

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

***МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
щодо проведення лабораторних робіт***

СУМИ – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
щодо проведення лабораторних робіт

для здобувачів 4 та 2 с.т. курсів освітньої програми
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеня вищої освіти «Бакалавр»

СУМИ 2025

Укладачі:

Савойський О.Ю., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Козін В.М., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Шашков С.В., к.е.н., ст. викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем

Сіренко Ю.В., PhD, доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Лисенко В.В., завідувач навчально-методичним кабінетом кафедри енергетики та електротехнічних систем

Е50 Науково-методичне забезпечення навчального процесу:

Електричні мережі та системи. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт / укл.: Савойський О.Ю., Козін В.М., Шашков С.В., Сіренко Ю.В., Лисенко В.В.- Суми, 2025. - 60 с.

Методична розробка складається з 9 лабораторних робіт, починаючи з першої «Дослідження схеми заміщення лінії електропередачі» до заключної «Релейні пристрої у системах електропостачання». В кожній лабораторній роботі розглянуті : мета, теоретична частина, план проведення, оформлення звіту та питання для самоконтролю знань.

Рецензенти:

Чепіжний А.В. – к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ;

Шуляк М.Л. – д.т.н., професор, зав. кафедри агроінжинірингу СНАУ.

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В. к.т.н., доцент, зав. кафедри енергетики та електротехнічних систем СНАУ.

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету СНАУ.
Протокол № 4 від „28” січня 2025 року.

ЗМІСТ

1. Лабораторна робота № 1. Дослідження схеми заміщення лінії електропередачі.	5
2. Лабораторна робота № 2. Дослідження режимів роботи лінії із двостороннім живленням.	8
3. Лабораторна робота №3. Визначення відхилення і втрати напруги в розгалуженій мережі	11
4. Лабораторна робота №4. Регулювання напруги в радіальних мережах за допомогою статичних конденсаторів.	15
5. Лабораторна робота № 5 . Розрахунок електричних навантажень.	19
6. Лабораторна робота № 6. Визначення потужності та кількості трансформаторів знижувальних підстанцій	23
7. Лабораторна робота № 7. Комутаційне обладнання систем електропостачання 0,4 кВ.	28
8. Лабораторна робота № 8. Захист та комутація електричних двигунів.	44
9. Лабораторна робота № 9. Релейні пристрої у системах електропостачання.	51
Список використаних джерел.	57

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ ЛІНІЇ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

1 Мета роботи

Встановити залежність основних електричних параметрів від струму навантаження в радіальній лінії з одним навантаженням на кінці.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися з експериментальною установкою.

2.2 Дослідити залежність напруги, потужності, к.к.д. ЛЕП від струму навантаження.

2.3 Побудувати векторну діаграму напруг, радіальної лінії з одним навантаженням на кінці для одного з досвідів.

2.4 Побудувати в прямокутній системі координат залежності U_1 , U_2 , ΔU , P_1 , P_2 , $\cos \varphi_1$, $\cos \varphi_2$, η .

3 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

3.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою: «Розрахунок електричних мереж за втратою напруги».

3.2 Вивчити залежність втрат потужності в лінії від струму навантаження.

3.3 Ознайомитися зі схемою експериментальної установки (рис. 1.1) і привести її в конспекті.

3.4 Підготувати таблицю 1.

3.5 Підготувати відповіді на контрольні питання.

4 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

4.1 Переконатися в правильності зібраної схеми.

4.2 Виключити рубильник **В**, при включенні рубильника **А** за допомогою латра встановити напругу $U = 80\text{В}$ і підтримувати її незмінною протягом усього досліді.

4.3 Змінюючи режим роботи лінії від холостого ходу до короткого замикання, записати показання приладів у таблицю 1. При холостому ході лінії включений рубильник **А**, а рубильник **В** і **С** відключені. При короткому замиканні включені рубильники **А**, **В**, **С**. При робочому режимі лінії включені рубильники **А** і **В**. Сила електричного струму лінії змінюється за допомогою опору навантаження через 0.5 А .

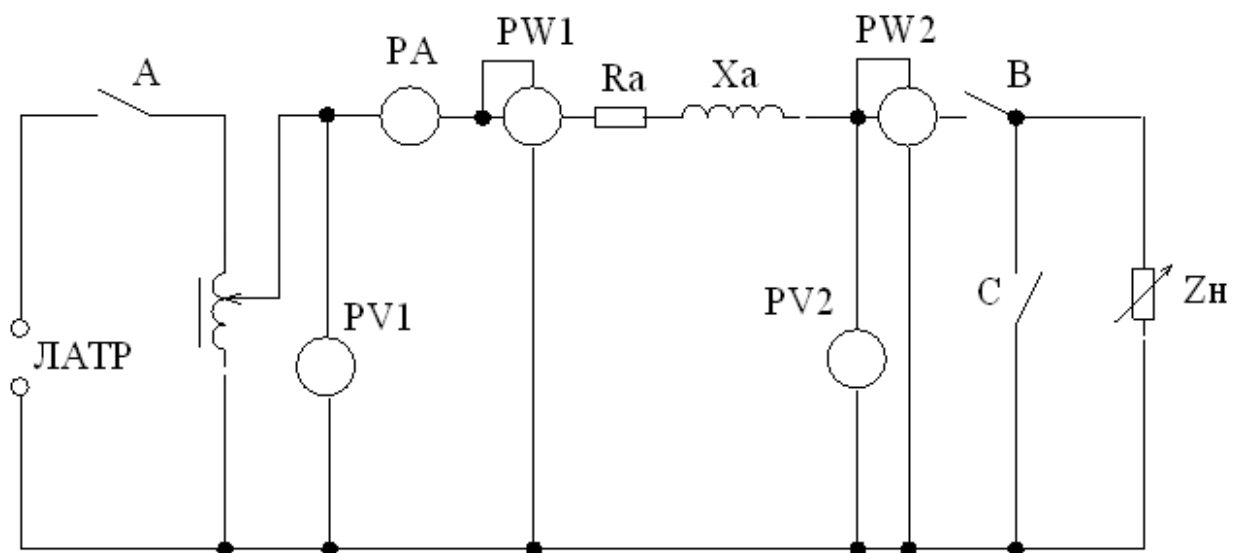


Рисунок 1.1 – Схема лабораторної установки

Таблиця 1 - Результати дослідів та обчислень

Виміряти					Обчислити					
I, А.	U ₁ , В.	U ₂ , В.	P ₁ , Вт.	P ₂ , Вт.	S ₁ , ВА.	S ₂ , ВА.	cosj ₁	cosj ₂	h, %	ΔU, В.

5 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

5.1 Схему заміщення радіальної лінії з одним навантаженням на кінці.

5.2 Таблицю вимірів та обчислень.

5.3 Векторну діаграму напруг радіальної лінії з одним навантаженням на кінці для одного з дослідів, заданих викладачем, прийнявши $R = 15 \text{ Ом}$ і $X = 12,5 \text{ Ом}$.

5.4 Криві зміни U_1 , U_2 , ΔU , P_1 , P_2 , h , $\cos \varphi_1$, $\cos \varphi_2$ від струму навантаження.

5.5 Висновки по характеру зміни величин, зазначених у попередньому пункті, при зміні лінії.

Контрольні питання

- 1 Що називається падінням напруги?
- 2 Що називається втратою напруги?
- 3 Від чого залежать втрати активної потужності в ЛЕП?
- 4 При яких умовах відбувається передача електричної енергії в ЛЕП з найменшими втратами потужності?
- 5 При яких умовах відбувається максимальна передача електроенергії в ЛЕП?
- 6 Куди витрачається потужність, що підводиться на початку лінії, при к.з. в кінці лінії?
- 7 Як визначається к.к.д. лінії електропередачі?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЛІНІЇ ІЗ ДВОСТОРОННІМ ЖИВЛЕННЯМ

1 Мета роботи

Експериментальним шляхом установити точки розділу активної й реактивної потужності, розподіл напруги уздовж лінії, як при нормальному, так і при аварійних режимах роботи лінії і зрівняти із розрахунковими даними.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися з моделлю лінії із двостороннім живленням.

2.2 Виміряти струм, напругу та активну потужність в зазначених точках лінії при однакових і різних напругах джерел живлення:

$$U_A = U_B = 50 \text{ В};$$

$$U_A = 50 \text{ В}; U_B = 60 \text{ В}.$$

2.3 Визначити повний струм, реактивну потужність в зазначених точках лінії при однакових і різних напругах джерел живлення.

2.4 Виміряти напругу в зазначених точках лінії при аварійних режимах

$$U_A = 50 \text{ В}; U_B = 0;$$

$$U_A = 0; U_B = 50 \text{ В}.$$

2.5 Визначити точку струморозділу в лінії при однакових і різних напругах джерел живлення.

3 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

3.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою: «Розрахунок замкнутих мереж».

3.2 Ознайомитися зі схемою експериментальної установки (рис. 2.1.) і накреслити її.

3.3 Знайти розподіл потужностей на ділянках мережі аналітичним шляхом.

