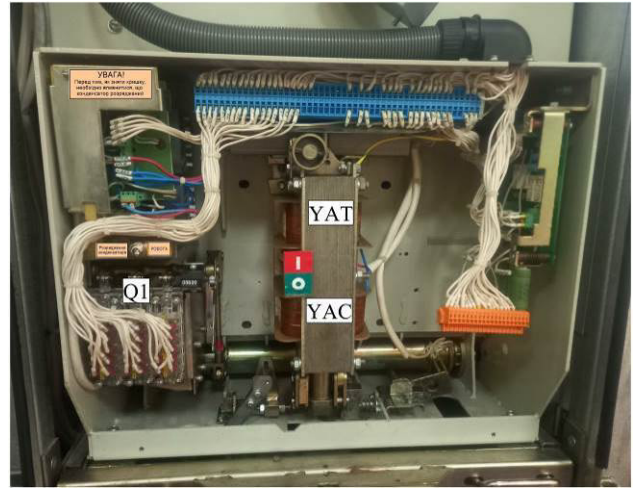
2.1.2. Опис лабораторного стенда

Для виконання лабораторної роботи використовується лабораторний стенд, що розташований у ауд. 509, рис. 1.3. Зокрема, використовується наступне обладнання.

1. Вимикач вакуумний типу ВРС-10 з електромагнітним приводом, що розміщений у шафі типу ШВВ-10-20-01-630, рис. 2.3.



а)



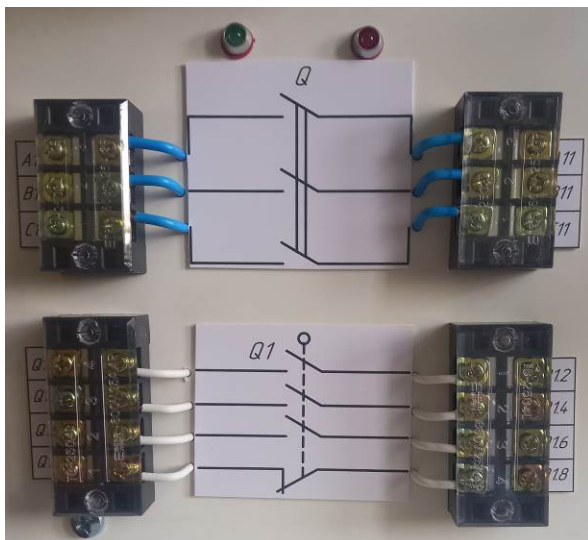
б)

Рис. 2.3. Вимикач вакуумний типу ВРС-10 з електромагнітним приводом: а – загальний вигляд; б – елементи блока управління

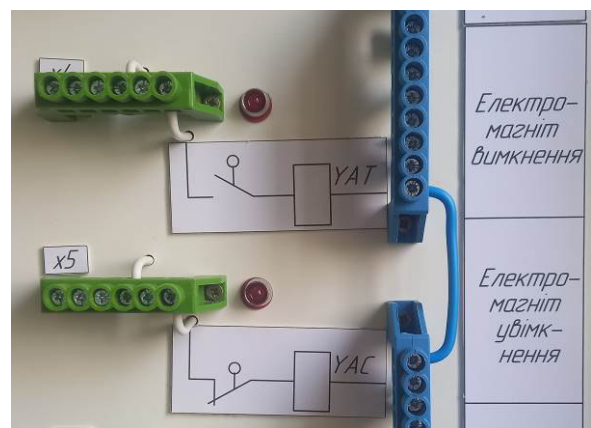
На передню панель стенда виведено:

- виводи силових кіл Q та блок-контактів Q1 положення вимикача, рис. 2.4, а;
- виводи кіл команд «Вимкнути» та «Увімкнути» (електромагніти вимкнення YAT та увімкнення YAC, відповідно), рис. 2.4, б.

2. Перемикач SA1 для керування вимикачем (On/Off), рис. 2.5.



а)



б)

Рис. 2.4. Виводи силових кіл (Q) та блок-контактів (Q1) положення вимикача ВРС-10 (а), кіл команд «Вимкнути» (YAT) та «Увімкнути» (YAC) (б)

3. Вимірювальні трансформатори струму 10/5, що позначені ТА1, ТА2, рис. 2.6.



Рис. 2.5. Перемикач SA1



Рис. 2.6. Вимірювальні трансформатори струму ТА1, ТА2

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. 2.7.

7. Реле часу РВ-237 електромагнітного типу, що позначене КТ1, рис. 2.8.



Рис. 2.7. Реле струму РТ-40/2

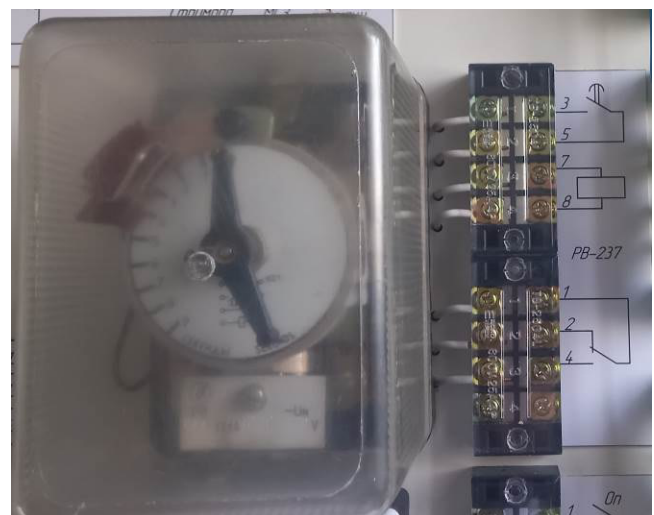


Рис. 2.8. Реле часу РВ-237

8. Проміжне реле ПЕ40-20-42УЗ, що позначене КЛ1, рис. 2.9.

9. Вказівне реле РЕУ-11-11, що позначене КН1, рис. 2.10.



Рис. 2.9. Проміжне реле ПЕ40-20-42У3



Рис. 2.10. 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. 2.11.

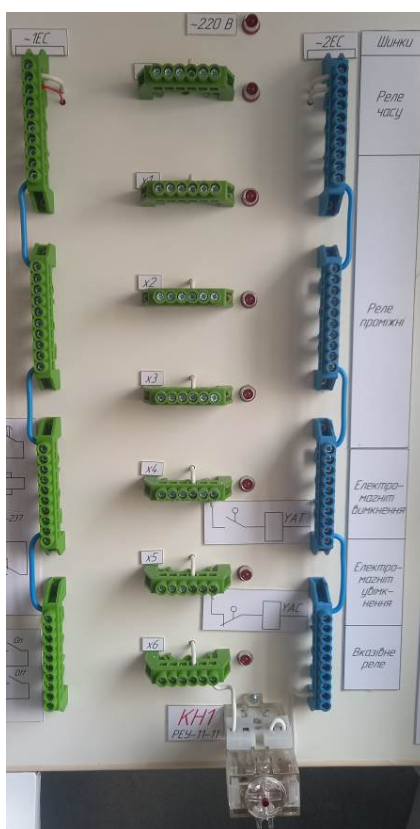


Рис. 2.11. Шинки оперативного струму

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.

2.1.3. Завдання

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

2.1.4. Порядок виконання роботи

1. Розрахувати уставку реле струму.

Номінальний лінійний струм навантаження, А:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi_n}, \quad (2.1)$$

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:

$$I_{p \max} = 1,1 \cdot I_n. \quad (2.2)$$

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

$$I_{c.з} = \frac{k_{від}}{k_{нов}} I_{p \max}, \quad (2.3)$$

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

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

Вторинний струм спрацювання реле, А:

$$I_{c.p} = \frac{k_{cx}}{k_I} I_{c.з}, \quad (2.4)$$

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, $k_I = I_{TA1H}/I_{TA2H}$.
 Вимірювальні трансформатори струму ТА1 та ТА2, що встановлені на стенді, розраховані на наступні номінальні струми: первинний $I_{TA1H}=10$ А, вторинний $I_{TA2H}=5$ 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:

попередньо.....0,5–1,0

паралельно.....1,0–2,0

При попередньому 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. 2.1) значення струму спрацювання реле $I_{c.p}$, спосіб з'єднання котушок та значення, що необхідно виставити на шкалі реле.

Таблиця 2.1

Протокол випробування схеми максимального струмового захисту із незалежною витримкою часу

Варіант _____		Виконавець _____	
$I_{c.p} =$ _____ А	Обмотки КА1, КА2: _____ (паралельно, попередньо)	На шкалі КА1, КА2: _____ А	$T_{c.з} =$ _____ с
Виміряно:			
№ дослідю	$t_{КА},$ 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 $T_{c.3}$ спрацювання захисту відповідно до табл. 2.2. Внести значення $T_{c.3}$ до протоколу випробувань (табл. 2.1).

Таблиця 2.2

Вихідні дані

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$T_{c.3}$, 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
$T_{c.3}$, 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. 2.12, 2.13.

6. Зняти захисні кожухи з реле струму КА1, КА2 та виставити уставку спрацювання відповідно до табл. 2.1. Одягнути кожухи на реле.

7. Зняти захисний кожух з реле часу КТ1 та виставити уставку $T_{c.3}$. 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. 2.14.

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 Channel Contr...

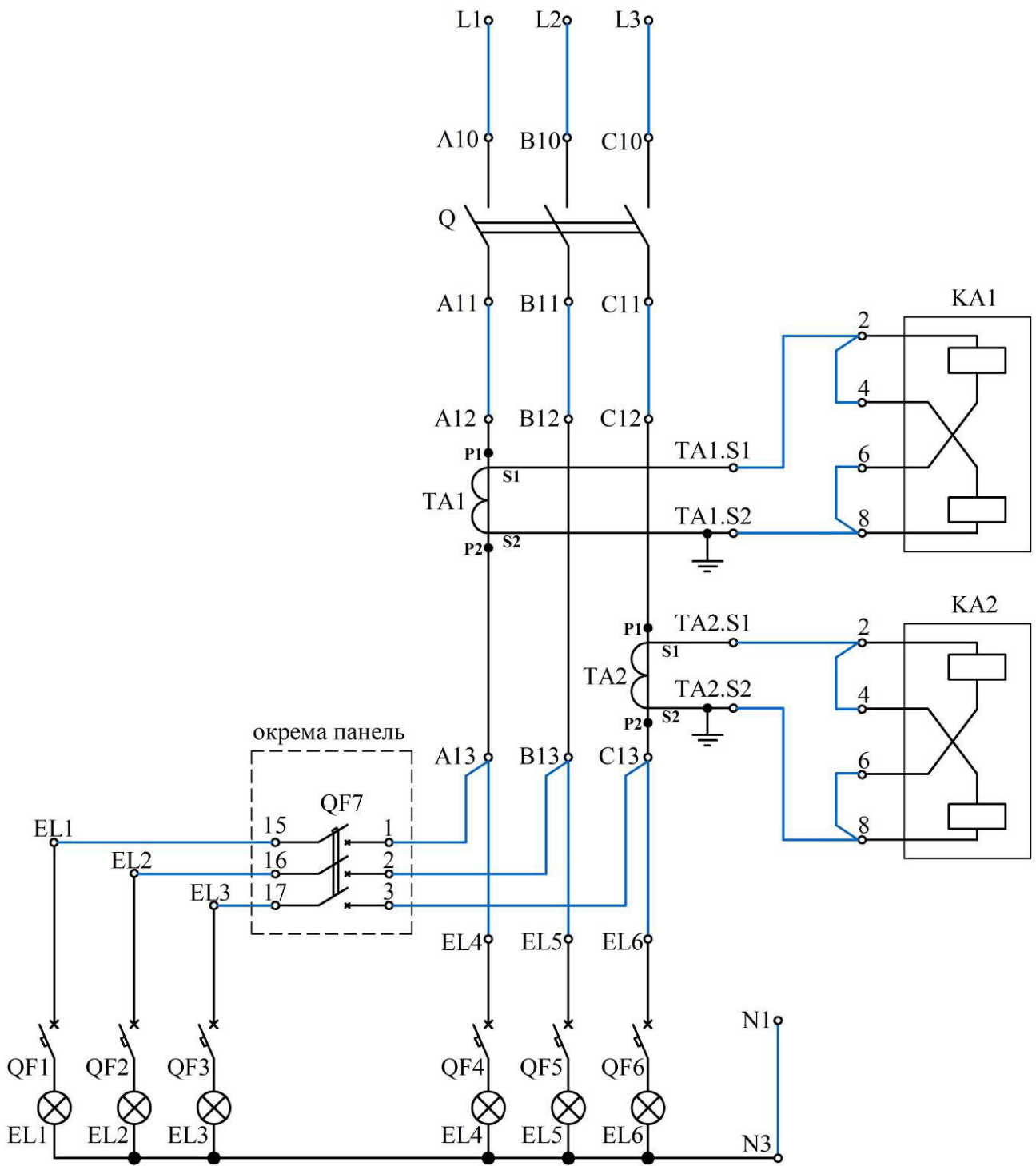


Рис. 2.12. Електрична схема з'єднань струмових (первинних) кіл максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу

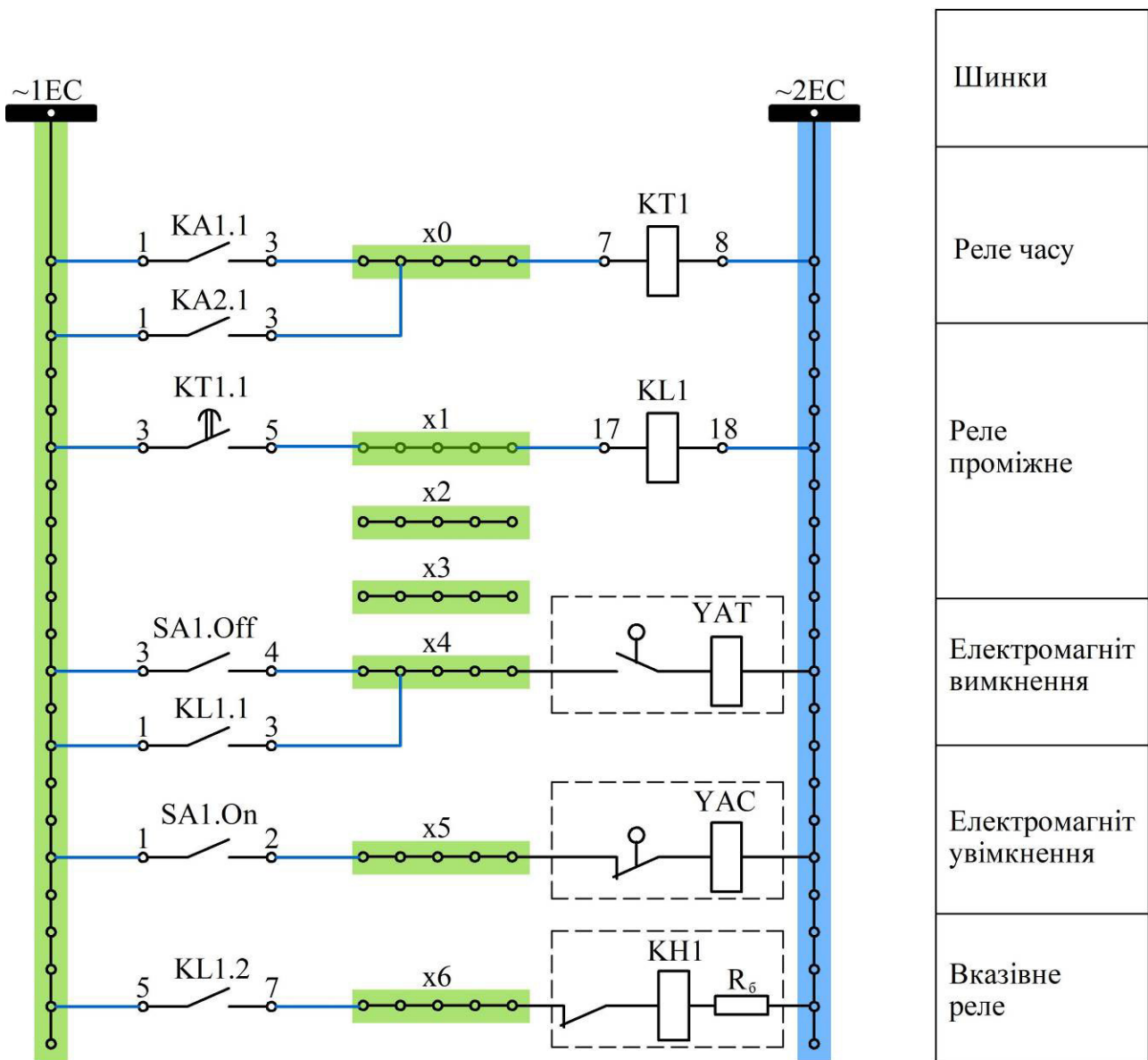


Рис. 2.13. Електрична схема з'єднань оперативних (вторинних) кіл максимального струмового захисту з незалежною витримкою часу

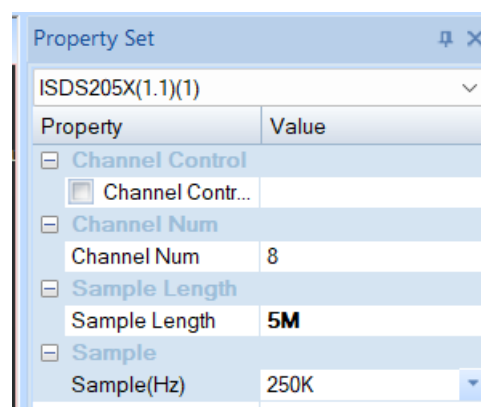


Рис. 2.14. Налаштування значень параметрів логічного аналізатора

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. 2.15) визначити:

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

– момент t_Q відключення автоматичного вимикача.

Занести одержані дані до протоколу (табл. 2.1).

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. 2.1.

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. 2.1.

Вибіркове значення математичного сподівання випадкової величини X обчислюється як:

$$m[X] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.5)$$

де n – обсяг вибірки; x_i – вибіркові значення.

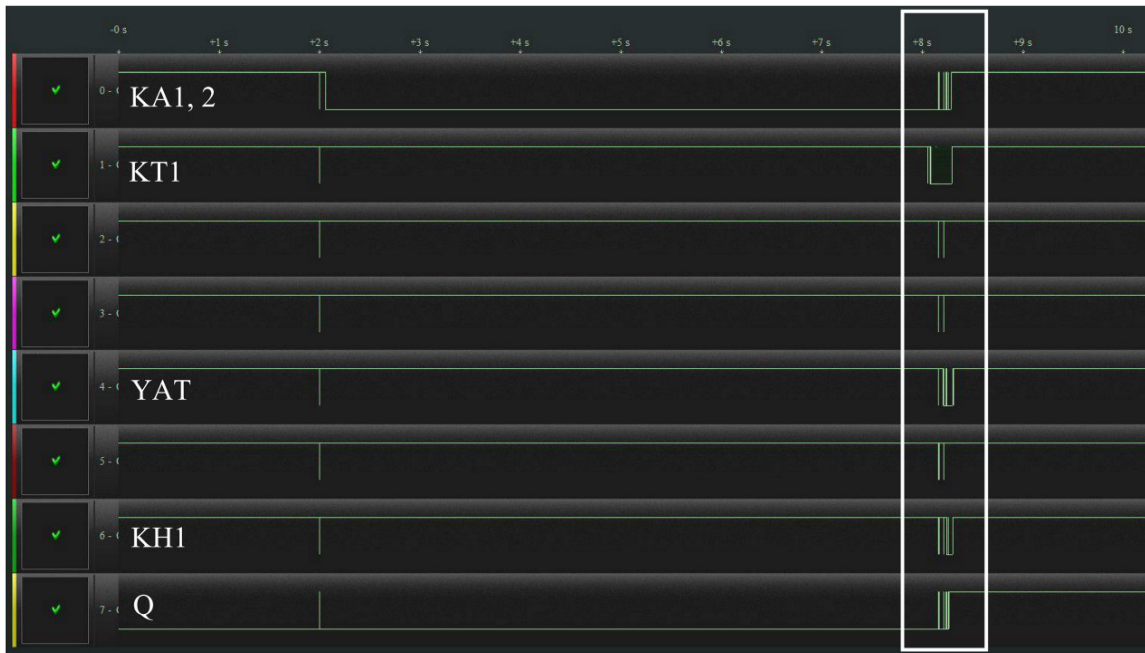
В Excel для обчислення математичного сподівання використовується функція AVERAGE.

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

$$s[X] = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m[X])^2}. \quad (2.6)$$

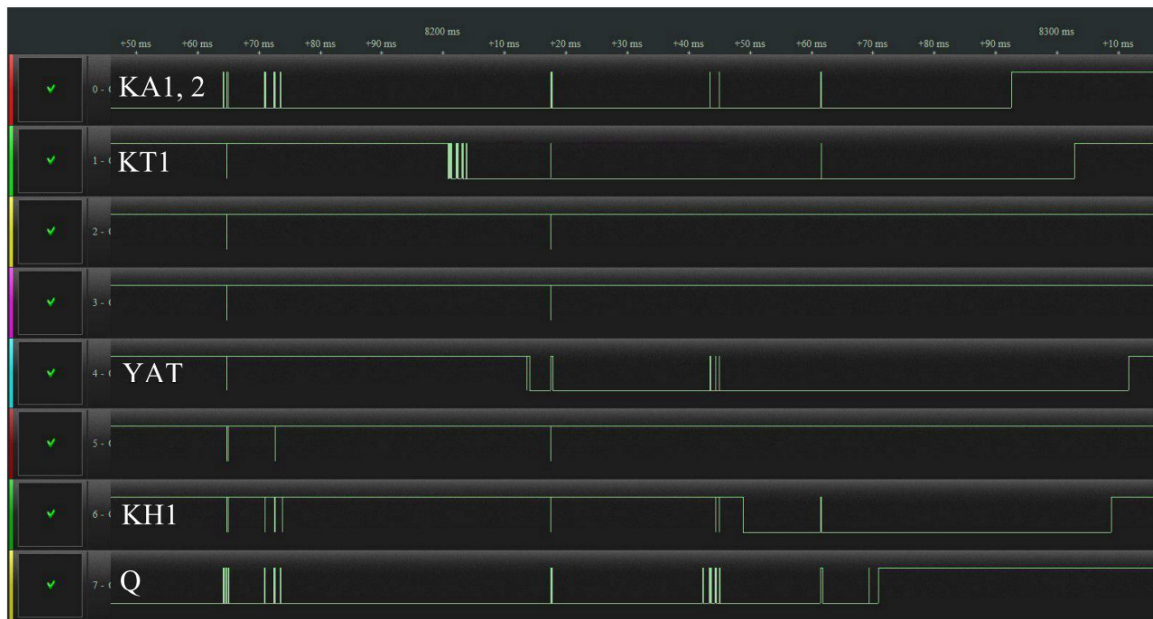
В Excel для обчислення стандартного відхилення використовується функція STDEV.S.

фрагмент А



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

a)



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

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

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

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

b)

Рис. 2.15. Приклади осцилограми 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. 2.1.

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. 2.1).
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?
12. Пояснити, що таке коефіцієнт трансформації трансформатора струму?
Чи може коефіцієнт трансформації бути менше 1?

13. Пояснити основні схеми з'єднання вторинних обмоток трансформаторів струму. Що таке «коефіцієнт схеми»?
14. Чим відрізняється трифазна схема МСЗ від двофазної схеми?
15. Що таке оперативний струм?
16. Чому в оперативній схемі захисту контакти КА1.1 та КА2.1 струмових реле з'єднані паралельно?
17. Для чого використовується реле часу?
18. Яку функцію виконує проміжне реле?
19. Навіщо в схемі використовується блок-контакт SQ1 вимикача?
20. Яку функцію виконує вказівне реле?
21. Яку функцію в схемі захисту виконує елемент YAT?
22. Як буде поводити себе наведена схема захисту, якщо коротке замикання зникне до моменту спрацювання реле часу?

2.2. Лабораторна робота 5. Дослідження функціонування схеми максимального струмового захисту із залежною витримкою часу

Мета: проаналізувати функціонування схеми максимального струмового захисту із залежною витримкою часу на основі реле максимального струму РС80М2-19.

2.2.1. Короткі теоретичні відомості

Максимальний струмовий захист із залежною витримкою часу (залежною характеристикою часу спрацювання) реалізується на мікропроцесорній елементній базі, або з використанням реле РТ-80(83,85), РС80М2-19, у яких час спрацювання нелінійно залежить від величини струму, що протікає через реле. Зі збільшенням струму реле спрацьовує швидше. Відповідно, при наближенні точки короткого замикання до джерела живлення час відключення буде зменшуватися, рис. 2.16.

Порівняно із захистом, що має незалежну характеристику, час відключення КЗ захистом із залежною характеристикою при наближенні до джерела живлення буде дещо меншим, що відноситься до переваг останнього.

2.2.2. Опис лабораторного стенда

Для виконання лабораторної роботи використовується лабораторний стенд, що розташований у ауд. 509, рис. 1.3. Зокрема, використовується наступне обладнання.

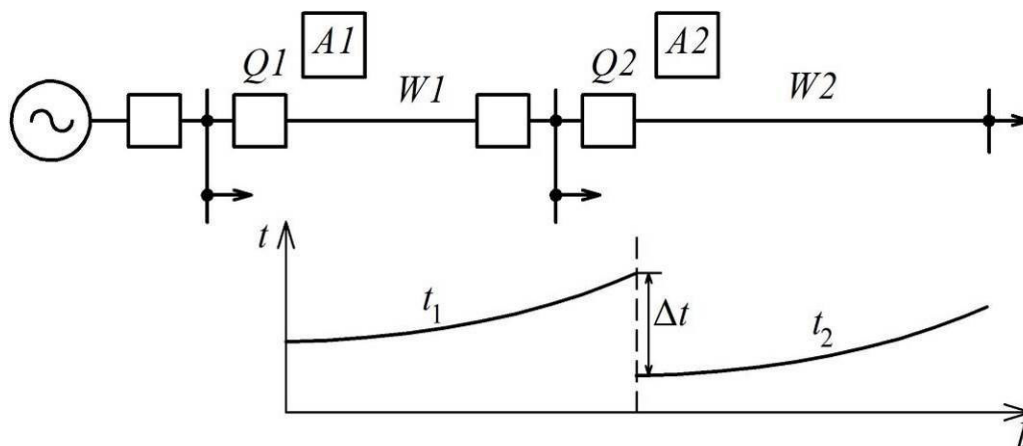


Рис. 2.16. Характеристики релейних захистів із залежною витримкою часу, що захищають послідовні лінії при односторонньому живленні

1. Вимикач вакуумний типу ВРС-10 з електромагнітним приводом, що розміщений у шафі типу ШВВ-10-20-01-630.
2. Перемикач SA1 для керування вимикачем (On/Off).
3. Вимірювальні трансформатори струму 10/5, що позначені ТА1, ТА2.
4. Асинхронний короткозамкнений двигун типу АОЛ2–11-6 У3, що представляє навантаження, виводи статорних обмоток якого позначені U1, V1, W1, U2, V2, W2.
5. Лампи розжарювання EL1–EL6 потужністю 500 Вт кожна, що використовуються для імітації короткого замикання, вмикаються автоматичними вимикачами QF1–QF6.
6. Автоматичний вимикач на окремій панелі, що імітує виникнення короткого замикання.
7. Реле максимального струму РС80М2-19, що позначено КА4.
8. Проміжне реле ПЕ40-20-42У3, що позначено КЛ1.
9. Вказівне реле РЕУ-11-11, що позначено КН1.
10. Шинки оперативного струму $\sim 1EC$, $\sim 2EC$ (напруга ~ 220 В), що використовуються для живлення кіл релейного захисту.
11. Комп'ютер та USB приставка-осцилограф ISDS205X, що працює в режимі логічного аналізатора та підключена до проміжних клемників x0–x6, а також до блок-контактів положення вимикача через плату опторозв'язки.

2.2.3. Завдання

Встановити залежність часу спрацювання від струму короткого замикання для максимального струмового захисту із залежною витримкою часу.

2.2.4. Порядок виконання роботи

2.2.4.1. Підготовка вихідних даних та протоколу

1. Розрахувати уставку за струмом. Для досліджуваної схеми навантаження є асинхронний короткозамкнений двигун типу АОЛ2–11-6 УЗ, фактичний струм холостого ходу якого становить $I_0=1,13$ А.

Уставка за струмом для умов проведення лабораторної роботи може бути обрахована як:

$$I_y = \frac{k_{від}}{k_{нов}} I_0, \quad (2.7)$$

де $k_{від}$ – коефіцієнт відведення реле, значення обирається з табл. 2.3;

$k_{нов}$ – коефіцієнт повернення реле, прийняти $k_{нов}=0,85$.

2. Обрати уставку за часом відповідно до варіанта з табл. 2.3. Обрані значення уставок за струмом та часом внести до протоколу, табл. 2.4.

Таблиця 2.3

Вихідні дані

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

3. Визначити положення перемичок на передній панелі реле РС80М2-19, відмітити положення в протоколі, табл. 2.4. При цьому функція відсічки не використовується, тому перемичка має бути вставлена до гнізда ВІДСІЧКА. Передбачається робота реле на характеристиці № 3.

Протокол випробування схеми максимального струмового захисту
із залежною витримкою часу

Варіант _____		Виконавець _____				
$I_y = \text{_____} \text{ A}$		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> УСТАВКА ЗА СТРУМОМ $I_y, \text{ A}$ 1,0+ 0,01 0,02 0,04 0,08 0,16 0,32 0,64 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div>				
$T_y = \text{_____} \text{ c}$		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> УСТАВКА ЗА ЧАСОМ ДЛЯ $I=10I_y, \text{ c}$ 0,3+ 0,1 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,4 12,8 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div>				
№ характеристики – 3		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ЗАЛЕЖНІСТЬ 3 2 1 <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> </div>				
Відсічка – відключена		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> ВІДСІЧКА <input type="checkbox"/> OFF <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ON </div>				
№ досліду	1	2	3	4	5	6
Відстань до точки КЗ, l , км	1	2	3	4	5	6
Ввімкнені QF	1–6	1–5	1–4	1–3	1, 2	1
$t_1, \text{ c}$						
$t_2, \text{ c}$						
$T_\phi = t_2 - t_1, \text{ c}$						

2.2.4.2. Виконання вимірювань на стенді

1. Зняти прозорий кожух реле та виставити перемички в необхідне положення.
2. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено та всі автоматичні вимикачі відключені.
3. Зібрати схему досліду відповідно до рис. 2.17 та 2.18.
4. Приєднати до схеми щупи осцилографа відповідно до рис. 2.17. Приєднати осцилограф до комп'ютера. Запустити на комп'ютері програму Multi VirAnalyzer, обрати пункт Data Recorder.
5. Налаштувати програму для роботи з двома каналами осцилографа. Для цього встановити:

Channel Control	
Channel Num	2

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

CH1	
Probe	X1
AC/DC	AC

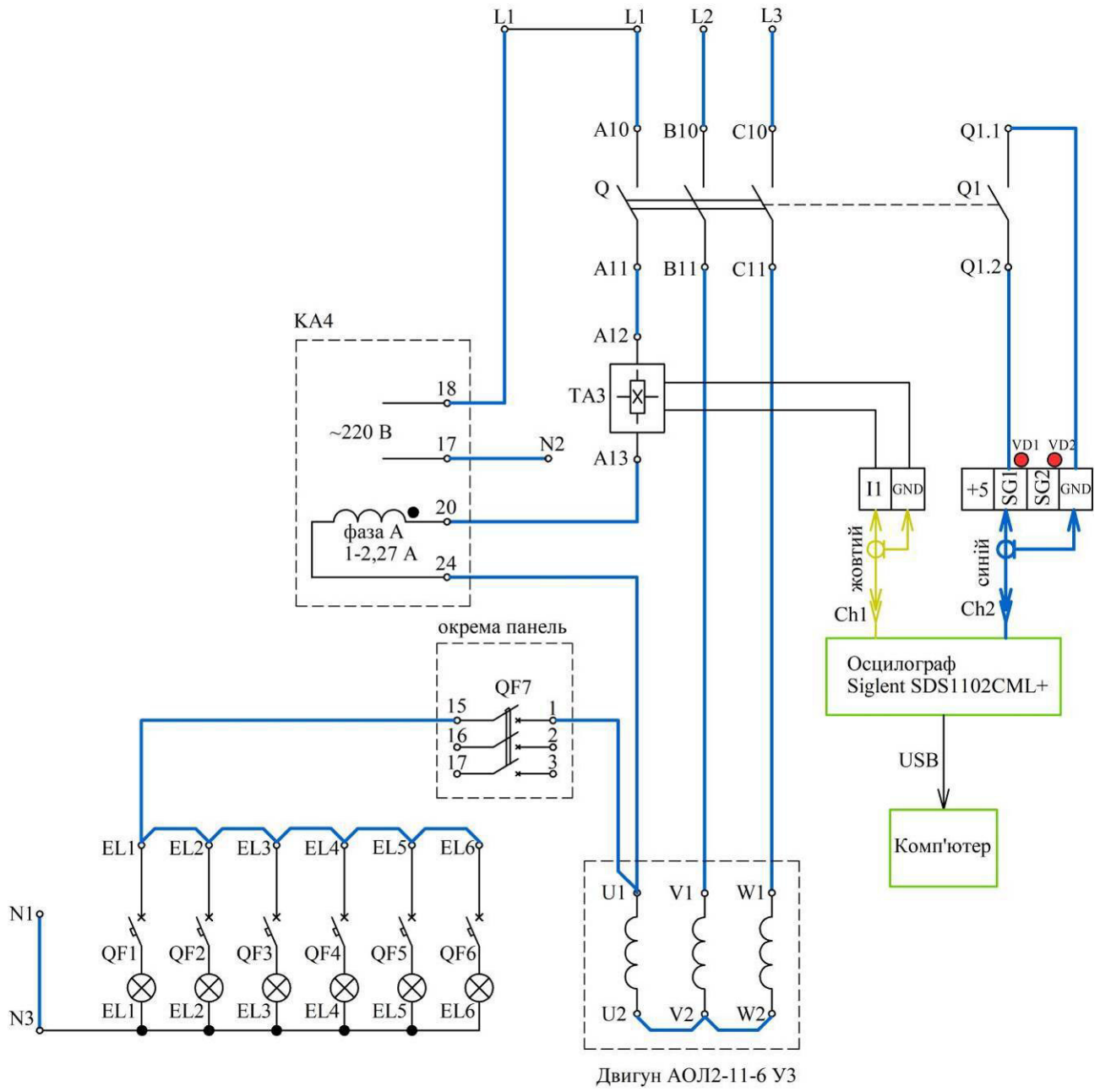


Рис. 2.17. Електрична схема з'єднань струмових (первинних) кіл максимального струмового захисту із залежною витримкою часу

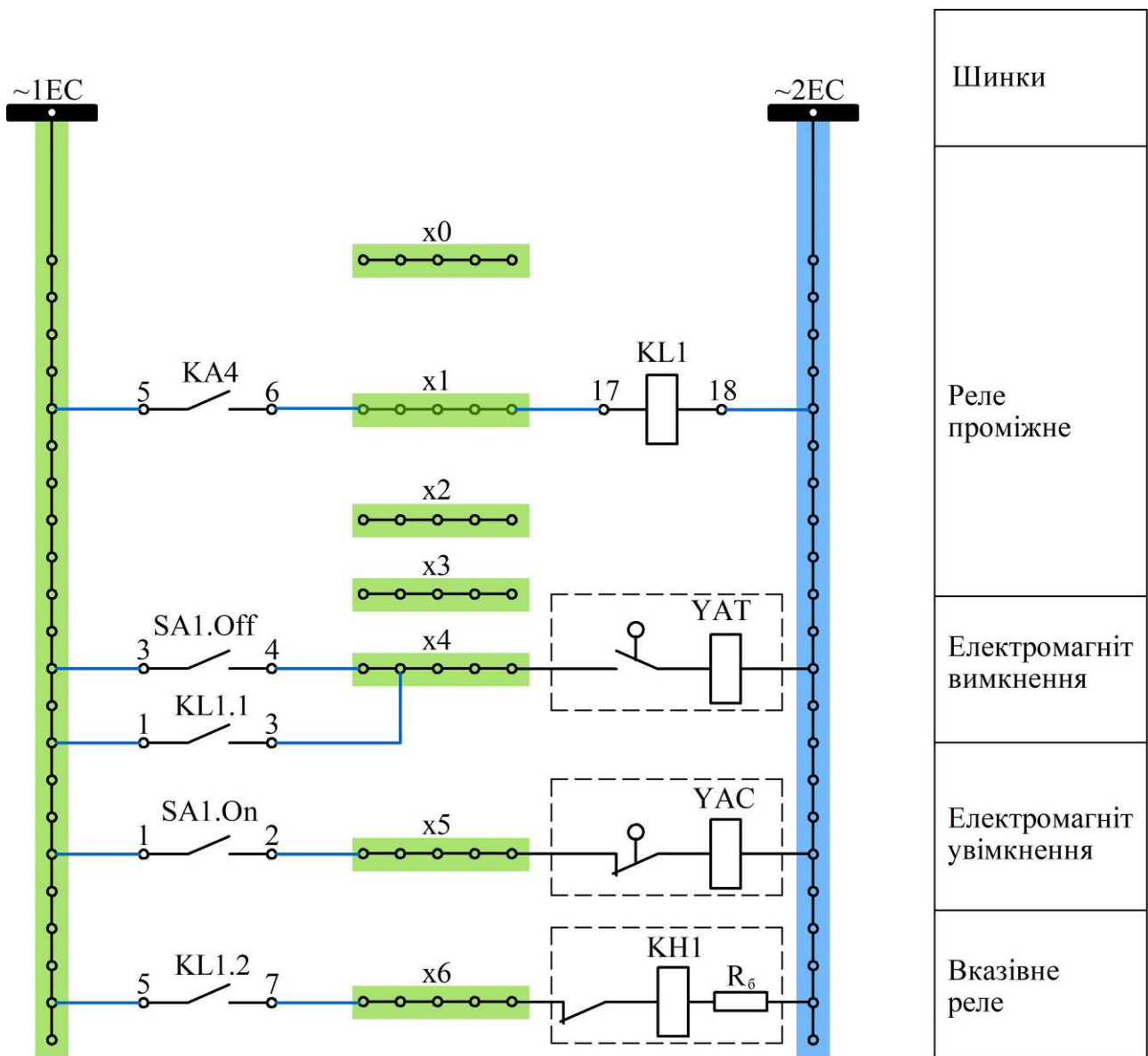
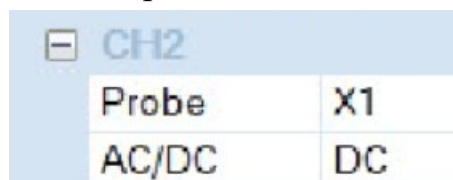
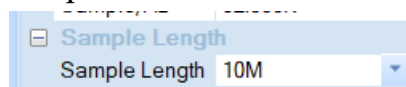


Рис. 2.18. Електрична схема з'єднань оперативних (вторинних) кіл максимального струмового захисту із залежною витримкою часу

7. Налаштувати канал CH2 для роботи з DC:



8. Встановити довжину вибірки 10M:



9. Показати викладачеві встановлені перемички. Показати зібрану схему викладачеві. Сфотографувати схему для оформлення звіту.

