

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 1

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
**ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ**  
**«Релейний захист та автоматика енергосистем»**

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
освітньо-професійна програма «Комп'ютеризоване управління енергетичними  
системами»

факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки  
та робототехніки  
кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації  
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Схвалено на засіданні кафедри  
робототехніки, електроенергетики та  
автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна  
25 серпня 2025 р.,  
протокол № 7

Розробник: к.т.н., доцент кафедри робототехніки, електроенергетики та  
автоматизації ім. проф. Б.Б.Самотокіна ДОБРЖАНСЬКИЙ Олександр  
професор кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації  
ім. проф. Б.Б. Самотокіна КОВАЛЕНКО Віктор

Житомир  
2025 – 2026 н.р.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 2

## 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ ТА РЕЛЕ СТРУМУ

**Мета роботи:** Ознайомитися з будовою та принципом дії ТС і реле струму; експериментально визначити вольт-амперну характеристику (ВАХ) ТС; навчитися налаштовувати уставки та перевіряти параметри спрацювання електромагнітних та електронних реле струму.

### 1. План роботи

1. Вивчення конструкції та паспортних даних досліджуваних ТС та реле.
2. Зняття вольт-амперної характеристики (характеристики намагнічування) ТС.
3. Визначення похибки коефіцієнта трансформації ТС при різних навантаженнях.
4. Дослідження реле струму: визначення струму спрацювання ( $I_{спр}$ ), струму повернення ( $I_{пов}$ ) та розрахунок коефіцієнта повернення ( $k_{пов}$ ).
5. Перевірка часово-струмових характеристик (для електронних реле).

### 2. Перелік обладнання та приладів

- Трансформатор струму.
- Реле струму (електромеханічні типу РЕЛСІС АЛ-3-В, ВЛ-104, АЛ-1).
- Лабораторний автотрансформатор (ЛАТР) для регулювання струму.
- Навантажувальний трансформатор (для отримання великих струмів).
- Контрольно-вимірювальні прилади: амперметри, вольтметр, секундомір (електромагнітний або цифровий).
- Реостати (навантажувальні опори).



Рис. 1.1. Загальний вигляд стенду із вивчення струмових реле та реле із затримкою

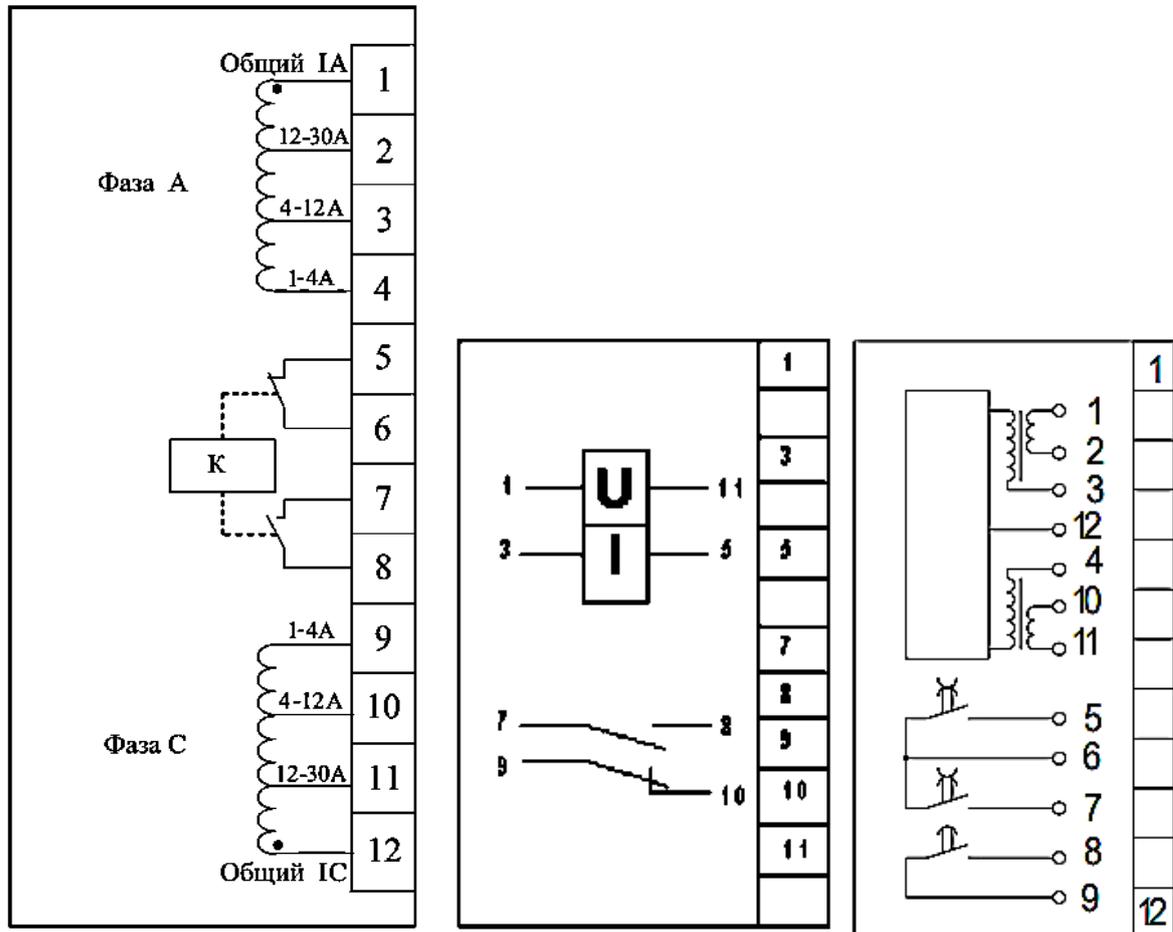


Рис. 1.2. Схема підключення АЛ-3-В, АЛ-1, ВЛ-104 відповідно

### 3. Теоретичні відомості

- **Коефіцієнт трансформації:**  $n = I_1 / I_2$
- **ВАХ трансформатора струму:** це залежність напруги на вторинній обмотці від струму намагнічування при розімкненій первинній обмотці. Вона дозволяє оцінити стан ізоляції та ризик **насичення ТС**, що критично для роботи МСЗ.
- **Коефіцієнт повернення реле:**  $k_{пов} = I_{пов} / I_{спр}$ . Для надійного захисту він має бути близьким до **0.85–0.95**.
- **Похибка коефіцієнта трансформації:**

$$\Delta f = \frac{n_{пасп} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\%$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 4

де  $n_{\text{пасп}}$  — паспортний коефіцієнт трансформації,  $I_1$  — первинний струм,  $I_2$  — вторинний струм.