3.4 Підготувати таблицю 1.

3.5 Підготувати відповіді на контрольні питання.

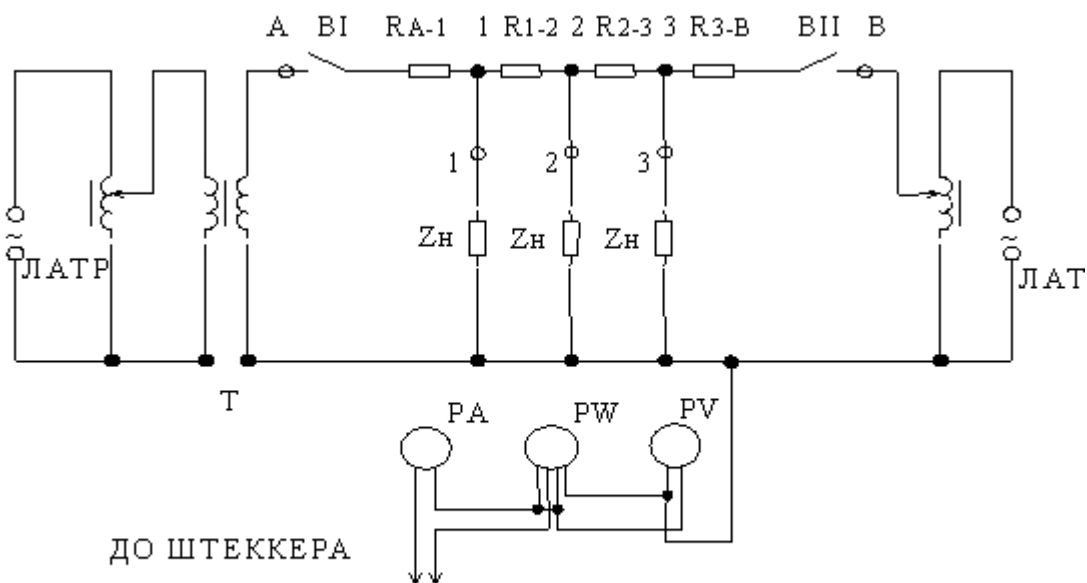


Рисунок 2.1 – Схема лабораторної установки

Таблиця 1 – Результати проведених дослідів

Найменування	Позначення	A	1	2	3	B
$U_A = U_B = 50 \text{ В}$	$I, \text{ А}$					
	$U, \text{ В}$					
	$P, \text{ Вт}$					
	$S, \text{ ВА}$					
	$Q, \text{ Вар}$					
$U_A = 60 \text{ В},$ $U_B = 50 \text{ В}$	$I, \text{ А}$					
	$U, \text{ В}$					
	$P, \text{ Вт}$					
	$S, \text{ ВА}$					
	$Q, \text{ Вар}$					
$U_A = 50 \text{ В},$ $U_B = 0$	$U, \text{ В}$					
$U_A = 0,$ $U_B = 50 \text{ В}$	$U, \text{ В}$					

4 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

4.1 При відключених вимикачах **В1** і **ВІІ** вставити штекер спочатку в гніздо **1**, потім у гніздо **2**, і за допомогою автотрансформаторів установити напругу джерел живлення рівними **50 В**, потім в залежності від необхідного режиму, підтримувати однакову або різну напругу живлення. За показниками приладів визначають точки розділу активної й реактивної потужності.

4.2 Визначити точку розділу активної та реактивної потужності при однаковій напруги джерел живлення **А** та **В**. Виміряти напругу уздовж лінії та струми навантажень. Визначити максимальну втрату напруги при нормальному й аварійному режимах (при відключеному вимикачі **В1**, включеному **ВІІ** і навпаки).

4.3 Це ж проробити при різній напруги живлення пунктів **А** і **В**.

4.4 Результати вимірів записати в таблицю **1**.

5 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

5.1 Принципову схему лінії із двостороннім живленням експериментальної установки.

5.2 Таблицю вимірів.

5.3 Схему розподілу струмів і напруг у лінії із двостороннім живленням при різних режимах роботи (при однакових і різних напругах джерел живленням).

5.4 Зрівняти експериментальні та розрахункові дані і зробити висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Які достойності і недоліки лінії із двостороннім живленням?
2. Що таке точка струморозділу і як її знаходити на схемі мережі?
3. Які фактори впливають на величину напруги мережі?

4 У чому полягає складність розрахунку лінії із двостороннім живленням?

5. Як знайти розподіл потужностей (струмів) у схемі із двостороннім живленням?

6. Як визначити найбільші втрати напруги в лінії із двостороннім живленням у нормальному й аварійному режимах?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХИЛЕННЯ І ВТРАТИ НАПРУГИ В РОЗГАЛУЖЕНІЙ МЕРЕЖІ

1 Мета роботи

Визначити експериментальним шляхом доцільність надбавки напруги на споживчих трансформаторах сільської електричної мережі шляхом її моделювання і зрівняти результати із розрахунками.

2 Програма роботи

- 2.1 Ознайомитися з моделлю розгалуженої мережі.
- 2.2 Визначити надбавки на трансформаторах при холостому ході.
- 2.3 Вибрати оптимальні відгалуження на трансформаторах.
- 2.4 Визначити втрати напруги в мережі і трансформаторах.
- 2.5 Побудувати епюру розподілу рівнів напруги в досліджуваній мережі.
- 2.6 Скласти розрахункову таблицю відхилень напруги для схеми, що досліджується.
- 2.7 Зрівняти розрахункові та експериментальні результати.

3 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

- 3.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою: «Регулювання напруги в сільських електричних мережах».

3.2 Ознайомитися зі схемами експериментальної установки (рис. 3.1) і навести її у звіті.

3.3 Підготувати таблиці 1 - 4.

3.4 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

4 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

4.1 Підготувати стенд для проведення експерименту.

4.2 Визначити надбавки трансформаторів при холостому ході (заповнити таблицю 1).

4.3 Вибрати оптимальні відгалуження на трансформаторах Т-2 і Т-6 (заповнити таблицю 2 і 3).

4.4 Визначити втрати напруги на ділянках мережі й до найбільш вилучених точок мережі (заповнити таблицю 4).

4.5 Побудувати розподіл рівнів напруги в досліджуваній схемі при обраному оптимальному відгалуженні трансформатора Т-6 для режиму максимальних і мінімальних навантажень.

5 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

5.1 Схему моделі експериментальної установки.

5.2 Таблиці вимірів й обчислень.

5.3 Графіки розподілу рівнів напруги в схемі, що досліджується.

5.4 Висновки про зв'язок втрати напруги, відгалуження на трансформаторах з надбавками напруги і залежності втрати напруги від величини навантаження.

Таблиця 1 - Визначення надбавок при х.х. трансформаторів

Трансформатори	Відгалуження, %	U_{1T} , В	U_{2T} , В	Надбавки, %
Т-1	-5	100		
	0	100		
	+5	100		
Т-2	-5	100		

	0	100		
	+5	100		
T-3	-5	100		
	0	100		
	+5	100		

Таблиця 2 - Вибір оптимальних відгалужень трансформаторів

Режим навантажень	Режим навантажень		Відхилення напруги				Вибір відгалужень у трансформатора, %	
			Т-2		Т-6			
	Т-1	Т-2, Т-6	а	б	а	б	Т-2	Т-6
Найбільше		-5 0 +5						
Найменше		-5 0 +5						

Таблиця 3 - Результати дослідження

Режим навантаження	Напруга джерела живлення, В	Положення перемикача відгалужень			Напруга в точках мережі U, В								
					На високій стороні					На низькій стороні			
		T1	T2	T6	1	2	3	4	5	T2		T6	
										а	б	а	б
Найбільше													
Найменше													

Таблиця 4 - Результати обробки отриманих даних

Режим навантаження	Надбавки тр-ра, %			Втрати напруги, В									
				На ділянках в/в лінії				у трансформаторах			Н/у лінії		Сумарна
													доН2 до