10. Одягнути прозору кришку на реле РС80М2-19 та закрутивши два гвинти.

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

12. Ввімкнути автоматичні вимикачі QF1–QF6 відповідно до умов досліду №1, тим самим підготовлені умови для проведення досліду.

13. Пересвідчитися, що автоматичний вимикач QF7 на окремій панелі відключено.

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

15. Ввімкнути вимикач ВРС-10 шляхом переведення перемикача SA1 в положення On. Запуститься асинхронний двигун.

16. Почати запис осцилограми, для чого слід натиснути кнопку



17. Ввімкнути автоматичний вимикач QF7, який розташовано на окремій панелі, для імітації аварійного режиму. Після витримки часу захист відключить вимикач ВРС-10.

18. Відключити автоматичний вимикач QF0, який подає напругу на стенд.

19. Відключити автоматичний вимикач QF7, який розташований на окремій панелі.

20. Зупинити запис осцилограми, повторно натиснувши кнопку «Start Record».

21. За одержаними осцилограмами визначити момент t_1 виникнення аварійного режиму та момент t_2 спрацювання реле. Занести одержані значення до табл. 2.4. Зберегти осцилограму для одного з дослідів для додавання до звіту.

22. Задати положення автоматичних вимикачів QF1–QF6 відповідно до умов наступного досліду з табл. 2.4.

23. Виконати черговий дослід відповідно до пп. 13–22.

2.2.4.3. Оброблення результатів вимірювань

1. Виконати обчислення фактичного часу $T_{\phi} = t_2 - t_1$ спрацювання захисту для кожного досліду в табл. 2.4.

2. Апроксимувати експериментальні точки характеристики спрацювання захисту залежністю виду:

$$T = \frac{1}{a + b \cdot I}, \quad (2.8)$$

де T – час спрацювання захисту, с;

l – відстань від місця встановлення захисту до точки КЗ, км;

a, b – коефіцієнти.

Для обчислення значень коефіцієнтів a, b скористатися методом найменших квадратів (додаток Б). Залежність (2.8) є нелінійною, тому неможна безпосередньо скористатися формулами, що наведені у додатку Б. Проте, залежність (2.8) можна лінеаризувати, тобто шляхом заміни змінних привести до лінійної форми. Тоді стане можливим використання аналітичних формул, що наведені у додатку Б.

Для здійснення лінеаризації введемо нові змінні:

$$x = l; \quad y = 1/T. \quad (2.9)$$

Тоді залежність (2.8) набуває лінійного вигляду:

$$y = a + b \cdot x. \quad (2.10)$$

Для обчислення значень коефіцієнтів можна використати формули (додаток Б):

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N y_i x_i \sum_{i=1}^N x_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left[\sum_{i=1}^N x_i \right]^2}, \quad (2.11)$$

$$b = \frac{N \sum_{i=1}^N y_i x_i - \sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left[\sum_{i=1}^N x_i \right]^2}. \quad (2.12)$$

Розрахунки можна виконати у Excel. Для цього зручно скористатися функціями, що наведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Функції Excel для виконання розрахунків

Функція Excel	Формула	Опис функції
=SUM()	$\sum_{i=1}^N y_i; \quad \sum_{i=1}^N x_i$	Функція SUM повертає суму аргументів (окремі значення, посилання на клітинки або діапазони).
=SUMSQ()	$\sum_{i=1}^N x_i^2$	Функція SUMSQ повертає суму квадратів аргументів.
=SUMPRODUCT()	$\sum_{i=1}^N y_i x_i$	Функція SUMPRODUCT повертає суму добутків відповідних діапазонів або масивів.

3. Створити новий файл Excel. Внести на аркуш експериментальні точки:
 l – відстань від місця встановлення захисту до точки КЗ, км;
 T_{ϕ} – фактичний час спрацювання захисту, с.

Приклад виконання наведено на рис. 2.19. Значення експериментальних точок внесено до клітинок А3:А8 та В3:В8.

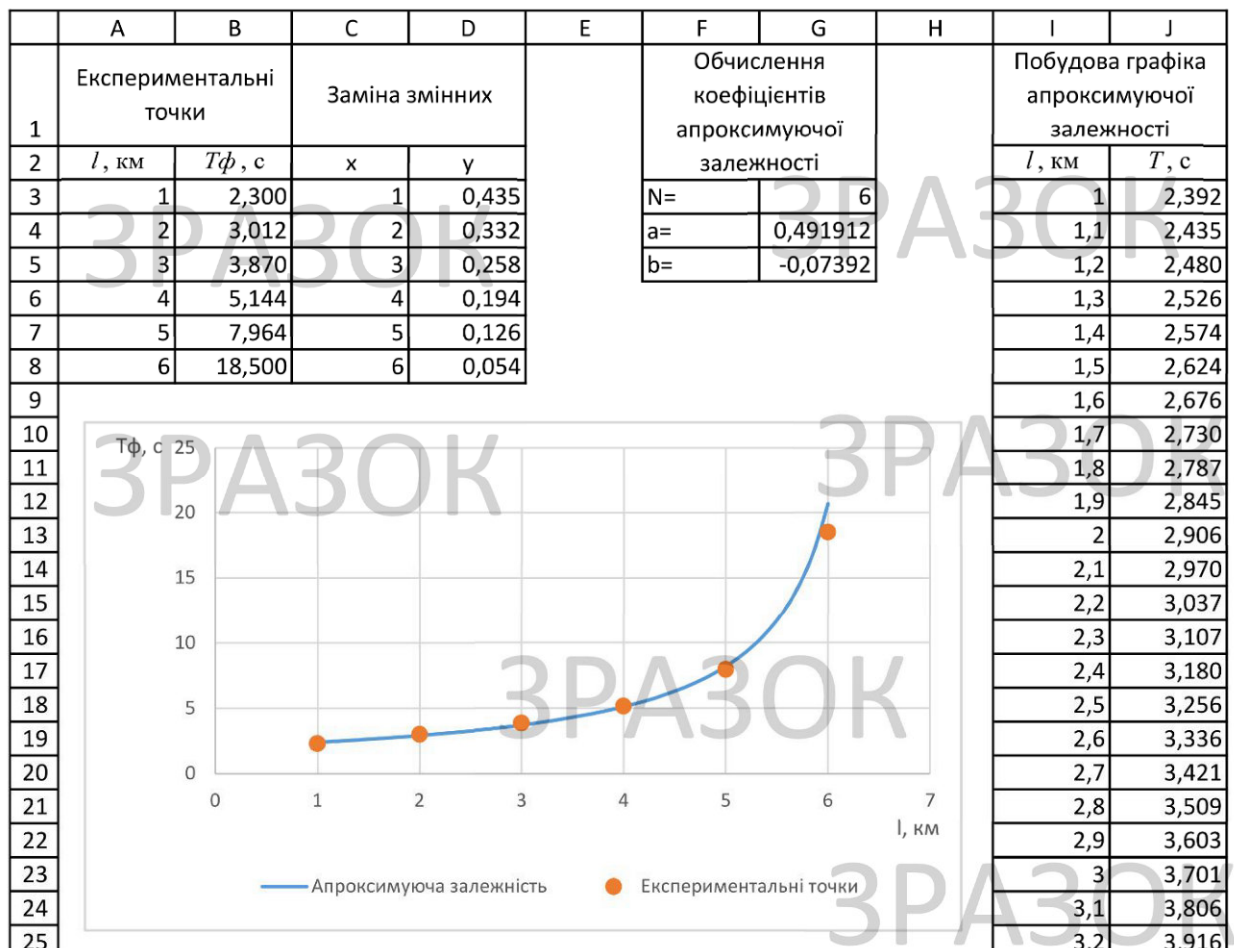


Рис. 2.19. Зразок обчислення коефіцієнтів апроксимуючої залежності та побудови графіка

4. Виконати заміну змінних відповідно до залежностей (2.9). В прикладі значення нових змінних обчислені в клітинках С3:С8, D3:D8.

5. Здійснити обчислення значень коефіцієнтів апроксимуючої залежності відповідно до (2.11), (2.12) з використанням функцій, що наведені у табл. 2.5. В прикладі загальна кількість експериментальних точок N внесена в клітинку G3. До клітинки G4 внесена формула, яка реалізує залежність (2.11), до клітинки G5 – залежність (2.12). В результаті розрахунків, для умов прикладу, одержані наступні значення коефіцієнтів: $a = 0,4919$; $b = -0,0739$.

6. Побудувати графік апроксимуючої залежності. Для цього необхідно обчислити значення функції (2.8) при зміні l від 1 до 6 км з кроком 0,1 км. Для умов прикладу такі значення l введені в клітинки I3:I53. В клітинках J3:J53

ведена формула, що реалізує залежність (2.8) при одержаних значеннях a , b . Для побудови графіка використано шаблон «Точкова діаграма з плавними лініями».

7. Додати на графік експериментальні точки. Для цього скористатися пунктом контекстного меню «Вибрати дані»–«Додати». Приклад графіка з експериментальними точками наведено на рис. 2.19.

2.2.5. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Заповнений протокол випробування схеми МСЗ, табл. 2.4.
3. Електричні схеми з'єднань струмових (первинних) кіл та оперативних (вторинних) кіл МСЗ.
4. Фото зібраної схеми на лабораторному стенді.
5. Осцилограми для одного з дослідів.
6. Вигляд аркуша Excel з обчисленням коефіцієнтів та графіком апроксимуючої залежності, на якому позначені експериментальні точки.
7. Формули в текстовому вигляді, які були введені на аркуш Excel для обчислення значень коефіцієнтів a , b .
8. Висновки з аналізом одержаних результатів.

2.2.6. Контрольні питання

1. В чому полягають особливості функціонування максимального струмового захисту із залежною витримкою часу?
2. Яка величина називається ступенем селективності МСЗ?
3. Як на принциповій схемі позначається електромагніт увімкнення вимикача?
4. Як на принциповій схемі позначається електромагніт вимкнення вимикача?
5. Чи входить до складу максимального струмового захисту із залежною витримкою часу реле часу? Відповідь обґрунтуйте.
6. Чи входить до складу максимального струмового захисту із залежною витримкою часу проміжне реле? Відповідь обґрунтуйте.
7. Що таке апроксимація?
8. В чому полягає метод найменших квадратів?
9. Що називають нев'язкою?
10. Поясніть, в чому полягає критерій методу найменших квадратів?

11. Які функції використовуються в Excel для обрахунку суми, суми квадратів, суми добутків?

12. Проаналізуйте одержаний графік та поясніть, чому зі зменшенням відстані до точки КЗ час спрацювання захисту знижується?

2.3. Лабораторна робота 6. Дослідження функціонування цифрових лічильників електроенергії

Мета: освоїти навички зчитування показників цифрових лічильників електроенергії за кодами OBIS.

2.3.1. Опис лабораторного стенда

Для виконання лабораторної роботи використовується наступне обладнання (рис. 2.20):

1. Цифровий лічильник електроенергії трансформаторного підключення типу NIK2307 ART T.1600.M2.21, умовне позначення – P11.

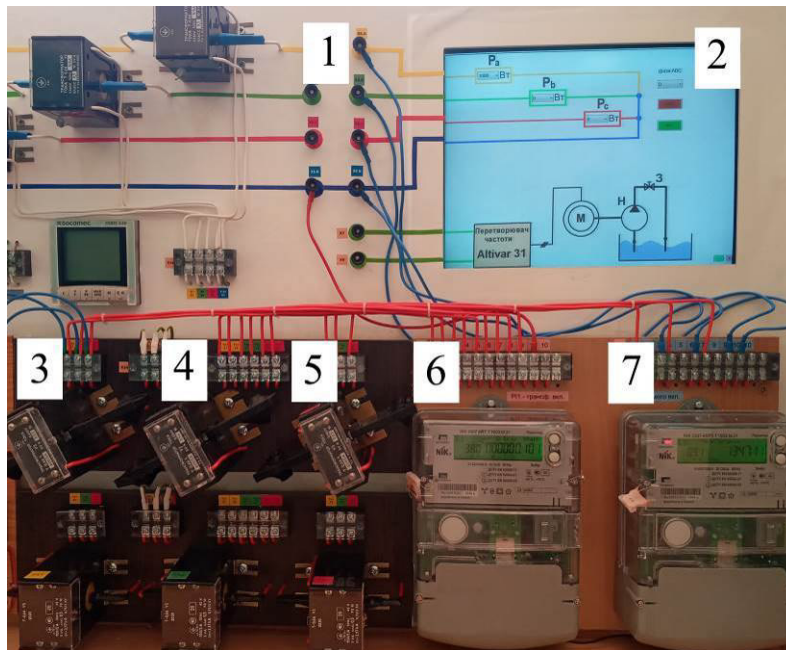


Рис. 2.20. Лабораторний стенд для дослідження функціонування цифрових лічильників:
1 – клеми трифазного регульованого навантаження; 2 – екран для керування навантаженням;
3, 4, 5 – вимірювальні трансформатори струму; 6 – лічильник електроенергії P11 трансформаторного підключення типу NIK2307 ART T.1600.M2.21; 7 – лічильник P12 прямого підключення типу NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21

2. Цифровий лічильник електроенергії прямого підключення типу NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21, умовне позначення – P12.

3. Вимірювальні трансформатори струму (по три кожного типу): Т-0,66-600/5 класу точності 0,5 S; Т-0,66-300/5 класу точності 0,5 S; Т-0,66-100/5 класу точності 0,5.

2.3.2. Завдання

Зчитати покази лічильників з використанням рідкокристалічного дисплея.

2.3.3. Порядок виконання роботи

1. Користуючись технічним описом лічильників, що доступний на сайті <https://nik.net.ua/> виробника, розшифрувати умовні позначення: лічильник РІ1 – NIK2307 ART T.1600.M2.21; лічильник РІ2 – NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21.

2. Зібрати схему лабораторного стенду в ауд. 509, рис. 2.21. Без дозволу викладача напругу на стенд не подавати.

3. З дозволу викладача ввімкнути лабораторний стенд (автоматичні вимикачі 220В, 380В). Дочекатися завантаження комп'ютера.

4. Користуючись екраном для керування навантаження (поз. 2 на рис. 2.20), подати на вузол обліку навантаження відповідно до табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Навантаження вузла обліку

Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт	Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт
1	500	400	1000	15	500	700	300
2	200	600	1100	16	300	800	500
3	600	800	600	17	800	700	600
4	700	600	700	18	700	600	900
5	800	700	400	19	400	600	1000
6	1000	700	400	20	300	1100	800
7	900	600	300	21	300	500	400
8	300	500	400	22	200	1100	1000
9	400	1100	800	23	400	1000	600
10	1100	500	300	24	800	300	900
11	200	500	800	25	600	200	500
12	800	1100	600	26	900	600	800
13	400	300	900	27	1000	800	700
14	700	600	1000	28	500	600	800

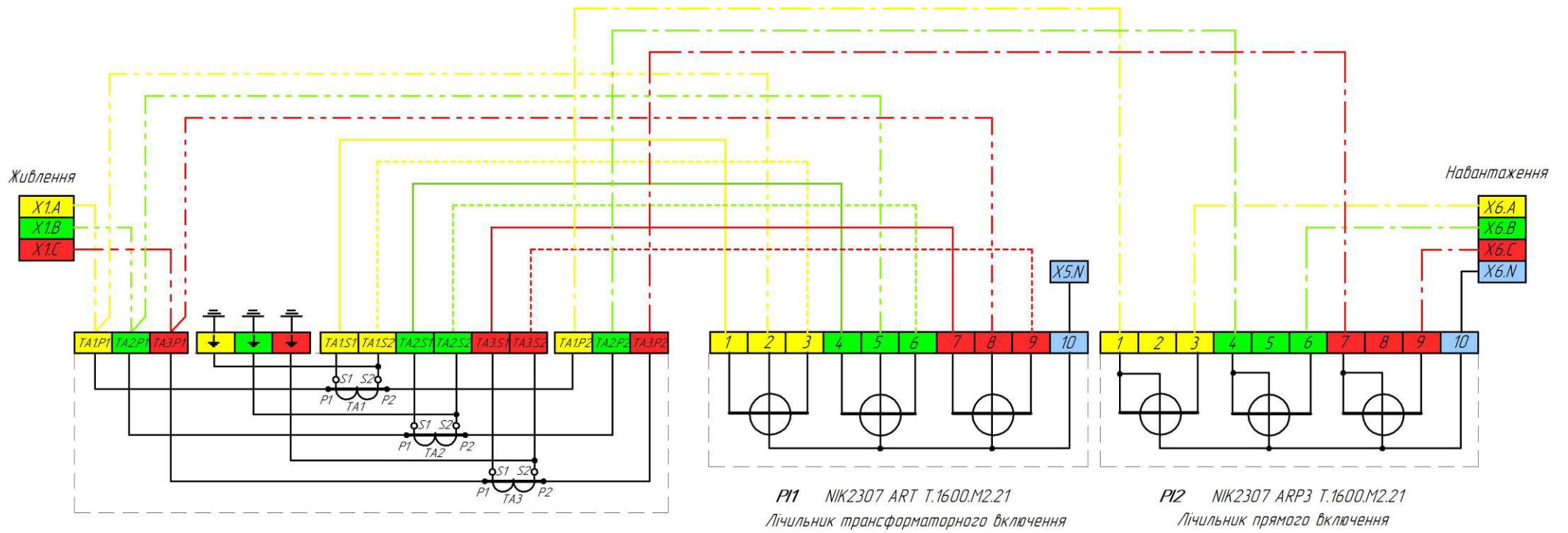


Рис. 2.21. Схема під'єднання лічильників до лабораторного станда

5. Записати покази лічильників до табл. 2.7, 2.8, користуючись рідкокристалічними дисплеями та кнопками «Перегляд», «Вибір». Натиснути кнопку «Перегляд», записати до таблиці код параметру та виміряне значення. Для переходу до підменю необхідно натиснути кнопку «Вибір». Для переходу до наступного меню натиснути «Перегляд».

6. При оформленні звіту до табл. 2.7 та 2.8 занести розшифровку кодів OBIS. Для цього можна скористатися додатком В.

Таблиця 2.7

Покази лічильника P11 трансформаторного підключення,
зняті з рідкокристалічного дисплея

OBIS	Значення параметра	Розшифрування коду OBIS

Таблиця 2.8

Покази лічильника P12 прямого підключення,
зняті з рідкокристалічного дисплея

OBIS	Значення параметра	Розшифрування коду OBIS

7. Під час оформлення звіту за даними табл. 2.8 необхідно побудувати на комплексній площині векторні діаграми потужностей по кожній фазі окремо та сумарно по всім фазам. Кожну векторну діаграму можна будувати в окремій системі координат.

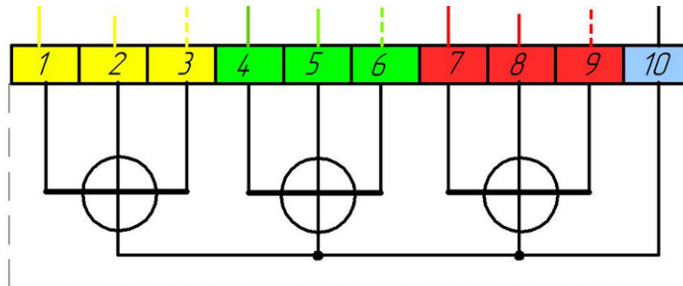
2.3.4. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Фотографія підключення лічильників на стенді.
3. Розшифровка типів лічильників.
4. Принципова схема підключення лічильників до лабораторного стенду.
5. Заповнені табл. 2.7, 2.8.
6. Векторні діаграми потужностей (для кожної фази та сумарно по всім фазам).
7. Висновки.

2.3.5. Контрольні питання

1. Для чого призначений вимірювальний трансформатор струму? Як позначаються його виводи? Який номінальний вторинний струм? Чи можна розмикати вторинну обмотку? Чому?

2. Поясніть призначення виводів трифазного лічильника електроенергії:



3. Накресліть принципову електричну схему трифазного вузла комерційного обліку електроенергії.

4. Що позначає клас точності лічильника електроенергії?

5. Проаналізуйте мінімальні вимоги до точності та функціональності засобів вимірювальної техніки, що використовуються для комерційного обліку електроенергії, відповідно до Кодексу комерційного обліку електричної енергії.

6. Дайте визначення поняттю «вузол обліку електричної енергії» відповідно до нормативних документів.

7. Дайте визначення коефіцієнту потужності. Як ця величина пов'язана з активно, реактивною та повною потужностями? Наведіть та поясніть формули.

8. Наведіть одиниці вимірювання активної, реактивної та повної потужності.

9. Наведіть одиниці вимірювання активної, реактивної та повної енергії.

10. Як пов'язані між собою потужність та електрична енергія?

11. Наведіть та проаналізуйте векторну діаграму потужностей на комплексній площині.

12. Охарактеризуйте систему ідентифікації об'єктів (OBIS).

13. Поясніть позначення квадрантів комплексної площини для активної та реактивної потужностей.

14. Як розташований вектор повної потужності на комплексній площині, якщо навантаження носить чисто активний характер (лампи розжарювання)? Чому дорівнює коефіцієнт потужності навантаження в даному випадку?

15. До чого призведе обрив нульового провідника у трифазній чотирьохпровідній системі?

16. Якщо вузол обліку використовується у складі сонячної електростанції, в яких квадрантах може бути розташований вектор активної потужності?

2.4. Лабораторна робота 7. Конфігурування цифрових лічильників NIK за допомогою програми UNIK

Мета: освоїти навички роботи з програмним забезпеченням UNIK для конфігурування цифрових лічильників.

2.4.1. Опис лабораторного стенда

Лабораторна робота виконується в ауд. 509 з використанням лічильників PI1 (NIK2307 ART T.1600.M2.21), PI2 (NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21), вимірювальних трансформаторів струму, а також оптоголовки OP-3, рис. 2.22.



Рис. 2.22. Оптоголовка OP-3

2.4.2. Завдання

Підключити лічильник до комп'ютера за допомогою оптоголовки, зчитати покази та параметри конфігурації (PI1 або PI2 – за вибором викладача).

2.4.3. Порядок виконання роботи

1. Підключити лічильники до лабораторного стенда відповідно до вказівок у попередній лабораторній роботі.

2. З дозволу викладача ввімкнути лабораторний стенд (автоматичні вимикачі 220В, 380В). Дочекатися завантаження комп'ютера.

3. Користуючись екраном для керування навантаження (поз. 2 на рис. 2.20), подати на вузол обліку навантаження відповідно до табл. 2.9.

Навантаження вузла обліку

Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт	Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт
1	500	400	1000	15	500	700	300
2	200	600	1100	16	300	800	500
3	600	800	600	17	800	700	600
4	700	600	700	18	700	600	900
5	800	700	400	19	400	600	1000
6	1000	700	400	20	300	1100	800
7	900	600	300	21	300	500	400
8	300	500	400	22	200	1100	1000
9	400	1100	800	23	400	1000	600
10	1100	500	300	24	800	300	900
11	200	500	800	25	600	200	500
12	800	1100	600	26	900	600	800
13	400	300	900	27	1000	800	700
14	700	600	1000	28	500	600	800

4. Встановити на комп'ютері програму UNIK (<https://nik.net.ua/>).

5. Підключити оптоголовку до лічильника та до USB порта.

6. З використанням панелі управління визначити номер віртуального COM порту, до якого підключено оптоголовку, рис. 2.23.

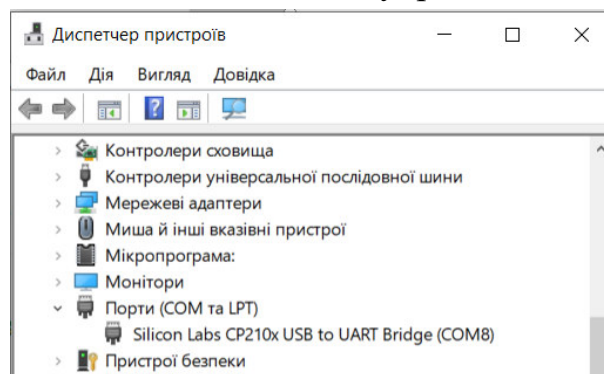
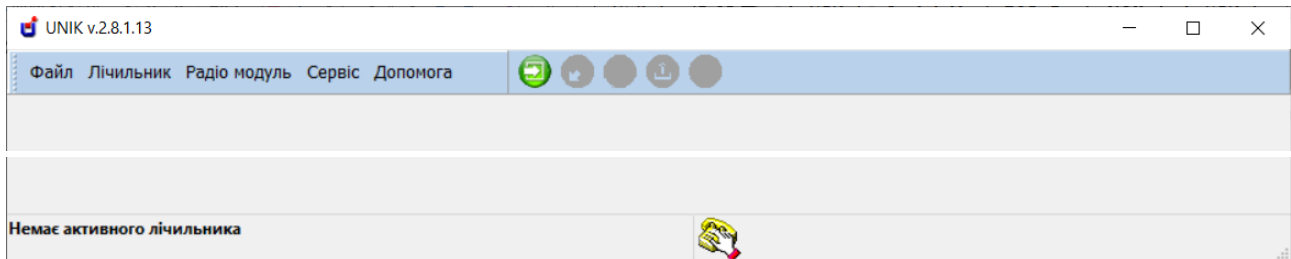


Рис. 2.23. Відображення оптоголовки ОР-3 в диспетчері пристроїв як віртуальний послідовний пристрій, підключений до COM8

7. Запустити програму UNIK. Для входу вказати Ім'я користувача Admin, поле Пароль не заповнювати:

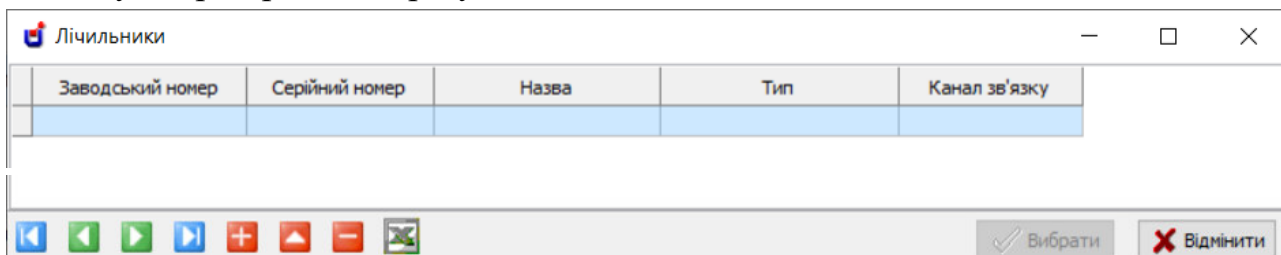
8. Відкриється головне вікно програми:




9. Для під'єднання до лічильника натискаємо кнопку З'єднати. В результаті з'являється вікно «Підключення до лічильника»:

2.4.3.1. Додавання нового лічильника

1. Для додавання нового лічильника в полі «Вибір лічильника» необхідно натиснути три крапки. В результаті з'явиться вікно «Лічильники»:



2. Для додавання до переліку нового лічильника натискаємо кнопку

«Додати» . Відкривається вікно «Додати Лічильники»:

Дані лічильника

Заводський номер:

Серійний номер:

Назва:

Тип лічильника:

Адреса лічильника в системі

Старший: Молодший:

00000000

Налаштування з'єднання

Канал зв'язку:

Ім'я користувача:

Пароль:

Підтримка зв'язку з періодом (сек.):

Підтримка DLMS

OK Відхилити

3. Заповнити номери лічильника, назву та вибрати тип лічильника. Для лічильника РІ1:

Редагувати Лічильники

Дані лічильника

Заводський номер: 10011625

Серійний номер: 2307100116252018

Назва: PI1

Тип лічильника: НіК2307

Адреса лічильника в системі

Старший: Молодший:

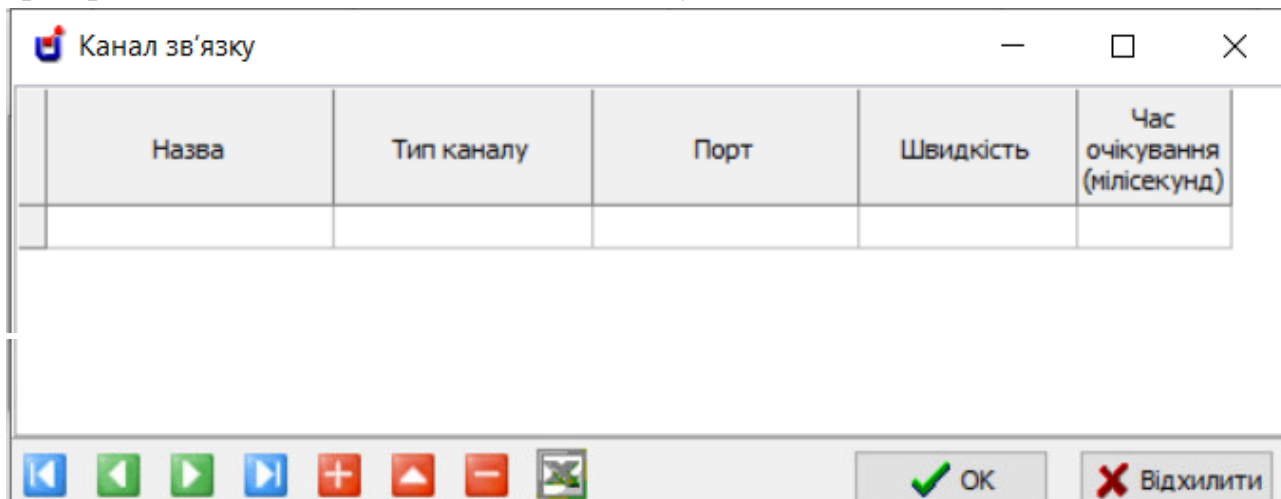
00000000


Для лічильника РІ2:

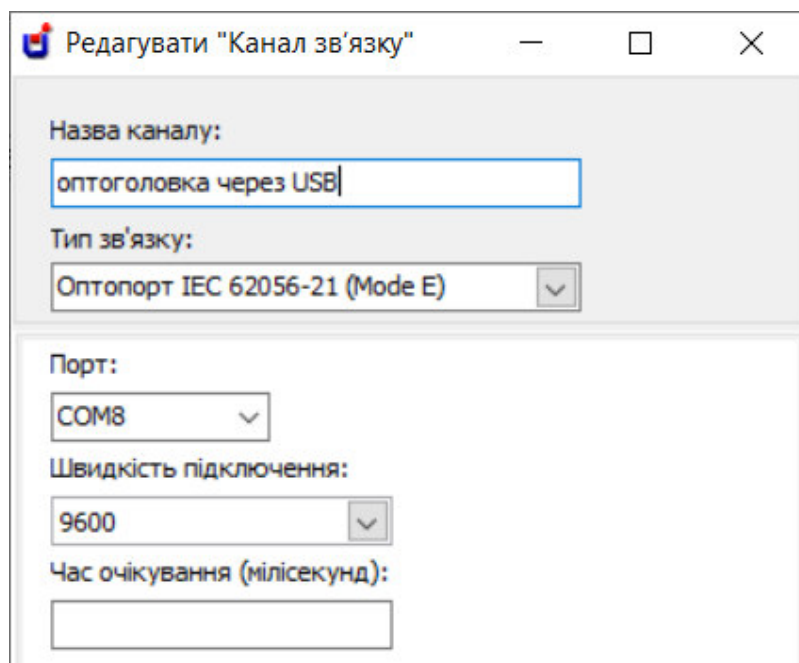
Заводський номер 10011753,

Серійний номер 2307100117532018

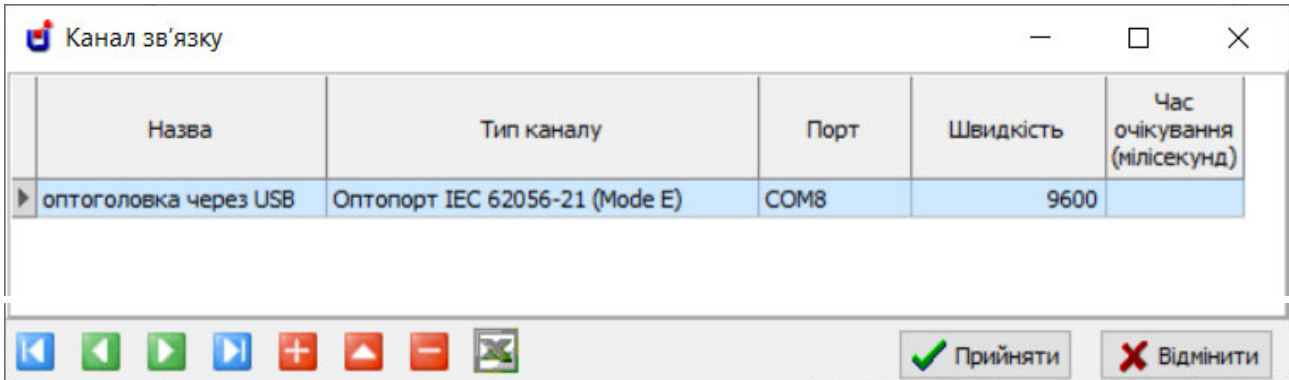
4. В розділі «Налаштування з'єднання» в полі «Канал зв'язку» натиснути три крапки. З'явиться вікно каналів зв'язку:



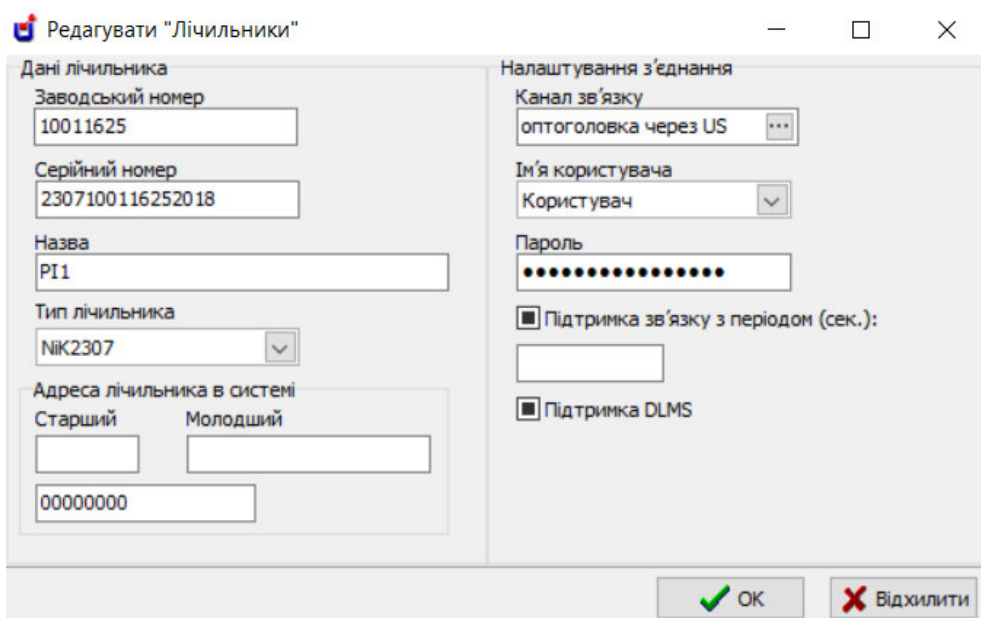
5. Додати новий канал . З'явиться вікно «Редагувати Канал зв'язку», де налаштувати з'єднання через оптопорт:



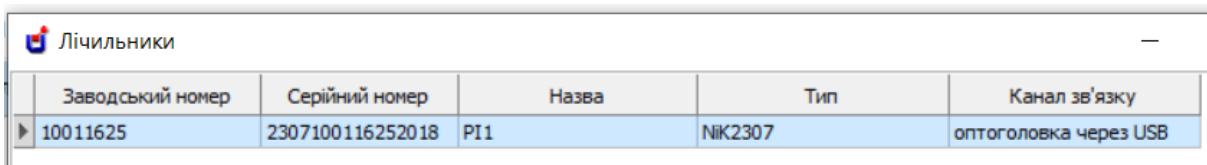
6. Створений канал зв'язку з'явиться в переліку:



7. У вікні «Канал зв'язку» натискаємо «Прийняти». Після цього відбудеться повернення до вікна «Редагувати Лічильники». У полі «Ім'я користувача» обрати «Користувач». Ввести пароль 1111111111111111 (всі «1»). Натиснути ОК:

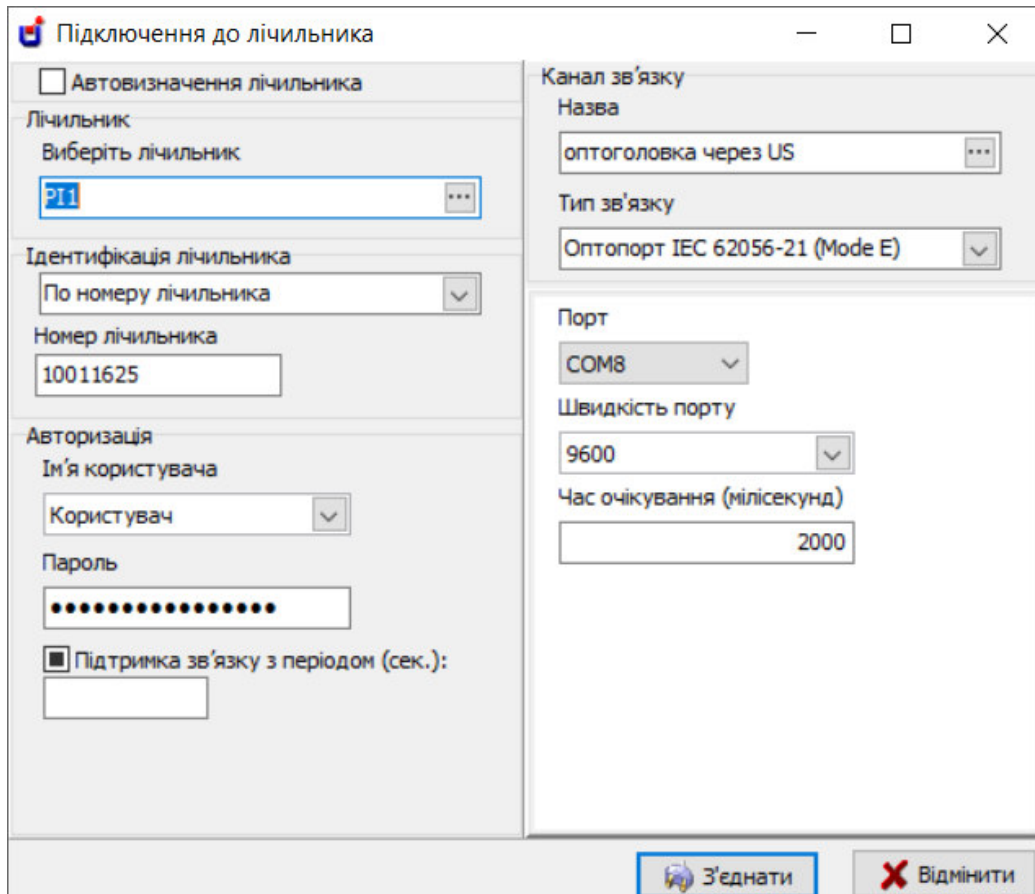


8. Заданий лічильник з'явиться у переліку доступних лічильників:

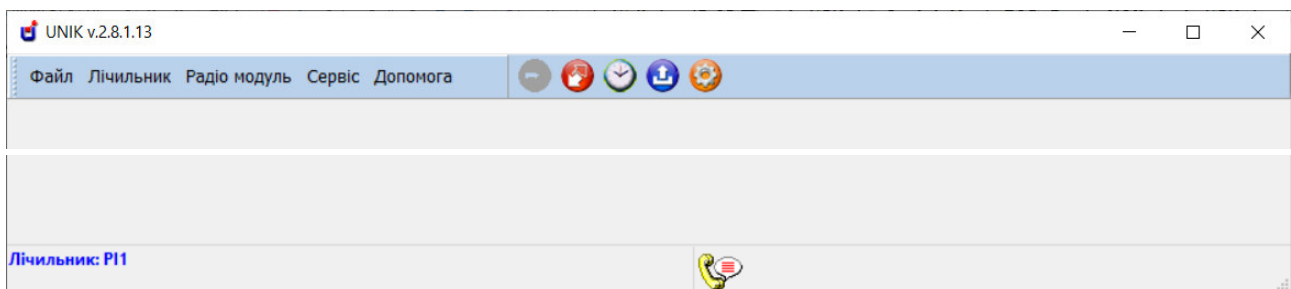


2.4.3.2. З'єднання з лічильником

1. У вікні «Лічильники» обирати лічильник та натиснути «Вибрати», після чого відображається вікно «Підключення до лічильника», де натиснути «З'єднати»:



2. Після підключення до обраного лічильника головне вікно програми прийме вигляд:

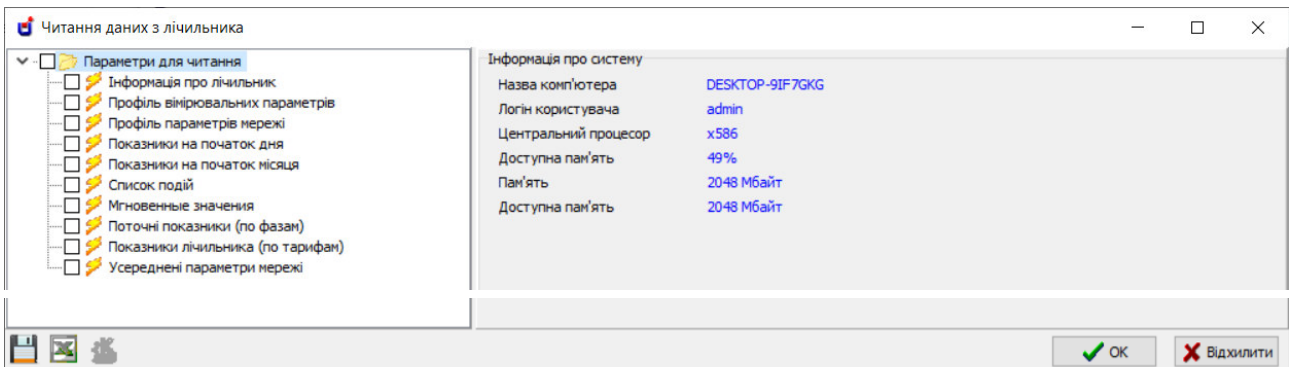


2.4.3.3. Читання даних з лічильника

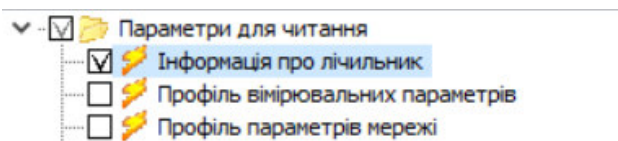
1. Для читання даних з лічильника в головному вікні натискаємо кнопку



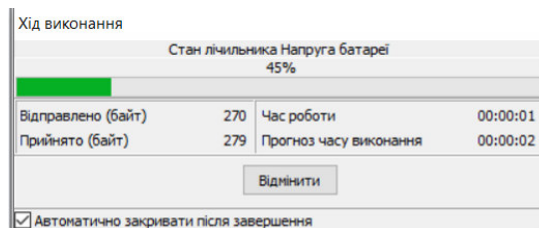
. В результаті з'явиться вікно «Читання даних з лічильника»:



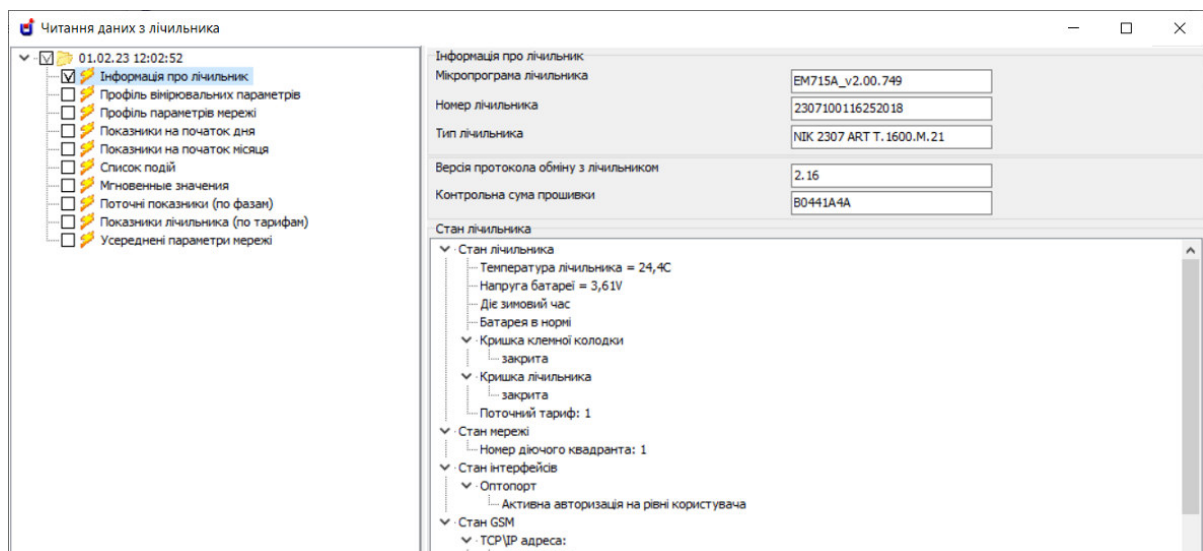
2. Зі списку в лівій частині вікна слід обрати групу параметрів, яку необхідно прочитати:



і натиснути кнопку «Читання». Під час читання даних відображається вікно стану:



3. Після закінчення читання в правій частині вікна буде відображено зчитані значення:



4. Необхідно зчитати інформацію, що відповідає кожній групі параметрів, і навести у звіті вигляд екрану зі зчитаними даними. Можливо експортувати дані в Excel.

2.4.4. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Вигляд головного вікна програми UNIK для кожної групи зчитаних параметрів (інформація про лічильник, профіль вимірювальних параметрів, профіль параметрів мережі тощо), або документи Excel.
3. Аналіз інформації, що відповідає кожній групі параметрів.
4. Висновки.

2.4.5. Контрольні запитання

1. Чим відрізняються дані, що зчитуються з лічильника у «Профілі вимірюваних параметрів», від даних «Профіля параметрів мережі»?
2. За допомогою яких інтерфейсів можуть зчитуватися дані з лічильника, що розглядався?
3. Охарактеризуйте призначення та принцип дії АСКОЕ.
4. Охарактеризуйте призначення та принцип дії передової вимірювальної інфраструктури (Advanced Metering Infrastructure, АМІ).
5. Які відмінності цифрового та розумного лічильника електроенергії?
6. Наведіть характеристику розумних лічильників електроенергії (протоколи, керування даними, безпека тощо).
7. Охарактеризуйте призначення, особливості побудови та функціонування розумної енергосистеми (Smart grid).
8. Охарактеризуйте оптопорт для обміну даними з лічильниками електроенергії.
9. Охарактеризуйте функції АТ «Оператор ринку».
10. Користуючись сайтом АТ «Оператор ринку» <https://www.oree.com.ua/>, встановити, які ціни на електроенергію були в Україні за останню добу.
11. Охарактеризуйте ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity).

2.5. Лабораторна робота 8. Дослідження функціонування цифрового аналізатора параметрів мережі DIRIS A40

Мета: освоїти навички вимірювання параметрів електромережі за допомогою аналізатора DIRIS A40.

2.5.1. Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд включає (рис. 2.24):

1. Вимірювальні трансформатори струму Т-0,66-5/5 – 3 шт.
2. Цифровий аналізатор параметрів мережі DIRIS A40.
3. Регульоване активне навантаження.



Рис. 2.24. Лабораторний стенд для дослідження функціонування цифрового аналізатора параметрів мережі DIRIS A40

2.5.2. Завдання

Здійснити вимірювання параметрів навантаження за допомогою аналізатора DIRIS A40. Побудувати векторні діаграми.

2.5.3. Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему лабораторного стенда відповідно до рис. 2.25. Сфотографувати схему стенда для додавання фотографії до звіту.

2. Надати схему викладачу на перевірку. З дозволу викладача подати на стенд напруги 220 В та 380 В шляхом ввімкнення відповідних автоматичних вимикачів.

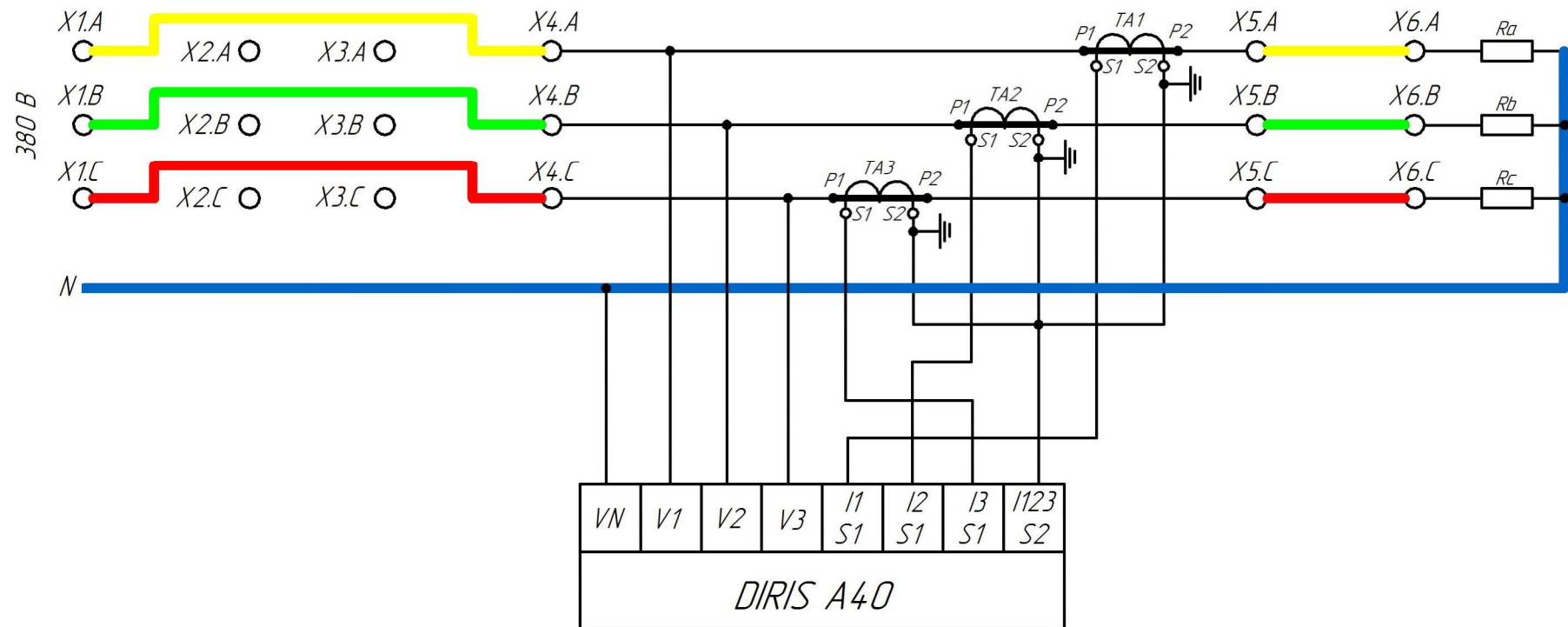


Рис. 2.25. Принципова електрична схема лабораторного стенду

3. Ввімкнути комп'ютер, запустити програму керування навантаженням.

2.5.3.1. Конфігурування аналізатора

1. Для входу до режиму програмування необхідно затиснути кнопку PROG на 3 с. На екрані з'явиться напис CODE і цифри 000.

Необхідно ввести код доступу, заводський код 100. Для цього натиснути кнопку ►, старший розряд коду почне блимати. Для встановлення цифри 1 натиснути кнопку ▲. Для підтвердження коду натиснути — (H).



2. На екрані відобразиться пункт меню (net) для налаштування типу електромережі та схеми підключення трансформаторів струму. Доступні типи конфігурацій наведені у додатку Г. Лабораторному стенду відповідає конфігурація типу 4NBL.

Для переходу до наступного пункту меню слід натиснути ▼.



3. Пункт меню St призначено для налаштування типу (коефіцієнта трансформації) вимірювальних трансформаторів струму. Необхідно встановити тип 5/5, що відповідає трансформаторам лабораторного стенду.



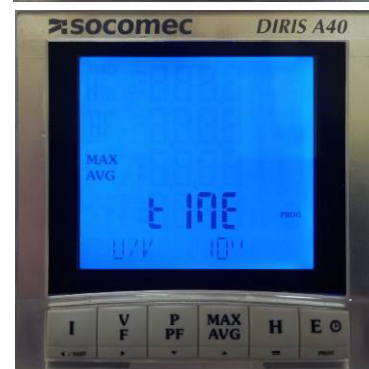
4. Пункт меню Ut призначено для налаштування наявності та параметрів вимірювальних трансформаторів напруги. За відсутності таких пристроїв необхідно встановити значення NO.



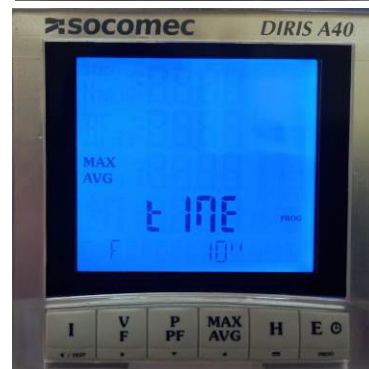
5. Пункт меню tIME 4I – час інтеграції середнього і максимального значень струму.



6. Пункт меню tIME U/V – час інтеграції середнього і максимального значень напруги.



7. Пункт меню tIME F – час інтеграції середнього і максимального значень частоти.



8. Пункт меню tIME P/Q/S – час інтеграції середнього і максимального значень потужностей.



9. Пункт меню rSET – скидання.



10. Пункт меню bACLI – налаштування підсвічування дисплея (може вмикатися при максимальному струмі, максимальній напрузі або за іншою умовою).



11. Лічильник відпрацьованого часу.



12. Пункти меню SER1, SER2 – серійні номери.



13. Пункт меню SOFT – версія програмного забезпечення.



14. Для виходу з режиму налаштування натиснути кнопку PROG на 3 с.

2.5.3.2. Зняття показів

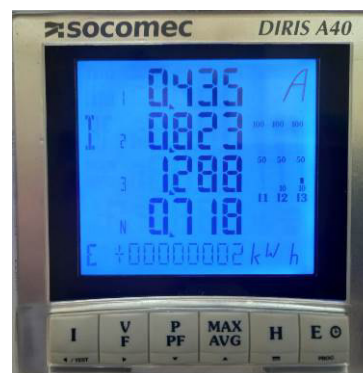
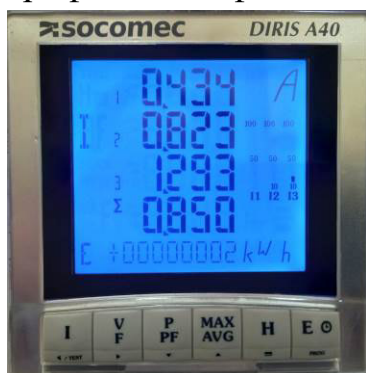
1. Встановити величини навантаження фаз відповідно до табл. 2.10.

Таблиця 2.10

Навантаження фаз

Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт	Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт
1	500	400	1000	15	500	700	300
2	200	600	1100	16	300	800	500
3	600	800	600	17	800	700	600
4	700	600	700	18	700	600	900
5	800	700	400	19	400	600	1000
6	1000	700	400	20	300	1100	800
7	900	600	300	21	300	500	400
8	300	500	400	22	200	1100	1000
9	400	1100	800	23	400	1000	600
10	1100	500	300	24	800	300	900
11	200	500	800	25	600	200	500
12	800	1100	600	26	900	600	800
13	400	300	900	27	1000	800	700
14	700	600	1000	28	500	600	800

2. *Вимірювання струмів.* Натиснути кнопку **I**. Записати до табл. 2.11 струми фаз і струм нейтралі N. Повторно натискаючи кнопку **I** відображається середнє арифметичне фазних струмів (Σ):



Записати результати вимірювання струмів до табл. 2.11.

3. *Вимірювання напруг.* Натиснути кнопку **V/F**. Натискаючи цю кнопку, на екрані по чергово відображаються лінійні та фазні напруги і частота:



лінійні напруги



фазні напруги

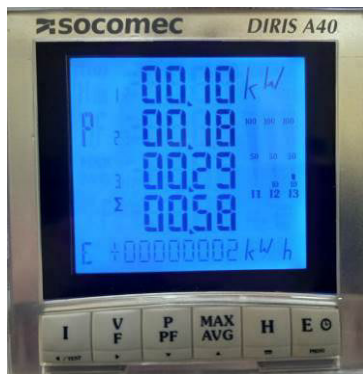
Записати результати до табл. 2.11.

Таблиця 2.11

Результати вимірювань

Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт
Параметр	Значення	Параметр	Значення
I_1 , А		P_3 , кВт	
I_2 , А		P_Σ , кВт	
I_3 , А		Q_1 , кВАр	
\bar{I} , А		Q_2 , кВАр	
I_N , А		Q_3 , кВАр	
U_1 , В		Q_Σ , кВАр	
U_2 , В		S_1 , кВА	
U_3 , В		S_2 , кВА	
U_{12} , В		S_3 , кВА	
U_{23} , В		S_Σ , кВА	
U_{31} , В		$\cos\varphi_1$	
f , Гц		$\cos\varphi_2$	
P_1 , кВт		$\cos\varphi_3$	
P_2 , кВт		$\overline{\cos\varphi}$	

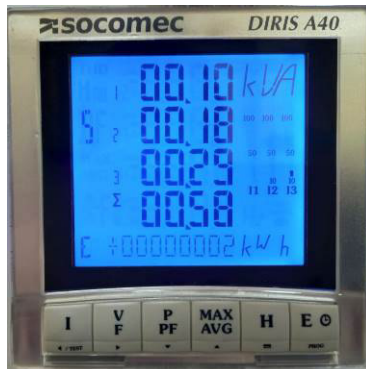
4. Вимірювання потужностей та $\cos\varphi$. Натиснути кнопку P/PF. Натискаючи цю кнопку, на екрані по чергово відображаються значення активної потужності (по фазам і сумарна), реактивної потужності (по фазам і сумарна), повної потужності (по фазам і сумарна), коефіцієнта потужності:



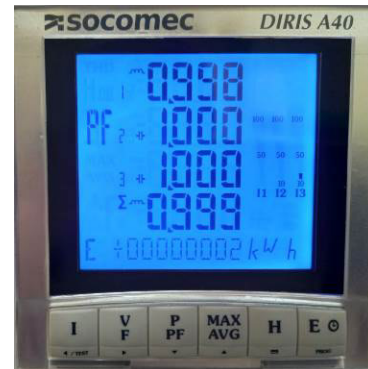
активна потужність



реактивна потужність



повна потужність



коефіцієнт потужності

Записати результати до табл. 2.11.

5. Максимальні та усереднені значення величин відображаються після натискання кнопки MAX/AVG.

6. Характеристики гармонійного складу напруг та струмів відображаються після натискання кнопки H.

7. Побудувати векторну діаграму струмів та діаграму потужностей. Приклад наведено у додатку Д.

2.5.4. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Короткі відомості про аналізатор DIRIS A40.
3. Фотографія схеми стенда.
4. Принципова схема лабораторного стенда.
5. Заповнена табл. 2.11 з результатами вимірювань.
6. Розрахунки та побудова векторних діаграм відповідно до додатку Д (табл. Д.2, рис. Д.1, Д.2).
7. Висновки.

2.5.5. Контрольні запитання

1. Назвіть призначення та основні характеристики аналізатора DIRIS A40.
2. Назвіть функціональні можливості DIRIS A40.
3. Проаналізуйте схеми підключення аналізатора.
4. Які вимірювальні пристрої можуть використовуватися для підключення аналізатора для електромережі? Які використовувалися в роботі?
5. Яка схема з'єднання навантаження лабораторного стенда? Які були виміряні лінійні та фазні напруги? Чому виникає необхідність вимірювати лінійні та фазні напруги?
6. Що характеризує коефіцієнт потужності?
7. Накресліть на комплексній площині трикутних потужностей та поясніть, чому відповідають його сторони?
8. Поясніть порядок побудови векторної діаграми струмів? Яким чином побудовано вектор струму нейтралі?
9. Для чого у схемі, що розглядається, призначено нульовий провід?
10. Що відбудеться, якщо у трифазному колі, що розглядалося, розімкнути нульовий провід? Чи зміняться значення параметрів? Яких?

2.6. Лабораторна робота 9. Дослідження функціонування дистанційного релейного захисту ЛЕП 110 кВ при трифазному короткому замиканні

Мета: дослідити функціонування дистанційного триступеневого релейного захисту з коловими характеристиками, що проходять через початок координат, в мережі напругою 110 кВ при симетричних коротких замиканнях.

2.6.1. Короткі теоретичні відомості

В основі функціонування дистанційного релейного захисту лежить принцип контролю величини повного опору (імпедансу). Така величина може бути обрахована як відношення вектора напруги до вектора струму. В аварійному режимі імпеданс ділянки електромережі від місця розміщення захисту до точки короткого замикання є суттєво меншим від імпедансу лінії та навантаження в нормальному режимі. В разі виникнення замикання величина фактичного імпедансу пропорційна відстані (дистанції) до аварійної точки, оскільки питомий імпеданс відомий. Дистанційний захист має відносну селективність.

В якості вимірного органу у складі такого захисту використовують реле мінімального опору (або його програмну модель у цифрових терміналах). Таке

реле обраховує відношення вектору $\dot{U}_{кз}$ напруги на шинах підстанції до вектору струму $\dot{I}_{кз}$ (рис. 2.26). Одержана величина і є імпедансом ділянки лінії довжиною $l_{кз}$:

$$\underline{Z}_p = \frac{\dot{U}_{кз}}{\dot{I}_{кз}} = \underline{Z}_{кз} = \underline{Z}_0 \cdot l_{кз}, \quad (2.13)$$

де \underline{Z}_0 – питомий імпеданс лінії.

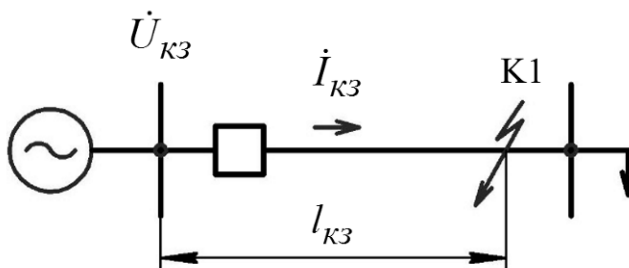


Рис. 2.26. Схема електромережі, що пояснює принцип дії дистанційного захисту

Виміряна величина (2.13) є комплексною, тому говорити про уставку спрацювання дистанційного захисту некоректно. Умова спрацювання визначається замкненою лінією на комплексній площині, яка називається характеристикою спрацювання. При потраплянні фактичного імпедансу до характеристики спрацювання реле мінімального опору спрацює. Характеристики спрацювання можуть мати форму кола. Зокрема, на рис. 2.27 наведена колова характеристика, яка проходить через початок координат та зміщена в I квадрант. Остання властивість визначає спрацювання реле при напрямку потужності від шин до лінії. Така характеристика описується імпедансом спрацювання реле $\underline{Z}_{c.p}$ та кутом максимальної чутливості $\varphi_{p.m.ч}$.

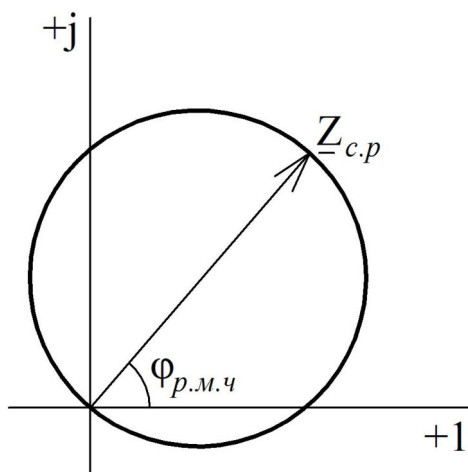


Рис. 2.27. Колова характеристика реле мінімального опору, що проходить через початок координат

Дистанційний захист найчастіше є триступеневим з відносною селективністю. Кожен ступінь характеризується довжиною ділянки лінії, яка охоплюється цим ступенем, та часом його спрацювання, рис. 2.28.