- **Коефіцієнт повернення реле:**

$$k_{\text{пов}} = \frac{I_{\text{пов}}}{I_{\text{спр}}}$$

Примітка: для цифрових реле цей коефіцієнт становить 0.95-0.97, для електромагнітних (РТ-40) — 0.8-0.85.

- **Похибка спрацювання по уставці:**

$$\delta_{\text{уст}} = \frac{I_{\text{експ}} - I_{\text{уст}}}{I_{\text{уст}}} \cdot 100\%$$

де  $I_{\text{уст}}$  — значення, виставлене на шкалі реле,  $I_{\text{експ}}$  — реальний струм спрацювання.

## 4. Виконання роботи

### 4.1. Дослідження ТС

1. Скласти схему для зняття ВАХ (подача напруги на вторинну обмотку при відкритій первинній).

**Порада:** При знятті ВАХ напругу слід піднімати плавно, щоб не пропустити момент різкого зростання струму (насичення), оскільки це може призвести до перегріву обмотки ТС.

2. Змінюючи напругу за допомогою ЛАТРа, зафіксувати 8-10 точок (струм намагнічування). Особливу увагу приділити точці "коліна" (початку насичення).
3. Побудувати графік  $U_2 = f(I_{\text{нам}})$ ,  $I_{\text{нам}}$  — так званий струм намагнічення.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОКЗ0- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 5

Таблиця 1.

### Зняття ВАХ трансформатора струму

№ п/п	Напруга на вторинній обмотці U <sub>2</sub> , В	Струм намагнічування I <sub>нам</sub> , А	Примітка
1			Початок вимірів
...			
8			Точка насичення ("коліно")

- Зробити висновок про придатність ТС для роботи в схемах релейного захисту (чи не заходить він у насичення при розрахункових струмах КЗ).

#### 4.2. Випробування реле струму

- Скласти схему живлення котушки реле через навантажувальний пристрій.
- Поступово підвищувати струм до моменту замикання контактів реле — зафіксувати **I<sub>спр</sub>**.
- Поступово знижувати струм до моменту розмикання контактів — зафіксувати **I<sub>пов</sub>**.
- Повторити вимірювання для трьох різних уставок на шкалі реле.
- За допомогою секундоміра виміряти час спрацювання при струмі 1.2 \* I<sub>спр</sub> та 2 \* I<sub>спр</sub>.

Таблиця 2.

#### Випробування реле струму (МСЗ)

Уставка на реле I <sub>уст</sub> , А	Струм спрацювання I <sub>спр</sub> , А	Струм повернення I <sub>пов</sub> , А	Коефіцієнт повернення k <sub>пов</sub>	Похибка уставки, %

- Порівняти отриманий коефіцієнт повернення з паспортними даними.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 6

Таблиця 3.

**Перевірка часових характеристик (часовий ступінь)**

Кратність струму $k=I_{\text{поданий}}/I_{\text{спр}}$	Задана затримка $t_{\text{зад}}$ , с	Вимірний час $t_{\text{вим}}$ , с	Абсолютна похибка $\Delta t$ , с	Кратність струму $k=I_{\text{поданий}}/I_{\text{спр}}$
1.2				1.2
2.0				2.0
5.0				5.0

**6. Висновки**

**У висновку дати відповіді на контрольні запитання до лабораторної роботи**

1. Чому не можна залишати вторинну обмотку ТС розімкненою під час роботи?
2. Як насичення магнітопроводу ТС впливає на похибку захисту?
3. Чим відрізняється робота реле струму при міжфазному КЗ та при перевантаженні?
4. Яка роль коефіцієнта повернення в забезпеченні селективності захисту?
5. Аналіз ВАХ: Чи є характеристика лінійною в робочому діапазоні? При якій напрузі настає насичення (насичення ТС призводить до того, що реле "не бачить" реального струму КЗ).
6. Оцінка реле: Чи відповідає реальний струм спрацювання цифрам на шкалі? (Допустима похибка зазвичай  $\pm 5\%$ ).
7. Рекомендація: Чи можна використовувати дану пару "ТС + Реле" для захисту кабельної лінії, якщо максимальний струм КЗ становить, наприклад, 500 А?
8. Призначення та конструктивні особливості реле РЕЛСІС АЛ-3-В, ВЛ-104, АЛ-1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 7

## 2. ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ДВИГУНІВ

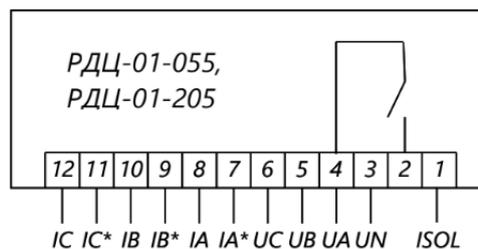
### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЇВ ЗАХИСТУ ДВИГУНА

**Мета роботи:** Ознайомитися зі схемами захисту асинхронних двигунів; дослідити роботу теплових реле та мікропроцесорних блоків захисту; навчитися налаштовувати захист від перевантаження, втрати фази та заклинювання ротора.

#### 1. План роботи

1. Вивчення часово-струмових характеристик теплового реле.
2. Налаштування електронного модуля захисту двигуна РЕЛСІС РДЦ-01.
3. Експериментальна перевірка захисту від втрати фази (обриву одного з дротів живлення).
4. Моделювання режиму заклинювання ротора та перевірка часу спрацювання захисту.

#### 2. Склад лабораторної установки



- 1 - клемма підключення ланцюга вимірювання опору ізоляції
- 2 - клемма контакту виконавчого реле
- 3...6 - клемми підключення 3-х фазної мережі (UA, UB, UC, UN)
- 7-8 - клемми підключення ланцюга IA
- 9-10 - клемми підключення ланцюга IB
- 11-12 - клемми підключення ланцюга IC

Рис. 2-3.1. Загальний вигляд лабораторного електронного модуля РДЦ-01 захисту двигуна та схеми його підключення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 8

- **Електродвигун:** Асинхронний двигун.
- **Пристрої захисту:** Теплове реле та цифровий блок захисту двигуна.
- **Керування:** Магнітний пускач з кнопковим постом.
- **Вимірювання:** Кліщі-амперметри, цифровий секундомір.
- **Гальмівний пристрій:** Для імітації механічного перевантаження або заклинювання.