	T1	T2	T6	1-2	2-3	3-4	4-5	T1	T2	T3	Л2	Л6		Н6
Найбільше														
Найменше														

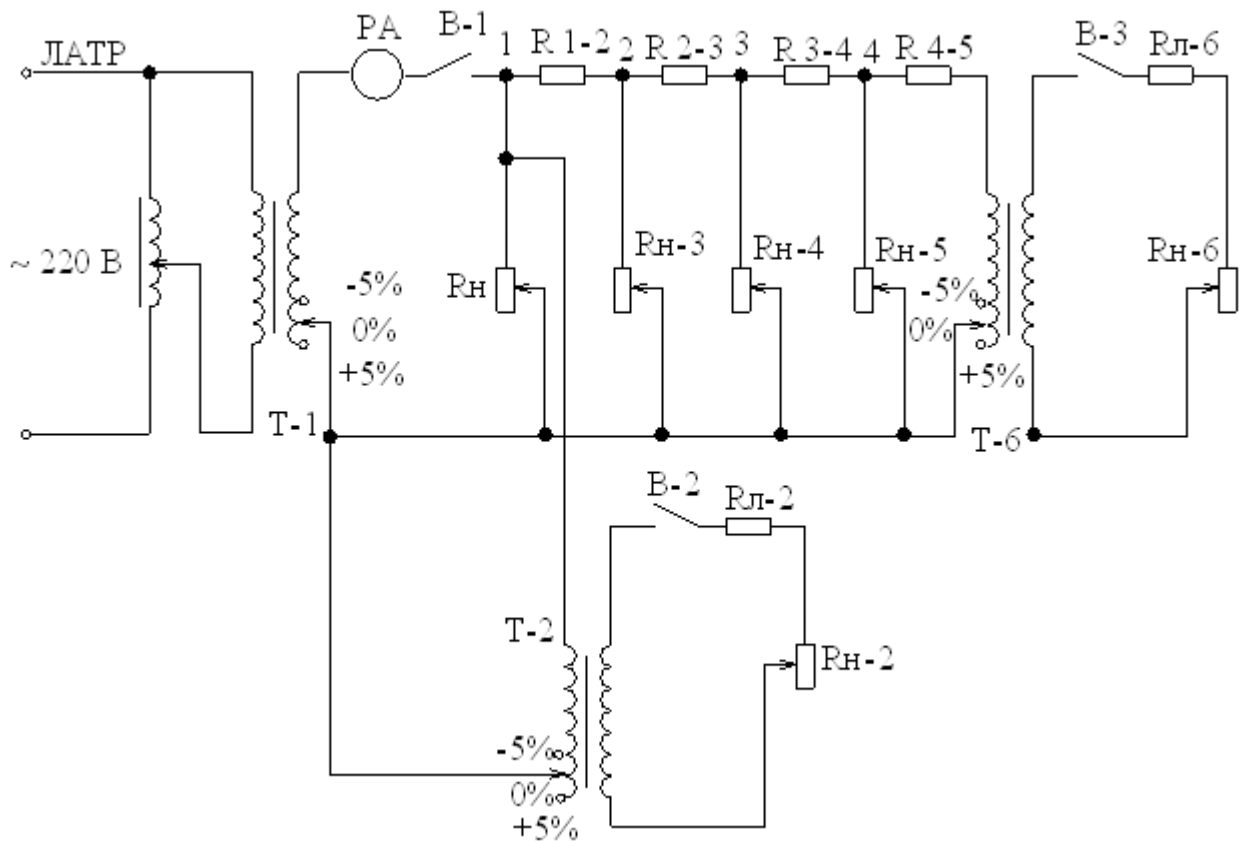


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної установки

Контрольні запитання

1. Для якої мети застосовується регулювання напруги в електричних мережах?
2. Які методи регулювання напруги застосовуються в сільських електричних мережах?
3. У чому полягає регулювання напруги трансформаторами?
4. Чим відрізняються надбавки понижуючих і підвищувальних трансформаторів?
5. Як визначити відхилення напруги в споживачів?

6. Як визначити втрати напруги на ділянках мережі й у трансформаторах за експериментальним даними?

7. Вплив відхилення напруги на роботу електронагрівальних, силових та освітлювальних установок?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В РАДІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ СТАТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРІВ

1 Мета роботи

Дослідити способи регулювання напруги в радіальній мережі за допомогою поздовжнього та поперечного включення конденсаторів.

2 Програма роботи

2.1 Ознайомитися із експериментальною установкою.

2.2 Виміряти напругу, струм і потужність на початку і в кінці лінії без регулювання та при компенсації реактивної потужності, розрахувати $\cos\varphi$.

3 Вказівки по підготовці до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно:

3.1 Вивчити теоретичний матеріал за темою: «Регулювання напруги в сільських електричних мережах».

3.2 Ознайомитися зі схемою експериментальної установки (рис. 4.1) і накреслити її.

3.3 Підготувати таблицю 1.

3.4 Підготувати відповіді на контрольні запитання.

4 Порядок проведення роботи

При виконанні лабораторної роботи необхідно:

4.1 Зібрати схему поперечної компенсації.

4.2 Встановити напругу джерела живлення **220 В** і підтримувати її постійною під час досліду.

4.3 Заміряти напругу, струм і потужність на початку та в кінці лінії без компенсації реактивної потужності.

4.4 Збільшуючи поступово ємність конденсаторної батареї від 0, одержати повну компенсацію, а потім зробити перекомпенсацію.

Результати вимірів (4-5 крапок) записати в таблицю 1.

4.5 Зібрати схему поздовжньої компенсації.

4.6 Встановити напругу джерела живлення **220 В** і підтримувати її незмінною під час досліду.

4.7 Збільшуючи поступово ємність конденсаторної батареї від 0, одержати наприкінці лінії напругу **220 В**. Результати вимірів (4-5 точок) записати в таблицю 1.

5 Зміст звіту

У звіті необхідно представити:

5.1 Схему установки по регулюванню напруги.

5.2 Результати дослідження по поздовжній і поперечній компенсації.

5.3 У масштабі побудувати векторні діаграми для поздовжньої та поперечної компенсації для випадків, зазначених викладачем.

5.4 Висновки про доцільність застосування поздовжньої та поперечної ємнісної компенсації для регулювання напруги та $\cos\varphi$.

Таблиця 1 – Результати дослідів і розрахунків

	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$I, \text{А}$	$P_2, \text{Вт}$	$C, \text{мкф}$	$\cos\varphi$	Примітка
Поперечна компенсація	220						$\cos\varphi = \frac{P_2}{I \cdot U_2}$ $I_c = \omega \cdot C \cdot U_2 \cdot 10^{-6}$
Поздовжня компенсація	220						$R=16 \text{ Ом}$ $X=20 \text{ Ом}$

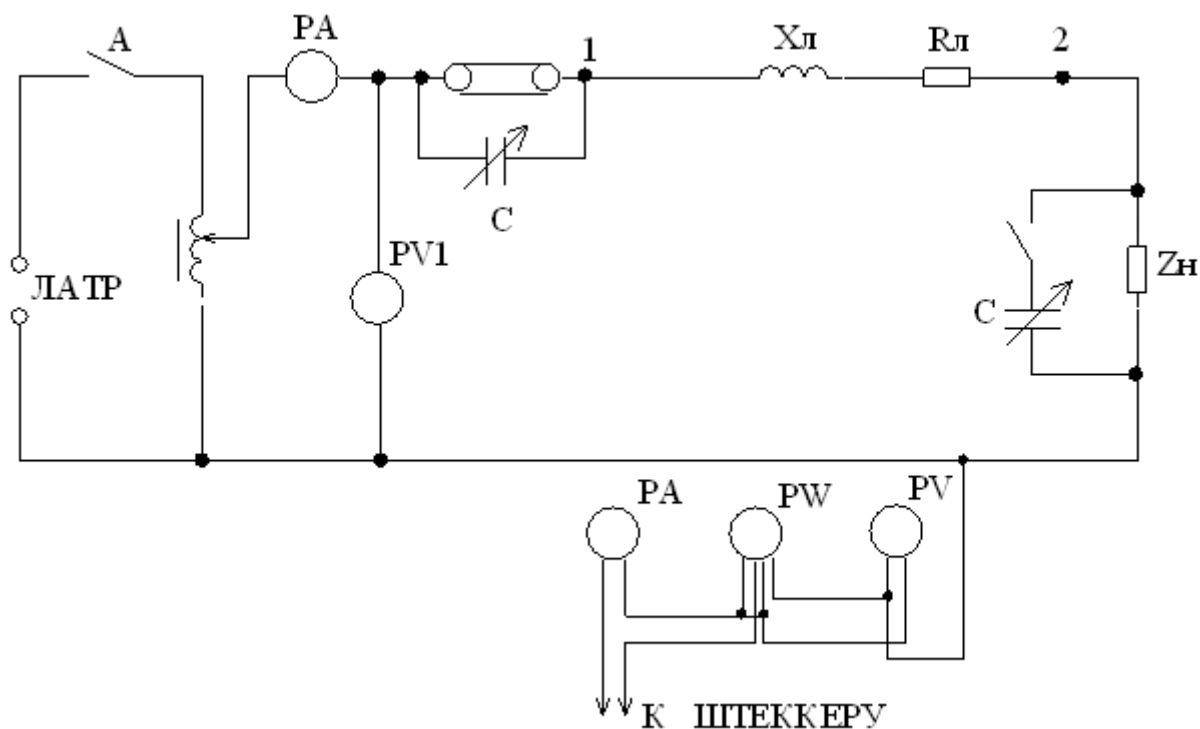


Рисунок 4.1 – Схема лабораторної установки

Контрольні запитання

1. Які основні методи регулювання напруги в сільських електричних мережах?
2. Яке принципові відмінності поздовжньої та поперечної компенсацій?
3. Які їх переваги та недоліки кожного із видів компенсації потужності?
4. Розповісти порядок побудови векторних діаграм для поздовжньої та поперечної компенсації?
5. Як визначити необхідну потужність конденсаторної батареї для здійснення ємнісної компенсації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

1 Мета заняття

Навчити студентів розраховувати електричні навантаження в мережах напругою 0,38...110 кВ.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Розрахункові навантаження окремих споживачів електричної енергії задаються денним P_{∂} або вечірнім P_{ϵ} максимумами, або визначаються за максимальною потужністю на вводі до споживача:

$$P_{\partial} = \kappa_{\partial} \cdot P_{\max} \quad P_{\epsilon} = \kappa_{\epsilon} \cdot P_{\max} \quad (5.1)$$

де κ_{∂} , κ_{ϵ} – коефіцієнт денного та вечірнього максимумів;

$P_{\max}$ – максимальна потужність на вводі до споживача, кВт.