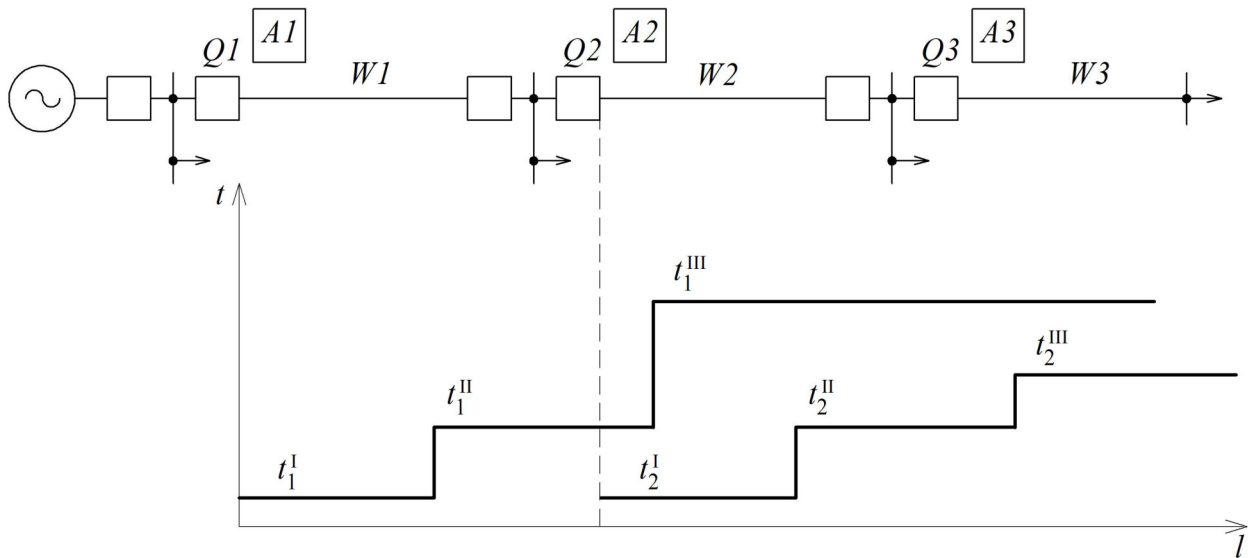


Рис. 2.28. Характеристики окремих ступенів дистанційного захисту

2.6.2. Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд (рис. 2.29) включає мнемонічний щит та екран. На мнемонічному щиті зображена принципова схема досліджуваної електромережі, структурна схема дистанційного релейного захисту, розміщені елементи індикації та керування (рис. 2.30). На екрані відображаються графіки зміни параметрів, що характеризують функціонування електромережі та релейного захисту, а також додаткова інформація.

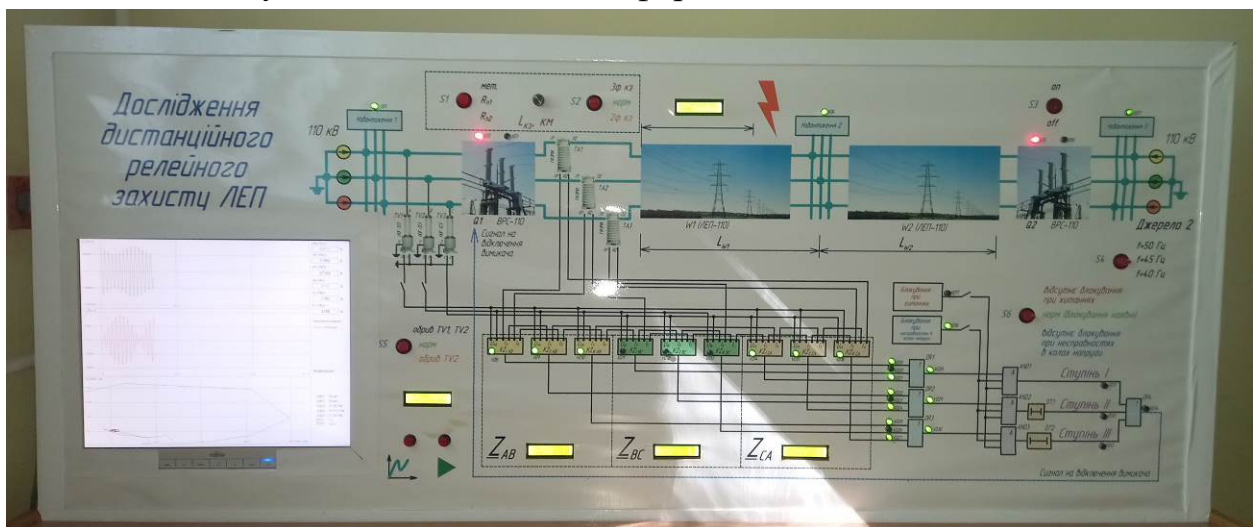


Рис. 2.29. Лабораторний стенд для дослідження дистанційного захисту

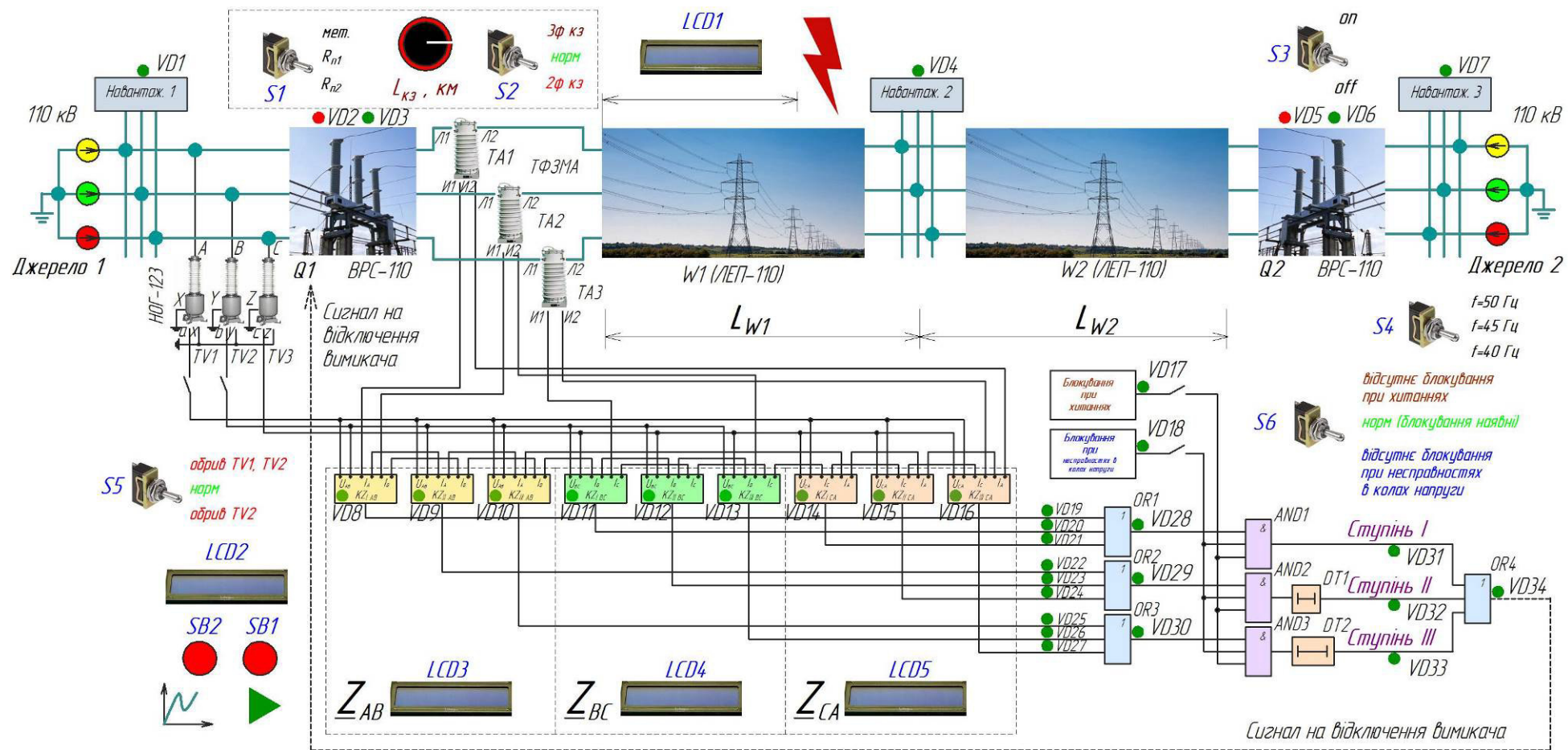


Рис. 2.30. Розміщення елементів керування та індикації на мнемонічному щиті лабораторного стенду

Лабораторний стенд моделює функціонування електричної мережі напругою 110 кВ двостороннього живлення (рис. 2.30). Від джерела 1 живиться підстанція 1, до збірних шин якої приєднано навантаження 1. Від джерела 2 одержує живлення підстанція 3, до якої приєднано навантаженням 3. Через вимикач Q1 до шин підстанції 1 приєднана лінія електропередачі W1. Вимикач Q2 приєднує лінію W2 до підстанції 3. Лінії W1 і W2 приєднані до підстанції 2 з навантаженням 2. Моделюються лінії електропередачі з проводів АС 120/19 (питомі параметри $R_{num}=0,249$ Ом/км; $X_{num}=0,422$ Ом/км). Власний час відключення вимикача Q1 встановлено $t_{Q1} = 0,1$ с.

Вимірювання фазної напруги на шинах підстанції 1 здійснюють вимірювальні трансформатори напруги TV1-TV3 (типу НОГ-123). Струм лінії W1 вимірюється трансформаторами струму ТА1-ТА3 (типу ТФЗМА), які встановлені на виході вимикача Q1.

Модель дистанційного релейного захисту включає:

- реле мінімального опору I, II та III ступенів для кожної пари фаз (для фаз АВ – $KZ_{IAB}, KZ_{IIAB}, KZ_{IIIAB}$; для фаз ВС – $KZ_{IVC}, KZ_{IIBC}, KZ_{IIIBC}$; для фаз СА – $KZ_{ICA}, KZ_{IIICA}, KZ_{IIICA}$);
- блокування від хитань;
- блокування при несправностях в колах напруги;
- логічна схема захисту, що виконана на логічних елементах (OR1–OR4, AND1–AND3);
- ланки затримки другого ступеня DT1 ($t^{II} = 1$ с) та третього ступеня DT2 ($t^{III} = 2,5$ с).

Реле мінімального опору мають колові характеристики, що проходять через початок координат (рис. 2.31). Кут максимальної чутливості кожного реле опору $\varphi_{p.m.c} = 65^\circ$. Ступінь I захисту спрацьовує без витримки часу, ступінь II має витримку часу $DT1 = 1$ с, ступінь III має витримку часу $DT2 = 2,5$ с. Значення модулів максимального імпедансу спрацювання реле мінімального опору ступеня I (величина Z_{sp1}), ступеня 2 (Z_{sp2}) і ступеня 3 (Z_{sp3}) задаються під час налаштувань параметрів захисту.

На мнемонічному щиті розміщені рідкокристалічні дисплеї LCD1–LCD5, які відображають поточний стан моделі, абсолютні величини та аргументи імпедансів мережі. Світлодіоди VD1–VD34 ілюструють стан елементів мережі та логічні сигнали захисту. За допомогою тумблерів S1–S6 та кнопок SB1, SB2 здійснюється налаштування режиму електромережі. Для задавання відстані від місця встановлення захисту до точки короткого замикання використовується

потенціометр Lкз. Призначення органів керування та елементів індикації наведено в табл. 2.12.

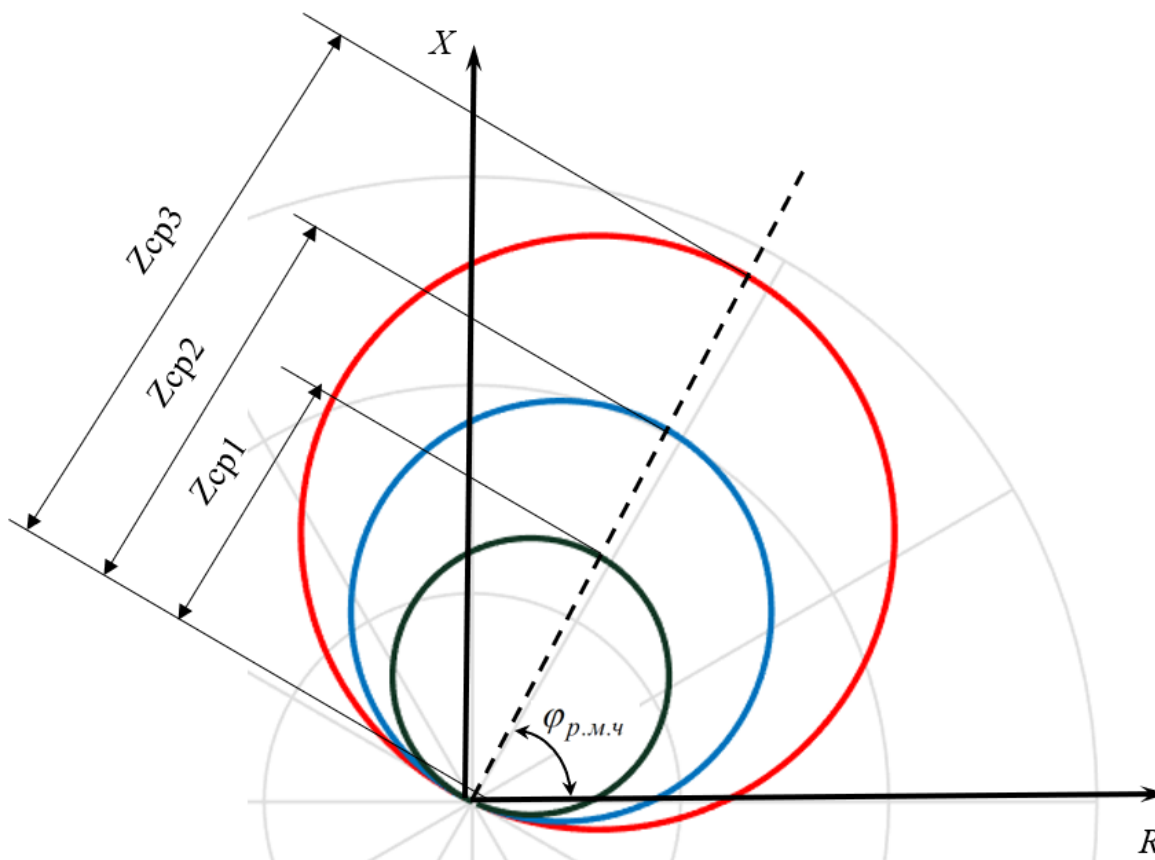



Рис. 2.31. Колові характеристики реле опору для трьох ступенів дистанційного захисту

Таблиця 2.12

Призначення органів керування та елементів індикації мнемонічного щита

Позначення	Призначення
Органи керування – тумблери	
S1	Перехідний опір в місці короткого замикання: – «мет» – металеве коротке замикання, перехідний опір нульовий; – «Rp1» – коротке замикання через перехідний опір 1 Ом; – «Rp2» – коротке замикання через перехідний опір 5 Ом.
S2	Тип короткого замикання: – «3 ф кз» – трифазне коротке замикання; – «норм» – коротке замикання відсутнє, нормальний режим; – «2 ф кз» – коротке замикання між фазами А і В.
S3	Стан високовольтного вимикача Q2: – «on» – вимикач ввімкнений; – «off» – вимикач відключений.

S4	Частота напруги джерела 2: «f=50 Гц»; «f=45 Гц»; «f=40 Гц».	
S5	Обрив кіл вимірювальних трансформаторів напруги: – «обрив TV1, TV2» – обрив кіл TV1 і TV2; – «норм» – нормальне функціонування вимірювальних трансформаторів напруги; – «обрив TV2» – обрив кіл TV2.	
S6	Наявність блокувань: – «відсутнє блокування при хитаннях», при цьому блокування при несправностях в колах напруги наявне; – «норм» – наявні блокування спрацювання захисту при хитаннях та несправностях кіл напруги; – «відсутнє блокування при несправностях в колах напруги», при цьому блокування при хитаннях наявне.	
Органи керування – кнопки		
SB1	Кнопка «▶» запуску досліду.	
SB2	Кнопка « \sqrt{N} » відображення додаткових графіків на екрані	
Органи керування – потенціометр		
Lкз	Задавання відстані від місця встановлення захисту до місця короткого замикання	
Елементи індикації – дисплеї		
LCD1		Відображення величини перехідного опору в місці замикання, відстані від місця встановлення захисту до аварійної точки, типу короткого замикання
LCD2		Відображення поточного режиму роботи стенда
LCD3 - LCD5		Відображення модуля та аргументу імпедансів Z_{AB} , Z_{BC} , Z_{CA} відповідно
Елементи індикації – світлодіоди		
VD1, VD4, VD7	Функціонування навантажень 1, 2, 3 відповідно	
VD2 (черв.)	Ввімкнений стан високовольтного вимикача Q1	

VD3 (зел.)	Відключений стан високовольтного вимикача Q1
VD5 (черв.)	Ввімкнений стан високовольтного вимикача Q2
VD6 (зел.)	Відключений стан високовольтного вимикача Q2
VD8- VD10	Спрацювання реле мінімального опору I, II та III ступенів фаз AB (KZ _{IAB} , KZ _{IIAB} , KZ _{IIIAB})
VD11- VD13	Спрацювання реле мінімального опору I, II та III ступенів фаз BC (KZ _{IBC} , KZ _{IIBC} , KZ _{IIIBC})
VD14- VD16	Спрацювання реле мінімального опору I, II та III ступенів фаз CA (KZ _{ICA} , KZ _{IICA} , KZ _{IIICA})
VD17	Сигнал блокування роботи захисту при хитаннях
VD18	Сигналу блокування роботи захисту при несправностях в колах напруги
VD19- VD21	Спрацювання реле мінімального опору I ступеня фаз AB (KZ _{IAB}), BC (KZ _{IBC}), CA (KZ _{ICA}). Дублюють стан світлодіодів VD8, VD11, VD14, відповідно
VD22- VD24	Спрацювання реле мінімального опору II ступеня фаз AB (KZ _{IIAB}), BC (KZ _{IIBC}), CA (KZ _{IIICA})
VD25- VD27	Спрацювання реле мінімального опору III ступеня фаз AB (KZ _{IIIAB}), BC (KZ _{IIIBC}), CA (KZ _{IIICA})
VD28	Спрацювання I ступеня захисту без урахування стану блокувань
VD29	Спрацювання II ступеня захисту без урахування стану блокувань
VD30	Спрацювання III ступеня захисту без урахування стану блокувань
VD31	Спрацювання I ступеня захисту з урахуванням стану блокувань
VD32	Спрацювання II ступеня захисту з урахуванням стану блокувань та витримки часу DT1
VD33	Спрацювання III ступеня захисту з урахуванням стану блокувань та витримки часу DT2
VD34	Сигнал дистанційного захисту на відключення високовольтного вимикача Q1

При ввімкненні стенда на екрані з'являється вікно (рис. 2.32), що містить поля для побудови графіків миттєвих значень напруги фази А у функції часу (поз. 1, рис. 2.32), струму фази А у функції часу (поз. 2), імпедансу між фазами

АВ на комплексній площині (поз. 3), дисплеї (поз. 4–6) для відображення поточних діючих значень фазних напруг, які вимірюються трансформаторами TV1–TV3 в місці встановлення захисту, дисплеї (поз. 7–9) для відображення поточних діючих значень фазних струмів, які вимірюються трансформаторами TA1-TA3. Також на екрані відображається адреса (поз. 10) веб-сторінки для введення налаштувань за допомогою смартфона та відповідний QR-код (поз. 11), а також поля (поз. 12) для відображення поточних налаштувань захисту.



Рис. 2.32. Екран стенда після запуску:

- 1–3 – поля для побудови графіків миттєвих значень, відповідно, напруги фази А у функції часу, струму фази А у функції часу, імпедансу між фазами АВ на комплексній площині;
- 4–6 – поля для відображення поточних діючих значень фазних напруг; 7–9 – поля для відображення поточних діючих значень фазних струмів; 10, 11 – адреса веб-сторінки для введення налаштувань за допомогою смартфона та відповідний QR-код;
- 12 – поточні налаштування

Робота зі стендом розпочинається з налаштувань параметрів захисту. За допомогою смартфона, що підключений до локальної Wi-Fi мережі, необхідно зайти на веб-сторінку, адреса якої вказана на екрані. Наприклад, на рис. 2.32 це адреса 192.168.0.101:150/dz.aspx. Для спрощення переходу за вказаною адресою

можна за допомогою стандартної програми для смартфона відсканувати QR-код. Після цього на екрані смартфона відобразиться сторінка налаштувань захисту (рис. 2.33, а). У полі «Для входу введіть e-mail» необхідно ввести адресу електронної пошти, на яку планується відправляти звіти про проведені досліді, і натиснути «Вхід». Після цього активуються інші поля сторінки, куди необхідно занести значення наступних параметрів:

поле L_{W1} – довжина лінії електропередачі W1, км;

поле L_{W2} – довжина лінії електропередачі W2, км;

поле Z_{cp1} – модуль максимального імпедансу спрацювання реле мінімального опору ступеня I фаз АВ, ВС та СА, Ом;

поле Z_{cp2} – модуль максимального імпедансу спрацювання реле мінімального опору ступеня II фаз АВ, ВС та СА, Ом;

поле Z_{cp3} – модуль максимального імпедансу спрацювання реле мінімального опору ступеня III фаз АВ, ВС та СА, Ом.

Для передачі введених даних до лабораторного стенду необхідно натиснути кнопку «ОК» (рис. 2.33, б). Введені дані будуть відображені на екрані стенда.

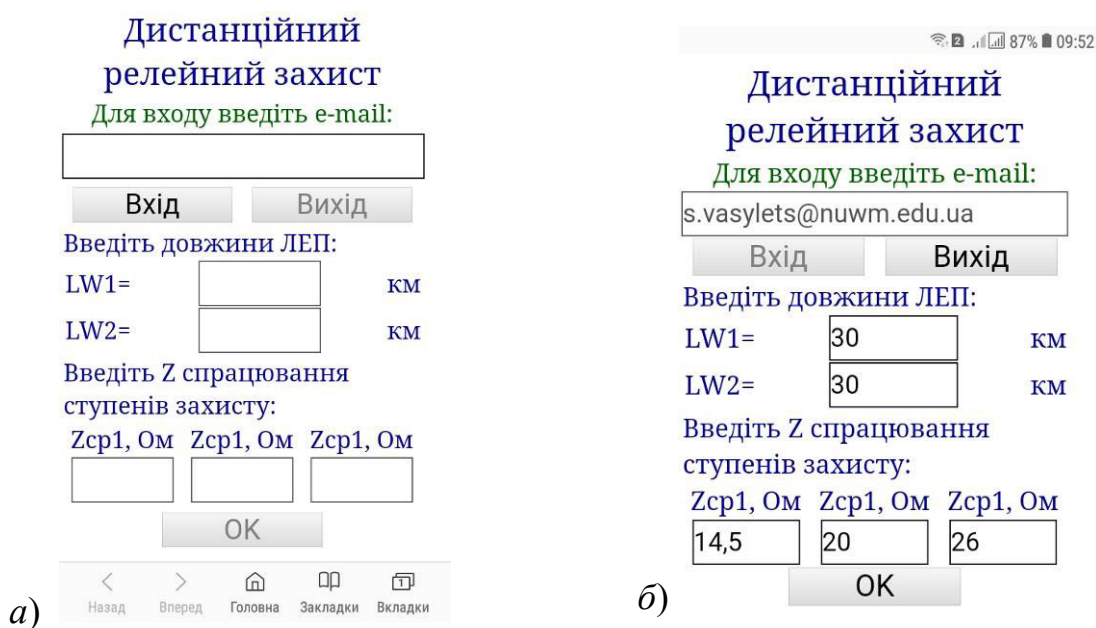


Рис. 2.33. Сторінка налаштувань захисту на екрані смартфона:
 а – вигляд після відкриття; б – вигляд із заданими значеннями параметрів

Для проведення досліді необхідно за допомогою органів керування мнемонічного щита задати режим роботи електромережі, тип та параметри короткого замикання. Наприклад: тип короткого замикання – трифазне; відстань до точки короткого замикання – 36 км; опір точки короткого

замикання – 1 Ом; вимикач Q2 вимкнений (система функціонує в режимі однобічного живлення); вимірювальні кола напруги знаходяться у справному стані. Для початку симуляції необхідно натиснути на мнемонічному щиті кнопку SB1 «▶». Після цього на екрані будуються графіки миттєвих значень заданих величин, індикатори на мнемонічному щиті відображають поточний стан мережі та елементів дистанційного захисту. При цьому швидкість симуляції процесів в електромережі є значно меншою від реальної швидкості їх протікання, що дозволяє аналізувати функціонування дистанційного релейного захисту в мережі напругою 110 кВ та досліджувати зміну комплексного опору електромережі в аварійних режимах.

Про завершення досліду користувач буде сповіщений повідомленням на екрані, де відображаються отримані графіки (рис. 2.34). Для відображення додаткових графіків необхідно натиснути на кнопку SB2 « $\sqrt{\quad}$ » побудови графіків мнемонічного щита. Зокрема, можливо спостерігати графіки миттєвих значень: струмів за трьома фазами у функції часу (рис. 2.35), модулів імпедансів у функції часу (рис. 2.36), фазних напруг, імпедансів на комплексній площині з нанесеними характеристиками спрацювання.

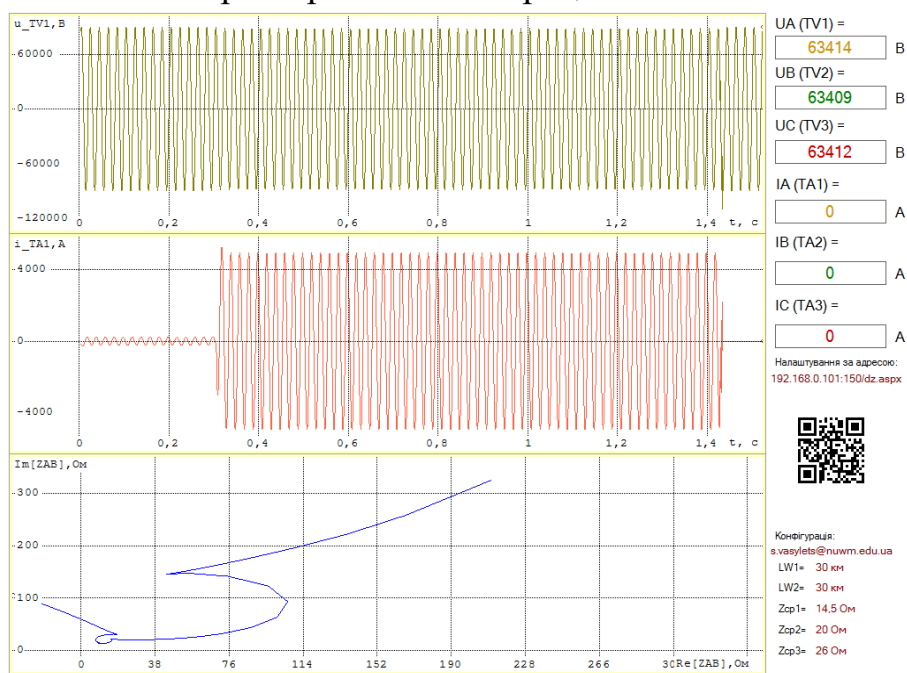


Рис. 2.34. Екран з графіками, отриманими в результаті симуляції короткого замикання в мережі 110 кВ

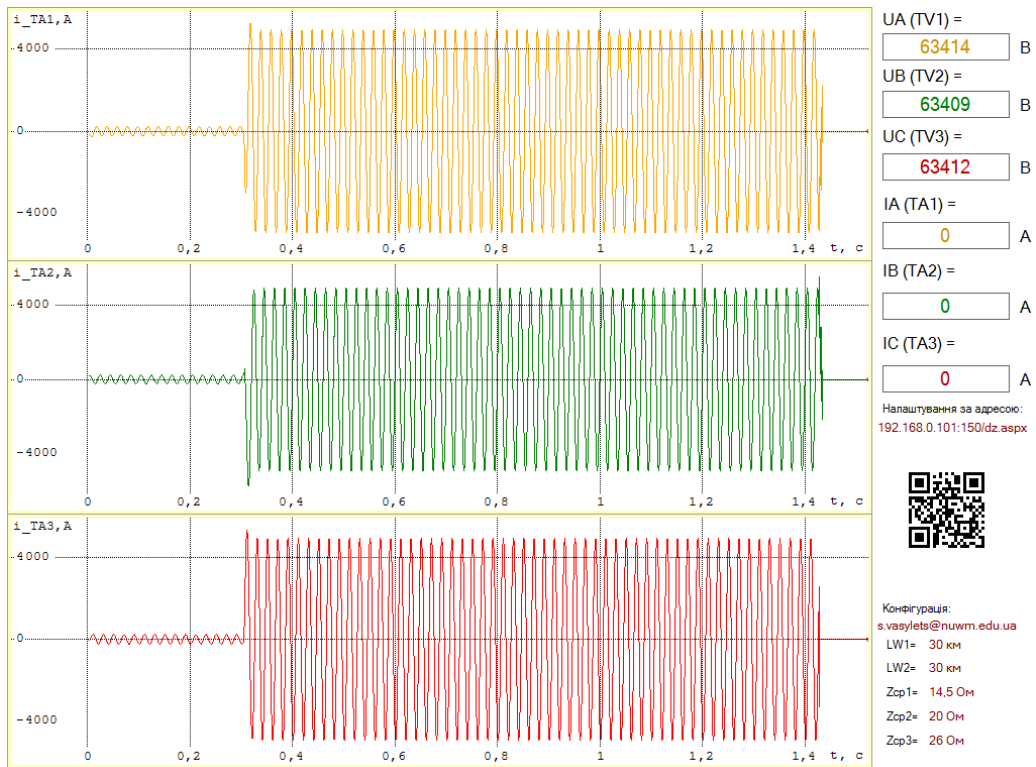


Рис. 2.35. Екран з графіками миттєвих значень струмів у функції часу

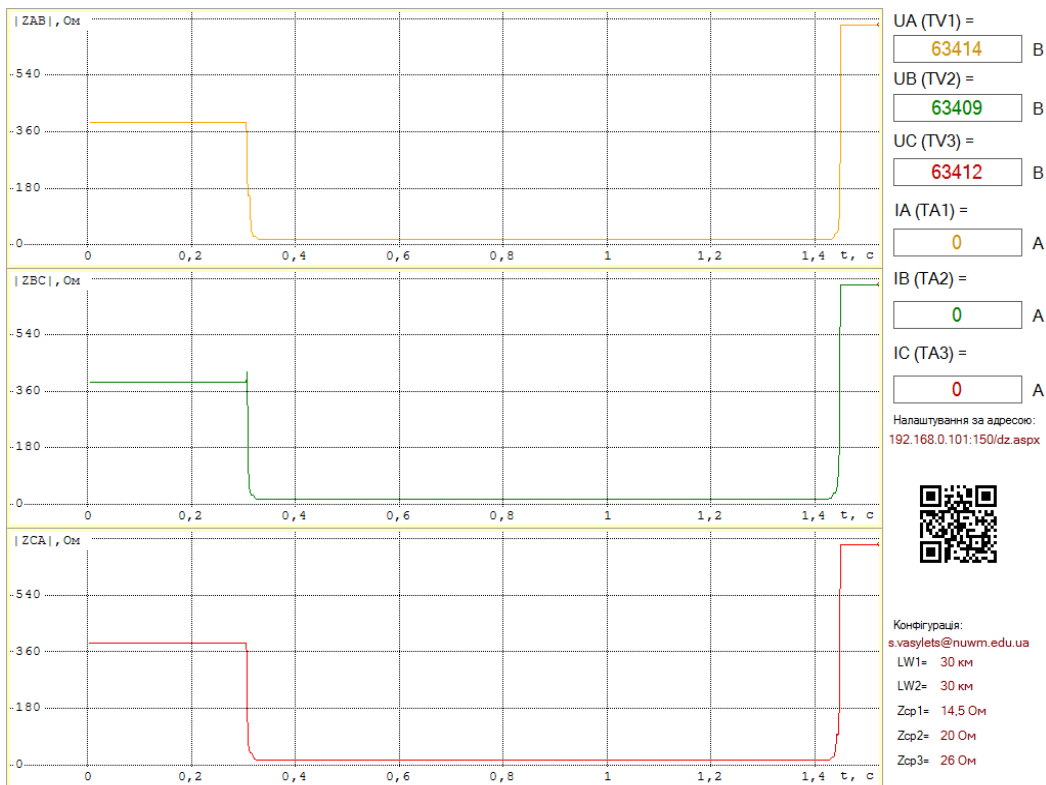


Рис. 2.36. Екран з графіками миттєвих значень модулів імпедансів у функції часу

Також після завершення дослідів на вказану адресу електронної пошти надходить лист з умовами дослідів, до якого додаються файли з графіками величин, що характеризують стан мережі та дистанційного захисту (рис. 2.37).

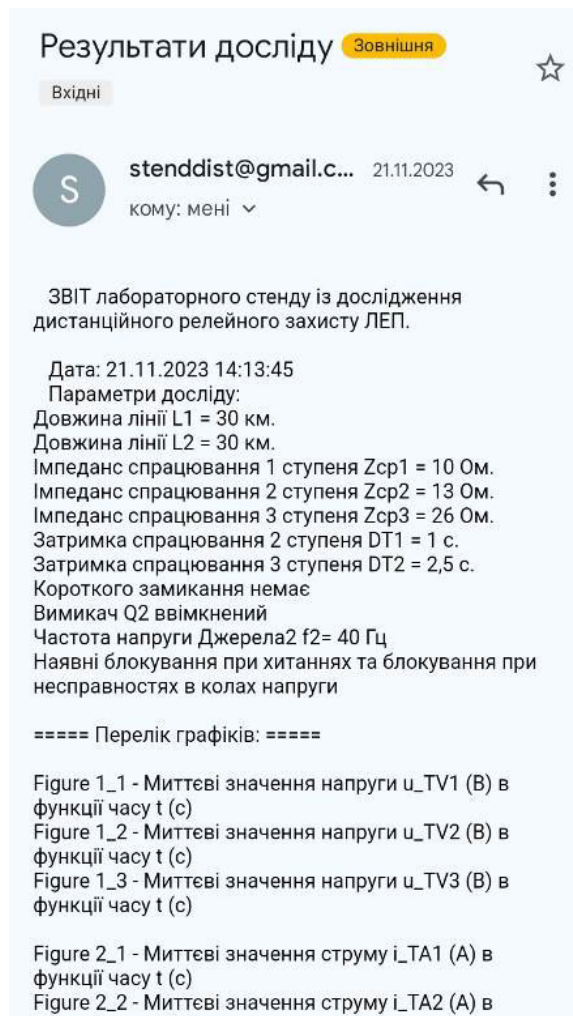


Рис. 2.37. Лист на електронну пошту з умовами та результатами досліджу

2.6.3. Порядок виконання роботи

2.6.3.1. Підготовка до проведення дослідів

1. Обрати вихідні дані за табл. 2.13 відповідно до номеру варіанта.

2. Занести вихідні дані до протоколу, табл. 2.14

3. Розрахувати модуль максимального імпедансу Z_{cp1} спрацювання реле мінімального опору I ступеня наступним чином.