### 3. Теоретичні відомості

- **Уставка номінального струму:**

$$I_{уст} \approx 1.05 \dots 1.1 \cdot I_{НОМ}$$

- **Кратність пускового струму:**

$$k_{п} = I_{пуск} / I_{НОМ}$$

- **Час спрацювання при перевантаженні:**

Визначається за формулою теплової моделі

$$t = f(I^2)$$

### 4. Виконання роботи

1. **Складання схеми:** Зібрати схему пуску двигуна через магнітний пускач та реле захисту.
2. **Перевірка холостого ходу:** Запустити двигун, виміряти струми по кожній фазі (переконатися в асиметрії не більше 5%).
3. **Дослідження обриву фази:** Під час роботи двигуна (під невеликим навантаженням) імітувати розрив однієї фази. Зафіксувати час відключення.
4. **Моделювання перевантаження:** За допомогою гальмівного пристрою збільшити струм до  $1.5 \cdot I_{ном}$ . Перевірити відповідність часу спрацювання теплової характеристиці реле.
5. **Налаштування цифрового блоку:** Внести параметри двигуна в мікропроцесорне реле та перевірити функцію "Блокування пуску при перегріві".
6. **Внесення дослідних даних у таблиці звіту**

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 9

Таблиця 1.

**Дослідження теплового захисту (перевантаження)**

Кратність струму $k=I_{роб}/I_{ном}$	Очікуваний час (за графіком), с	Реальний час спрацювання, с	Похибка, %
1.2 (незначне перевантаження)			
1.5 (важкий режим)			
6.0 (імітація пуску/КЗ)			

Таблиця 2.

**Перевірка захисту від аварійних режимів**

Режим аварії	Стан фаз	Час спрацювання, с	Результат (спрацював/ні)
Обрив фази А	L1=0, L2=1, L3=1		
Заклинювання ротора	L1=Іпуск, L2=Іпуск, L3=Іпуск		

**5. Висновки**

**У висновку дати відповіді на контрольні запитання до лабораторної роботи**

1. Чому теплове реле не захищає двигун від короткого замикання?
2. Як впливає температура навколишнього середовища на роботу теплового захисту?
3. Чому при обриві однієї фази струм у двох інших зростає в  $\sqrt{3}$  разів?
4. Які переваги має "теплова пам'ять" у сучасних мікропроцесорних реле?
5. Які особливості електромеханічного реле та електронного пристрою захисту двигуна РЕЛСІС РДЦ-01?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 10

## 4. ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ АВТОМАТИЧНОГО ВВЕДЕННЯ РЕЗЕРВУ

**Мета роботи:** Ознайомитися з логікою роботи АВР; дослідити часові параметри перемикання між основним та резервним джерелами; навчитися налаштовувати захист від «зустрічного» ввімкнення та перевіряти умови успішного відновлення живлення.

### 1. План роботи

1. Складання схеми автоматичного перемикання з основного вводу на резервний.
2. Вимірювання часу спрацювання АВР при повному зникненні напруги.
3. Дослідження роботи АВР у режимі просадки напруги (неповнофазний режим).
4. Дослідження блокування АВР при наявності короткого замикання (КЗ) на шинах.
5. Налаштування та перевірка функції **автоматичного відновлення схеми** (повернення до основного вводу).

### 2. Склад лабораторної установки

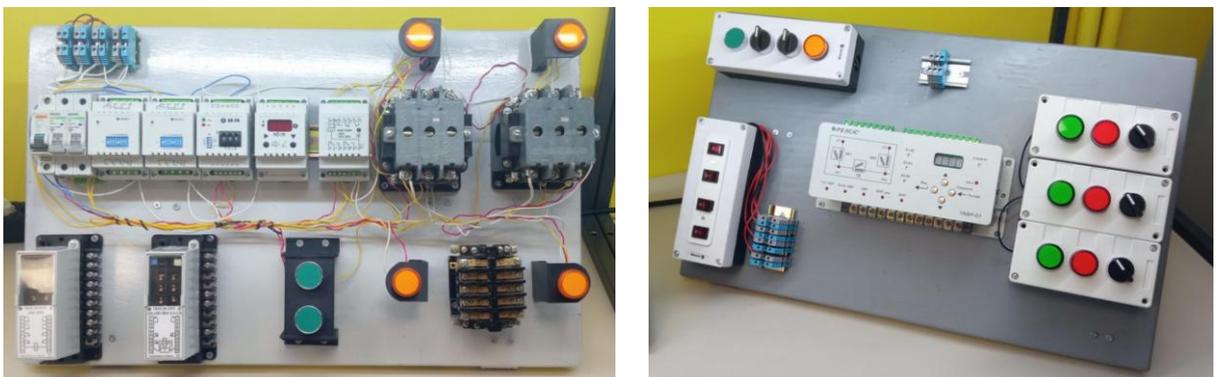


Рис. 5.1. Загальний вигляд лабораторних стендів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 11