Коефіцієнти денного та вечірнього максимумів приймаються наступним чином: для виробничих споживачів – $\kappa_{\partial} = 1$; $\kappa_{\epsilon} = 0,6$; для побутових споживачів без електроплит – $\kappa_{\partial} = 0,3 \dots 0,4$; $\kappa_{\epsilon} = 1$; для побутових споживачів із електроплитами $\kappa_{\partial} = 0,6$; $\kappa_{\epsilon} = 1$; для змішаного навантаження $\kappa_{\partial} = \kappa_{\epsilon} = 1$.

Розрахунок електричних навантажень на окремих ділянках лінії залежить від характеру навантажень споживачів. Якщо електричні навантаження в мережі 0,38...110 кВ однорідні й сумірні (не відрізняється більш ніж в чотири рази), то навантаження окремої ділянки лінії визначають шляхом підсумовування розрахункових навантажень на вводах до споживачів (або на шинах підстанції) з урахуванням коефіцієнта одночасності, окремо для денного та вечірнього максимумів:

$$P_{\partial} = \kappa_o \cdot \sum P_{\partial i} \quad P_{\epsilon} = \kappa_o \cdot \sum P_{\epsilon i} \quad (5.2)$$

де k_o – коефіцієнт одночасності;

$P_{\partial i}$ і $P_{\epsilon i}$ – навантаження денного і вечірнього максимумів i -го споживача, кВт.

Коефіцієнт одночасності K_o вибираємо із таблиць [1-6] в залежності від кількості споживачів і характеру навантаження мережі.

Якщо навантаження споживачів відрізняються більш ніж в чотири рази (тобто несумірні), то вони підсумовуються за допомогою надбавок. При цьому до більшого із двох навантажень прибавляють надбавку від меншого:

$$P_{\epsilon} > P_{\partial} \qquad P_p = P_{\epsilon} + \Delta P_{\partial} \qquad (5.3)$$

де P_{ϵ} – більше з навантажень, кВт;

ΔP_{∂} – надбавка від меншого навантаження [1-5], кВт.

Додавання різнорідних навантажень виконується також за допомогою надбавок. Якщо відомий тільки один максимум навантаження (денний або вечірній), то другий можна визначити використовуючи коефіцієнт участі споживачів у вечірньому або денному максимумі навантаження (5.1).

Коефіцієнт потужності споживачів визначається із таблиць [1-6], а для групи споживачів він визначається як середнє зважене значення:

$$\cos \varphi_{\epsilon} = \frac{\sum P_i \cdot \cos \varphi_i}{\sum P_i} \qquad (5.4)$$

Для споживачів з напругою вище 1000 В коефіцієнт потужності визначається за графіками, в залежності від відношення виробничого навантаження до сумарного навантаження всіх споживачів [1-4].

Якщо в зоні електропостачання знаходяться сезонні споживачі, то при знаходженні розрахункового навантаження вони повинні бути враховані з коефіцієнтом сезонності [1-3, 5].

Потужність зовнішнього освітлення населеного пункту визначається з виразу:

$$P_{зо.} = L \cdot P_{0\text{ вул.}} + (N \cdot P_{0\text{ прим.}} + L_{пер} \cdot P_{0пер}), \quad (5.5)$$

де L – загальна довжина вулиць у населеному пункті, м;

$L_{пер}$ – загальна довжина периметрів дворів виробничих приміщень, м;

N – кількість виробничих та комунальних приміщень, шт.;

$P_{0\text{ вул.}}, P_{0\text{ прим.}}, P_{0пер}$ – нормативне навантаження зовнішнього освітлення, відповідно на один погонний метр вулиці, на одне виробниче приміщення та на один погонний метр периметру двора виробничого приміщення [2-4, 6], кВт.

Повна розрахункова потужність на ділянці лінії визначається через коефіцієнт потужності навантаження:

$$S_{\epsilon} = \frac{P_{\delta}}{\cos \varphi_{\delta}}; \quad S_{\epsilon} = \frac{P_{\epsilon}}{\cos \varphi_{\epsilon}}. \quad (5.6)$$

Задача 1

Десять житлових будинків в негазифікованому населеному пункті нової забудови зібрані в дві групи по п'ять будинків. Навантаження (P_{δ}/P_{ϵ} , кВт), коефіцієнти потужності ($\cos \varphi_{\delta}/\cos \varphi_{\epsilon}$) інших споживачів та довжини ділянок лінії (l , м) показані на схемі лінії (Рис.1). Периметр двору хлібопекарні – 70 м, школи – 200 м. Визначити розрахункові навантаження на окремих ділянках лінії 0,38 кВ та загальну потужність зовнішнього освітлення вулиці.

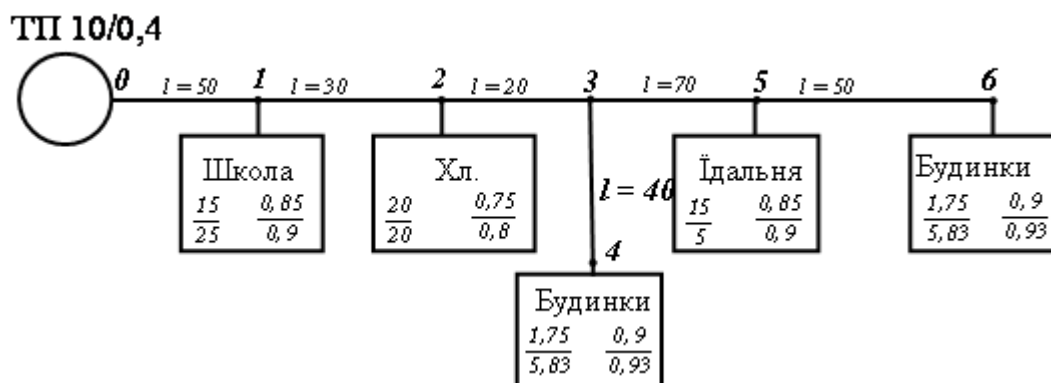


Рисунок 5.1. – Розрахункова схема повітряної лінії 0,38 кВ.

РОЗВ'ЯЗАННЯ:

1. Навантаження на вводі до житлового будинку визначаємо із літератури [2-4]:

$$P_0 = 2,2 \text{ кВт}.$$

2. Навантаження групи з п'яти будинків визначаємо через коефіцієнт одночасності [2-4, 6]:

$$P_{\epsilon} = n \cdot P_0 \cdot \kappa_o = 5 \cdot 2,2 \cdot 0,53 = 5,83 \text{ кВт}.$$

$$P_{\delta} = 0,3 \cdot P_{\epsilon} = 0,3 \cdot 5,83 = 1,75 \text{ кВт}.$$

3. Навантаження зовнішнього освітлення вулиці [2-4, 6]:

$$P_{\text{з.о. вул}} = P_{\text{о.вул}} \cdot l = 7 \cdot 260 \cdot 10^{-3} = 1,82 \text{ кВт}.$$

4. Навантаження зовнішнього освітлення виробничих і комунальних споживачів:

$$P_{\text{з.о. пр}} = N \cdot P_{\text{о пр}} + L_{\text{пр}} \cdot P_{\text{о пр}} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 270 \cdot 10^{-3} = 1,56 \text{ кВт}.$$

5. Загальна потужність зовнішнього освітлення :

$$P_{\text{з.о.}} = P_{\text{з.о. вул}} + P_{\text{з.о. пр}} = 1,82 + 1,56 = 3,38 \text{ кВт}.$$

6. Визначаємо навантаження на ділянках лінії. Так як навантаження неоднорідні і не сумірні, то їх підсумовування виконуємо методом надбавок [1-5]. Розрахунок розпочинаємо з кінця лінії.

$$P_{\text{рδ 6-5}} = P_{\delta} = 1,75 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{рє 6-5}} = P_{\epsilon} = 5,83 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{рδ 5-3}} = 15 + 1,05 = 16,05 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{рє 5-3}} = 5,83 + 3 = 8,83 \text{ кВт}.$$

7. Визначаємо коефіцієнт потужності споживачів із літератури [1-6], а на ділянках лінії визначаємо його середньозважене значення:

$$\cos \varphi_{\text{дсз 5-3}} = \frac{15 \cdot 0,85 + 1,75 \cdot 0,9}{15 + 1,75} = 0,86 ;$$

$$\cos \varphi_{\epsilon 5-3} = \frac{5 \cdot 0,9 + 5,83 \cdot 0,93}{5 + 5,83} = 0,92$$

8. Визначаємо повну розрахункову потужність споживачів та на ділянках лінії:

$$S_{p\delta 5-3} = \frac{16,05}{0,86} = 18,7 \text{ кВА};$$

$$S_{p\epsilon 5-3} = \frac{8,83}{0,92} = 9,6 \text{ кВА}.$$

Розрахунок навантаження на інших ділянках лінії виконуємо в таблиці 1.