Модуль питомого імпедансу ЛЕП визначається як:

$$Z_{num} = \sqrt{R_{num}^2 + X_{num}^2}, \quad (2.14)$$

де $R_{num} = 0,249$ Ом/км – питомий активний опір проводу АС 120/19;

$X_{num} = 0,422$ Ом/км – питомий реактивний опір проводу АС 120/19.

Модуль імпедансу лінії W1 розраховується за формулою:

$$Z_{W1} = L_{W1} \cdot Z_{num}, \quad (2.15)$$

де L_{W1} – довжина лінії W1, км, що обрана з табл. 2.13

Вихідні дані

Варіант	Довжина лінії W1, L_{W1} , км	Довжина лінії W2, L_{W2} , км	Варіант	Довжина лінії W1, L_{W1} , км	Довжина лінії W2, L_{W2} , км
1	20	40	15	35	35
2	25	30	16	25	25
3	35	20	17	25	35
4	25	25	18	15	45
5	25	35	19	30	35
6	40	25	20	35	30
7	45	35	21	25	40
8	35	40	22	40	45
9	25	40	23	45	40
10	35	40	24	35	35
11	15	35	25	35	25
12	20	35	26	45	15
13	45	25	27	25	45
14	40	40	28	35	55

Оскільки I ступінь призначено для захисту початку лінії (близько 80–90% її довжини), то опір спрацювання обирають з умови неспрацювання при короткому замиканні у кінці лінії, що захищається:

$$Z_{cp1} = k_{від} \cdot Z_{W1}, \quad (2.16)$$

де $k_{від} = 0,8 \div 0,9$ – коефіцієнт відведення, що враховує похибки трансформаторів струму, напруги і реле, а також неточність розрахунків та відповідний запас.

4. Розрахувати модуль максимального імпедансу Z_{cp2} спрацювання реле мінімального опору II ступеня наступним чином. II ступінь призначений для захисту кінця лінії W1 і зона його дії частково виходить за межі лінії – для надійного спрацювання за короткого замикання в кінці лінії. Опір спрацювання II ступеня зазвичай узгоджують із опорами спрацювань захистів суміжних об'єктів.

Таблиця 2.14

Протокол результатів випробування дистанційного захисту

Виконав: _____ E-mail: _____ Варіант № ____ Дата _____

Вихідні дані: L_{W1} =_____ км; L_{W2} =_____ км. Обраховано: Z_{cp1} =_____ Ом; Z_{cp2} =_____ Ом; Z_{cp3} =_____ Ом.

Тип короткого замикання (трифазне / двофазне): _____

$L_{кз}$	В нормальному режимі												При короткому замиканні									Спрацювали ступені			$t_{кз}$			
	Z_{AB}		Z_{BC}		Z_{CA}		U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	Z_{AB}		Z_{BC}		Z_{CA}		U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C		I	II	III
	LCD3		LCD4		LCD5		TV1	TV2	TV3	TA1	TA2	TA3	LCD3		LCD4		LCD5		TV1	TV2	TV3	TA1	TA2	TA3		VD28	VD29	VD30
	$ Z_{AB} $	$\varphi_{Z_{AB}}$	$ Z_{BC} $	$\varphi_{Z_{BC}}$	$ Z_{CA} $	$\varphi_{Z_{CA}}$	В	В	В	А	А	А	$ Z_{AB} $	$\varphi_{Z_{AB}}$	$ Z_{BC} $	$\varphi_{Z_{BC}}$	$ Z_{CA} $	$\varphi_{Z_{CA}}$	В	В	В	А	А	А		с		
км	Ом	град.	Ом	град.	Ом	град.	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
5																												
10																												
15																												

Повний опір лінії W2 визначається наступним чином:

$$Z_{W2} = L_{W2} \cdot Z_{num}, \quad (2.17)$$

де L_{W2} – довжина лінії W2, км, що обрана з табл. 2.13.

Для спрощення розрахунків під час виконання лабораторної роботи пропонується наступна спрощена залежність:

$$Z_{cp2} = k_{від} \cdot [Z_{W1} + (0,15 \div 0,25)Z_{W2}]. \quad (2.18)$$

5. Розрахувати модуль максимального імпедансу Z_{cp3} спрацювання реле мінімального опору III ступеня наступним чином. III ступінь забезпечує резервування роботи I та II ступенів основної лінії, що захищається, (функція ближнього резервування) та резервування релейних захистів суміжних ліній (функція дальнього резервування). Опір спрацювання III ступеня відводиться від мінімального опору за врахування самозапуску двигунів. Для спрощення розрахунків під час виконання лабораторної роботи пропонується наступна залежність:

$$Z_{cp3} = k_{від} \cdot (Z_{W1} + Z_{W2}). \quad (2.19)$$

6. Результати розрахунків необхідно занести до протоколу, табл. 2.14.

2.6.3.2. Підготовка стенда до проведення дослідів

1. Ввімкнути в ауд. 509 Wi-Fi роутер, переконатися, що підключення до інтернету наявне.

2. Підключити смартфон, з якого планується налаштовувати параметри стенда, до локальної Wi-Fi мережі.

3. Подати живлення на стенд.

4. За допомогою стандартної програми для смартфона відсканувати QR-код з екрану і перейти за адресою сторінки налаштування параметрів, що зчитується з QR-коду. Після цього на екрані смартфона відобразиться сторінка налаштувань параметрів захисту, як показано на рис. 2.33, а.

5. Внести у відповідне поле сторінки налаштувань параметрів адресу електронної пошти, на яку будуть відсилатися результати дослідів і натиснути кнопку «Вхід», рис. 2.33, а. Введена адреса електронної пошти буде відображена на екрані стенда.

6. Внести до сторінки налаштувань параметрів довжини ЛЕП та імпеданси спрацювання ступенів захисту відповідно до табл. 2.14. Натиснути «ОК». Введені дані будуть відображені на екрані.

2.6.3.3. Дослідження функціонування захисту при трифазному короткому замиканні

1. Результати слід заносити до протоколу, табл. 2.14. У полі «Тип короткого замикання» необхідно вказати ТРИФАЗНЕ.

2. Задати нульовий перехідний опір в місці короткого замикання, для чого тумблер S1 перевести в положення «мет».

3. Задати тип короткого замикання, для чого тумблер S2 перевести в положення «3 ф кз». Відповідні налаштування будуть відображені на рідкокристалічному дисплеї LCD1.

4. Налаштувати мережу для роботи в режимі одностороннього живлення, для чого тумблер S3 перевести в положення «off». Цим відключається високовольтний вимикач Q2, про що свідчить загорання зеленого світлодіода VD6.

5. В даній лабораторній роботі досліджується функціонування релейного захисту в режимі одностороннього живлення лінії електропередачі, тому положення тумблера S4, що задає частоту напруги джерела 2, не має значення.

6. Тумблер S5 встановити в положення «норм», оскільки обриви вимірювальних кіл трансформаторів напруги в даній лабораторній роботі не розглядаються.

7. Тумблер S6 встановити в положення «норм», оскільки розглядається випадок наявності блокувань роботи захисту при хитаннях в мережі та при несправностях в колах напруги.

8. Встановити потенціометром Lкз відстань до місця замикання 5 км. Значення відстані відображається на дисплеї LCD1. Занести цю відстань до колонки 1 протоколу, табл. 2.14.

9. Натиснути кнопку «▶» для того, щоб розпочати дослід.

10. До протоколу, табл. 2.14, необхідно занести величини, що характеризують стан мережі до моменту короткого замикання:

– до колонок 2, 3 – модуль та аргумент імпедансу \underline{Z}_{AB} за показами дисплея LCD3, наприклад:



– до колонок 4, 5 – модуль та аргумент імпедансу \underline{Z}_{BC} за показами дисплея LCD4;

– до колонок 6, 7 – модуль та аргумент імпедансу \underline{Z}_{CA} за показами дисплея LCD5;

– до колонок 8, 9, 10 – діючі значення фазних напруг U_A , U_B , U_C мережі в місці встановлення захисту за показами на екрані, наприклад:

UA (TV1) =

63414	V
-------	---

UB (TV2) =

63409	V
-------	---

UC (TV3) =

63412	V
-------	---

– до колонок 11, 12, 13 – діючі значення струмів I_A , I_B , I_C фаз мережі в місці встановлення захисту за показами на екрані.

Аналогічні величини заносяться до колонок 14–25 після виникнення короткого замикання. Також під час короткого замикання у колонках 26–28 необхідно (за показами світлодіодів VD28-VD30) відмітити ступені захисту, що спрацювали.

11. Після завершення досліду на екрані буде відображено відповідне повідомлення. Результати досліду та графіки зміни величин, що характеризують стан мережі та захисту, будуть відправлені на вказану електронну пошту. Якщо лист з результатами відсутній у папці вхідних листів, слід перевірити папку «Спам».

12. Натискаючи кнопку « \mathcal{N} », відображати додаткові графіки на екрані. За осцилограмами струму необхідно встановити час $t_{кз}$ відключення замикання і отримане значення занести до колонки 23. Наприклад, розглянемо графік струму, що наведений на рис. 2.38. Коротке замикання виникає в момент часу 0,3 с, захист відключає живлення у момент часу 1,45 с. Тобто час відключення замикання становить $t_{кз} = 1,45 - 0,3 = 1,15$ с.

13. Повторювати досліди, збільшуючи потенціометром $L_{кз}$ відстань до місця замикання на 5 км, відповідно до пп. 9–12, заносючи до протоколу результати. В останньому досліді точка короткого замикання має знаходитися в кінці лінії W2, тобто $L_{кз} = L_{W1} + L_{W2}$.

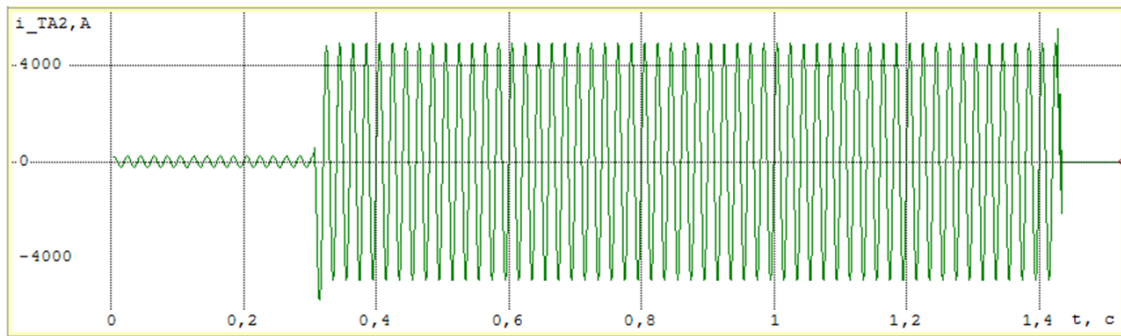


Рис. 2.38. Графік миттєвих значень струму мережі при короткому замиканні

2.6.3.4. Аналіз функціонування захисту при трифазному короткому замиканні

1. Розрахувати відстані спрацювання кожного ступеня дистанційного захисту:

$$l^I = \frac{Z_{cp1}}{Z_{num}}; \quad l^{II} = \frac{Z_{cp1}}{Z_{num}}; \quad l^{III} = \frac{Z_{cp1}}{Z_{num}}. \quad (2.20)$$

2. Побудувати графік залежності діючого значення напруги U_A фази А шин підстанції 1 в режимі короткого замикання (колонка 20, табл. 2.14) від відстані $L_{кз}$ до місця замикання (колонка 1, табл. 2.14):

$$U_A = f(L_{кз}).$$

Графік необхідно навести у звіті. Також необхідно проаналізувати отриманий графік і встановити, як змінюється напруга на шинах підстанції в залежності від віддаленості точки замикання.

3. Побудувати графік залежності діючого значення струму I_A фази А лінії в режимі короткого замикання (колонка 23, табл. 2.14) від відстані $L_{кз}$ до місця замикання (колонка 1, табл. 2.14):

$$I_A = f(L_{кз}).$$

Графік необхідно навести у звіті. Також необхідно проаналізувати отриманий графік і встановити, як змінюється величина струму лінії в залежності від віддаленості точки замикання.

4. Побудувати графік залежності модуля імпедансу $|Z_{AB}|$ (колонка 14, табл. 2.14) від відстані $L_{кз}$ до місця замикання (колонка 1, табл. 2.14):

$$|Z_{AB}| = f(L_{кз}).$$

Графік необхідно навести у звіті. Також необхідно проаналізувати отриманий графік і встановити, як змінюється величина імпедансу лінії при короткому замикання в залежності від віддаленості точки ушкодження.

5. Побудувати експериментальні характеристики ступенів дистанційного захисту, тобто залежність часу $t_{кз}$ відключення замикання (колонка 29, табл. 2.14) від відстані $L_{кз}$ до місця ушкодження (колонка 1, табл. 2.14):

$$t_{кз} = f(L_{кз}).$$

Значення $L_{кз}$ відкладаються за віссю абсцис, значення $t_{кз}$ – за віссю ординат. Значення за осями відкладаються в масштабі. В осях координат наносяться експериментальні точки, з'єднувати їх лініями немає потреби. На графіку позначити довжини ліній W1 та W2, а також відстані l^I , l^{II} , l^{III} спрацювання кожного ступеня дистанційного захисту.

Експериментальні характеристики ступенів дистанційного захисту необхідно навести у звіті. Також необхідно проаналізувати отриману залежність і встановити:

- кількість ступенів дистанційного захисту;
- тип селективності дистанційного захисту (абсолютна або відносна);
- час спрацювання ступенів дистанційного захисту;
- як змінюється час спрацювання дистанційного захисту зі збільшенням відстані до точки замикання.

6. Побудувати в масштабі колові характеристики реле опору дистанційного захисту за зразком на рис. 2.31. При цьому слід врахувати, що кут максимальної чутливості кожного реле опору становить $\varphi_{р.м.ч}=65^\circ$, а модулі максимальних імпедансів спрацювання ступенів захисту були розраховані в п. 2.6.3.1.

На колових характеристиках необхідно нанести експериментальні точки, що відповідають значенням імпедансу \underline{Z}_{AB} для відстаней $L_{кз}$ до місця замикання. Експериментальні точки наносять за значеннями кута $\varphi_{Z_{AB}}$ (колонка 15, табл. 2.14) та модуля $|\underline{Z}_{AB}|$ (колонка 14, табл. 2.14). Кожну експериментальну точку слід позначити написом, що відповідає відстані до точки замикання.

Колові характеристики спрацювання необхідно навести у звіті. На основі графіка встановити зони дії трьох ступенів дистанційного захисту. Зіставити отримані дані з експериментальними (колонки 26–28, табл. 2.14). Проаналізувати, як зони дії співвідносяться з характеристиками реле опору.

2.6.4. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.
2. Вихідні дані.
3. Розрахунок модулів максимального імпедансу спрацювання реле мінімального опору трьох ступенів.
4. Структурна схема лабораторного стенду.
5. Протокол (табл. 2.14) з результатами експериментів.
6. Звіти, що надійшли на електронну пошту, зі всіма графіками для мінімальної відстані до точки замикання (5 км) і для максимальної відстані до точки замикання (тобто необхідно навести тільки два звіти з графіками).
7. Розрахунок відстаней спрацювання ступенів дистанційного захисту.
8. Залежність $U_A = f(L_{кз})$ та її аналіз.
9. Залежність $I_A = f(L_{кз})$ та її аналіз.
10. Залежність $|\underline{Z}_{AB}| = f(L_{кз})$ та її аналіз.
11. Експериментальні характеристики ступенів дистанційного захисту $t_{кз} = f(L_{кз})$ та їх аналіз.
12. Колові характеристики реле опору дистанційного захисту з експериментальними точками \underline{Z}_{AB} та їх аналіз.
13. Висновки з аналізом отриманих результатів.

2.6.5. Контрольні запитання

1. Вкажіть призначення та особливості функціонування дистанційного захисту?
2. Що використовується в якості вимірювального органу дистанційного захисту?
3. Який тип селективності має дистанційний захист? Що це означає на практиці?
4. Чи є різниця у часі спрацювання ступенів дистанційного захисту?
5. Як задається умова спрацювання дистанційного захисту?
6. Які Вам відомі параметри спрацювання дистанційного захисту?

2.7. Лабораторна робота 10. 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.

2.7.1. Короткі теоретичні відомості

2.7.1.1. Автоматичне введення резерву

Для підвищення надійності електропостачання споживачів використовують схеми живлення одночасно від декількох джерел. В якості джерел можуть використовуватися лінії від різних підстанцій, два трансформатори, трансформатор та дизель-генератор тощо. За наявності декількох (хоча би двох) джерел живлення відключення одного з них не порушує електропостачання споживачів.

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.

До пристроїв АВР висуваються наступні основні вимоги:

1. АВР приходить у дію при зникненні напруги на шинах споживачів. При цьому причини зникнення напруги можуть бути різними: помилкове або аварійне відключення силового вимикача, відмова робочого джерела живлення тощо.

2. Живлення до споживача від резервного джерела має подаватися з найменшою витримкою часу після відмови робочого джерела.

3. АВР має спрацьовувати тільки один раз, тобто його дія має бути однократною. Така вимога обумовлена необхідністю уникнути декількох ввімкнень резервного джерела на коротке замикання.

4. АВР не має спрацьовувати до моменту відключення робочого джерела. Це дозволяє уникнути ввімкнення резервного джерела на коротке замикання, яке може мати місце в схемі робочого джерела.

В якості прикладу розглянемо порядок роботи схеми АВР секційного вимикача для двотрансформаторної підстанції, рис. 2.39. 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.

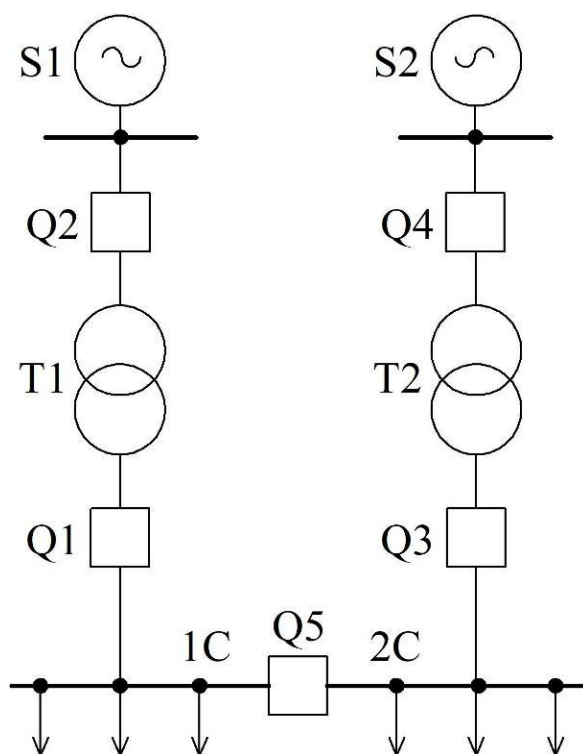


Рис. 2.39. Спрощена схема двотрансформаторної підстанції

2.7.1.2. Призначення та функції пристрою AVR-02-G

В лабораторній роботі розглядається функціонування пристрою AVR-02-G (рис. 2.40), який призначено для роботи у складі шаф (блоків) автоматичного введення резерву для трифазних споживачів електроенергії.



Рис. 2.40. Пристрій управління резервним живленням AVR-02-G

Пристрій АВР виконує наступні функції:

- автоматичне включення резервного живлення відповідно до заданого алгоритму (параметри алгоритму налаштовуються користувачем, зокрема – витримки часу);
- ручне керування комутаційними апаратами;
- індикація стану комутаційних апаратів;
- індикація наявності та параметрів напруги входів (чергування фаз, синфазність, верхній та нижній рівні напруги, обрив фази, асиметрія напруг);
- індикація режимів роботи;
- реалізація блокувань.

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

1. Схема N1+G, рис. 2.41, *a*. 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.

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.

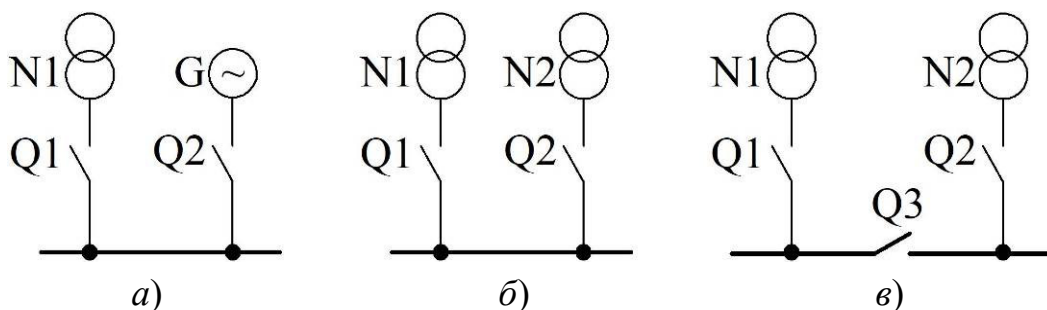


Рис. 2.41. Схеми систем електропостачання, в яких АВР забезпечується пристроєм AVR-02-G:

a – схема N1+G; *б* – схема N1+N2; *в* – схема N1+N2+S

2. Схема N1+N2, рис. 2.41, 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.

3. Схема N1+N2+S, рис. 2.41, 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.

Припустимо, що в момент часу t_1 зникає напруга U_{N1} робочого джерела N1. Через затримку часу T_3 , в момент $t_2 = t_1 + T_3$, пристрій АВР подає сигнал на відключення комутаційного апарату Q1, рис. 2.42. Через витримку часу перемикавання T_n , в момент $t_3 = t_2 + T_n$, пристрій вмикає секційний вимикач Q3 і обидві секції шин живляться від джерела N2.

Припустимо, що живлення від джерела N1 відновилося в момент t_4 . Тоді через витримку часу відновлення T_6 , в момент $t_5 = t_4 + T_6$, пристрій відключає Q3. Через витримку часу перемикавання T_n , в момент $t_6 = t_5 + T_n$, пристрій вмикає Q1 і нормальна схема живлення відновлюється, рис. 2.42.

В разі відмови джерела N2 комутації здійснюються аналогічним чином.

2.7.1.3. Вбудовані реле пристрою AVR-02-G

До складу пристрою входять наступні реле:

K1 – реле для керування вимикачем Q1, що подає живлення від джерела N1 (рис. 2.41);

K2 – реле для керування вимикачем Q2, що подає живлення від генератора G або джерела N2;

K3 – реле для керування секційним вимикачем Q3;

K4 – реле для подавання сигналу на запуск генератора G;

K5 – реле, що забезпечує безперебійність напруги U_0 живлення кіл управління та контролю.

Діюче значення змінної напруги U_0 має знаходитися в діапазоні від 100 В до 350 В. Принцип формування напруги U_0 та живлення нею кіл управління ілюструє спрощена схема на рис. 2.43.

На схемі, рис. 2.43, функцію вимикача Q1 (рис. 2.41) виконує електромагнітний контактор KM1, Q2 – KM2, Q3 – KM3. Нерухомі контакти вбудованого в пристрій реле K5 приєднані до фаз С двох джерел живлення: нормально-замкнений контакт (вивід 1 пристрою) – до фази С1 входу 1, нормально-розімкнений (вивід 11) – до фази С2 входу 2. Напруга U_0 на

рухомому контакті реле К5 (вивід 10) дорівнюватиме U_{C1} в разі нормального стану реле К5, а при його спрацюванні – напрузі U_{C2} . Мікропроцесор керує реле К5 наступним чином: в разі наявності напруги на вході 1 реле К5 відключено, відповідно $U_0 = U_{C1}$. При зникненні напруги на вході 1 пристрій вмикає реле К5 і напруга $U_0 = U_{C2}$. Це забезпечує безперебійне живлення напругою U_0 кіл управління від одного з вводів. Вбудовані до пристрою реле К1–К3, що керуються мікроконтролером, подають напругу U_0 до котушок відповідних контакторів КМ1–КМ3.

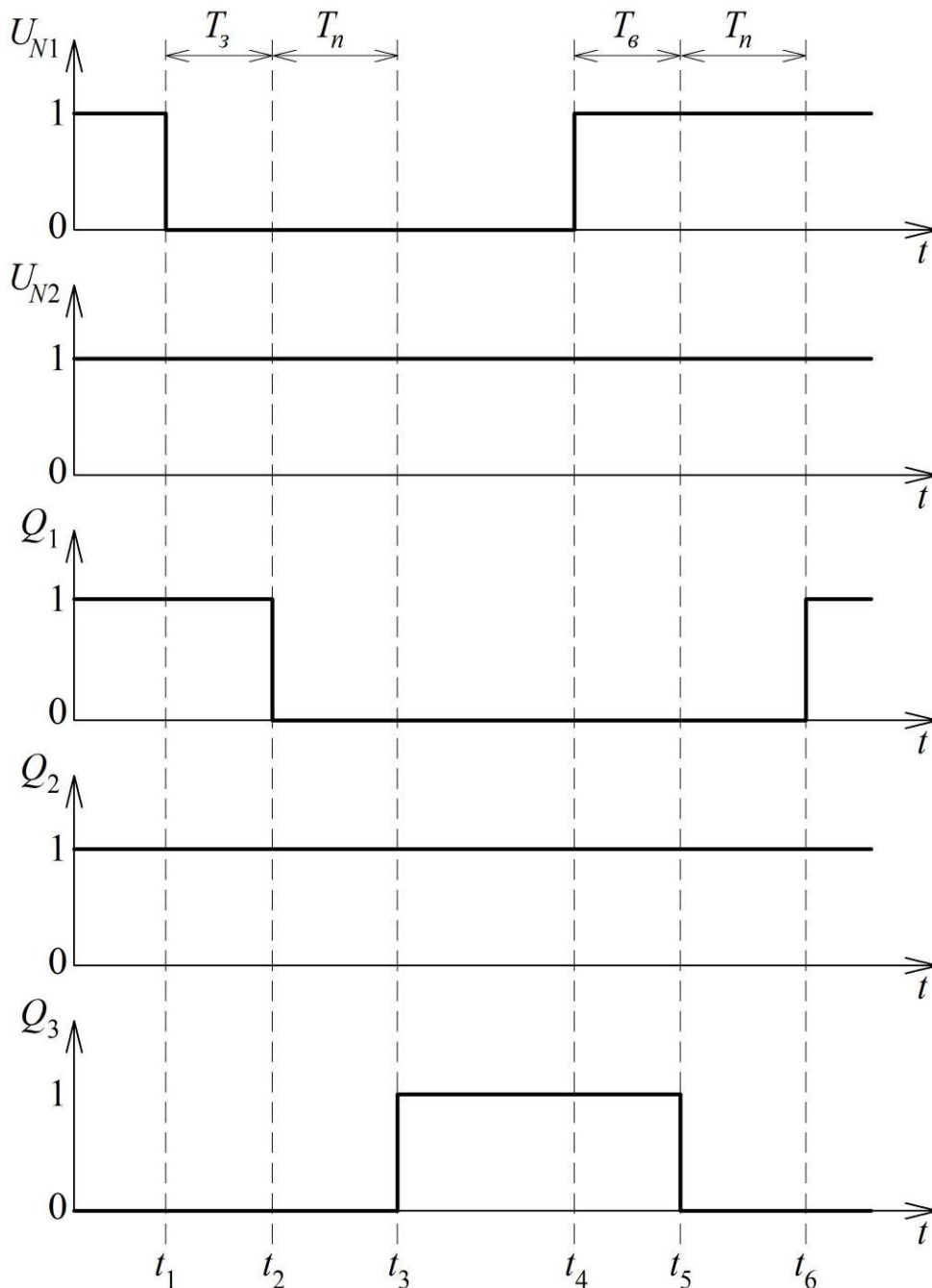


Рис. 2.42. Цикл спрацювання АВР для схеми N1+N2+S

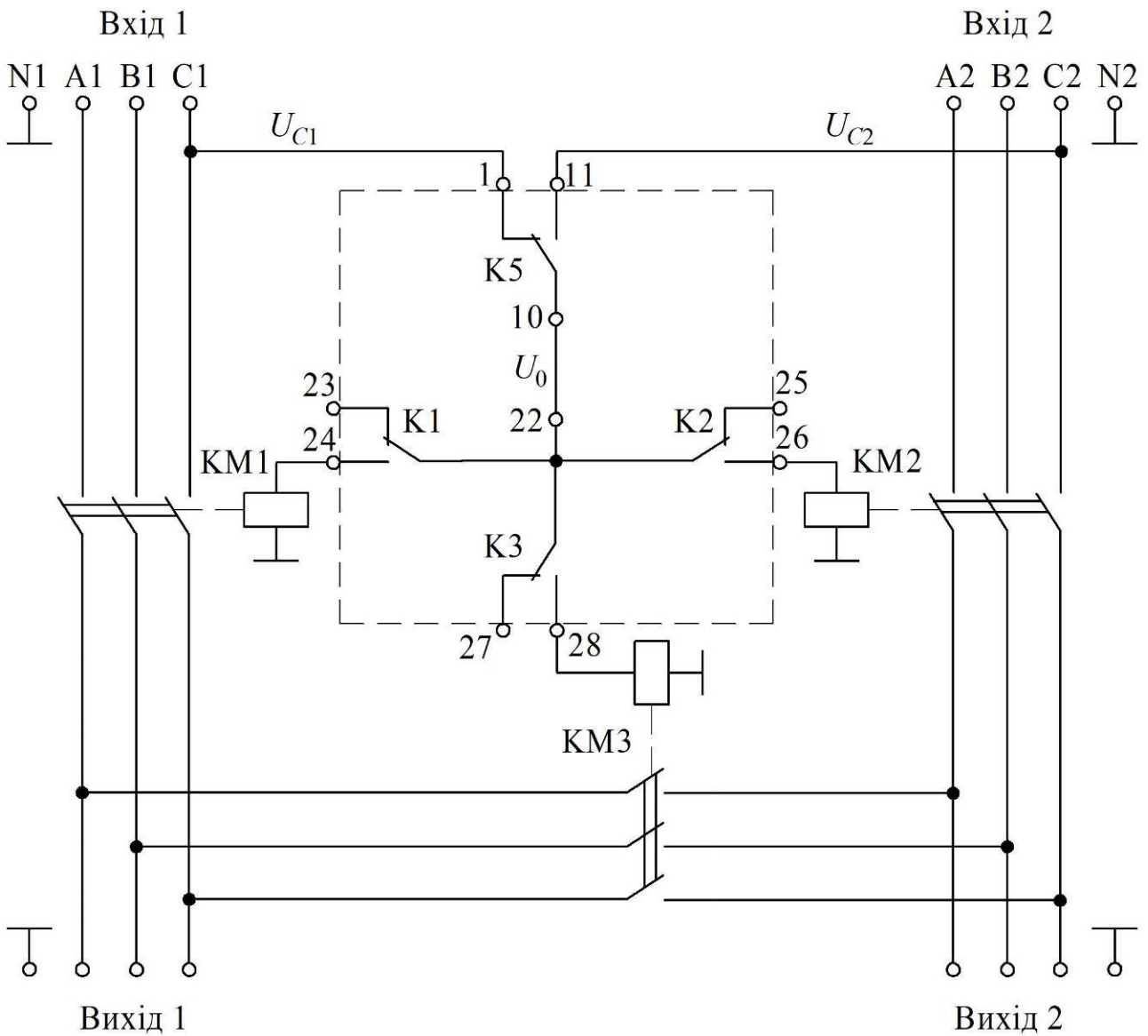


Рис. 2.43. Живлення напругою U_0 кіл управління

2.7.1.4. Призначення виводів пристрою AVR-02-G

Виводи пристрою мають наступне призначення (рис. 2.44):

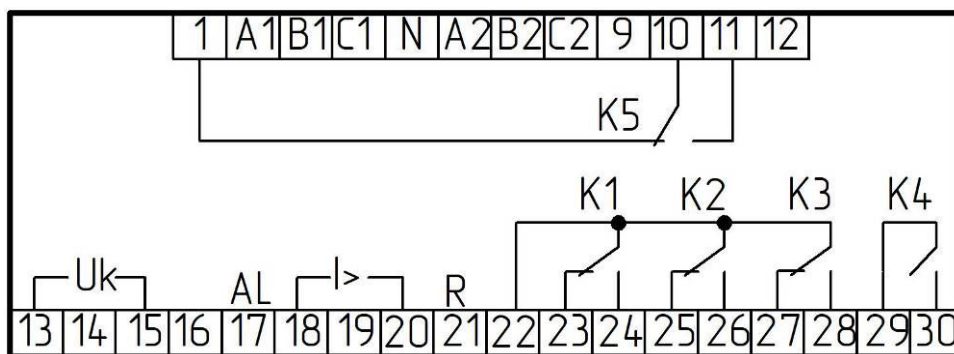


Рис. 2.44. Розташування виводів пристрою AVR-02-G

A1, B1, C1 – вхід 1 – фазні напруги джерела N1;

A2, B2, C2 – вхід 2 – фазні напруги джерела N2 (або G);

N – об'єднана нейтраль входів 1 та 2;

1, 10, 11 – виводи вбудованого реле K5;

22 – спільний вивід рухомих контактів вбудованих реле K1–K3;

23, 24 – нерухомі контакти вбудованого реле K1;

25, 26 – нерухомі контакти вбудованого реле K2;

27, 28 – нерухомі контакти вбудованого реле K3;

29, 30 – нормально-розімкнений контакт вбудованого реле K4, що призначений для подавання сигналу на запуск генератора;

12 – підключення зовнішнього джерела живлення (+12 В), що використовується в схемі з генератором G; загальний вивід джерела 12 В підключається до клеми N;

9 – вивід для подавання напруги живлення пристрою від джерела безперебійного живлення або фази С резервної лінії генератора, така напруга підтримує працездатність пристрою за відсутності напруги на входах 1 та 2;

13, 14, 15 – виводи для підключення нормально-розімкнених блок-контактів вимикачів Q1, Q2, Q3, відповідно. При ввімкненні вимикача його блок-контакт подає напругу U_0 на відповідний вивід 13–15. Ввімкнений стан хоча би одного з вимикачів Q1–Q3, тобто наявність напруги U_0 на одному з виводів 13–15, забороняє пристрою здійснення перемикання на робоче (резервне) джерело живлення. Такий захист дозволяє уникнути зустрічного ввімкнення входів живлення. Виводи 13–15 можуть лишитися непідключеними, проте тоді вказаний захист не реалізується;

16 – вивід дозволу автоматичного режиму роботи пристрою: наявність напруги U_0 на даному виводі дозволяє автоматичний режим; в разі відсутності напруги U_0 на виводі 16, робота пристрою блокується та всі вбудовані реле відключаються;

17 – вивід для подачі сигналу аварії, умови видачі такого сигналу налаштовуються через меню;

18, 19, 20 – виводи контролю стану ліній, що живлять навантаження. Релейний захист таких ліній, в разі виявлення аварії, подає на один з даних входів напругу U_0 . При виявленні такої напруги на виводах 18–20 блокується можливість ввімкнення вимикачів Q1–Q3, відповідно. Це унеможливорює приєднання працездатного джерела до аварійної лінії живлення навантаження. Після усунення несправності лінії, для відновлення роботи пристрою,


необхідно скинути сигнал аварії шляхом короткочасної подачі напруги U_0 на вивід 21 скидання;

21 – вивід для скидання сигналу аварії за виводами 18–20. Сигнал аварії зберігається навіть при знеструмленні пристрою, оскільки записується до енергонезалежної пам'яті. Скидання сигналу аварії забезпечується короткочасною подачею напруги U_0 .