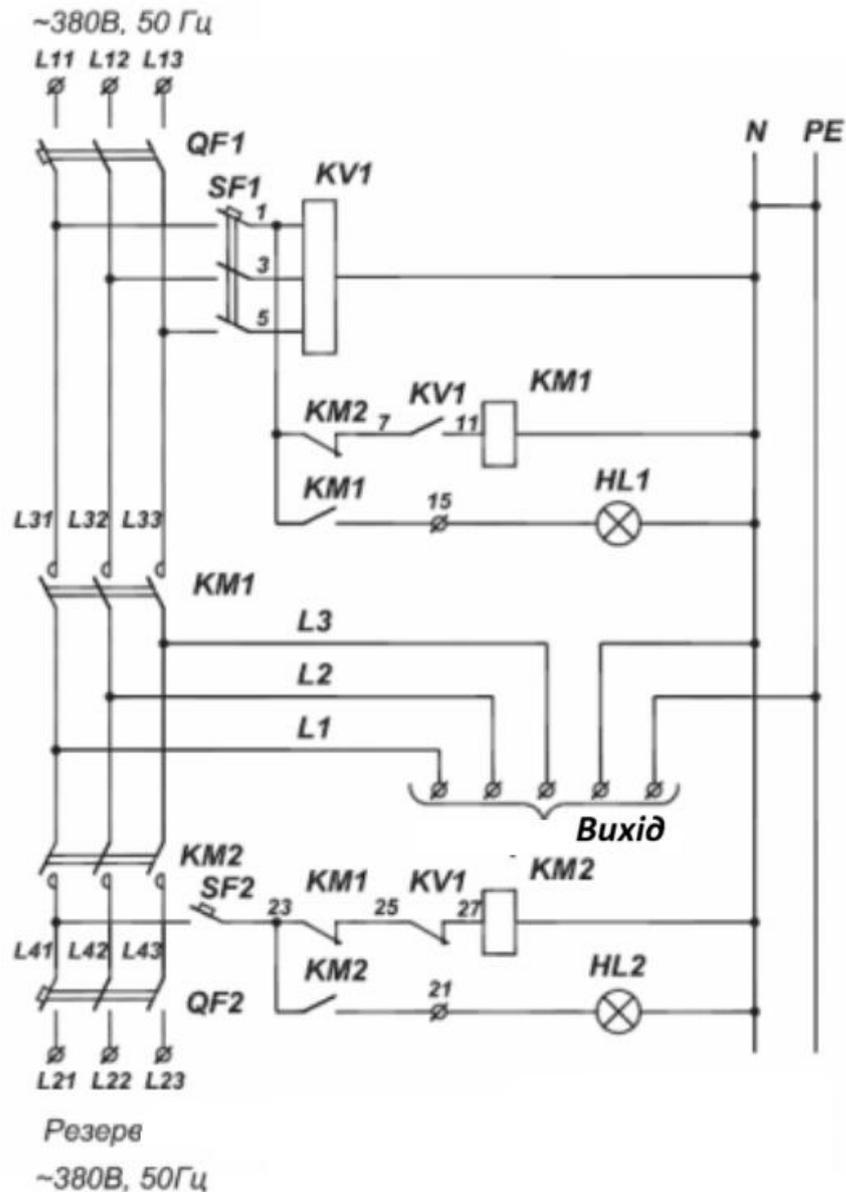


Рис. 5.2. Типова схема АВР

- **Джерела живлення:** Два незалежних трифазних вводи (або один ввід + імітація генератора).
- **Комутаційні апарати:** Три контактори (на заміну вимикачам з моторним приводом) з електричним блокуванням, комплект приладів релейної автоматики РЕЛСІС з реле напруги НЛ-6А-1, реле затримки спрацювання НЛ-19, ВЛ-176, управляючих реле ПЕ40 та ПЕ45, двопозиційного реле ПЕ46А.
- **Керуючий пристрій:** Спеціалізоване реле напруги.
- **Навантаження:** Ламповий стенд або електродвигун.
- **Прилади:** Секундомір для фіксації паузи, вольтметри.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОКЗ0- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 12

### 3. Теоретичні відомості

#### Ключові уставки для налаштування:

- **U<sub>min</sub>**: Поріг зниження напруги (зазвичай 80-85% від U<sub>ном</sub>).
- **t<sub>спр</sub>**: Час спрацювання АВР (має бути більшим за час відключення КЗ на лініях, що відходять).
- **t<sub>відн</sub>**: Час затримки повернення до основного джерела (зазвичай 10-60 с для стабілізації мережі)

### 4. Виконання роботи

1. **Збирання схеми**: З'єднати силові ланцюги та ланцюги керування реле АВР.
2. **Тест "Зникнення мережі"**: Вимкнути автоматичний вимикач основного вводу. За допомогою секундоміра зафіксувати час від моменту зникнення напруги до моменту ввімкнення резервного контактора.
3. **Тест "Повернення"**: Ввімкнути основний ввід. Зафіксувати час затримки, через який АВР переключить навантаження назад.
4. **Імітація КЗ**: Подати сигнал "Блокування" на вхід реле АВР (імітація спрацювання захисту шин). Спробувати ініціювати перемикання. Переконаватися, що АВР не спрацює.
5. **Заповнення таблиць дослідними даними**

Таблиця 1.

Визначення часових характеристик АВР

Режим ініціації	Стан основного вводу	t <sub>паузи</sub> (час знеструмлення), с	Результат (Успішно/Ні)
Повне зникнення фаз	U <sub>A</sub> =0, U <sub>B</sub> =0, U <sub>C</sub> =0		
Обрив однієї фази	U <sub>A</sub> =0, U <sub>B</sub> =U, U <sub>C</sub> =U		
Просадка напруги	U < 0.8 U <sub>ном</sub>		

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 13

**Таблиця 2.**

**Перевірка логічних блокувань**

Сценарій перевірки	Очікувана дія	Реальна дія
Спрацювання МСЗ на шинах	Блокування АВР (заборона ввімкнення)	
Одночасне подання сигналу на 2 вводи	Механічне/електричне блокування	

**5. Висновки**

**У висновку дати відповіді на контрольні запитання до лабораторної роботи**

1. Чому важливо мати механічне блокування між контакторами АВР на додачу до електричного?
2. Навіщо встановлюється витримка часу на повернення до основного джерела живлення?
3. Чому АВР не повинно спрацювати при короткому замиканні на самій системі шин?
4. Чим відрізняється логіка АВР "Мережа-Мережа" від логіки "Мережа-Генератор"?
5. Особливості роботи електромеханічних пристроїв РЕЛСІС реле напруги НЛ-6А-1, реле затримки спрацювання НЛ-19, ВЛ-176, управляючих реле ПЕ40 та ПЕ45, двопозиційного реле ПЕ46А.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 14

## 5. ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ПО ЧАСТОТІ

**Мета роботи:** Ознайомитися з принципами роботи частотного захисту; дослідити алгоритми автоматичного частотного розвантаження (АЧР) та частотного автоматичного повторного ввімкнення (ЧАПВ); навчитися програмувати уставки по частоті та швидкості її зміни ( $df/dt$ ).