Таблиця 5.1. – Визначення розрахункових навантажень в лінії 0,38 кВ

Ді- ля- н- ка	Більше наванта- ження		Менше наванта- ження		Надбавка		Розрахун- кове наванта- ження		$\cos \varphi_{\delta}$	$\cos \varphi_{\epsilon}$	$S_{p\delta}$ кВА	$S_{p\epsilon}$ кВА
	P_{δ}	P_{ϵ}	P_{δ}	P_{ϵ}	ΔP_{δ}	ΔP_{ϵ}	$P_{p\delta}$	$P_{p\epsilon}$				
6-5	1,75	5,83	-	-	-	-	1,75	5,83	0,9	0,93	1,9	6,3
5-3	15	5,83	1,75	5	1,05	3,0	16,0 5	8,83	0,86	0,92	18,7	9,6
4-3	1,75	5,83					1,75	5,83	0,9	0,93	1,94	6,3
3-2	16,05	8,83	1,75	5,83	1,05	3,5	17,1	12,3 3	0,86	0,92	19,9	13,4
2-1	20	20	17,1	12,3	10,6	7,5	30,6	27,5	0,8	0,85	38,3	32,4
1-0	30,6	27,5	15	25	9,2	15,7	39,8	43,2	0,81	0,87	49,1	49,7

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке розрахунковий період?
2. Що таке коефіцієнт одночасності і від чого він залежить?
3. Що таке сумірні (не сумірні) навантаження мережі?
4. Як складаються сумірні навантаження?
5. Як складаються не сумірні навантаження?

6. Як складаються різномірні навантаження?
7. Як визначити середньо зважений коефіцієнт потужності для групи споживачів?
8. Як визначається потужність зовнішнього освітлення?
9. В яких випадках враховуються сезонні навантаження?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА КІЛЬКОСТІ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗНИЖУВАЛЬНИХ ПІДСТАНЦІЙ

1 Мета заняття.

Навчити студентів визначати розрахункову потужність та виконувати вибір силових трансформаторів знижувальних підстанцій.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Визначення розрахункової потужності силових трансформаторів одно, або двотрансформаторних підстанцій 6...10/0,4 кВ виконується шляхом підсумовування розрахункових активних потужностей на головних ділянках ліній 0,38 кВ, що відходять від підстанції (окремо денних та вечірніх) методом надбавок. Потужність зовнішнього освітлення своїм повним розміром додається до сумарного вечірнього максимуму.

$$P_{рд\ tr} = P_{рд\ лін.\ Б} + \sum \Delta P_{рд\ лін.\ М}, \quad (6.1)$$

$$P_{рв\ tr} = P_{рв\ лін.\ Б} + \sum \Delta P_{рв\ лін.\ М} + P_{з.о.}, \quad (6.2)$$

де $P_{рд\ лін.\ Б}$, $P_{рв\ лін.\ Б}$ – більше з розрахункових, відповідно денних та вечірніх, навантажень на головних ділянках ліній, що відходять від підстанції, кВт;

$\sum \Delta P_{рд\ лін.\ М}$, $\sum \Delta P_{рв\ лін.\ М}$ – сума надбавок від менших розрахункових, відповідно денних та вечірніх, навантажень на головних ділянках ліній, що відходять від підстанції, кВт.

Повна розрахункова потужність трансформатора (денна або вечірня) визначається через відповідний коефіцієнт потужності [2-4] за формулою:

$$S_{p\partial mp} = \frac{P_{p\partial mp}}{\cos \varphi_{\partial}} \quad S_{pe mp} = \frac{P_{pe mp}}{\cos \varphi_e} \quad (6.3)$$

За розрахункову приймається більша з двох (денна або вечірня) повна потужність трансформатора.

Номінальна потужність трансформатора визначається за шкалою економічних інтервалів навантажень [1, 5] за умови його роботи в нормальному режимі.

$$S_{EK.min} \leq \frac{S_{p mp}}{n} \leq S_{EK.max}, \quad (6.4)$$

де $S_{p mp}$ – повне розрахункове навантаження трансформатора, кВА;

n – кількість трансформаторів, шт.;

$S_{EK.min}, S_{EK.max}$ – мінімальна і максимальна межа економічного інтервалу навантаження трансформатора прийнятої номінальної потужності [1,5], (Додаток А), кВА.

Прийняті номінальні потужності трансформаторів перевіряються із умови їх роботи у нормальному режимі експлуатації із допустимим систематичним перевантаженням. Для забезпечення нормального режиму експлуатації підстанції вибрані номінальні потужності трансформаторів перевіряють за співвідношенням:

$$\frac{S_{p mp}}{n S_{н mp}} \leq k_c, \quad (6.5)$$

де $S_{p mp}, S_{н mp}$ – відповідно, розрахункова і номінальна потужність трансформатора, кВА;

n – кількість трансформаторів, шт.;

k_c – коефіцієнт допустимого систематичного перевантаження трансформатора.

Коефіцієнт допустимого систематичного перевантаження трансформатора визначається за формулою:

$$k_c = k_{cm} - \alpha (t_n - t_{nm}), \quad (6.6)$$

де k_{cm} – табличне значення коефіцієнта допустимого систематичного перевантаження, яке відповідає табличній середньодобовій температурі (Додаток А);

α – розрахунковий температурний градієнт (Додаток А), $1/^\circ\text{C}$;

t_n – середньодобова температура повітря, $^\circ\text{C}$;

t_{nm} – середньодобова таблична температура повітря (Додаток А), $^\circ\text{C}$.

Річне споживання електричної енергії на шинах підстанції приблизно можна визначити за значенням розрахункового активного навантаження та річному числу годин його використання.

$$W_{\text{рік}} = P_{\text{р max}} T, \quad (6.7)$$

де T – число годин використання максимального навантаження [2-4].

Задача 1

Споживча ТП 10/0,4 кВ живить три повітряні лінії напругою 0,38 кВ. Дані для розрахунків наведені в таблиці 1. Для повітряної лінії №3 $P_{\text{рd}}$ та $P_{\text{рв}}$ взяті із задачі 1. Визначити потужність силового трансформатора ТП.

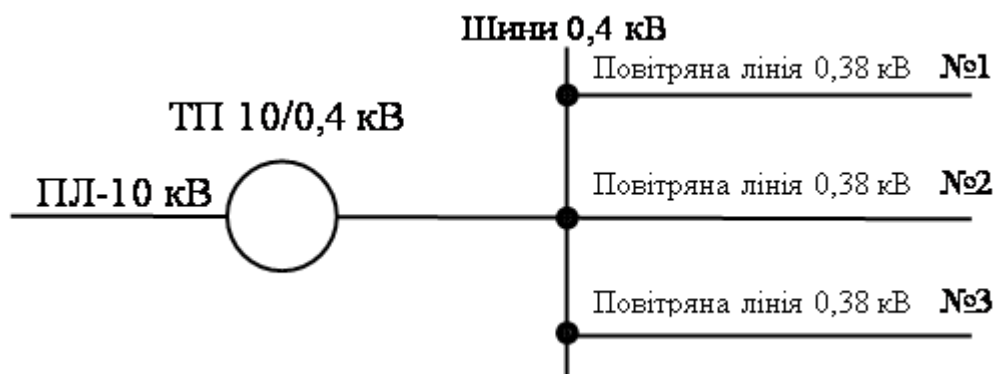


Рисунок 1 – Схема підстанції 10/0,4 кВ.

Таблиця 1 - Вихідні дані для визначення потужності трансформатора

Навантаження ліній $P_{pd}/P_{pe}, \text{кВт}$			$P_{з.о.},$ кВт	$t_n, ^\circ\text{C}$	Характер навантаження
№1	№2	№3			
$\frac{30,8}{43,2}$	$\frac{35}{51,2}$	$\frac{39,8}{43,2}$	11,3	0	Змішане

РОЗВ'ЯЗАННЯ:

1. Розрахункове активне навантаження (денне та вечірнє) на шинях ТП:

$$P_{pd \text{ тр}} = 39,8 + 22,8 + 19,6 = 82,2 \text{ кВт},$$

$$P_{pe \text{ тр}} = 51,2 + 28,5 + 28,5 + 11,3 = 119,5 \text{ кВт}.$$

2. За літературою [2-4] визначаємо коефіцієнти потужності для споживчої ТП 10/0,4 кВ із змішаним навантаженням:

$$\cos \varphi_\delta = 0,8; \quad \cos \varphi_\delta = 0,83.$$

3. Повна розрахункова потужність трансформатора (денна та вечірня):

$$S_{pd \text{ тр}} = \frac{82,2}{0,8} = 102,75 \text{ кВА}; \quad S_{pe \text{ тр}} = \frac{119,5}{0,83} = 143,98 \text{ кВА}.$$

Так як $S_{pe \text{ тр}} = 143,98 \text{ кВА} > S_{pd \text{ тр}} = 102,75 \text{ кВА}$, за розрахункову потужність приймаємо $S_{pe \text{ тр}} = 143,98 \text{ кВА}$.