2.7.1.5. Налаштування пристрою AVR-02-G


На передній панелі пристрою AVR-02-G розташовані наступні елементи управління та індикації (рис. 2.40):

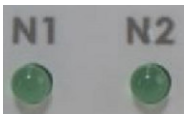
– рідкокристалічний дворядковий індикатор;

– кнопка  – виклик меню, запис до пам'яті встановленого значення;

– кнопки  (вверх),  (вниз) – вибір параметра;

– кнопки  (вліво),  (вправо) – встановлення значення обраного параметра;

– світлодіоди  – індикатори ввімкнення реле К1–К4;

– світлодіоди  – індикатори стану входів живлення 1 та 2, відповідно, якщо вхід у робочому стані, то відповідний індикатор горить, а у випадку аварійного стану – блимає.

Пристрій може знаходитися в двох режимах: РОБОТА, МЕНЮ.

Для входу до режиму МЕНЮ необхідно:

– короткочасно натиснути кнопку ОК;

– за допомогою кнопок «вверх» та «вниз» обрати необхідний параметр;

– натиснути кнопку ОК на 5 с до блимання курсору;

– кнопками «вправо», «вліво» встановити значення параметра;

– короткочасно натиснути ОК для запам'ятовування встановленого значення;

– вихід з режиму МЕНЮ до режиму РОБОТА забезпечується повторним короткочасним натисканням ОК.

2.7.1.6. Повідомлення на екрані пристрою

В режимі РОБОТА на екрані пристрою можуть з'являтися повідомлення відповідно до табл. 2.15.

Таблиця 2.15

Повідомлення на екрані пристрою в режимі РОБОТА

№	Повідомлення	Характеристика події
1	Вв1 224/225/231 Вв2 219/230/225	Пристрій функціонує в нормальному режимі, відображаються фазні напруги на входах 1 та 2.
2	Вв1 224/225/231 Вв2 помилка U_{\min}	Вхід 1 працює нормально. На вході 2 обрив однієї або декількох фаз (напруга менша від встановленої нижньої межі U_{\min}).
3	Вв1 помилка черг Вв2 помилка черг	Невірне чергування фаз на входах 1 та 2.
4	Помилка синфазності введів	Порушення синфазності між фазами входів 1 та 2. Така помилка виникає, коли на кожному вході порядок чергування фаз дотримується, проте існує фазовий зсув між напругами на симетричних входах пристрою (наприклад, А1 та А2). В разі виникнення помилки синфазності обидва світлодіоди N1 та N2 на передній панелі пристрою блимають.
5	Вв1 224/225/231 Вв2 помилка U_{\max}	Вхід 1 працює нормально. На вході 2 має місце перенапруга (напруга більше від встановленої верхньої межі U_{\max}).
6	Вв1 224/225/231 Вв2 помилка асим	Асиметрія напруги на вході 2 перевищує допустиму.
7	Помилка зустрічна напруга	Однотимчасне підключення двох введів на одне навантаження, що виникає через несправність силового комутаційного апарата.
8	Аварія розчеплювача 1, , ,	Повідомлення виникає в разі аварійних станів ліній, що живлять навантаження. Цифра «1» відповідає виникненню напруги на виводі 18 пристрою, «2» – 19, «3» – 20.
9	Помилка генератора	Виникає при аварії генератора.

2.7.2. Опис лабораторного стенда

Лабораторна робота виконується з використанням блоку АВР на основі пристрою AVR-02-G (рис. 2.45).

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. 2.46. Клемник для підключення входу 1 живлення позначено ХТ1 (INPUT 1), входу 2 – ХТ2 (INPUT 2). Напруга від входу 1 до виходу 1 (клемник ХТ3, OUTPUT 1) подається через силові контакти КМ1.1 контактора КМ1. Аналогічним чином напруга від входу 2 до виходу 2 (клемник ХТ4, OUTPUT 2) подається через силові контакти КМ2.1 контактора КМ2. Контактор КМ3 виступає як секційний. Напруга U_0 на котушки керування контакторів КМ1–КМ3 подається за допомогою вбудованих до пристрою реле К1–К3. Виводи 13–15 пристрою контролюють стан блок-контактів контакторів КМ1–КМ3.

До виводу 16 пристрою приєднано перемикач S1 «Автоматичний режим». Його замкнений стан дозволяє роботу пристрою в автоматичному режимі, розімкнений – забороняє.

Загоряння індикаторної лампи HL1, що приєднана до виводу 17 пристрою, свідчить про наявність сигналу аварії.

Замикання контакту перемикача S2 («Лінія 1»), що приєднаний до виводу 18, імітує несправний стан лінії, що живить перше навантаження. Аналогічним чином перемикач S3 («Лінія 2», вивід 19) імітує несправність лінії до другого навантаження.

Короткочасне натискання на кнопку SB1 (вивід 21), за умови відсутності несправностей на першій та другій лініях, скидає сигнал аварії.

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. 2.47. В якості першого навантаження використовується асинхронний двигун АОЛ2-11-4У3, рис. 2.48, а. Друге навантаження – лампи розжарювання, рис. 2.48, б. Вимірювання струму здійснюється струмовими кліщами UT204+, рис. 2.49.

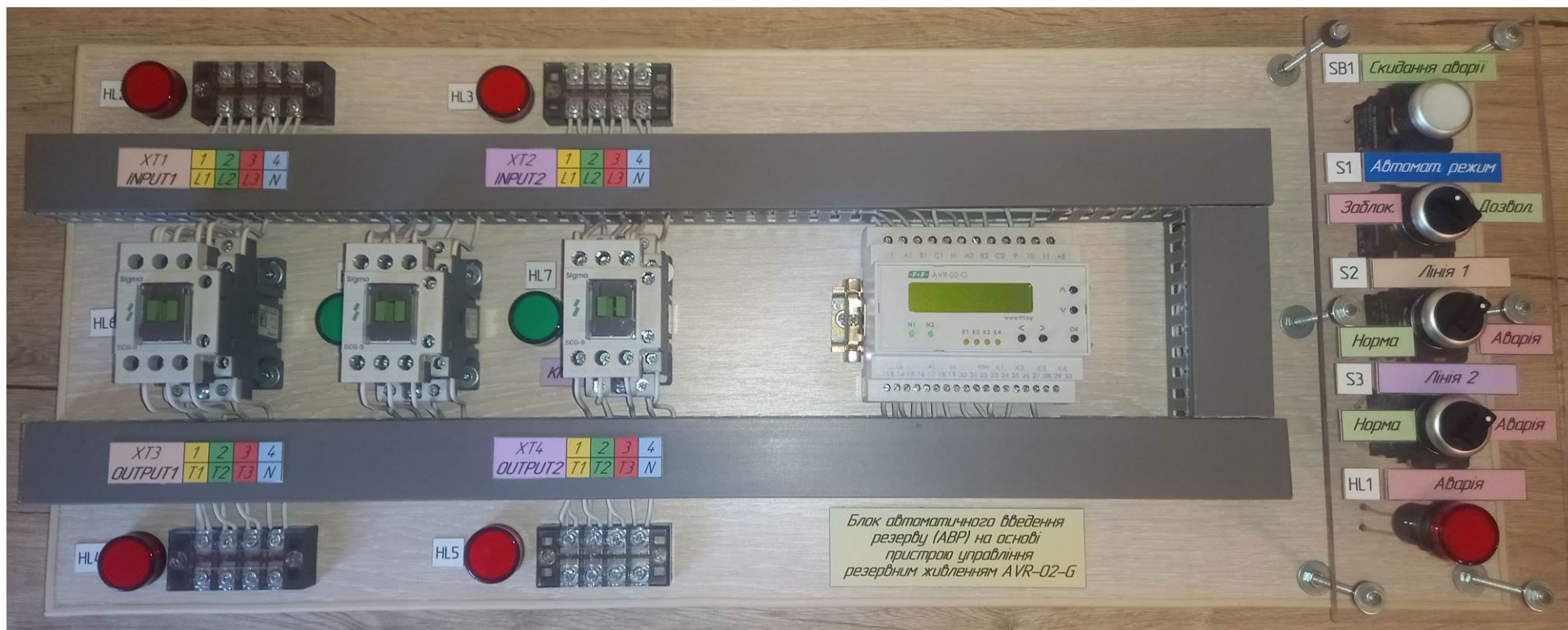


Рис. 2.45. Блок АВР на основі пристрою AVR-02-G

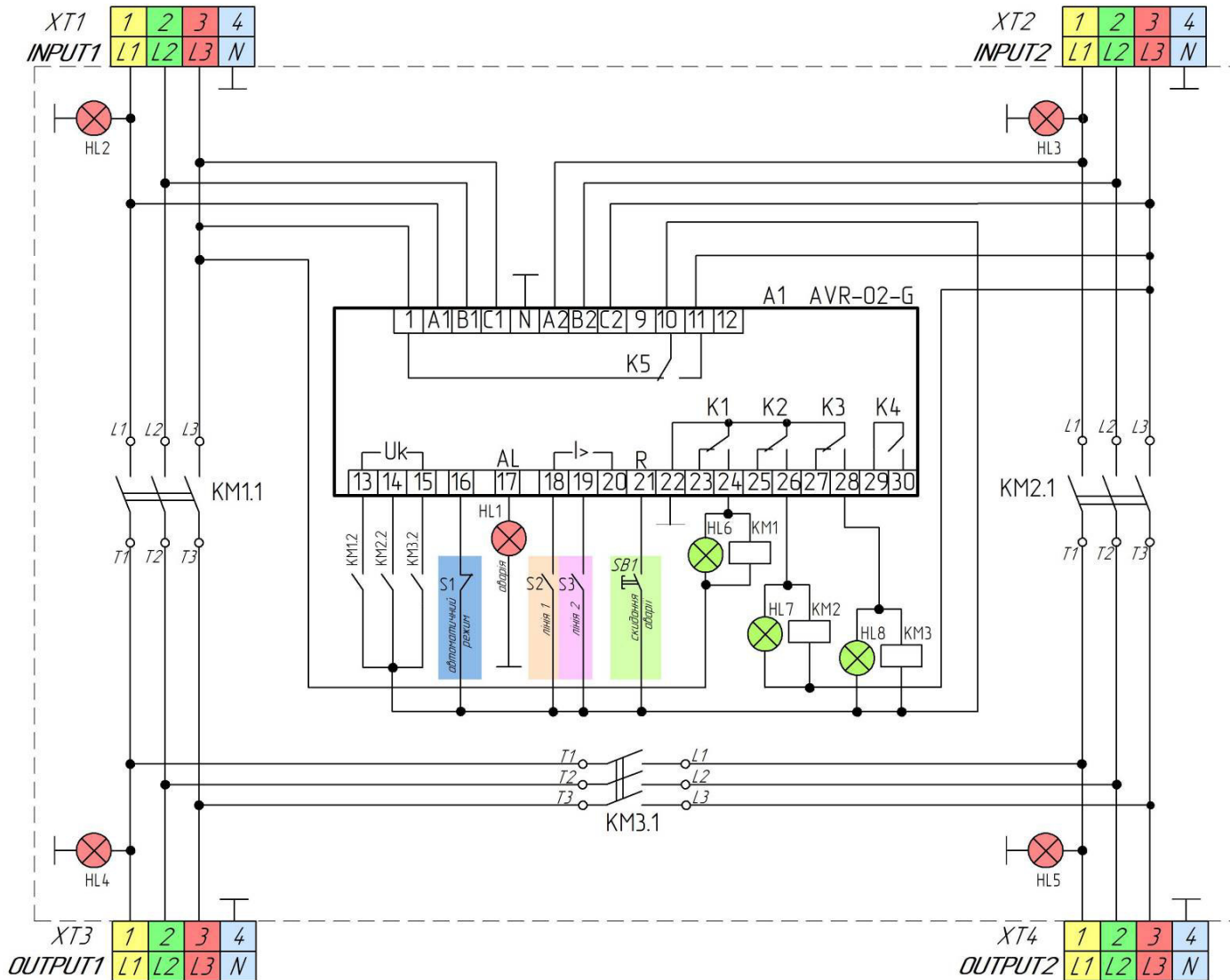


Рис. 2.46. Принципова електрична схема блоку автоматичного введення резерву (АВР) на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G

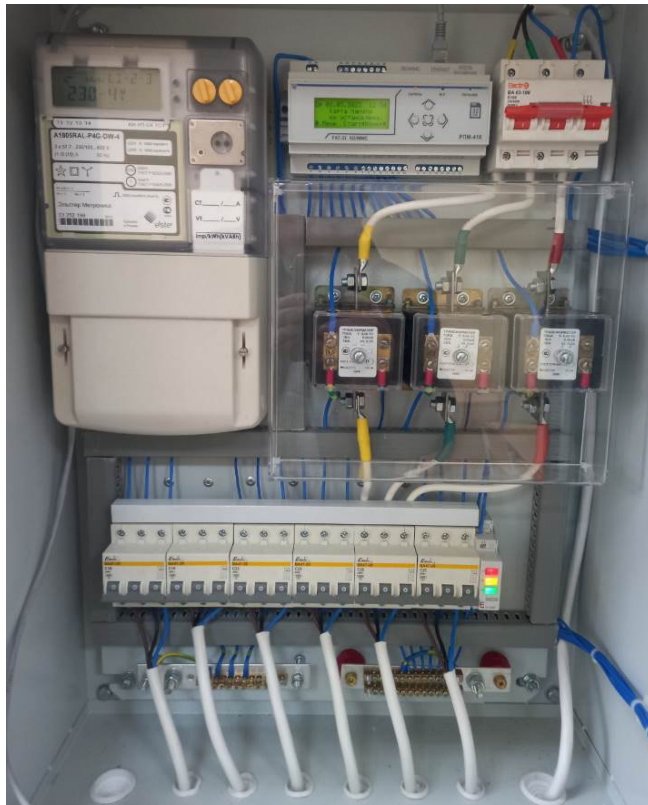


Рис. 2.47. Пункт розподілу електроенергії ПР-11



а)



б)

Рис. 2.48. Асинхронний двигун АОЛ2-11-4У3
(а) та панель з лампами розжарювання (б)



Рис. 2.49. Струміві кліщі UT204+

2.7.3. Завдання

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

2.7.4. Порядок виконання роботи

2.7.4.1. Підготовка схеми досліду

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. 2.50.

3. Перевести органи управління блоку АВР у наступні положення:

S1 «Автоматичний режим» – «Заблоковано»;

S2 «Лінія 1» – «Норма»;

S3 «Лінія 2» – «Норма»;

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.

2.7.4.2. Конфігурування та перевірка пристрою АВР

1. На екрані відображається повідомлення «Блокування». Короткочасно натиснути кнопку ОК для переходу до режиму МЕНЮ. На індикаторі буде відображена назва поточної схеми роботи.

2. Натиснути ОК впродовж 5 с до блимання курсору. З'явиться запит на код доступу. За допомогою кнопок «вліво», «вправо», «вверх», «вниз» встановити код доступу 1234 (кнопку «вліво» натиснути 1 раз, «вправо» – 2 рази, «вверх» – 3 рази, «вниз» – 4 рази). Короткочасно натиснути ОК. Після одержання доступу – обрати схему N1+N2+S. Короткочасно натиснути ОК. На екрані знову відобразиться напис «Блокування».

3. Короткочасно натиснути кнопку ОК для переходу до режиму МЕНЮ. За допомогою кнопки «вниз» перейти до пункту меню «Вх.12345678 Вих», що відповідає режиму налагодження. Натиснути ОК впродовж 5 с до блимання курсору, за необхідності ввести код доступу.

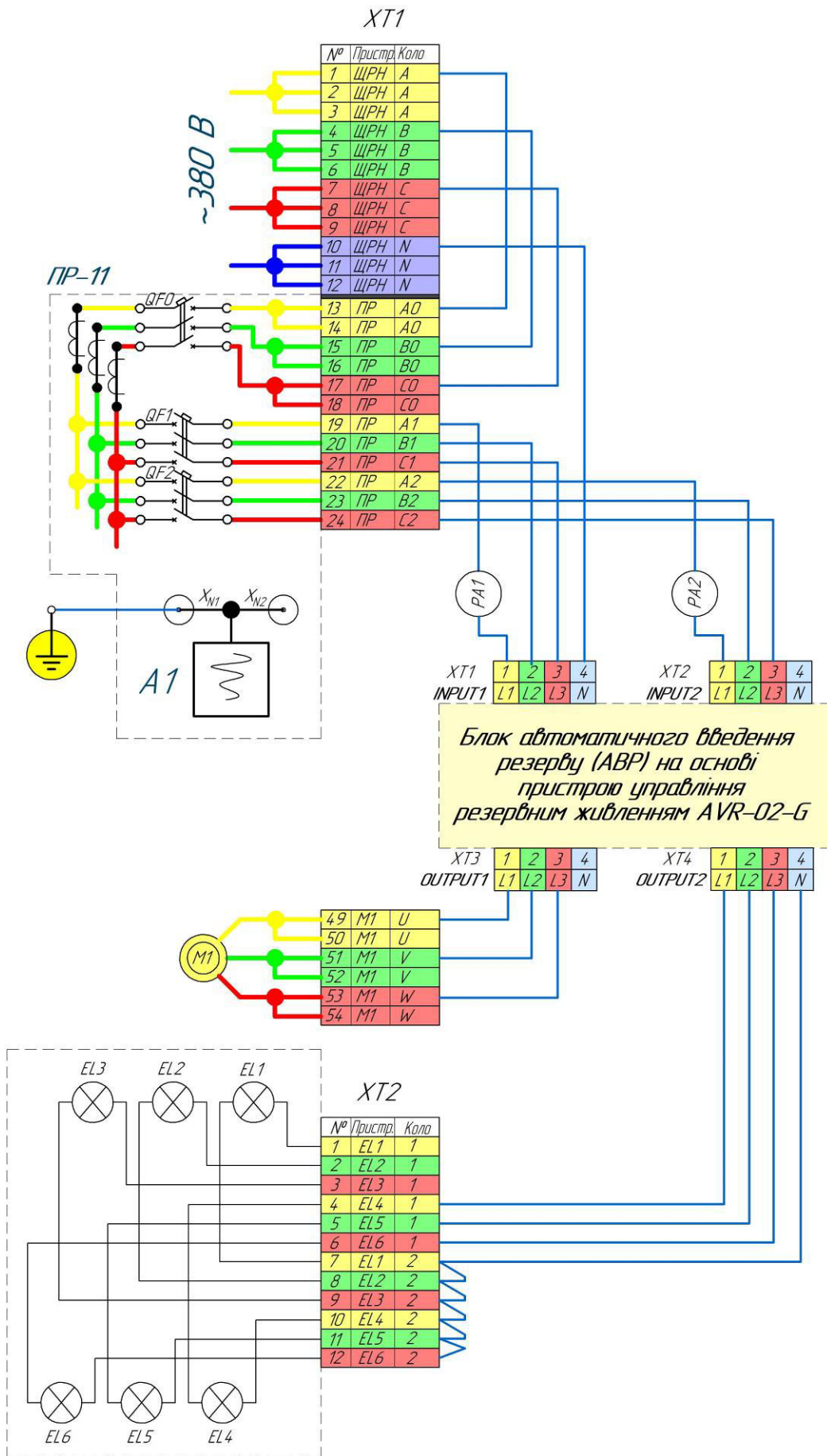


Рис. 2.50. Схема лабораторного стенда для дослідження роботи блоку АВР

4. Перевірити функціонування елементів стенда. Для цього слід мати на увазі, що режимі налагодження:

- керування реле здійснюється кнопками «вліво», «вправо», «вверх», «вниз»;
- позначки («0» або «■») в другому рядку екрану відповідають стану виводів пристрою згідно з табл. 2.16 («0» – відсутність напруги U_0 , «■» – наявність).

Таблиця 2.16

Відповідність позначень на індикаторі виводам пристрою в режимі налагодження

Позначення на індикаторі	1	2	3	4	5	6	7	8
Вивід пристрою	13	14	15	16	18	19	20	21
Підключено на лабораторному стенді	КМ1.2	КМ2.2	КМ3.2	S1	S2	S3	–	SB1

Перевести перемикач S1 в положення «Дозволено». На екрані значення під цифрою 4 має змінитися з «0» на «■».

Короткочасно натиснути кнопку «вліво» – реле K1, відповідно – контактор КМ1, має ввімкнутися, запуститься двигун. На екрані значення під цифрою 1 має змінитися з «0» на «■». Також вмикається світлодіод стану реле K1 на передній панелі пристрою. Повторно натиснути кнопку «вліво» – контактор КМ1 має відключитися, двигун зупиниться. Значення на екрані під цифрою 1 має стати «0».

Кнопка «вправо» керує реле K2, відповідно – контактором КМ2, який подає живлення на лампи. Блок-контакт цього контактора подає сигнал до виводу 14, що на екрані відповідає логічному значенню під цифрою 2. Одночасно дозволяється вмикати тільки одне реле.

Кнопка «вверх» керує реле K3, відповідно – контактором КМ3, на екрані це відповідає логічному значенню під цифрою 3.

Кнопка «вниз» – реле K4, однак до нього не підключено жодного виконавчого механізму.

5. Перевести перемикач S2 в положення «Аварія». На екрані значення під цифрою 5 має змінитися з «0» на «■». Також встановлюється внутрішній сигнал аварії, однак лампа HL1 не вмикається. Повернути перемикач S2 в

положення «Норма». Для скидання внутрішнього сигналу аварії натиснути кнопку SB1 «Скидання аварії» (під час натискання значення під цифрою 8 змінюється з «0» на «■»).

Аналогічно випробувати перемикач S3.

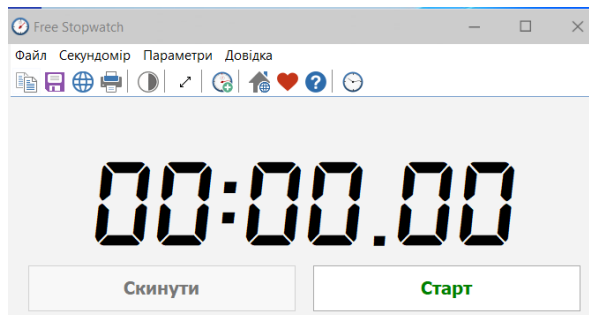
Перевести перемикач S1 в положення «Заблоковано».

Для виходу з режиму налагодження необхідно короткочасно натиснути ОК.

6. В режимі МЕНЮ встановити значення параметрів та функцій відповідно до табл. 2.17.

2.7.4.3. 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. 2.18.

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, табл. 2.18. 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.

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_6

Таблиця 2.18

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			
					U_{A1} , В	U_{B1} , В	U_{C1} , В	U_{A2} , В	U_{B2} , В	U_{C2} , В							I_1 , А	I_2 , А	ΔT_1 , с	ΔT_2 , с		
	QF1	QF2	S2 Лінія1	S3 Лінія2	HL2, 0/1	На екрані пристрою Вв1	HL3, 0/1	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
Схема – рис. 2.50. Дослід 1. Дослідження автоматичного введення резерву																						
1а	on	on	норма	норма																	x	x
1б	off	on	норма	норма																		
1в	on	off	норма	норма																		
Схема – рис. 2.50. Дослід 2. Функціонування АВР при пошкодженні ліній до навантаження																						
2а	on	on	аварія	норма																	x	x
2б	on	on	норма	аварія																	x	x
Схема – рис. 2.51. Дослід 3. Функціонування АВР при обриві фази джерела																						
3	on	on	норма	норма																	x	x
Схема – рис. 2.52. Дослід 4. Функціонування АВР при помилковому чергуванні фаз																						
4	on	on	норма	норма																	x	x
Схема – рис. 2.53. Дослід 5. Функціонування АВР при відсутності синфазності																						
5	on	on	норма	норма																	x	x

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, табл. 2.18. При цьому значення витримку часу, що визначено таймером, занести до клітинки ΔT_1 .

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).

2.7.4.4. 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, табл. 2.18.

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, табл. 2.18.

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.

2.7.4.5. Дослід 3. Функціонування АВР при обриві фази джерела

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено.

2. Внести зміни до схеми лабораторного стенда відповідно до рис. 2.51, а саме – від'єднати провід, що з'єднує клеми 24/ПР/С2 та ХТ2/3/Л3.

3. Показати зібрану схему викладачеві.

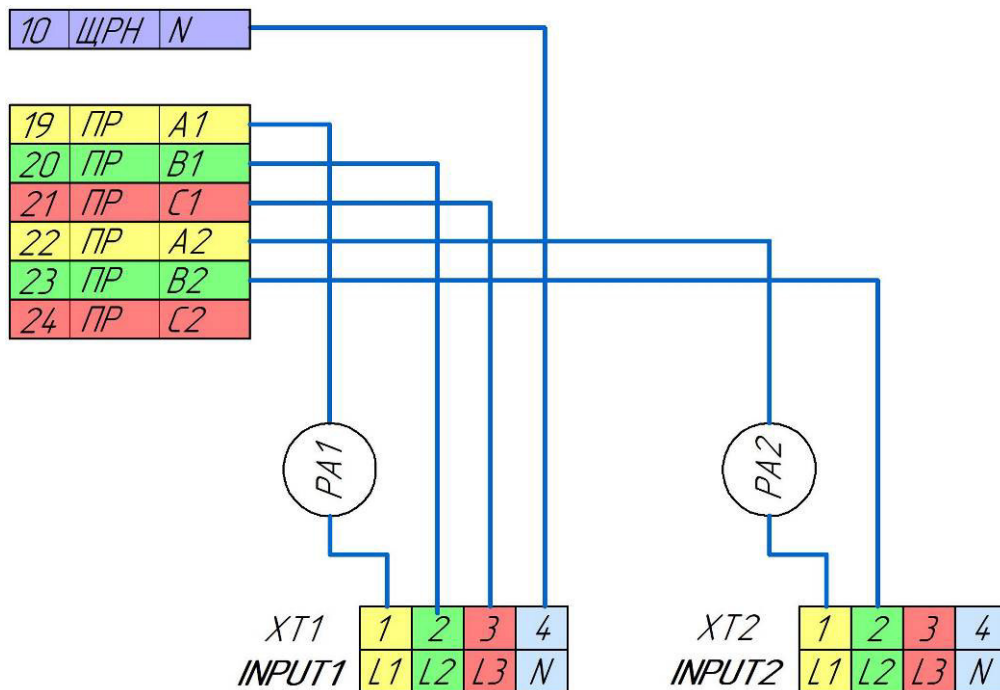


Рис. 2.51. Схема лабораторного стенда для дослідження роботи блоку АВР при обриві фази джерела (дослід 3)

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, табл. 2.18.
7. Відключити автоматичний вимикач ЩРН.

2.7.4.6. Дослід 4. Функціонування АВР при помилковому чергуванні фаз

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено.
2. Внести зміни до схеми лабораторного стенда відповідно до рис. 2.52. 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, табл. 2.18.
7. Відключити автоматичний вимикач ЩРН.

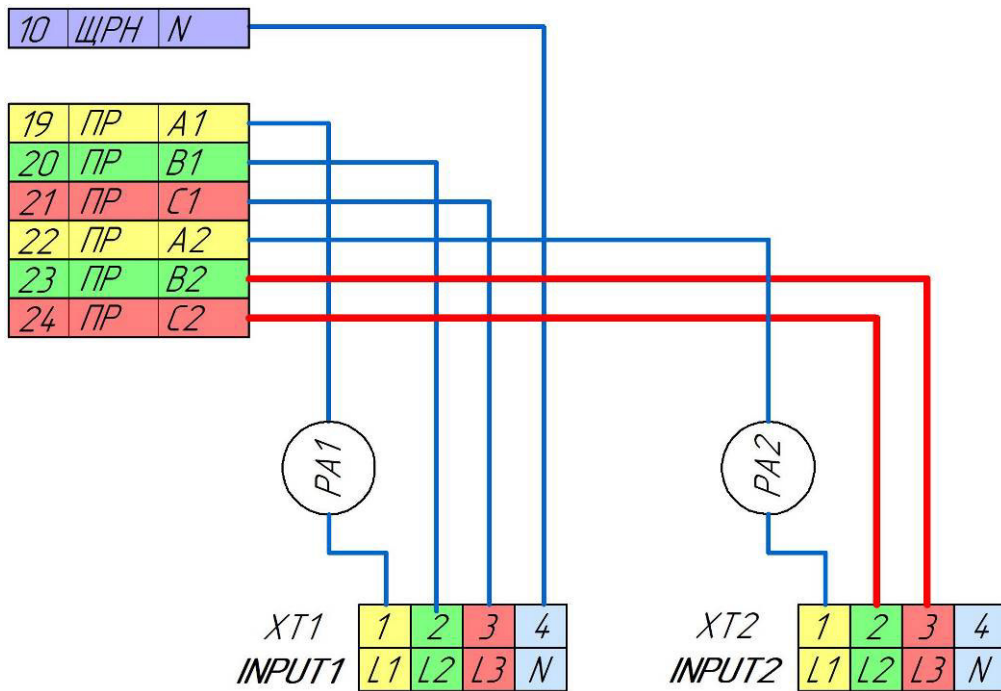


Рис. 2.52. Схема лабораторного стенда для дослідження роботи блоку АВР при помилковому чергуванні фаз (дослід 4)

2.7.4.7. Дослід 5. Функціонування АВР при відсутності синфазності

1. Пересвідчитися, що стенд знеструмлено.

2. Внести зміни до схеми лабораторного стенда відповідно до рис. 2.53.

Проводи, які необхідно переключити, виділені червоним.

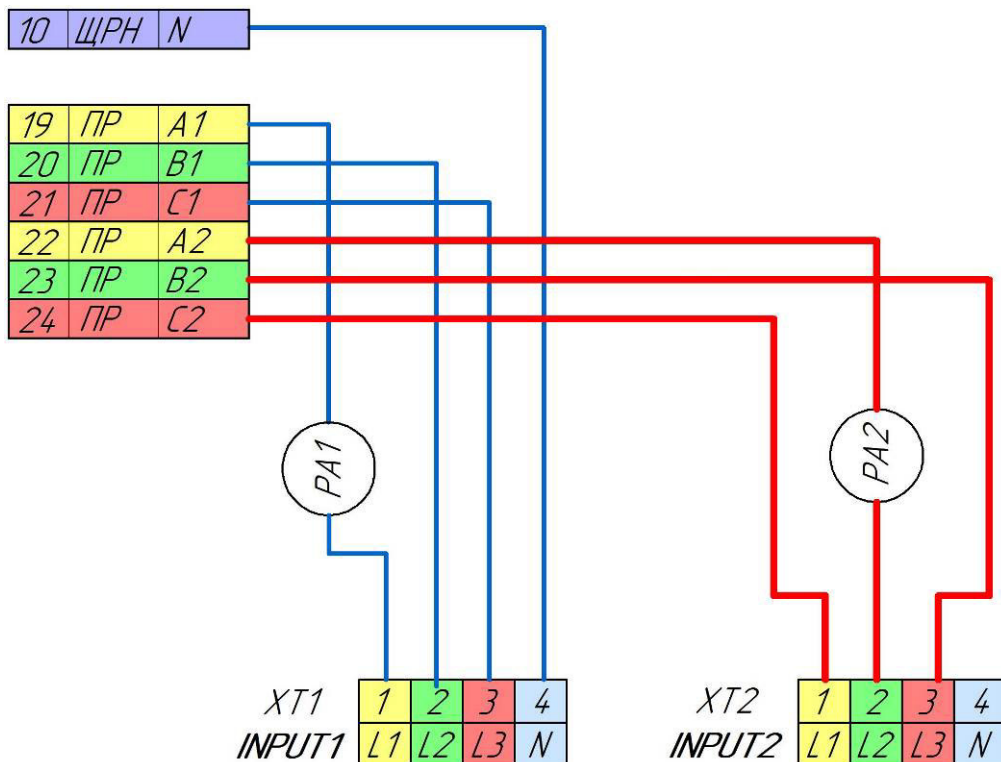


Рис. 2.53. Схема лабораторного стенда для дослідження роботи блоку АВР при відсутності синфазності (дослід 5)

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, табл. 2.18.
7. Відключити автоматичний вимикач ЩРН. Відключити автоматичні вимикачі QF0, QF1, QF2 у складі ПР-11.

2.7.4.8. Аналіз результатів дослідів

1. На основі експериментальних даних (рядки 1а, 1б табл. 2.18) 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. 2.18). Для побудови графіка можна скористатися шаблоном, що наведений на рис. 2.54.

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. 2.18) 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. 2.18) скласти текстовий опис функціонування блоку АВР при виникненні аварії на одній з ліній, які живлять навантаження.