### 1. Програма роботи

1. Вивчення логіки роботи мікропроцесорного реле частоти РЕЛСІС УРЧ-ЗМ-С.
2. Налаштування черг АЧР за частотою та часом.
3. Дослідження функції блокування частотного захисту при зниженні напруги (захист від хибних спрацювань при вибігу двигунів).
4. Перевірка роботи ЧАПВ (відновлення живлення при стабілізації частоти).
5. Вимірювання впливу швидкості падіння частоти на прискорення спрацювання захисту.

### 2. Склад лабораторної установки

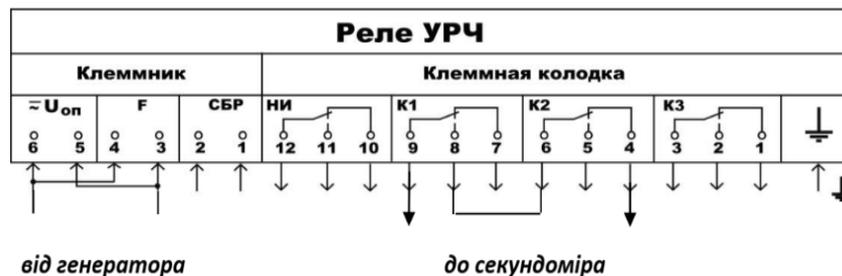


Рис. 5.1. Загальний вигляд лабораторного модуля релейного захисту по частоті РЕЛСІС УРЧ-ЗМ-С та схема його підключення

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 15

- **Джерело змінного струму зі змінною частотою:** Асинхронний двигун з генератором.
- **Об'єкт дослідження:** Мікропроцесорний термінал релейного захисту з функціями ANSI 81 (Over/Under Frequency) – РЕЛСІС УРЧ-ЗМ-С.
- **Індикація навантаження:** Світлодіодна панель, що імітує різні черги споживачів.

### 3. Теоретичні відомості

#### Ключові уставки для дослідження:

- $f_{\text{АЧР-1}}$ : Уставка першої черги (зазвичай 48.5–49.0 Гц) — миттєва дія.
- $f_{\text{АЧР-2}}$ : Уставка другої черги (зазвичай 48.5–49.0 Гц) — з витримкою часу (5–20 с).
- $f_{\text{ЧАПВ}}$ : Уставка ввімкнення (зазвичай 49.5–50.0 Гц).
- $df/dt$ : Швидкість падіння частоти (наприклад, 0.5 Гц/с) для випереджального розвантаження.

### 4. Виконання роботи

1. **Конфігурування:** Підключити реле до ПК. Через ПЗ створити дві черги АЧР та одну чергу ЧАПВ.
2. **Тест статичного порогу:** Повільно знижувати частоту на випробувальному пристрої (крок 0.01 Гц). Зафіксувати момент спрацювання вихідних реле.
3. **Тест динаміки (df/dt):** Налаштувати пристрій на скидання частоти зі швидкістю 1 Гц/с. Переконайтеся, що захист спрацює раніше, ніж частота досягне статичної уставки.
4. **Перевірка блокування по U:** Знизити напругу на вході реле до 30% від номіналу. Знизити частоту. Переконайтеся, що реле **не спрацює** (блокування за напругою).
5. **Тест відновлення:** Після "спрацювання" АЧР плавно підняти частоту до 50 Гц. Зафіксувати час затримки перед спрацюванням ЧАПВ.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 16

Таблиця 1.

### Перевірка порогів спрацювання АЧР

Черга захисту	Задана частота Гц	Реальна частота спрацювання, Гц	Час спрацювання tспр, с
АЧР-1 (черга 1)	48.5		
АЧР-1 (черга 2)	48.2		
АЧР-2 (черга 1)	48.8		

Таблиця 2.

### Дослідження ЧАПВ (відновлення)

Стан частоти	Подія	fvідн, Гц	Затримка ввімкнення, с
Підйом з 48 до 50 Гц	Ввімкнення споживачів		

## 5. Висновки

У висновку дати відповіді на контрольні запитання до лабораторної роботи

1. Чому АЧР-1 працює без витримки часу, а АЧР-2 — з витримкою?
2. Навіщо потрібна функція блокування частотного захисту при глибоких просадах напруги?
3. Як використання швидкості зміни частоти ( $df/dt$ ) допомагає запобігти блекауту?
4. Чому не можна вмикати всіх споживачів (ЧАПВ) одночасно після стабілізації частоти?

## 6. СКЛАДАННЯ СХЕМ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ МЕРЕЖІ ЗА ДОПОМОГОЮ СИМУЛЯЦІЙНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

**Мета роботи:** Навчитися моделювати схеми електропостачання в спеціалізованому ПЗ; виконати розрахунок струмів короткого замикання; підібрати автоматичні вимикачі та налаштувати їхні розчіплювачі для забезпечення селективності захисту.

### 1. План роботи

1. Створення однолінійної схеми мережі (джерело — трансформатор — кабельні лінії — навантаження).
2. Завдання параметрів обладнання (потужність ТП, довжина та переріз кабелів).
3. Розрахунок струмів трифазного та однофазного КЗ у різних точках мережі.
4. Вибір автоматичних вимикачів за номінальним струмом та вимикальною здатністю ( $I_{cu}$ ).
5. **Аналіз селективності:** побудова та корекція часово-струмових характеристик суміжних апаратів.