4. Номінальна потужність трансформатора при $n = 1$, за шкалою економічних інтервалів [1, 5] (Додаток А):

$$116 \leq \frac{143,98}{1} \leq 150,$$

Приймаємо трансформатор потужністю $S_n = 100 \text{ кВА}$.

5. Коефіцієнт допустимого систематичного перевантаження трансформатора (Додаток А):

$$k_c = 1,77 - 1 \cdot 10^{-2} (10 - (-10)) = 1,57.$$

6. Прийняту номінальну потужність трансформатора перевіряємо за умови його роботи у нормальному режимі експлуатації із допустимим систематичним перевантаженням:

$$\frac{143,98}{1 \cdot 100} = 1,44 \leq 157.$$

7. Річне споживання електричної енергії на шинах підстанції при $T=3200$ [2-4]:

$$W_{\text{рік}} = 119,5 \cdot 3200 = 382400 \text{ кВт год.}$$

Контрольні запитання

1. Як визначається активне розрахункове навантаження на шинах ТП 10/0,4 кВ?
2. Як враховується потужність зовнішнього освітлення при виборі потужності споживчої ТП 10/0,4 кВ?
3. Як визначити повну потужність трансформатора споживчої ТП 10/0,4 кВ?
4. Як виконується вибір номінальної потужності силового трансформатора?
5. Що таке економічний інтервал?
6. За якими умовами перевіряють вибрану номінальну потужність трансформатора?
7. Що таке число годин використання максимального навантаження?
8. Як визначається річне споживання енергії на шинах ТП?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

КОМУТАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 0,4 КВ

1 Мета заняття.

Ознайомитися із загальними відомостями про автоматичні вимикачі, їх параметри та характеристики.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

В електричних мережах 0,4 кВ встановлюються різні за призначенням види автоматичних вимикачів, серед яких:

- автоматичні вимикачі;
- вимикачі керовані диференційним струмом;
- диференційні автомати.

Диференційні автомати є фактично комбінацією автоматичного вимикача та вимикача керованого диференційним струмом.

7.1 Автоматичні вимикачі

Автоматичні вимикачі призначені для автоматичного захисту електричних мереж та устаткування від аварійних режимів – надструмів (перевантажень та струмів короткого замикання), а також для оперативної комутації струмів у ділянках електричних кіл.

Основною характеристикою автоматичного вимикача є годинниковострумова (вимикальна) характеристика – залежність часу затримки вимикання від значення надструму. Формування вимикальної характеристики може бути реалізовано по-різному. Найчастіше її формують за допомогою теплового та електромагнітного пускових механізмів або застосуванням внутрішніх контролерів, що програмуються. У першому випадку при виготовленні автоматичних вимикачів широкого вжитку стандарт EN 60898 передбачає для одного і цього самого номінального

струму три різні фіксовані типи вимикальних характеристик – В, С, D (рис. 1). Відзначимо, що тип В, С чи D визначає, за якої кратності надструму щодо номінального спрацює миттєвий електромагнітний розчеплювач.

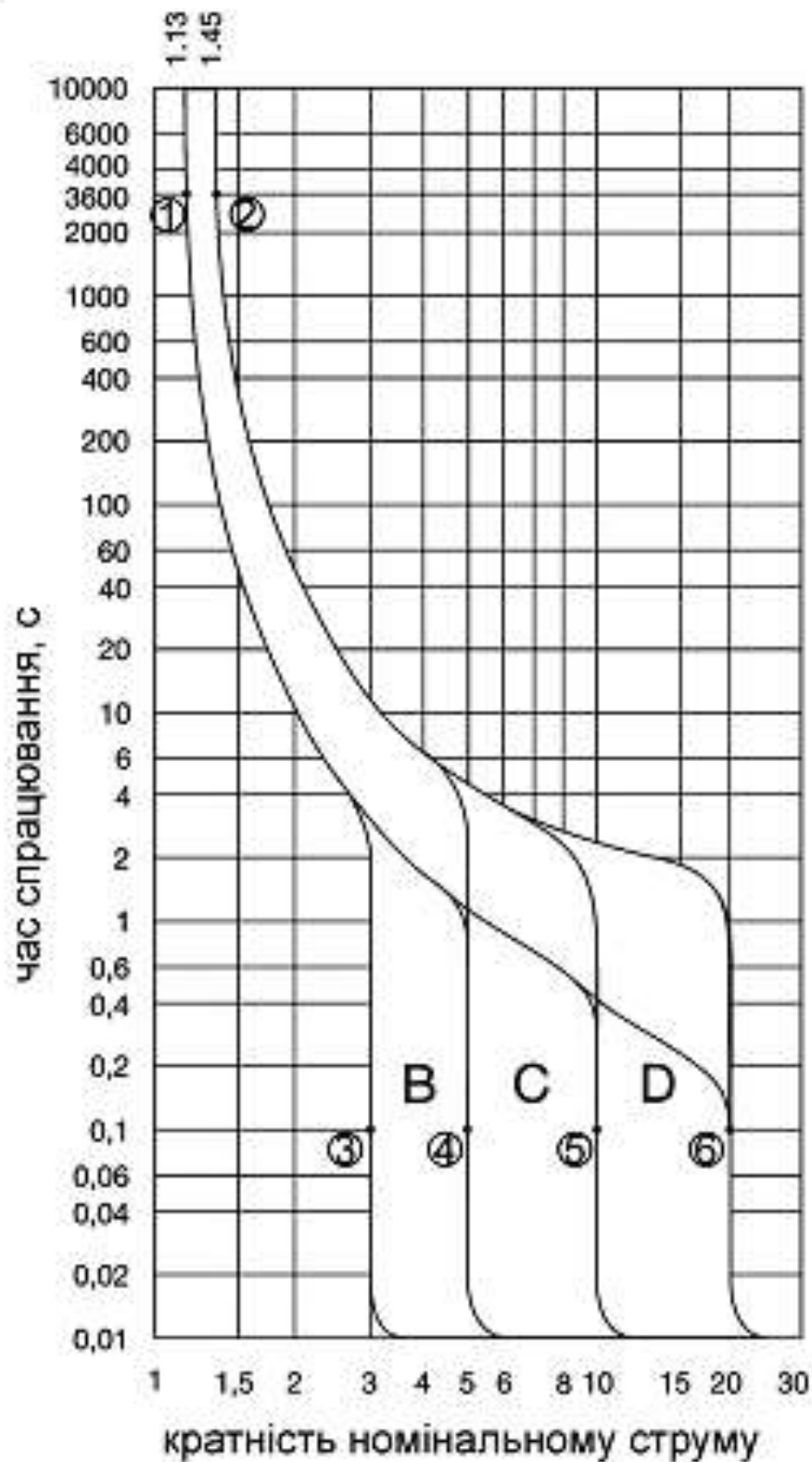


Рис. 7.1. Вимикальні характеристики автоматичних вимикачів

Для прикладу наведемо характерні місця застосування автоматичних вимикачів з вимикальними характеристиками В, С, D: В: обладнання з невеликими надструмами (захист проводу, звичайні прилади); С: обладнання з надструмами до 5In (багатополюсні асинхронні двигуни тощо); D: обладнання з великими надструмами (трансформатори, двополюсні асинхронні двигуни).

7.1.1 Модульні автоматичні вимикачі

Модульні автоматичні вимикачі, монтаж яких здійснюють на 35 мм монтажну DIN-рейку, виготовляють одно-, дво-, три- і чотиріполюсними, на струми від 0,5 до 63 А

Суміжне розташування модульних автоматичних вимикачів

Номінальний струм вимикача, вказаний на маркуванні, стосується умовної температури 30 °С. Зі зростанням температури довкілля цей струм зменшується. Дана залежність, для модульних автоматичних вимикачів фірми Hager відображена у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Вплив температури довкілля на номінальний струм спрацювання

In (A)	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
0,5	0,5	0,47	0,45	0,4	0,38	-	-
1	1	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
2	2	1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
3	3	2,8	2,5	2,4	2,3	2,1	1,9
4	4	3,7	3,5	3,3	3	2,8	2,5
6	6	5,6	5,3	5	4,6	4,2	3,8
10	10	9,4	8,8	8	7,5	7	6,4
16	16	15	14	13	12	11	10
20	20	18,5	17,5	16,5	15	14	13
25	25	23,5	22	20,5	19	17,5	16
32	32	30	28	26	24	22	20
40	40	37,5	35	33	30	28	25
50	50	47	44	41	38	35	32
63	63	59	55	51	48	44	40

Впливає на номінальний струм і кількість розташованих поруч вимикачів: з їхнім зростанням номінальний струм падає. Дана залежність, для модульних автоматичних вимикачів фірми Hager відображена у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2. Вплив кількості суміжних автоматичних вимикачів

Кількість автоматичних вимикачів, N	Коефіцієнт K
1	1,0
2..3	0,95
4..5	0,9
більше 5	0,85

В загальному випадку робочий номінальний струм I_e в зоні теплового захисту визначають за виразом:

$$I_e = I_n(t) \cdot k(N)$$

де $I_n(t)$ – залежність номінального струму від температури t довкілля; $k(N)$ – коефіцієнт зміни номінального струму залежно від кількості вимикачів, що розташовані поруч.