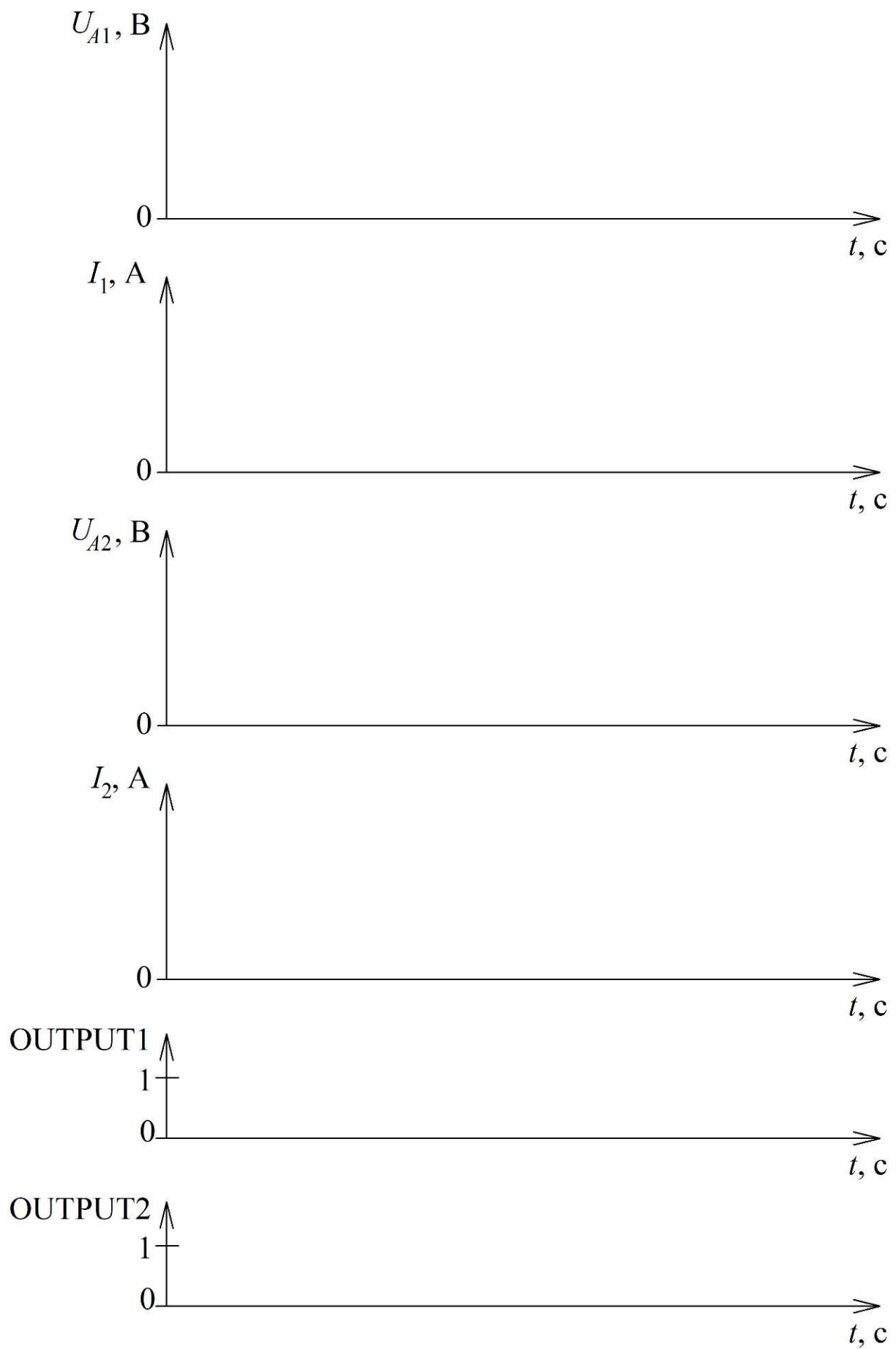


Рис. 2.54. Шаблон для побудови графіків спрацювання АВР

6. Скласти текстовий опис функціонуванню блоку АВР при обриві фази джерела (рядок 3 табл. 2.18).

7. Скласти текстовий опис функціонуванню блоку АВР при помилковому чергуванні фаз (рядок 4 табл. 2.18).

8. Скласти текстовий опис функціонуванню блоку АВР при відсутності синфазності між системами напруг джерел (рядок 5 табл. 2.18).

2.7.5. Вміст звіту з лабораторної роботи

1. Тема, мета роботи.

2. Опис принципу функціонування АВР відповідно до схеми N1+N2+S.

3. Пояснення формування напруги живлення кіл управління відповідно до рис. 2.43.

4. Фото лабораторного стенда.

5. Принципова електрична схема блоку автоматичного введення резерву (АВР) на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G, рис. 2.46, з описом роботи.

6. Налаштовані значення параметрів пристрою.

7. Протокол випробування блоку АВР на основі пристрою управління резервним живленням AVR-02-G, табл. 2.18.

8. Графіки, що відображають цикл спрацювання АВР при втраті живлення від першого джерела (за шаблоном рис. 2.54).

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

10. Графіки, що відображають цикл спрацювання АВР при втраті живлення від другого джерела (за шаблоном рис. 2.54).

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

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

13. Опис функціонуванню блоку АВР при обриві фази джерела.

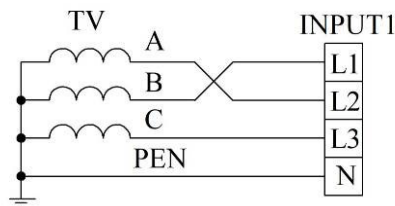
14. Опис функціонуванню блоку АВР при помилковому чергуванні фаз.

15. Опис функціонуванню блоку АВР при відсутності синфазності між системами напруг джерел.

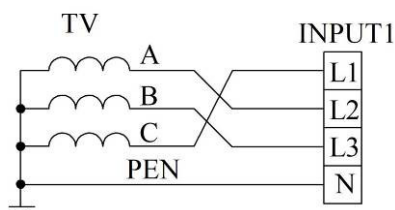
16. Висновки.

2.7.6. 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, рис. 2.39.
4. Розкрийте призначення та функції пристрою AVR-02-G.
5. Опишіть типові схеми електропостачання, в яких може застосовуватися пристрій AVR-02-G.
6. Опишіть функціонування пристрою AVR-02-G для схеми N1+N2+S, користуючись рис. 2.41 та рис. 2.42.
7. Скільки вбудованих реле має пристрій AVR-02-G? Для чого вони призначені?
8. Поясніть формування напруги живлення кіл управління за схемою на рис. 2.43.
9. Поясніть улаштування блоку АВР за схемою на рис. 2.46. Для чого призначено кожний елемент? Яка умова його ввімкнення/відключення?
10. Користуючись одержаними графіками, поясніть цикл спрацювання АВР при втраті живлення від одного з джерел.
11. Що необхідно для того, щоб блок АВР відреагував на коротке замикання одного з приєднань? Якою є реакція блоку?
12. Що станеться, якщо обірветься фаза одного з джерел?
13. Яким чином буде функціонувати блок АВР, вхід INPUT1 якого підключено до трансформатора TV наступним чином:



14. Яким чином буде функціонувати блок АВР, вхід INPUT1 якого підключено до трансформатора TV наступним чином:



15. Чи допускається наявність фазового зсуву між векторами \underline{U}_{A1} та \underline{U}_{A2} ? Відповідь обґрунтуйте.

ГЛОСАРІЙ

А

Абсолютна селективність – здатність релейного захисту спрацьовувати при ушкодженнях тільки у визначеній зоні дії та не спрацьовувати при ушкодженнях поза такою зоною.

Автоматичне введення резерву (АВР) – принцип забезпечення безперебійного живлення, який передбачає ввімкнення резервного джерела живлення замість основного, що відмовило.

Б

Ближнє резервування – спосіб резервування, який передбачає встановлення на об'єкті, який захищається, додаткових релейних захистів, час спрацювання яких близький до часу спрацювання основного захисту, що мають незалежне від основного захисту живлення.

В

Вимірний орган – складова релейного захисту, яка неперервно контролює стан обладнання, що захищається, та реагує на аварійний або ненормальний режим.

Відносна селективність – здатність релейного захисту спрацьовувати при ушкодженнях у визначеній зоні та на суміжних ділянках мережі.

Вказівне реле – реле, що призначене для індикації спрацювання релейного захисту, спрацьовує автоматично, у вихідний стан повертається вручну.

Д

Дальнє резервування – спосіб резервування, який передбачає ліквідацію аварійного стану захистом суміжних з аварійною ділянок мережі елементів при відмові основного захисту.

Дистанційний захист – релейний захист з відносною селективністю, вимірний орган якого реагує на величину повного опору (імпедансу) ділянки лінії від місця встановлення захисту до точки короткого замикання.

І

Імпеданс – комплексний опір електричного кола змінному струму, дійсна частина імпедансу відповідає активному опору, уявна – реактивному.

К

Коефіцієнт повернення реле – відношення струму повернення реле до струму спрацювання.

М

Максимальний струмовий захист (МСЗ) – вид струмового захисту, який має відносну селективність, що забезпечується вибором струму та часу спрацювання.

Н

Надійність – властивість релейного захисту виконувати свої функції в будь-яких умовах експлуатації.

О

Оперативний струм – струм, що забезпечує живлення вторинних кіл електростанції або підстанції.

П

Проміжне реле – реле електромагнітного типу, що призначене для збільшення комутаційної здатності основного реле та розмноження кількості його контактів.

Р

Реле мінімального опору – реле, що спрацьовує при знаходженні фактичного імпедансу мережі всередині замкненої характеристики спрацювання на комплексній площині.

Реле часу – реле, яке створює часову затримку передавання сигналу між окремими вузлами релейного захисту.

Релейна характеристика – кусково-лінійна характеристика, що відповідає перетворенню технічним пристроєм неперервної вхідної величини у дискретні значення вихідної величини.

С

Секційний вимикач – силовий комутаційний апарат, що з'єднує дві секції збірних шин.

Селективність – здатність релейного захисту виявляти пошкоджений елемент та відключати його від працездатної частини енергосистеми, що дає змогу зберегти функціонування останньої.

Синфазність – взаємна відповідність початкових зсувів фаз трифазних систем напруг, що подаються до двох входів блоку автоматичного введення резерву.

Статичне реле – напівпровідниковий прилад, до складу якого входять електронні ключі на симісторах, тиристорах або транзисторах, що заміняє електромеханічне реле.

Струм повернення реле – найбільше значення струму в реле, при якому воно повертається в початкове положення.

Струм спрацювання реле – найменший струм, при якому реле спрацьовує.

Струмова відсічка (СВ) – вид струмового захисту, який має відносну селективність, в разі короткого замикання спрацьовує без витримки часу, селективність забезпечується вибором струму спрацювання.

Ступінь селективності – мінімально можлива різниця між часом спрацювання суміжних захистів.

У

Уставка – визначене граничне значення величини або параметра, при досягненні якого відбувається спрацювання реле або релейного захисту.

Х

Характеристика спрацювання – залежність часу спрацювання реле від величини контрольованого параметру.

Хитання – режим енергосистеми, для якого характерні періодичні зміни величин параметрів без порушення синхронізму.

Ч

Чергування фаз – послідовність проходження через додатні максимуми струмів або напруг фаз трифазної системи. Розрізняють прямий порядок чергування фаз, коли максимум настає у фазі А, потім у фазі В, і у фазі С, та зворотний – А, С, В.

Чутливість – властивість релейного захисту виявляти ушкодження в кінці захисту зони дії такого захисту у мінімальному режимі роботи енергосистеми.

Ш

Шинки оперативного струму – клеми джерела оперативного струму, що забезпечують живлення кіл захисту, управління, автоматики та сигналізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кідиба В. П. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник. Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2013. 533 с.
2. Релейний захист електроенергетичних систем : підручник для студентів зі спеціальності електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Сокол Є. І., Сендерович Г. А., Гриб О. Г. та ін. Харків : ФОП Бровін О.В., 2020. 306 с.
3. 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.
4. Релейний захист і автоматика : навч. посіб. / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін. ; за ред. В. М. Баженова. Харків : УкрДУЗТ, 2020. Ч. 1. 250 с.
5. Preve C. Protection of electrical networks. GB: Antony Rowe Ltd, Chippenham, Wilt-shire, 2006. 508 p.
6. Reimert D. Protective relaying for power generation. USA, FL, Boca Raton: CRC Press, 2006. 561 p.
7. Баран П. М., Кідиба В. П., Пришляк Я. Д. Цифрові пристрої релейного захисту трансформаторів (автотрансформаторів). Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 208 с.
8. Автоматика протиаварійного управління електроенергетичних систем : підручник / Є. І. Сокол та ін. Харків : ФОП Бровін О.В., 2020. 216 с.
9. Матвійчук В. А., Рубаненко О. О., Гунько І. О. Інтелектуалізація електроенергетичних систем : навч. посіб. Вінниця : Видавничий центр ВНАУ, 2018. 109 с.
10. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах : навч. посіб. К. : Вища шк., 2006. 367 с.
11. Букович Н. В. Протиаварійна режимна автоматика електроенергетичних систем : навч. посіб. Львів : Видавництво «Бескід Біт», 2003. 224 с.

ДОДАТОК А

Налаштування уставок реле максимального струму РС80М2-19

Таблиця А.1

Розташування перемичок в гніздах «Уставка за струмом» в залежності від уставки I_y спрацювання реле за струмом для діапазону уставок 1 А...2,27 А

Уставка за струмом I_y , А	Гнізда «Уставка за струмом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня						
	0,01	0,02	0,04	0,08	0,16	0,32	0,64
1	-	-	-	-	-	-	-
1,01	+	-	-	-	-	-	-
1,02	-	+	-	-	-	-	-
1,03	+	+	-	-	-	-	-
1,04	-	-	+	-	-	-	-
1,05	+	-	+	-	-	-	-
1,06	-	+	+	-	-	-	-
1,07	+	+	+	-	-	-	-
1,08	-	-	-	+	-	-	-
1,09	+	-	-	+	-	-	-
1,1	-	+	-	+	-	-	-
1,11	+	+	-	+	-	-	-
1,12	-	-	+	+	-	-	-
1,13	+	-	+	+	-	-	-
1,14	-	+	+	+	-	-	-
1,15	+	+	+	+	-	-	-
1,16	-	-	-	-	+	-	-
1,17	+	-	-	-	+	-	-
1,18	-	+	-	-	+	-	-
1,19	+	+	-	-	+	-	-
1,2	-	-	+	-	+	-	-
1,21	+	-	+	-	+	-	-
1,22	-	+	+	-	+	-	-
1,23	+	+	+	-	+	-	-
1,24	-	-	-	+	+	-	-
1,25	+	-	-	+	+	-	-
1,26	-	+	-	+	+	-	-
1,27	+	+	-	+	+	-	-
1,28	-	-	+	+	+	-	-
1,29	+	-	+	+	+	-	-
1,3	-	+	+	+	+	-	-
1,31	+	+	+	+	+	-	-
1,32	-	-	-	-	-	+	-
1,33	+	-	-	-	-	+	-
1,34	-	+	-	-	-	+	-
1,35	+	+	-	-	-	+	-
1,36	-	-	+	-	-	+	-
1,37	+	-	+	-	-	+	-
1,38	-	+	+	-	-	+	-
1,39	+	+	+	-	-	+	-

Уставка за струмом I_y , А	Гнізда «Уставка за струмом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня						
	0,01	0,02	0,04	0,08	0,16	0,32	0,64
1,4	-	-	-	+	-	+	-
1,41	+	-	-	+	-	+	-
1,42	-	+	-	+	-	+	-
1,43	+	+	-	+	-	+	-
1,44	-	-	+	+	-	+	-
1,45	+	-	+	+	-	+	-
1,46	-	+	+	+	-	+	-
1,47	+	+	+	+	-	+	-
1,48	-	-	-	-	+	+	-
1,49	+	-	-	-	+	+	-
1,5	-	+	-	-	+	+	-
1,51	+	+	-	-	+	+	-
1,52	-	-	+	-	+	+	-
1,53	+	-	+	-	+	+	-
1,54	-	+	+	-	+	+	-
1,55	+	+	+	-	+	+	-
1,56	-	-	-	+	+	+	-
1,57	+	-	-	+	+	+	-
1,58	-	+	-	+	+	+	-
1,59	+	+	-	+	+	+	-
1,6	-	-	+	+	+	+	-
1,61	+	-	+	+	+	+	-
1,62	-	+	+	+	+	+	-
1,63	+	+	+	+	+	+	-
1,64	-	-	-	-	-	-	+
1,65	+	-	-	-	-	-	+
1,66	-	+	-	-	-	-	+
1,67	+	+	-	-	-	-	+
1,68	-	-	+	-	-	-	+
1,69	+	-	+	-	-	-	+
1,7	-	+	+	-	-	-	+
1,71	+	+	+	-	-	-	+
1,72	-	-	-	+	-	-	+
1,73	+	-	-	+	-	-	+
1,74	-	+	-	+	-	-	+
1,75	+	+	-	+	-	-	+
1,76	-	-	+	+	-	-	+
1,77	+	-	+	+	-	-	+
1,78	-	+	+	+	-	-	+
1,79	+	+	+	+	-	-	+

Уставка за струмом Iy, А	Гнізда «Уставка за струмом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня						
	0,01	0,02	0,04	0,08	0,16	0,32	0,64
1,8	-	-	-	-	+	-	+
1,81	+	-	-	-	+	-	+
1,82	-	+	-	-	+	-	+
1,83	+	+	-	-	+	-	+
1,84	-	-	+	-	+	-	+
1,85	+	-	+	-	+	-	+
1,86	-	+	+	-	+	-	+
1,87	+	+	+	-	+	-	+
1,88	-	-	-	+	+	-	+
1,89	+	-	-	+	+	-	+
1,9	-	+	-	+	+	-	+
1,91	+	+	-	+	+	-	+
1,92	-	-	+	+	+	-	+
1,93	+	-	+	+	+	-	+
1,94	-	+	+	+	+	-	+
1,95	+	+	+	+	+	-	+
1,96	-	-	-	-	-	+	+
1,97	+	-	-	-	-	+	+
1,98	-	+	-	-	-	+	+
1,99	+	+	-	-	-	+	+
2	-	-	+	-	-	+	+
2,01	+	-	+	-	-	+	+
2,02	-	+	+	-	-	+	+
2,03	+	+	+	-	-	+	+
2,04	-	-	-	+	-	+	+
2,05	+	-	-	+	-	+	+
2,06	-	+	-	+	-	+	+
2,07	+	+	-	+	-	+	+
2,08	-	-	+	+	-	+	+
2,09	+	-	+	+	-	+	+
2,1	-	+	+	+	-	+	+
2,11	+	+	+	+	-	+	+
2,12	-	-	-	-	+	+	+
2,13	+	-	-	-	+	+	+
2,14	-	+	-	-	+	+	+
2,15	+	+	-	-	+	+	+
2,16	-	-	+	-	+	+	+
2,17	+	-	+	-	+	+	+
2,18	-	+	+	-	+	+	+
2,19	+	+	+	-	+	+	+
2,2	-	-	-	+	+	+	+
2,21	+	-	-	+	+	+	+
2,22	-	+	-	+	+	+	+
2,23	+	+	-	+	+	+	+
2,24	-	-	+	+	+	+	+
2,25	+	-	+	+	+	+	+
2,26	-	+	+	+	+	+	+
2,27	+	+	+	+	+	+	+

Примітка. Для розділу «Уставка за струмом» встановлена у гніздо перемичка збільшує значення уставки за струмом на величину, що вказана біля гнізда. Відповідно, вийнята перемичка зменшує уставку на зазначену величину.

Таблиця А.2

Розташування перемичок в гніздах «Уставка за часом» в залежності від уставки T_y спрацювання реле за часом

Уставка за часом T_y , с	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня							
	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8
	0,3	+	+	+	+	+	+	+
0,4	-	+	+	+	+	+	+	+
0,5	+	-	+	+	+	+	+	+
0,6	-	-	+	+	+	+	+	+
0,7	+	+	-	+	+	+	+	+
0,8	-	+	-	+	+	+	+	+
0,9	+	-	-	+	+	+	+	+
1	-	-	-	+	+	+	+	+
1,1	+	+	+	-	+	+	+	+
1,2	-	+	+	-	+	+	+	+
1,3	+	-	+	-	+	+	+	+
1,4	-	-	+	-	+	+	+	+
1,5	+	+	-	-	+	+	+	+
1,6	-	+	-	-	+	+	+	+
1,7	+	-	-	-	+	+	+	+
1,8	-	-	-	-	+	+	+	+
1,9	+	+	+	+	-	+	+	+
2	-	+	+	+	-	+	+	+
2,1	+	-	+	+	-	+	+	+
2,2	-	-	+	+	-	+	+	+
2,3	+	+	-	+	-	+	+	+
2,4	-	+	-	+	-	+	+	+
2,5	+	-	-	+	-	+	+	+
2,6	-	-	-	+	-	+	+	+
2,7	+	+	+	-	-	+	+	+
2,8	-	+	+	-	-	+	+	+
2,9	+	-	+	-	-	+	+	+
3	-	-	+	-	-	+	+	+
3,1	+	+	-	-	-	+	+	+
3,2	-	+	-	-	-	+	+	+
3,3	+	-	-	-	-	+	+	+
3,4	-	-	-	-	-	+	+	+
3,5	+	+	+	+	+	-	+	+
3,6	-	+	+	+	+	-	+	+
3,7	+	-	+	+	+	-	+	+
3,8	-	-	+	+	+	-	+	+
3,9	+	+	-	+	+	-	+	+
4	-	+	-	+	+	-	+	+

Уставка за часом T_y , с	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня							
	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8
	4,1	+	-	-	+	+	-	+
4,2	-	-	-	+	+	-	+	+
4,3	+	+	+	-	+	-	+	+
4,4	-	+	+	-	+	-	+	+
4,5	+	-	+	-	+	-	+	+
4,6	-	-	+	-	+	-	+	+
4,7	+	+	-	-	+	-	+	+
4,8	-	+	-	-	+	-	+	+
4,9	+	-	-	-	+	-	+	+
5	-	-	-	-	+	-	+	+
5,1	+	+	+	+	-	-	+	+
5,2	-	+	+	+	-	-	+	+
5,3	+	-	+	+	-	-	+	+
5,4	-	-	+	+	-	-	+	+
5,5	+	+	-	+	-	-	+	+
5,6	-	+	-	+	-	-	+	+
5,7	+	-	-	+	-	-	+	+
5,8	-	-	-	+	-	-	+	+
5,9	+	+	+	+	-	-	+	+
6	-	+	+	-	-	-	+	+
6,1	+	-	+	-	-	-	+	+
6,2	-	-	+	-	-	-	+	+
6,3	+	+	-	-	-	-	+	+
6,4	-	+	-	-	-	-	+	+
6,5	+	-	-	-	-	-	+	+
6,6	-	-	-	-	-	-	+	+
6,7	+	+	+	+	+	+	-	+
6,8	-	+	+	+	+	+	-	+
6,9	+	-	+	+	+	+	-	+
7	-	-	+	+	+	+	-	+
7,1	+	+	-	+	+	+	-	+
7,2	-	+	-	+	+	+	-	+
7,3	+	-	-	+	+	+	-	+
7,4	-	-	-	+	+	+	-	+
7,5	+	+	+	-	+	+	-	+
7,6	-	+	+	-	+	+	-	+
7,7	+	-	+	-	+	+	-	+
7,8	-	-	+	-	+	+	-	+

Уставка за часом T_y , с	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня							
	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8
	7,9	+	+	-	-	+	+	-
8	-	+	-	-	+	+	-	+
8,1	+	-	-	-	+	+	-	+
8,2	-	-	-	-	+	+	-	+
8,3	+	+	+	+	-	+	-	+
8,4	-	+	+	+	-	+	-	+
8,5	+	-	+	+	-	+	-	+
8,6	-	-	+	+	-	+	-	+
8,7	+	+	-	+	-	+	-	+
8,8	-	+	-	+	-	+	-	+
8,9	+	-	-	+	-	+	-	+
9	-	-	-	+	-	+	-	+
9,1	+	+	+	-	-	+	-	+
9,2	-	+	+	-	-	+	-	+
9,3	+	-	+	-	-	+	-	+
9,4	-	-	+	-	-	+	-	+
9,5	+	+	-	-	-	+	-	+
9,6	-	+	-	-	-	+	-	+
9,7	+	-	-	-	-	+	-	+
9,8	-	-	-	-	-	+	-	+
9,9	+	+	+	+	+	-	-	+
10	-	+	+	+	+	-	-	+
10,1	+	-	+	+	+	-	-	+
10,2	-	-	+	+	+	-	-	+
10,3	+	+	-	+	+	-	-	+
10,4	-	+	-	+	+	-	-	+
10,5	+	-	-	+	+	-	-	+
10,6	-	-	-	+	+	-	-	+
10,7	+	+	+	-	+	-	-	+
10,8	-	+	+	-	+	-	-	+
10,9	+	-	+	-	+	-	-	+
11	-	-	+	-	+	-	-	+
11,1	+	+	-	-	+	-	-	+
11,2	-	+	-	-	+	-	-	+
11,3	+	-	-	-	+	-	-	+
11,4	-	-	-	-	+	-	-	+
11,5	+	+	+	+	-	-	-	+
11,6	-	+	+	+	-	-	-	+

продовження табл. А.2

Уставка за часом Ту, с	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня							
	0	1	2	4	8	16	32	64
	12	8	4	2	1	0	1	2
11,7	+	-	+	+	-	-	-	+
11,8	-	-	+	+	-	-	-	+
11,9	+	+	-	+	-	-	-	+
12	-	+	-	+	-	-	-	+
12,1	+	-	-	+	-	-	-	+
12,2	-	-	-	+	-	-	-	+
12,3	+	+	+	-	-	-	-	+
12,4	-	+	+	-	-	-	-	+
12,5	+	-	+	-	-	-	-	+
12,6	-	-	+	-	-	-	-	+
12,7	+	+	-	-	-	-	-	+
12,8	-	+	-	-	-	-	-	+
12,9	+	-	-	-	-	-	-	+
13	-	-	-	-	-	-	-	+
13,1	+	+	+	+	+	+	+	-
13,2	-	+	+	+	+	+	+	-
13,3	+	-	+	+	+	+	+	-
13,4	-	-	+	+	+	+	+	-
13,5	+	+	-	+	+	+	+	-
13,6	-	+	-	+	+	+	+	-
13,7	+	-	-	+	+	+	+	-
13,8	-	-	-	+	+	+	+	-
13,9	+	+	+	-	+	+	+	-
14	-	+	+	-	+	+	+	-
14,1	+	-	+	-	+	+	+	-
14,2	-	-	+	-	+	+	+	-
14,3	+	+	-	-	+	+	+	-
14,4	-	+	-	-	+	+	+	-
14,5	+	-	-	-	+	+	+	-
14,6	-	-	-	-	+	+	+	-
14,7	+	+	+	+	-	+	+	-
14,8	-	+	+	+	-	+	+	-
14,9	+	-	+	+	-	+	+	-
15	-	-	+	+	-	+	+	-
15,1	+	+	-	+	-	+	+	-
15,2	-	+	-	+	-	+	+	-
15,3	+	-	-	+	-	+	+	-
15,4	-	-	-	+	-	+	+	-
15,5	+	+	+	-	-	+	+	-
15,6	-	+	+	-	-	+	+	-
15,7	+	-	+	-	-	+	+	-
15,8	-	-	+	-	-	+	+	-
15,9	+	+	-	-	-	+	+	-
16	-	+	-	-	-	+	+	-

Уставка за часом Ту, с	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня							
	0	1	2	4	8	16	32	64
	12	8	4	2	1	0	1	2
16,1	+	-	-	-	-	+	+	-
16,2	-	-	-	-	-	+	+	-
16,3	+	+	+	+	+	-	+	-
16,4	-	+	+	+	+	-	+	-
16,5	+	-	+	+	+	-	+	-
16,6	-	-	+	+	+	-	+	-
16,7	+	+	-	+	+	-	+	-
16,8	-	+	-	+	+	-	+	-
16,9	+	-	-	+	+	-	+	-
17	-	-	-	+	+	-	+	-
17,1	+	+	+	-	+	-	+	-
17,2	-	+	+	-	+	-	+	-
17,3	+	-	+	-	+	-	+	-
17,4	-	-	+	-	+	-	+	-
17,5	+	+	-	-	+	-	+	-
17,6	-	+	-	-	+	-	+	-
17,7	+	-	-	-	+	-	+	-
17,8	-	-	-	-	+	-	+	-
17,9	+	+	+	+	-	-	+	-
18	-	+	+	+	-	-	+	-
18,1	+	-	+	+	-	-	+	-
18,2	-	-	+	+	-	-	+	-
18,3	+	+	-	+	-	-	+	-
18,4	-	+	-	+	-	-	+	-
18,5	+	-	-	+	-	-	+	-
18,6	-	-	-	+	-	-	+	-
18,7	+	+	+	-	-	-	+	-
18,8	-	+	+	-	-	-	+	-
18,9	+	-	+	-	-	-	+	-
19	-	-	+	-	-	-	+	-
19,1	+	+	-	-	-	-	+	-
19,2	-	+	-	-	-	-	+	-
19,3	+	-	-	-	-	-	+	-
19,4	-	-	-	-	-	-	+	-
19,5	+	+	+	+	+	+	-	-
19,6	-	+	+	+	+	+	-	-
19,7	+	-	+	+	+	+	-	-
19,8	-	-	+	+	+	+	-	-
19,9	+	+	-	+	+	+	-	-
20	-	+	-	+	+	+	-	-
20,1	+	-	-	+	+	+	-	-
20,2	-	-	-	+	+	+	-	-
20,3	+	+	+	-	+	+	-	-
20,4	-	+	+	-	+	+	-	-

Уставка за часом Ту, с	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня							
	0	1	2	4	8	16	32	64
	12	8	4	2	1	0	1	2
20,5	+	-	+	-	+	+	-	-
20,6	-	-	+	-	+	+	-	-
20,7	+	+	-	-	+	+	-	-
20,8	-	+	-	-	+	+	-	-
20,9	+	-	-	-	+	+	-	-
21	-	-	-	-	+	+	-	-
21,1	+	+	+	+	-	+	-	-
21,2	-	+	+	+	-	+	-	-
21,3	+	-	+	+	-	+	-	-
21,4	-	-	+	+	-	+	-	-
21,5	+	+	-	+	-	+	-	-
21,6	-	+	-	+	-	+	-	-
21,7	+	-	-	+	-	+	-	-
21,8	-	-	-	+	-	+	-	-
21,9	+	+	+	-	-	+	-	-
22	-	+	+	-	-	+	-	-
22,1	+	-	+	-	-	+	-	-
22,2	-	-	+	-	-	+	-	-
22,3	+	+	-	-	-	+	-	-
22,4	-	+	-	-	-	+	-	-
22,5	+	-	-	-	-	+	-	-
22,6	-	-	-	-	-	+	-	-
22,7	+	+	+	+	+	-	-	-
22,8	-	+	+	+	+	-	-	-
22,9	+	-	+	+	+	-	-	-
23	-	-	+	+	+	-	-	-
23,1	+	+	-	+	+	-	-	-
23,2	-	+	-	+	+	-	-	-
23,3	+	-	-	+	+	-	-	-
23,4	-	-	-	+	+	-	-	-
23,5	+	+	+	-	+	-	-	-
23,6	-	+	+	-	+	-	-	-
23,7	+	-	+	-	+	-	-	-
23,8	-	-	+	-	+	-	-	-
23,9	+	+	-	-	+	-	-	-
24	-	+	-	-	+	-	-	-
24,1	+	-	-	-	+	-	-	-
24,2	-	-	-	-	+	-	-	-
24,3	+	+	+	+	-	-	-	-
24,4	-	+	+	+	-	-	-	-
24,5	+	-	+	+	-	-	-	-
24,6	-	-	+	+	-	-	-	-
24,7	+	+	-	+	-	-	-	-
24,8	-	+	-	+	-	-	-	-

продовження табл. А.2

Уставка за часом Т _у , с	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня							
	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	12,8
24,9	+	-	-	+	-	-	-	-
25	-	-	-	+	-	-	-	-
25,1	+	+	+	-	-	-	-	-
25,2	-	+	+	-	-	-	-	-
25,3	+	-	+	-	-	-	-	-
25,4	-	-	+	-	-	-	-	-
25,5	+	+	-	-	-	-	-	-
25,6	-	+	-	-	-	-	-	-
25,7	+	-	-	-	-	-	-	-
25,8	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблиця А.3

Розташування перемичок в гніздах «Відсічка» в залежності від уставки
 I_6 струмової відсічки

Уставка відсічки, крат	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня					
	0,25	0,5	1	2	4	8
2	-	-	-	-	-	-
2,25	+	-	-	-	-	-
2,5	-	+	-	-	-	-
2,75	+	+	-	-	-	-
3	-	-	+	-	-	-
3,25	+	-	+	-	-	-
3,5	-	+	+	-	-	-
3,75	+	+	+	-	-	-
4	-	-	-	+	-	-
4,25	+	-	-	+	-	-
4,5	-	+	-	+	-	-
4,75	+	+	-	+	-	-
5	-	-	+	+	-	-
5,25	+	-	+	+	-	-
5,5	-	+	+	+	-	-
5,75	+	+	+	+	-	-
6	-	-	-	-	+	-
6,25	+	-	-	-	+	-
6,5	-	+	-	-	+	-
6,75	+	+	-	-	+	-
7	-	-	+	-	+	-
7,25	+	-	+	-	+	-
7,5	-	+	+	-	+	-
7,75	+	+	+	-	+	-
8	-	-	-	+	+	-
8,25	+	-	-	+	+	-
8,5	-	+	-	+	+	-
8,75	+	+	-	+	+	-
9	-	-	+	+	+	-
9,25	+	-	+	+	+	-
9,5	-	+	+	+	+	-
9,75	+	+	+	+	+	-

Уставка відсічки, крат	Гнізда «Уставка за часом»: «+» - перемичка встановлена «-» - перемичка відсутня					
	0,25	0,5	1	2	4	8
10	-	-	-	-	-	+
10,25	+	-	-	-	-	+
10,5	-	+	-	-	-	+
10,75	+	+	-	-	-	+
11	-	-	+	-	-	+
11,25	+	-	+	-	-	+
11,5	-	+	+	-	-	+
11,75	+	+	+	-	-	+
12	-	-	-	+	-	+
12,25	+	-	-	+	-	+
12,5	-	+	-	+	-	+
12,75	+	+	-	+	-	+
13	-	-	+	+	-	+
13,25	+	-	+	+	-	+
13,5	-	+	+	+	-	+
13,75	+	+	+	+	-	+
14	-	-	-	-	+	+
14,25	+	-	-	-	+	+
14,5	-	+	-	-	+	+
14,75	+	+	-	-	+	+
15	-	-	+	-	+	+
15,25	+	-	+	-	+	+
15,5	-	+	+	-	+	+
15,75	+	+	+	-	+	+
16	-	-	-	+	+	+
16,25	+	-	-	+	+	+
16,5	-	+	-	+	+	+
16,75	+	+	-	+	+	+
17	-	-	+	+	+	+
17,25	+	-	+	+	+	+
17,5	-	+	+	+	+	+
17,75	+	+	+	+	+	+

ДОДАТОК Б

Апроксимація. Метод найменших квадратів

Апроксимація – наближене вираження одних математичних об'єктів іншими. Зокрема, апроксимація експериментальних точок передбачає знаходження деякої кривої, яка є найбільш близькою до експериментальних точок відповідно до визначеного критерія, рис. Б.1. Критерії, що оцінюють наближення кривої до експериментальних точок, можуть бути різні.

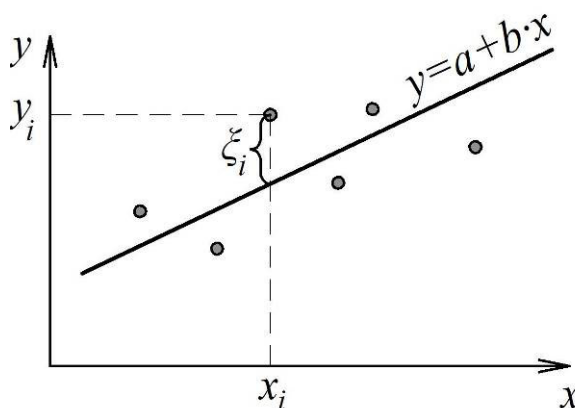


Рис. Б.1. Апроксимація експериментальних точок

Найбільш поширеним методом, який використовується для обчислення параметрів апроксимуючої лінії, є метод найменших квадратів. Відповідно до цього методу, значення коефіцієнтів апроксимуючої лінії обираються за критерієм мінімуму суми квадратів відхилень експериментальних точок від такої лінії (тобто мінімуму суми квадратів нев'язок).