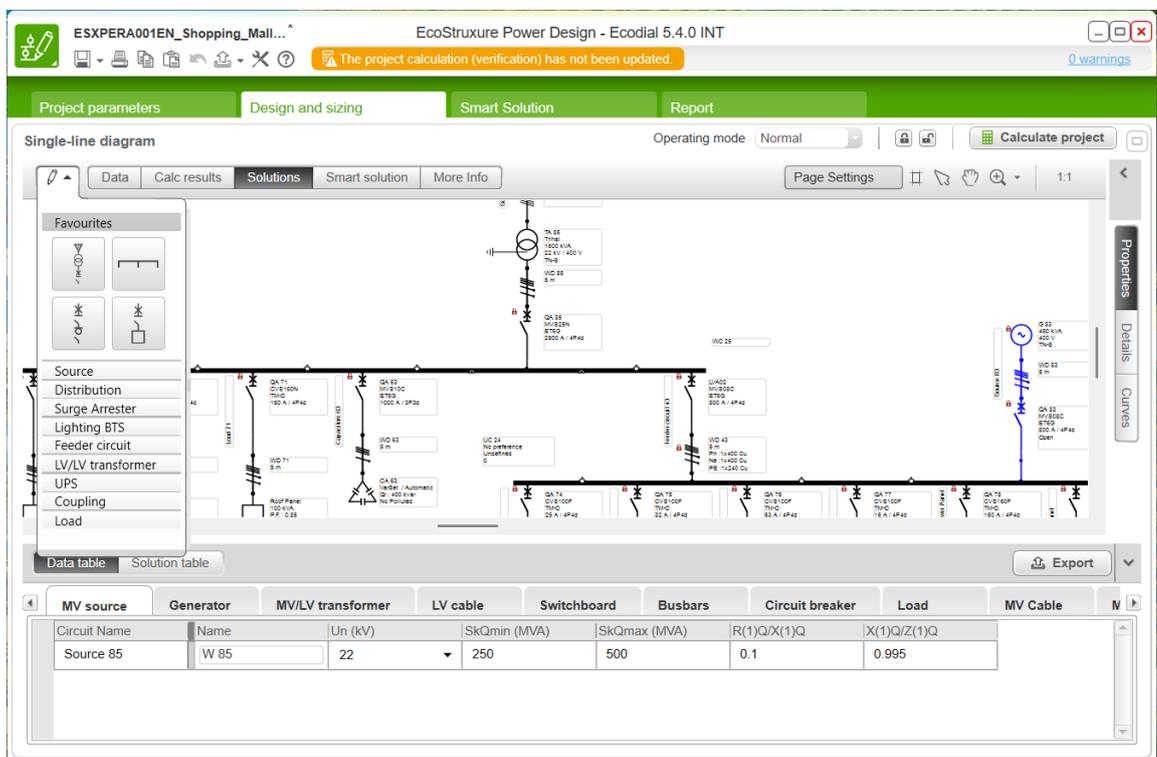


Рис. 6.1. Інтерфейс програмного забезпечення EcoStruxure Power Design - Ecodial INT V5.4.0 від Schneider Electric

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 18

## 2. Алгоритм роботи в програмному середовищі

- **Побудова схеми:** Використання бібліотеки компонентів (Source, Transformer, Circuit Breaker, Cable, Busbar).
- **Розрахунок (Calculation):** Запуск двигуна розрахунку за стандартом IEC 60909.
- **Режим "Curves":** Візуалізація кривих спрацювання вимикачів (L, S, I, G параметри).
- **Перевірка згідно з ПУЕ:** Контроль падіння напруги та часу відключення однофазного КЗ для захисту людей від ураження струмом.

## 3. Порядок виконання роботи

1. **Створення проекту:** Задати параметри мережі (напруга 400В, частота 50Гц). Додати джерело живлення (трансформатор 630 кВА).
2. **Моделювання ліній:** Додати три фідери з різними довжинами кабелів (наприклад, 20м, 100м, 250м).
3. **Автоматичний вибір:** Натиснути кнопку "Calculate". Програма автоматично підбере перерізи кабелів та номінали вимикачів.
4. **Аналіз селективності:** Відкрити вікно графіків ("Trip curves"). Змінити уставку магнітного розчіплювача (Ii) вищого апарата, щоб його крива не перетиналася з нижчим.
5. **Експорт звіту:** Сформувати розрахункову записку у форматі PDF, що містить результати розрахунку КЗ та каскадування.

Таблиця 1.

### Результати розрахунку мережі

Ділянка мережі	I <sub>нав</sub> , А	Тип кабелю / Переріз	I <sub>sc max</sub> (3-фазне), кА	I <sub>sc min</sub> (1-фазне), кА
Ввід від ТП				
Фідер №1				
Фідер №2				

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОКЗ0- 2-2025
	Витуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 19

Таблиця 2.

Параметри налаштування захисту (на основі розрахунку)

Апарат захисту	Тип розчіплювача (ТМ-D/Micrologic)	$I_r$ (тепловий), А	$I_{sd}$ (селективний), А	Апарат захисту
Головний вимикач				Головний вимикач
Вимикач фідерний				Вимикач фідерний

#### 4. Висновки

##### У висновку дати відповіді на контрольні запитання до лабораторної роботи

1. Як довжина кабелю впливає на значення мінімального струму короткого замикання?
2. Що означає термін "каскадування" (Cascading) в Ecodial і як воно дозволяє економити кошти?
3. Чому важливо забезпечити перекриття кривих спрацювання лише в зоні перевантаження, а не КЗ?
4. Як програма сигналізує про помилку, якщо обраний вимикач має замалу вимикальну здатність?

##### Рекомендовані інформаційні джерела:

1. **ДСТУ EN 60909-0:** Розрахунок струмів короткого замикання в трифазних системах змінного струму.
2. **Каталог Schneider Electric:** Низьковольтне обладнання (Compact NSX, MasterPact).
3. **Керівництво користувача Ecodial:** Опис алгоритмів вибору згідно з IEC 60364.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 20

## 7. ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ КОМПЛЕКСНОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ. ЧАСТИНА 1.

**Мета роботи:** Ознайомитися з архітектурою та інтерфейсом терміналу РЗЛ-05; вивчити логіку конфігурування дискретних входів та вихідних реле; експериментально перевірити функцію МСЗ (ANSI 51) та струмової відсічки (ANSI 50).

### 1. План роботи

1. Вивчення органів керування та світлодіодної індикації на передній панелі РЗЛ-05.
2. Підключення до терміналу за допомогою ПЗ (використання «Монітор-2» від РЕЛСІС).
3. Програмування логіки «Вхід–Функція–Вихід».
4. Зняття характеристик спрацювання МСЗ з незалежною та залежною витримкою часу.
5. Перевірка роботи світлової сигналізації при спрацюванні захисту.

### 2. Склад лабораторної установки

- Термінал РЗЛ-05: (у модифікації для захисту ліній або вводу).
- Випробувальний пристрій: (стенд з ЛАТР та амперметром).
- ПК з інтерфейсом RS-485 / USB: та встановленим ПЗ для налаштування.
- Набір з'єднувальних проводів.