Зазначимо, що для зони миттєвого захисту номінальним залишається струм I_n , вказаний на маркуванні.

Додаткові пристрої до модульних автоматичних вимикачів

Розчеплювач мінімальної напруги призначений для вимикання одно-, дво-, три- або чотирьополісного автоматичного вимикача у разі недопустимого зниження напруги.

Розчеплювач є електронним пороговим елементом, що під'єднується до контрольованого електричного кола (рис. 7.2.а). На конструктивний вихід порогового елемента виведено важіль, який діє на механізм скидання незалежного розчеплення автоматичних вимикачів.

Він має убудоване коло контролю працездатності, що приводиться в дію кнопкою «ТЕСТ». Після натискання на кнопку «ТЕСТ» спрацьовує розчеплювач і вимикається автоматичний вимикач.

Незалежний розчеплювач (рис. 7.2.б) призначений для дистанційного вимикання одно-, дво-, три- або чотириполюсного автоматичного вимикача модульної серії. Розчеплювач є електромагнітом, що через важіль впливає на механізм скидання незалежного розчеплення автоматичних вимикачів.

Додатковий контакт стану та аварійний контакт сигналізації. Під час експлуатації автоматичних вимикачів виникає необхідність одержання інформації про стан того чи іншого кола навантаження. Таку функцію виконують контакти стану – OF (рис. 7.2.в) та аварійної сигналізації – SD (рис. 7.2.г).

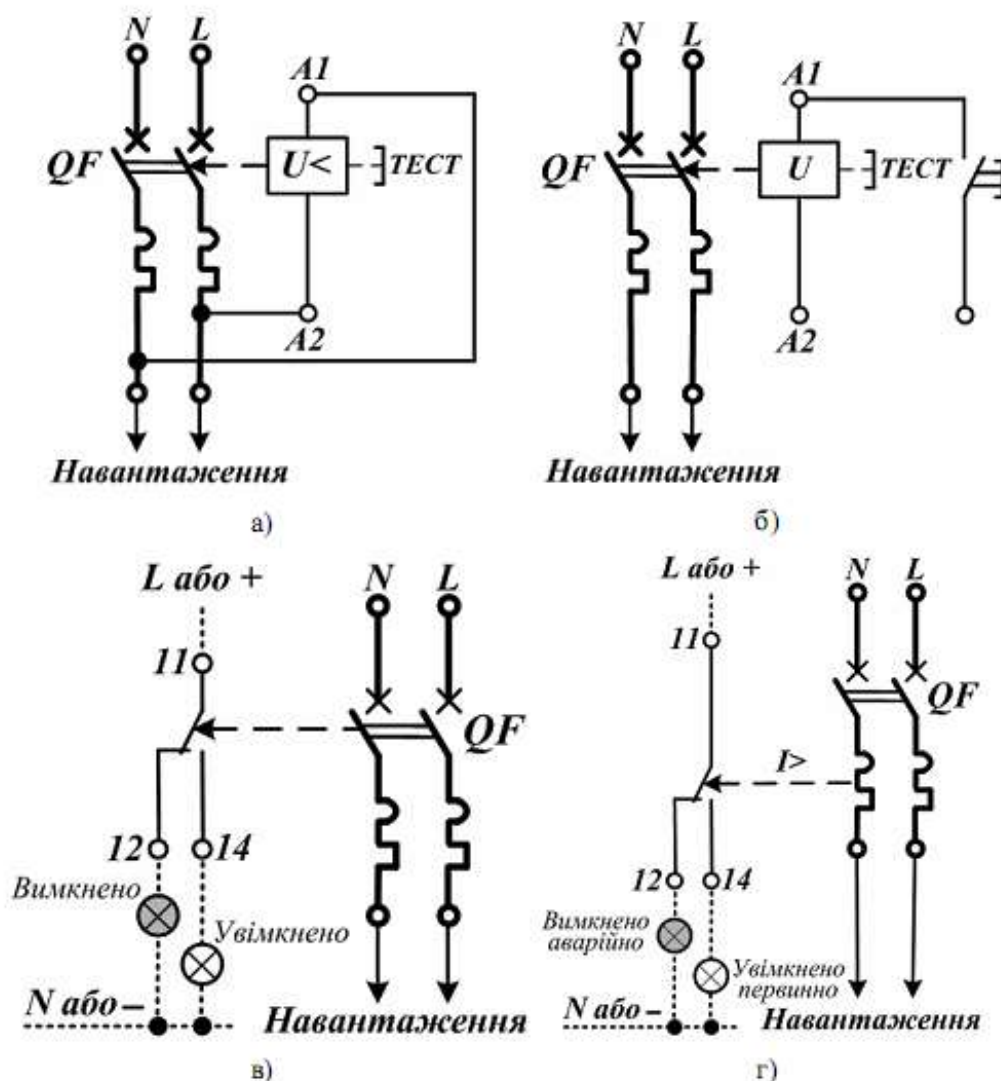


Рис. 7.2. Схеми додаткових пристроїв до модульних автоматичних вимикачів

Модуль «*Контакт стану*» – OF сигналізує про стан вимикача: «Увімкнено» чи «Вимкнено». Перемикання контактів відбувається навіть, якщо руків'я керування вимикача утримується у зведеному положенні, що стається у разі вимкнення за надструмами. Застосовується для звукової чи світлової сигналізації стану кола. Цей вид повідомлення може бути виведений на лицьову панель розподільного щита, а також (чи) на центральний пульт керування.

Модуль «*Контакт аварійної сигналізації*» – SD інформує про положення механізму зведення автоматичного вимикача. Після установа модуля в зачеплення з механізмом вимикача, при першому зведенні руків'я керування вимикача перемикаються контакти стану, що залишаються в такому положенні і при ручному вимиканні вимикача. Перемикання контактів відбудеться тільки у разі спрацьовування вимикача від надструмів. Можливе тестування контактів модуля за допомогою кнопки, розташованої у верхній частині корпусу.

Модулі монтують до вимикачів з лівого боку, попередньо знявши захисну заглушку на корпусі вимикача. Верхній важіль модуля вводять у зачеплення з руків'ям керування вимикача, а нижній з механізмом зведення.

7.1.2 Корпусні автоматичні вимикачі

Призначені для проведення струму в нормальному режимі і вимикання струму під час коротких замикань, перевантажень, недопустимих знижень напруги; вимикачі допускають також оперативні вмикання та вимикання електричних кіл, кількість яких на добу не повинна перевищувати 30 і які розраховані для експлуатації в електроустановках з номінальною робочою напругою до 400 В змінного струму частотою 50 Гц.

Передбачено шість типорозмірів на номінальні струми вимикачів (типорозмірів) із номінальним струмом, I_n від 16 до 1600 А.

Вимикач виконаний у вигляді моноблока і складається з підставки і накривки з фальшпанеллю, у якій є вікно для руків'я керування і штовхач кнопки «ТЕСТ» (перевірки механізму вимкнення вимикача). Підставка є несучою конструкцією для приєднувальних затискачів, нерухомих силових контактів із системою дугогасіння, механізму керування із системою рухомих контактів, блока захисту від надструмів. Накривка закриває всі рухомі елементи механізму керування і внутрішніх струмоведучих частин.

Предбачені три варіанти монтажу вимикачів: звичайне підімкнення наконечників провідників і шин під затискач вимикача; втичний монтаж, що вимагає спеціальної панелі, яка кріпиться на монтажній плиті шафи і в комплект не входить; висувний варіант, який дає змогу виймати і вставляти апарат, не рухаючи з'єднань. Він також потребує додаткового обладнання.

Додаткові пристрої корпусних автоматичних вимикачів

Незалежний розчеплювач (РН) використовують для дистанційного вимикання вимикача поданням напруги в коло керування незалежного розчеплювача. Якщо вимкнено вимикач, подавання напруги на незалежний розчеплювач блокується. Вимикач після його дистанційного вимкнення вмикають вручну.

Розчеплювач мінімальної напруги (РМ) вимикає вимикач у разі зниження фазної чи лінійної напруги на його ввіді до 70 % від номінальної. Він може слугувати незалежним розчеплювачем, якщо в коло його керування послідовно увімкнути кнопковий вимикач з розмикальними контактами.

Вимкнення вимикача від РН чи РМ сприймається сигналізацією як аварійне.

Додаткові контакти стану OF призначені для сигналізації про положення контактів вимикача (увімкнено/вимкнено).