Найбільш поширеним випадком є лінійна апроксимація, коли лінія є прямою. Припустимо, що одержані експериментальні точки (x_i, y_i) . Необхідно побудувати пряму:

$$y = a + b \cdot x, \quad (\text{Б.1})$$

яка б «найкраще» проходила через ці точки в розумінні методу найменших квадратів. Тобто необхідно визначити такі значення коефіцієнтів a і b , щоб сума квадратів відхилень експериментальних точок від прямої $y = a + b \cdot x$ була мінімальною.

Експериментальні точки найчастіше не лежать на апроксимуючій лінії. Для кожної (i -ї) експериментальної точки y_i має місце нев'язка ξ_i , тобто відхилення від значення прямої $(a + b \cdot x_i)$ при відповідному значенні аргументу x_i , рис. А.1. Така нев'язка обчислюється як:

$$y_i - (a + b \cdot x_i) = \xi_i. \quad (\text{Б.2})$$

Нев'язка виникає через похибки та збурення, які супроводжують експеримент, та через недоліки обраного виду лінії апроксимації.

Критерій методу найменших квадратів полягає у виборі таких значень коефіцієнтів апроксимуючої лінії, при яких сума квадратів нев'язок у всіх експериментальних точках є мінімальною:

$$U = \sum_{i=1}^N \xi_i^2 \rightarrow \min, \quad (\text{Б.3})$$

де N – загальна кількість експериментальних точок.

Враховуючи рівняння (А.2), умова (А.3) може бути переписана у вигляді:

$$U = \sum_{i=1}^N (y_i - a - b \cdot x_i)^2 \rightarrow \min. \quad (\text{Б.4})$$

Тобто задача лінійної апроксимації зводиться до знаходження таких значень коефіцієнтів a , b прямої (А.1), для яких функція U , що визначається за (А.4), досягає мінімуму. В даному випадку U є функцією двох аргументів: $U = U(a, b)$. Така функція досягає мінімуму при одночасній тотожності нулю частинних похідних за обома аргументами, а саме:

$$\begin{cases} \frac{\partial U(a, b)}{\partial a} = 0; \\ \frac{\partial U(a, b)}{\partial b} = 0. \end{cases} \quad (\text{Б.5})$$

Диференціюючи функцію $U = U(a, b)$ за кожним із параметрів, одержуємо:

$$\begin{cases} -2 \sum_{i=1}^N (y_i - a - b \cdot x_i) = 0; \\ -2 \sum_{i=1}^N (y_i - a - b \cdot x_i) \cdot x_i = 0. \end{cases} \quad (\text{Б.6})$$

Після перетворень з системи (А.6) маємо:

$$\begin{cases} Na + \sum_{i=1}^N bx_i = \sum_{i=1}^N y_i; \\ \sum_{i=1}^N ax_i + \sum_{i=1}^N bx_i^2 = \sum_{i=1}^N y_i x_i. \end{cases} \quad (\text{Б.7})$$

Із (Б.7) можна одержати остаточні формули для оцінювання коефіцієнтів лінійної апроксимації:

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N y_i x_i \sum_{i=1}^N x_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left[\sum_{i=1}^N x_i \right]^2}; & b &= \frac{N \sum_{i=1}^N y_i x_i - \sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left[\sum_{i=1}^N x_i \right]^2}. \quad (\text{B.8})
 \end{aligned}$$

ДОДАТОК В

Коди OBIS

Система ідентифікації об'єктів (The OBject Identification System, OBIS) визначає ідентифікатори (identification codes, ID-codes) для загальноживаних величин, що вимірюються цифровими лічильниками електроенергії. OBIS визначається стандартом ІЕС 62056-61.

Кожен код включає 6 груп ідентифікаторів. Деякі з цих груп можуть не вказуватися. Групи позначаються наступним чином (табл. В.1):

A-B:C.D.E*F

Таблиця В.1

Позначення груп ідентифікаторів

Група	Опис	Приклад
A	тип вимірюваного середовища	1 – електрика, 8 – вода
B	канал	0 – канал недоступний
C	фізична величина, що визначається A	потужність, енергія, струм тощо
D	параметр фізичної величини, що визначається A та C	максимальне значення, миттєве значення тощо
E	тариф	0 – сумарно, 1 – тариф 1, 2 – тариф 2 ...
F	додаткова деталізація в залежності від A-E	термін надходження платежу, 255 якщо не використовується

Квадранти комплексної площини для активної та реактивної потужності визначаються відповідно до ІЕС 62053-23, рис. В.1.

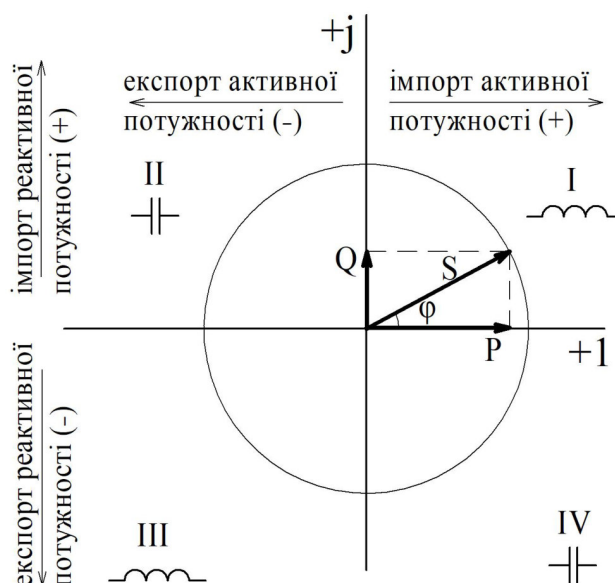


Рис. В.1. Визначення квадрантів для активної та реактивної потужності

Типові коди OBIS, що використовуються в цифрових лічильниках, наведені в табл. В.2, В.3.

Таблиця В.2

Найбільш розповсюджені коди OBIS

Коди OBIS	Вимірювані параметри
1.8.0 / 2.8.0	активна енергія імпортована (спожита) / експортована (передана) до мережі
3.8.0 / 4.8.0	реактивна енергія імпортована (спожита) / експортована (передана) до мережі
5.8.0 / 7.8.0	реактивна індуктивна енергія імпортована (спожита) / експортована (передана) до мережі
6.8.0 / 8.8.0	реактивна ємнісна енергія імпортована (спожита) / експортована (передана) до мережі
1.8.1 – 1.8.4	активна енергія імпортована (спожита) за тарифами, диференційованими за періодами часу (зонними тарифами)
2.8.1 – 2.8.4	активна енергія експортована (передана) до мережі за тарифами, диференційованими за періодами часу (зонними тарифами)

Таблиця В.3

Перелік кодів OBIS

Код OBIS	Параметр	Одиниця вимірювання	Умовне позначення
1	2	3	4
Активна енергія			
1.8.0	Додатна активна енергія, загалом	кВт·год	A+
1.8.1	Додатна активна енергія, тариф I	кВт·год	A+ (T1)
1.8.2	Додатна активна енергія, тариф II	кВт·год	A+ (T2)
1.8.3	Додатна активна енергія, тариф III	кВт·год	A+ (T3)
1.8.4	Додатна активна енергія, тариф IV	кВт·год	A+ (T4)
2.8.0	Від’ємна активна енергія, загалом	кВт·год	A-
2.8.1	Від’ємна активна енергія, тариф I	кВт·год	A- (T1)
2.8.2	Від’ємна активна енергія, тариф II	кВт·год	A- (T2)
2.8.3	Від’ємна активна енергія, тариф III	кВт·год	A- (T3)
2.8.4	Від’ємна активна енергія, тариф IV	кВт·год	A- (T4)
15.8.0 / F.8.0	Модуль активної енергії, загалом	кВт·год	A
15.8.1 / F.8.1	Додатна активна енергія, всього за тарифом I	кВт·год	A (T1)
15.8.2 / F.8.2	Додатна активна енергія, всього за тарифом II	кВт·год	A (T2)
15.8.3 / F.8.3	Додатна активна енергія, всього за тарифом III	кВт·год	A (T3)

продовження табл. В.3

15.8.4 / F.8.4	Додатна активна енергія, всього за тарифом IV	кВт·год	A (T4)
21.8.0	Додатна активна енергія за першою фазою, загалом	кВт·год	A+ (L1)
41.8.0	Додатна активна енергія за другою фазою, загалом	кВт·год	A+ (L2)
61.8.0	Додатна активна енергія за третьою фазою, загалом	кВт·год	A+ (L3)
22.8.0	Від'ємна активна енергія за першою фазою, загалом	кВт·год	A- (L1)
42.8.0	Від'ємна активна енергія за другою фазою, загалом	кВт·год	A- (L2)
62.8.0	Від'ємна активна енергія за третьою фазою, загалом	кВт·год	A- (L3)
35.8.0	Модуль активної енергії за першою фазою, загалом	кВт·год	A (L1)
55.8.0	Модуль активної енергії за другою фазою, загалом	кВт·год	A (L2)
75.8.0	Модуль активної енергії за третьою фазою, загалом	кВт·год	A (L3)
Реактивна енергія			
3.8.0	Додатна реактивна енергія, загалом	кВАр·год	Q+
3.8.1	Додатна реактивна енергія, тариф I	кВАр·год	Q+ (T1)
3.8.2	Додатна реактивна енергія, тариф II	кВАр·год	Q+ (T2)
3.8.3	Додатна реактивна енергія, тариф III	кВАр·год	Q+ (T3)
3.8.4	Додатна реактивна енергія, тариф IV	кВАр·год	Q+ (T4)
4.8.0	Від'ємна реактивна енергія, загалом	кВАр·год	Q-
4.8.1	Від'ємна реактивна енергія, тариф I	кВАр·год	Q- (T1)
4.8.2	Від'ємна реактивна енергія, тариф II	кВАр·год	Q- (T2)
4.8.3	Від'ємна реактивна енергія, тариф III	кВАр·год	Q- (T3)
4.8.4	Від'ємна реактивна енергія, тариф IV	кВАр·год	Q- (T4)
5.8.0	Реактивна енергія за I квадрантом, загалом	кВАр·год	QL+
5.8.1	Реактивна енергія за I квадрантом, тариф I	кВАр·год	QL+ (T1)
5.8.2	Реактивна енергія за I квадрантом, тариф II	кВАр·год	QL+ (T2)
5.8.3	Реактивна енергія за I квадрантом, тариф III	кВАр·год	QL+ (T3)
5.8.4	Реактивна енергія за I квадрантом, тариф IV	кВАр·год	QL+ (T4)
6.8.0	Реактивна енергія за II квадрантом, загалом	кВАр·год	QC+
6.8.1	Реактивна енергія за II квадрантом, тариф I	кВАр·год	QC+ (T1)
6.8.2	Реактивна енергія за II квадрантом, тариф II	кВАр·год	QC+ (T2)
6.8.3	Реактивна енергія за II квадрантом, тариф III	кВАр·год	QC+ (T3)
6.8.4	Реактивна енергія за II квадрантом, тариф IV	кВАр·год	QC+ (T4)
7.8.0	Реактивна енергія за III квадрантом, загалом	кВАр·год	QL-
7.8.1	Реактивна енергія за III квадрантом, тариф I	кВАр·год	QL- (T1)

продовження табл. В.3

7.8.2	Реактивна енергія за III квадрантом, тариф II	кВАр·год	QL- (T2)
7.8.3	Реактивна енергія за III квадрантом, тариф III	кВАр·год	QL- (T3)
7.8.4	Реактивна енергія за III квадрантом, тариф IV	кВАр·год	QL- (T4)
8.8.0	Реактивна енергія за IV квадрантом, загалом	кВАр·год	QC-
8.8.1	Реактивна енергія за IV квадрантом, тариф I	кВАр·год	QC- (T1)
8.8.2	Реактивна енергія за IV квадрантом, тариф II	кВАр·год	QC- (T2)
8.8.3	Реактивна енергія за IV квадрантом, тариф III	кВАр·год	QC- (T3)
8.8.4	Реактивна енергія за IV квадрантом, тариф IV	кВАр·год	QC- (T4)
Повна енергія			
9.8.0	Повна енергія, загалом	кВА·год	S+
9.8.1	Повна енергія, тариф I	кВА·год	S+ (T1)
9.8.2	Повна енергія, тариф II	кВА·год	S+ (T2)
9.8.3	Повна енергія, тариф III	кВА·год	S+ (T3)
9.8.4	Повна енергія, тариф IV	кВА·год	S+ (T4)
Максимальна потужність			
1.6.0	Максимум додатної активної потужності, загалом	кВт	
1.6.1	Максимум додатної активної потужності, тариф I	кВт	
1.6.2	Максимум додатної активної потужності, тариф II	кВт	
1.6.3	Максимум додатної активної потужності, тариф III	кВт	
1.6.4	Максимум додатної активної потужності, тариф IV	кВт	
2.6.0	Максимум від'ємної активної потужності, загалом	кВт	
2.6.1	Максимум від'ємної активної потужності, тариф I	кВт	
2.6.2	Максимум від'ємної активної потужності, тариф II	кВт	
2.6.3	Максимум від'ємної активної потужності, тариф III	кВт	
2.6.4	Максимум від'ємної активної потужності, тариф IV	кВт	
15.6.0	Максимум модуля додатної активної потужності, загалом	кВт	
15.6.1	Максимум модуля додатної активної потужності, тариф I	кВт	
15.6.2	Максимум модуля додатної активної потужності, тариф II	кВт	
15.6.3	Максимум модуля додатної активної потужності, тариф III	кВт	

15.6.4	Максимум модуля додатної активної потужності, тариф IV	кВт	
3.6.0	Максимум додатної реактивної потужності, загалом	кВАр	
4.6.0	Максимум від'ємної реактивної потужності, загалом	кВАр	
9.6.0	Максимум повної потужності, загалом	кВА	
Миттєва потужність			
1.7.0	Додатна активна миттєва потужність	кВт	P+
21.7.0	Додатна активна миттєва потужність за першою фазою	кВт	P+ (L1)
41.7.0	Додатна активна миттєва потужність за другою фазою	кВт	P+ (L2)
61.7.0	Додатна активна миттєва потужність за третьою фазою	кВт	P+ (L3)
2.7.0	Від'ємна активна миттєва потужність	кВт	P-
22.7.0	Від'ємна активна миттєва потужність за першою фазою	кВт	P- (L1)
42.7.0	Від'ємна активна миттєва потужність за другою фазою	кВт	P- (L2)
62.7.0	Від'ємна активна миттєва потужність за третьою фазою	кВт	P- (L3)
15.7.0	Модуль активної миттєвої потужності	кВт	P
35.7.0	Модуль активної миттєвої потужності за першою фазою	кВт	P (L1)
55.7.0	Модуль активної миттєвої потужності за другою фазою	кВт	P (L2)
75.7.0	Модуль активної миттєвої потужності за третьою фазою	кВт	P (L3)
3.7.0	Додатна реактивна миттєва потужність	кВАр	
23.7.0	Додатна реактивна миттєва потужність за першою фазою	кВАр	
43.7.0	Додатна реактивна миттєва потужність за другою фазою	кВАр	
63.7.0	Додатна реактивна миттєва потужність за третьою фазою	кВАр	
4.7.0	Від'ємна реактивна миттєва потужність	кВАр	
24.7.0	Від'ємна реактивна миттєва потужність за першою фазою	кВАр	
44.7.0	Від'ємна реактивна миттєва потужність за другою фазою	кВАр	
64.7.0	Від'ємна реактивна миттєва потужність за третьою фазою	кВАр	

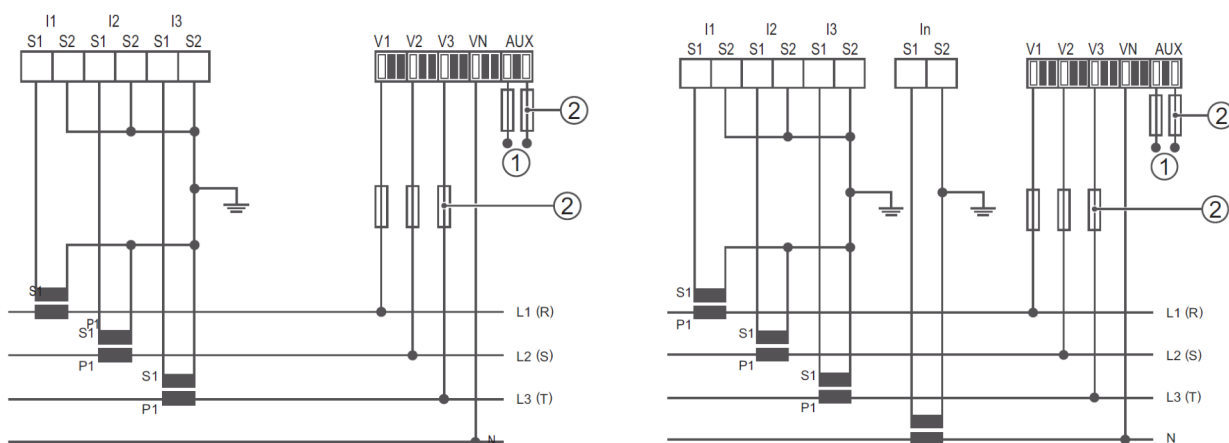
9.7.0	Повна поточна потужність	кВА	
29.7.0	Повна поточна потужність за першою фазою	кВА	
49.7.0	Повна поточна потужність за другою фазою	кВА	
69.7.0	Повна поточна потужність за третьою фазою	кВА	
Струми на напруги			
11.6.0	Максимальний струм	А	I _{max}
31.6.0	Максимальний струм за першою фазою	А	I _{max} (L1)
51.6.0	Максимальний струм за другою фазою	А	I _{max} (L2)
71.6.0	Максимальний струм за третьою фазою	А	I _{max} (L3)
91.6.0	Максимальний струм нейтралі	А	I _{max} (N)
11.7.0	Миттєвий струм	А	I
31.7.0	Миттєвий струм за першою фазою	А	I (L1)
51.7.0	Миттєвий струм за другою фазою	А	I (L2)
71.7.0	Миттєвий струм за третьою фазою	А	I (L3)
91.7.0	Миттєвий струм нейтралі	А	I (N)
12.7.0	Миттєва напруга	В	U
32.7.0	Миттєва напруга першої фази	В	U (L1)
52.7.0	Миттєва напруга другої фази	В	U (L2)
72.7.0	Миттєва напруга третьої фази	В	U (L3)
32.7.0	Миттєва напруга нейтралі	В	U (N)
14.7.0	Частота напруги	Гц	f
Метадані			
0.0.0	Адреса лічильника (1)		
0.0.1	Адреса лічильника (2)		
0.2.0	Версія мікропрограми		
0.2.2	Код тарифа		
0.9.1	Час		
0.9.2	Дата		
0.9.4	Дата і час		
0.8.0	Період пікової потужності		
С.1.0	Серійний номер		
С.90.1	Серійний номер оптичного порта		
F.F.0	Регістр помилок лічильника		

ДОДАТОК Г

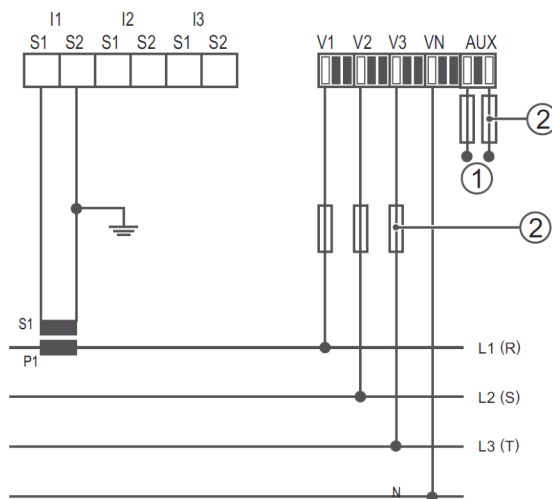
Схеми підключення аналізатора DIRIS A40

Доступні наступні конфігурації електромережі для підключення аналізатора DIRIS A40.

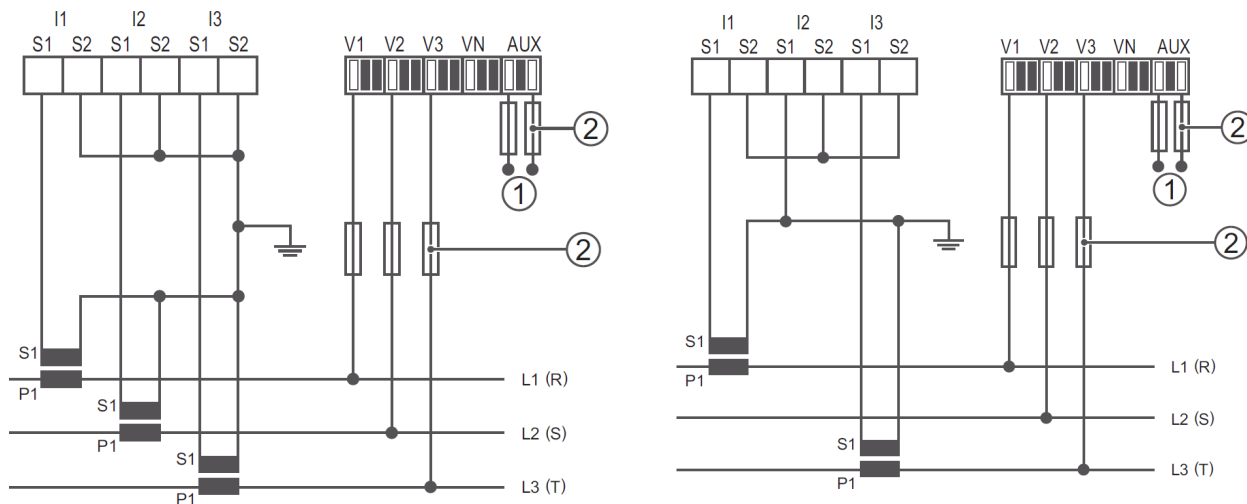
4NBL – несиметрична трифазна чотирипровідна система, для підключення аналізатора використовуються 3 або 4 трансформатори струму:



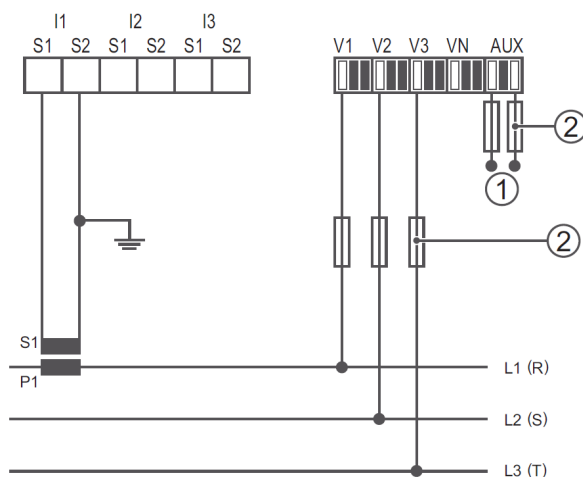
4BL – симетрична трифазна чотирипровідна система, 1 трансформатор струму:



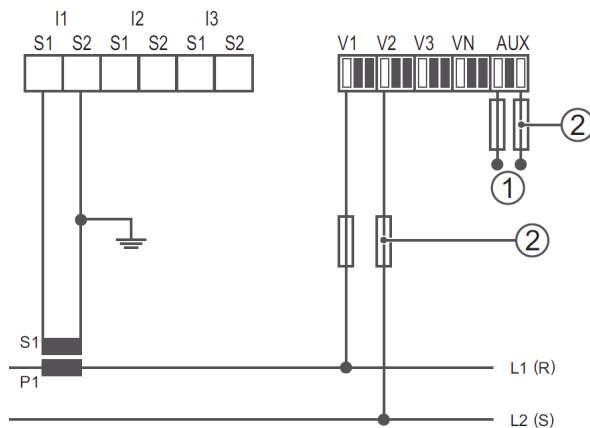
3NBL – несиметрична трифазна трипровідна система, для підключення аналізатора використовуються 2 або 3 трансформатори струму:



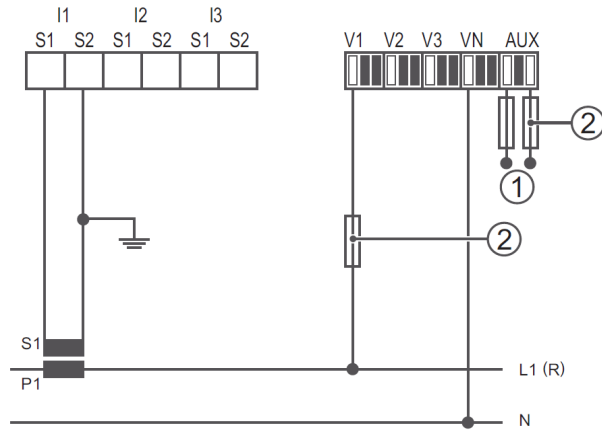
3BL – симетрична трифазна трипровідна система, 1 трансформатор струму:



2 BL – двофазна мережа з 1 трансформатором струму:



1BL – однофазна мережа, 1 трансформатор струму:



ДОДАТОК Д

Приклад побудови векторних діаграм

Результати вимірювання параметрів електромережі пристроєм Digis при $P_a=100$ Вт, $P_b=200$ Вт, $P_c=300$ Вт наведені у табл. Д.1.

Таблиця Д.1

Результати вимірювань

Варіант	P_a , Вт	P_b , Вт	P_c , Вт
<i>приклад</i>	100	200	300
Параметр	Значення	Параметр	Значення
I_1 , А	0,434	P_3 , кВт	0,29
I_2 , А	0,823	P_Σ , кВт	0,58
I_3 , А	1,293	Q_1 , кВАр	0,01
\bar{I} , А	0,850	Q_2 , кВАр	-0,01
I_N , А	0,718	Q_3 , кВАр	-0,01
U_1 , В	230,4	Q_Σ , кВАр	0
U_2 , В	216,0	S_1 , кВА	0,10
U_3 , В	226,8	S_2 , кВА	0,18
U_{12} , В	389,7	S_3 , кВА	0,29
U_{23} , В	385,2	S_Σ , кВА	0,58
U_{31} , В	389,8	$\cos\varphi_1$	0,998
f , Гц	50,01	$\cos\varphi_2$	1,000
P_1 , кВт	0,10	$\cos\varphi_3$	1,000
P_2 , кВт	0,18	$\cos\varphi_\Sigma$	0,999

Кути між векторами напруги та струму для кожної фази:

$$\varphi_1 = \arccos(0,998) \approx 0^\circ;$$

$$\varphi_2 = \arccos(1,000) = 0^\circ;$$

$$\varphi_3 = \arccos(1,000) = 0^\circ.$$

На рис. Д.1 позначені (в масштабі) вектори комплексів діючих значень фазних напруг, причому прийнято припущення, що між векторами напруги кут дорівнює 120° :

$$\begin{aligned}\dot{U}_a &= U_1 \cdot e^{j0^\circ} = 230,4 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_b &= U_2 \cdot e^{-j120^\circ} = 216,0 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ В}; \\ \dot{U}_c &= U_3 \cdot e^{j120^\circ} = 226,8 \cdot e^{j120^\circ} \text{ В}.\end{aligned}$$

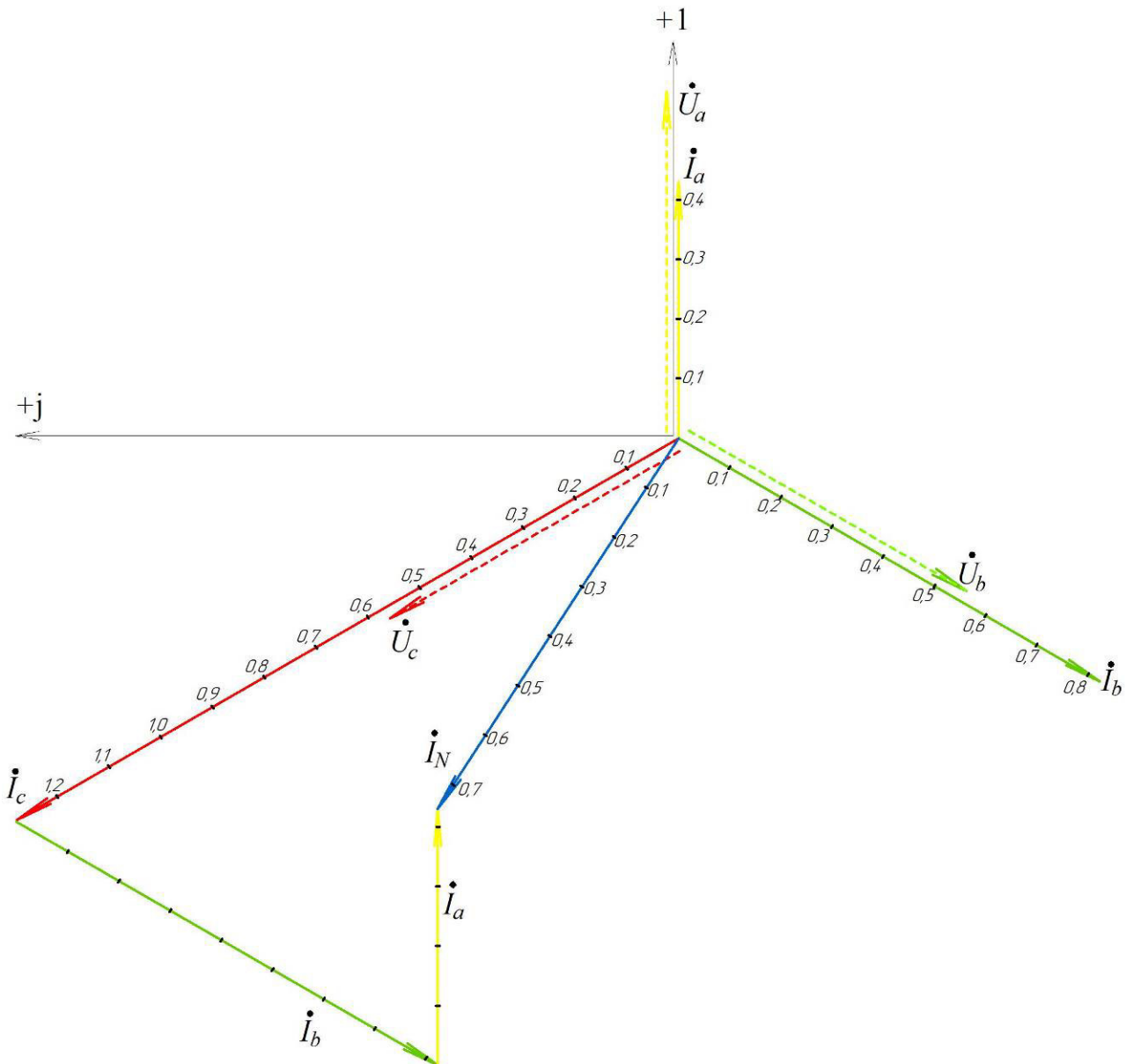


Рис. Д.1. Векторна діаграма комплексів діючих значень струмів

Також на рис. Д.1 виконані вектори комплексів діючих значень фазних струмів. Оскільки кути φ дорівнюють нулю, то вектори струмів паралельні векторам фазних напруг:

$$\dot{I}_a = I_1 \cdot e^{j0^\circ} = 0,434 \cdot e^{j0^\circ} \text{ А};$$

$$\dot{I}_b = I_2 \cdot e^{-j120^\circ} = 0,823 \cdot e^{-j120^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_c = I_3 \cdot e^{j120^\circ} = 1,293 \cdot e^{j120^\circ} \text{ A}.$$

Вектор струму нейтралі дорівнює геометричній сумі векторів струмів фаз:

$$\dot{I}_n = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c.$$

Для визначення вектора \dot{I}_n геометричним способом на рис. Б.1 виконані необхідні креслення. Відповідно до векторної діаграми, діюче значення струму нейтралі дорівнює $I'_n = 0,748 \text{ A}$.

Вважаючи вимірну величину $I_N = 0,718 \text{ A}$ дійсним значенням струму нейтралі, відносна похибка знаходження струму нейтралі геометричним способом становить:

$$\delta' = \frac{I'_n - I_N}{I'_n} \cdot 100\% = \frac{0,748 - 0,718}{0,748} \cdot 100\% = 4,0\%.$$

Визначимо комплекс діючого значення струму нейтралі аналітичним способом:

$$\begin{aligned} \dot{I}_n'' &= \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0,434 + 0,823 \cdot e^{-j120^\circ} + 1,293 \cdot e^{j120^\circ} = \\ &= 0,434 + 0,823 \cdot \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) + 1,293 \cdot \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \\ &= -0,625 + j0,407 \end{aligned}$$

Тоді знайдене аналітичним способом діюче значення струму нейтралі становить:

$$I_n'' = \sqrt{(-0,625)^2 + (0,407)^2} = 0,746 \text{ A}.$$

Відносна похибка знаходження струму нейтралі аналітичним способом становить:

$$\delta'' = \frac{I_n'' - I_N}{I_n''} \cdot 100\% = \frac{0,746 - 0,718}{0,746} \cdot 100\% = 3,8\%.$$

Результати розрахунків зведено до табл. Д.2.

На рис. Д.2 виконана векторна діаграма потужностей. Оскільки навантаження носить активний характер, то реактивна потужність дорівнює нулю і вектори повної потужності співпадають з активною потужністю.

Результати розрахунку діючого значення струму нейтралі

Виміряно	Визначено геометрично		Визначено аналітично	
I_N, A	I'_n, A	$\delta', \%$	I''_n, A	$\delta'', \%$
0,718	0,748	4,0	0,746	3,8

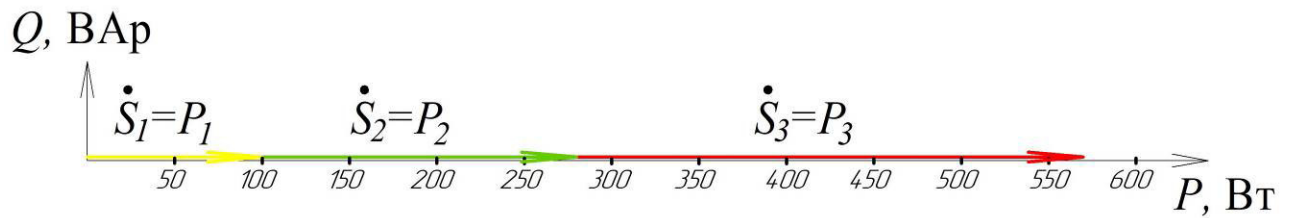


Рис. Д.2. Векторна діаграма потужностей

Навчальне видання

Василець Святослав Володимирович
Василець Катерина Сергіївна
Ільчук Володимир Васильович
Килимчук Антон Володимирович

**ОСНОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА
АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ
СИСТЕМ. ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

Друкується в авторській редакції

Технічний редактор

Г.Ф. Сімчук

Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.