Рис. 7.1. Загальний вигляд лабораторного комплекту та задня комутаційна панель РЗЛ-05

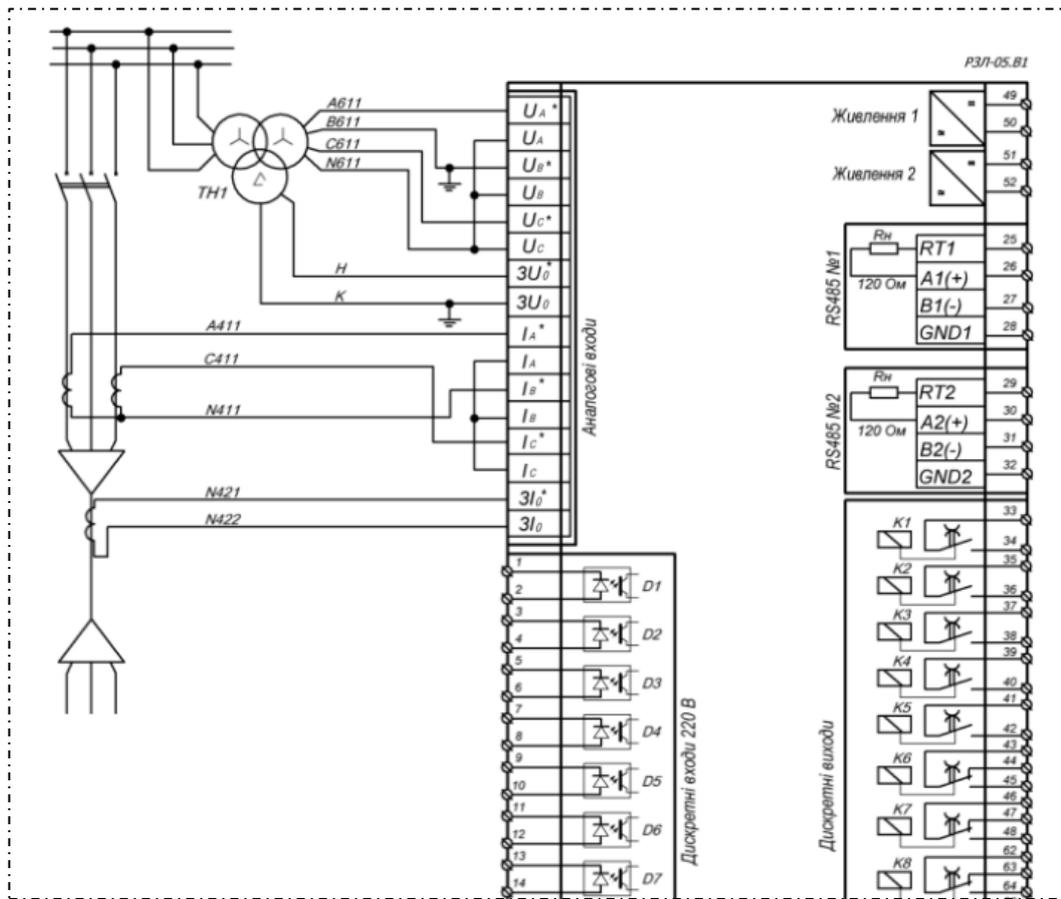


Рис. 7.2. Підключення РЗЛ-05

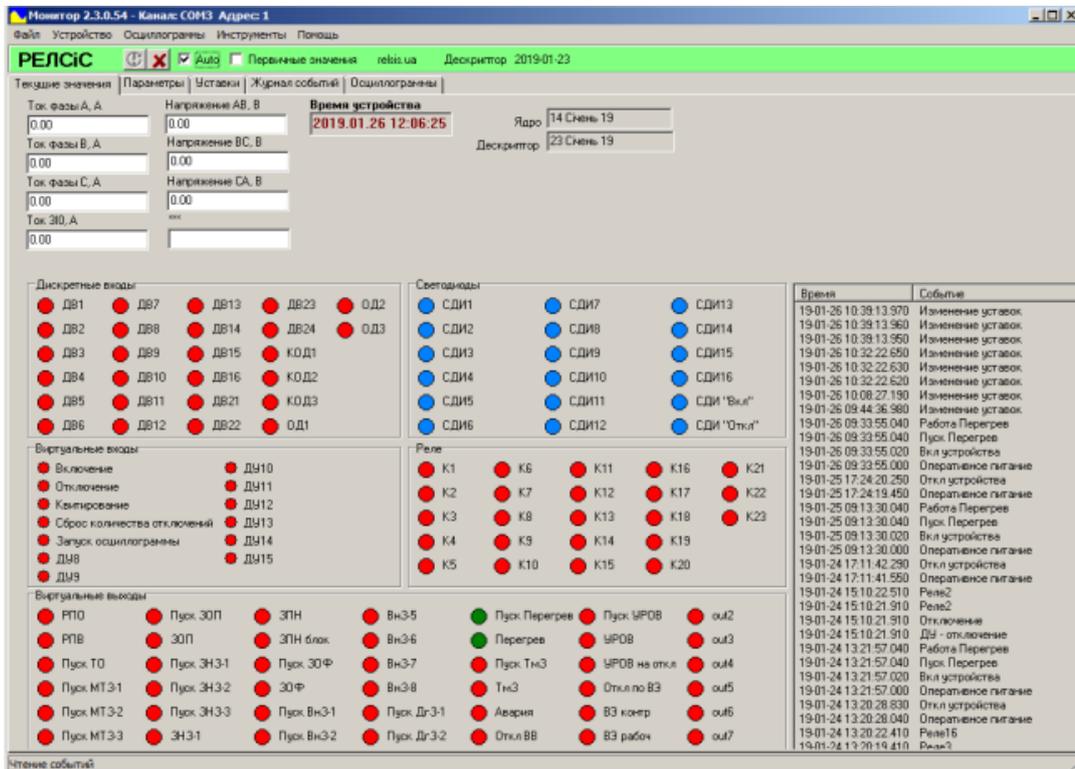


Рис.7.3. Вікно головного інтерфейсу ПЗ Монитор-2

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 22

### 3. Теоретичні відомості

#### Основні функції, що досліджуються в 1-й частині:

- **МСЗ-1 (Струмова відсічка):** Висока уставка струму, час спрацювання  $t \approx 0.05$  с.
- **МСЗ-2 (Основний захист):** Струм вище номінального, незалежна або залежна характеристика.
- **МСЗ-3 (Захист від перевантаження):** Малий струм, велика витримка часу.

### 4. Виконання роботи

#### 4.1.: Ознайомлення та моніторинг

1. Подати живлення на термінал. Вивчити структуру меню (Параметри — Уставки — Журнал — Стан).
2. За допомогою ПЗ зчитати поточну конфігурацію пристрою.

#### 4.2.: Налаштування МСЗ

1. Встановити уставку МСЗ-2: Іспр = 5 А,  $t = 1.0$  с (незалежна характеристика).
2. Плавню підвищувати струм від випробувального пристрою. Зафіксувати струм спрацювання та час за допомогою вбудованого в стенд секундоміра.
3. Змінити характеристику МСЗ-2 на **залежну** (наприклад, інверсну згідно з ІЕС). Подати струми кратності 2, 3 та 5 від уставки. Зафіксувати час.

#### 4.3.: Перевірка логіки

1. Подати сигнал на дискретний вхід, запрограмований як «Блокування МСЗ».
2. Спробувати ініціювати спрацювання захисту подачею струму. Переконатися, що захист не спрацьовує, а на екрані відображається статус блокування.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 23

Таблиця 1.

### Конфігурація дискретних сигналів (Логічна матриця)

Дискретний вхід	Призначена функція	Вихідне реле (К1-Кп)	Світлодіод (LED)
DI 1	Блокування МСЗ	-	LED 1 (жовтий)
-	Спрацювання МСЗ-1	К 1 (Відкл)	LED 2 (червоний)
-	Спрацювання МСЗ-2	К 1 (Відкл)	LED 3 (червоний)

Таблиця 2.

### Перевірка точності вимірювальних органів

Канал вимірювання	Струм, поданий на вхід, А	Значення на дисплеї РЗЛ-05, А	Похибка, %
Фаза А	1.0		
Фаза В	5.0		

## 5. Висновки

### У висновку дати відповіді на контрольні запитання до лабораторної роботи

1. Яке призначення портів зв'язку RS-485 на задній панелі РЗЛ-05?
2. Як виконати «скидання» (квітування) світлодіодної індикації після спрацювання захисту?
3. Чим відрізняється робота пристрою при виборі різних кривих залежних характеристик (NI, VI, EI)?
4. Як у терміналі РЗЛ-05 реалізовано контроль справності ланцюгів увімкнення/вимкнення вимикача?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 24

## 8. ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ КОМПЛЕКСНОГО РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ. ЧАСТИНА 2.

**Мета роботи:** Вивчити алгоритми функціонування АПВ та ПРВВ у терміналі РЗЛ-05; навчитися налаштовувати захист від замикань на землю за струмом нульової послідовності ( $3I_0$ ); дослідити логіку взаємодії захистів при стійких пошкодженнях.

### 1. План роботи

1. Налаштування та перевірка циклу **однократного АПВ**.
2. Дослідження роботи **ПРВВ** (Пристрою резервування відмови вимикача) при імітації механічного заклинювання контактів.
3. Налаштування **захисту від замикань на землю (ЗЗЗ)** з використанням фільтра струмів нульової послідовності.
4. Перевірка функції **«Прискорення захисту»** після циклу АПВ.
5. Робота з осцилографом пристрою: зчитування та аналіз аварійного запису.

### 2. Склад лабораторної установки

- **Термінал РЗЛ-05** з підключеним ПК.
- **Випробувальна установка** (Уран/РЕТОМ), що дозволяє імітувати трифазний струм та струм нульової послідовності.
- **Стенд-імітатор вимикача** (з котушками «Увімкнути»/«Вимкнути» та блок-контактами).
- **Трансформатор струму нульової послідовності (ТЗЛ)** (опціонально, для фізичного моделювання).

### 3. Виконання роботи

#### 3.1. Налаштування АПВ та «Прискорення»

1. Активувати функцію АПВ у меню ПЗ. Задати час готовності та тривалість паузи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 25

- Імітувати КЗ (подача струму). Після відключення зафіксувати час до автоматичного ввімкнення вимикача.
- Імітувати **стійке КЗ** (повторна подача струму відразу після АПВ). Переконаватися, що спрацювало «Прискорення МСЗ» і повторного ввімкнення не відбувається.

### 3.2. Перевірка логіки ПРВВ

- Запрограмувати вихідне реле К2 як сигнал ПРВВ.
- Розірвати ланцюг відключення котушки вимикача (імітація відмови).
- Подати струм КЗ. Зафіксувати час від моменту спрацювання захисту до моменту замикання контакту К2.

### 3.3. Аналіз осцилограм

- Після серії тестів завантажити з РЗЛ-05 **COMTRADE-файли** (осцилограми).
- У спеціальному переглядачі проаналізувати зміну векторів струму та дискретних сигналів під час аварії.

Таблиця 1.

#### Дослідження циклу АПВ

Параметр	Уставка, с	Виміряний час, с	Результат (Успішно/Ні)
Час готовності АПВ	10.0		
Безструмова пауза ( $t_{АПВ}$ )	2.0		
Час спрацювання прискорення	0.1		

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.02/141.00.1/Б/ОК30- 2-2025
	Випуск 2	Зміни 1	Екземпляр № 1	Арк 3 / 26

Таблиця 2.

**Робота ПРВВ**

Умова	Уставка $t_{\text{ПРВВ}}$ , с	Реальний час спрацювання, с	Дія (Сигнал на вихідне реле)
Відмова вимикача (струм не зник)	0.25		Команда на К2 (Суміжний СВ)

Таблиця 3.

**Захист від замикань на землю (ЗЗЗ)**

Тип характеристики	Уставка $I_0$ , мА	Поданий струм $3I_0$ , мА	Час спрацювання, с
Незалежна	50		
Сигналізація (без відкл.)	20		-

## 5. Висновки

### У висновку дати відповіді на контрольні запитання до лабораторної роботи

1. Як РЗЛ-05 визначає «готовність» АПВ до роботи (фактор часу)?
2. Чому важливо використовувати окрему уставку для ПРВВ, більшу за власну тривалість вимкнення вимикача?
3. Які особливості підключення ланцюгів струму для реалізації захисту від замикань на землю?
4. Чим відрізняється робота ЗЗЗ «на сигнал» від роботи «на відключення» в мережах з ізольованою нейтраллю?