Аварійні контакти стану SD призначені для сигналізації про вимкнення вимикача від надструмів, розчеплювача незалежного чи мінімальної напруги,

кнопки «ТЕСТ». У разі повторного увімкнення вимикача сигналізація вимикається.

Для захисту кіл керування незалежних розчеплювачів і додаткових контактів від короткого замикання варто застосовувати плавкі запобіжники чи автоматичні вимикачі з номінальним струмом, зазначеним в інструкції з експлуатації.

Ручний поворотний привід призначений для перетворення обертального руху на поступальний для керування автоматичним вимикачем. Привід закріплюється на двері розподільного пристрою для оперування вимикачем через двері або безпосередньо на вимикачі. Він може містити пристрій для навісного замка для блокування у вимкненому стані.

Електромагнітний привід – це електромеханічний пристрій оперування вимикачем (увімкнути/вимкнути), який має також ручне керування. Привід дає змогу дистанційно керувати вимикачем і особливо зручний в системах телекерування енергозбереженням. Може мати пристрій для навісного замка для блокування у вимкненому стані.

Електромагнітний привід встановлюють на передню панель вимикача.

Встановлення привода не змінює ніяких функцій вимикача.

7.1.3 Селективний захист на автоматичних вимикачах

Під селективним захистом розуміють здатність системи так працювати, щоб у разі виникнення аварії в радіальній ланці послідовно розташованих автоматичних вимикачів вимикався лише той автомат, який розташований першим від об'єкта – причини аварії.

Наслідки неселективного вимикання ліній електропостачання можуть мати більш чи менш серйозний характер. Неселективне вимикання всього під'їзду при КЗ в одній із квартир розглядають як прикру незручність, але вимикання цілої групи паралельно під'єднаних споживачів, коли один із групи відповідає за безпеку, у деяких випадках недопустиме. Неселективне вимикання на виробництві може спричинити значні збитки внаслідок

недовипуску продукції тощо. Отож, залежно від характеру під'єднаних до мережі об'єктів до селективності захисних пристроїв ставлять помірковані або строгі вимоги.

7.2 Вимикачі керовані диференційним струмом

Пристрої захисного вимкнення, керовані диференційним струмом (ПЗВ), значною мірою підвищують рівень електробезпеки електроустановок, а також захищають майно і здоров'я людей, запобігаючи виникненню пожеж, спричинених несправністю електромереж. Перевагами ПЗВ є висока надійність, простота монтажу і невеликі розміри. Використання таких пристроїв дає змогу досягти високого ступеня захисту. Необхідно виконати лише декілька, здебільшого легко реалізовуваних вимог.

Пристрій захисного вимкнення за призначенням повинен бути вимикачем швидкої дії. У разі появи в мережі струму витоку, який перевищує уставку ПЗВ, він повинен автоматично від'єднати від мережі установку (або її частину), яка через нього під'єднана до електричної мережі. Цим забезпечується обмеження величини і тривалості протікання струму через тіло людини у разі прямого дотику. Отже, найважливішою особливістю захисного вимкнення є те, що воно, власне кажучи, – єдиний електрозахисний захід, що захищає людину від ураження.

7.2.1 Будова та принцип дії

ПЗВ складається з підсумовувального трансформатора струму 1, чутливого вимикального реле 2, механізму розчеплення 3 з контактною системою 4 і кола контролю 5 (рис. 7.3).

Через вікно трансформатора струму пропускають всі провідники: фазний робочий L та нульовий робочий N. Якщо у споживача відбувається пошкодження ізоляції і контакт електричного кола з корпусом, то у разі

дотику людини до корпусу у колі з'явиться струм витоку, який, як показано на рис. 7.3, протікає по тілу людини чи якимось іншим шляхом у землю. У такому разі векторна сума струмів у робочих провідниках, пропущених через трансформатор струму, буде мати відмінне від нуля значення, тобто з'явиться так званий диференційний струм I_{Δ} . Наявність диференційного струму зумовлює появу електрорушійної сили у вторинній обмотці трансформатора струму 1, яка за допомогою вимикального реле 2 запускає механізм розчеплення 3. Отже, ушкоджена частина мережі швидко вимикається.

Очевидно, значення диференційного струму повинно бути достатнім для спрацювання реле. Тому існує поняття *номінального вимикального диференційного струму ПЗВ*. Його необхідно відрізнити від *номінального струму ПЗВ*, який ПЗВ може пропустити в тривалому режимі роботи.

Номінальний струм ПЗВ є, по суті, пасивним транзитним струмом пристрою.

Обидва ці струми вказує виробник. У схемі пристрою передбачено коло 5 для тестування працездатності ПЗВ.

7.2.2 Особливості виконання.

Залежно від способу монтажу розрізняють ПЗВ для фіксованого монтажу у розподільних щитах (рис. 7.4, а) і мобільного монтажу (рис. 7.4, б).

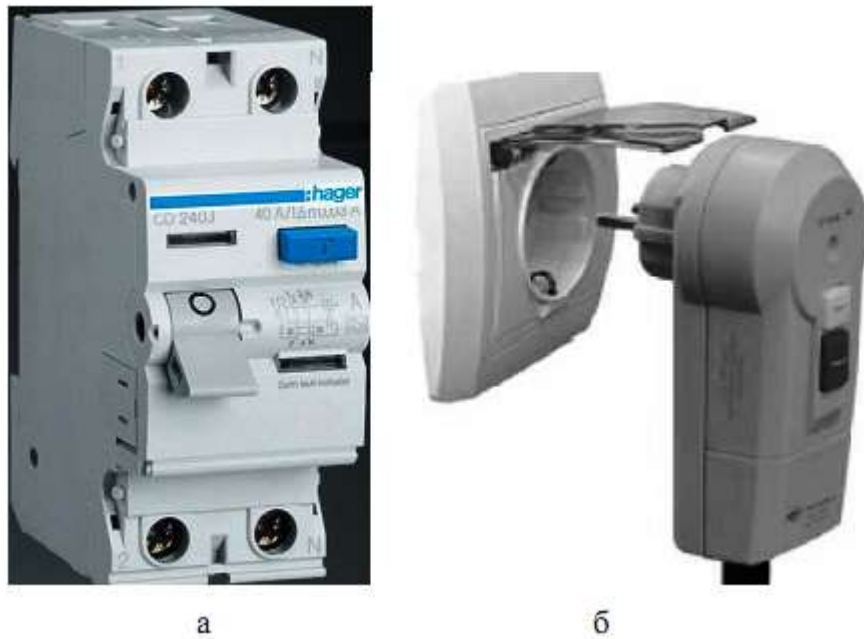


Рис. 7.4. Зовнішній вигляд ПЗВ для фіксованого (а) і мобільного (б) монтажу

За кількістю полюсів ПЗВ поділяють на двополюсні, які призначені для захисту в однофазних колах (L, N), і чотириполюсні, які використовують в трифазних мережах (L1, L2, L3, N). Схеми двополюсного та чотириполюсного ПЗВ показані на рис. 3.

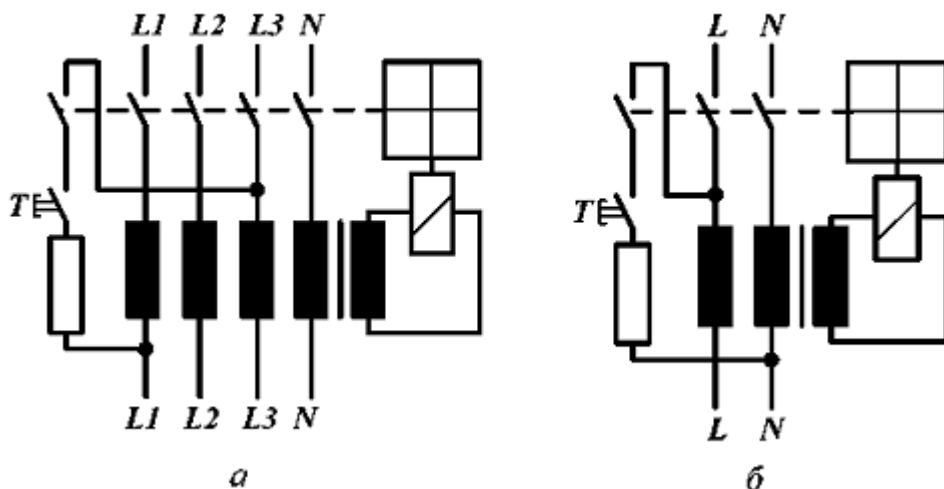


Рис. 7.5. Структурні схеми ПЗВ з різною кількістю полюсів:
а - чотириполюсний; б – двополюсний

Чутливість ПЗВ до різних видів диференційного струму. Іноді у зв'язку з використанням силових схем з напівпровідниковими елементами спотворюється крива змінного струму, що супроводжується збільшенням у

ній частки постійної складової. У разі застосування ПЗВ в колах з потужними споживачами необхідно аналізувати криву струму, що протікає через ПЗВ, і вибрати відповідний цій кривій тип пристрою.

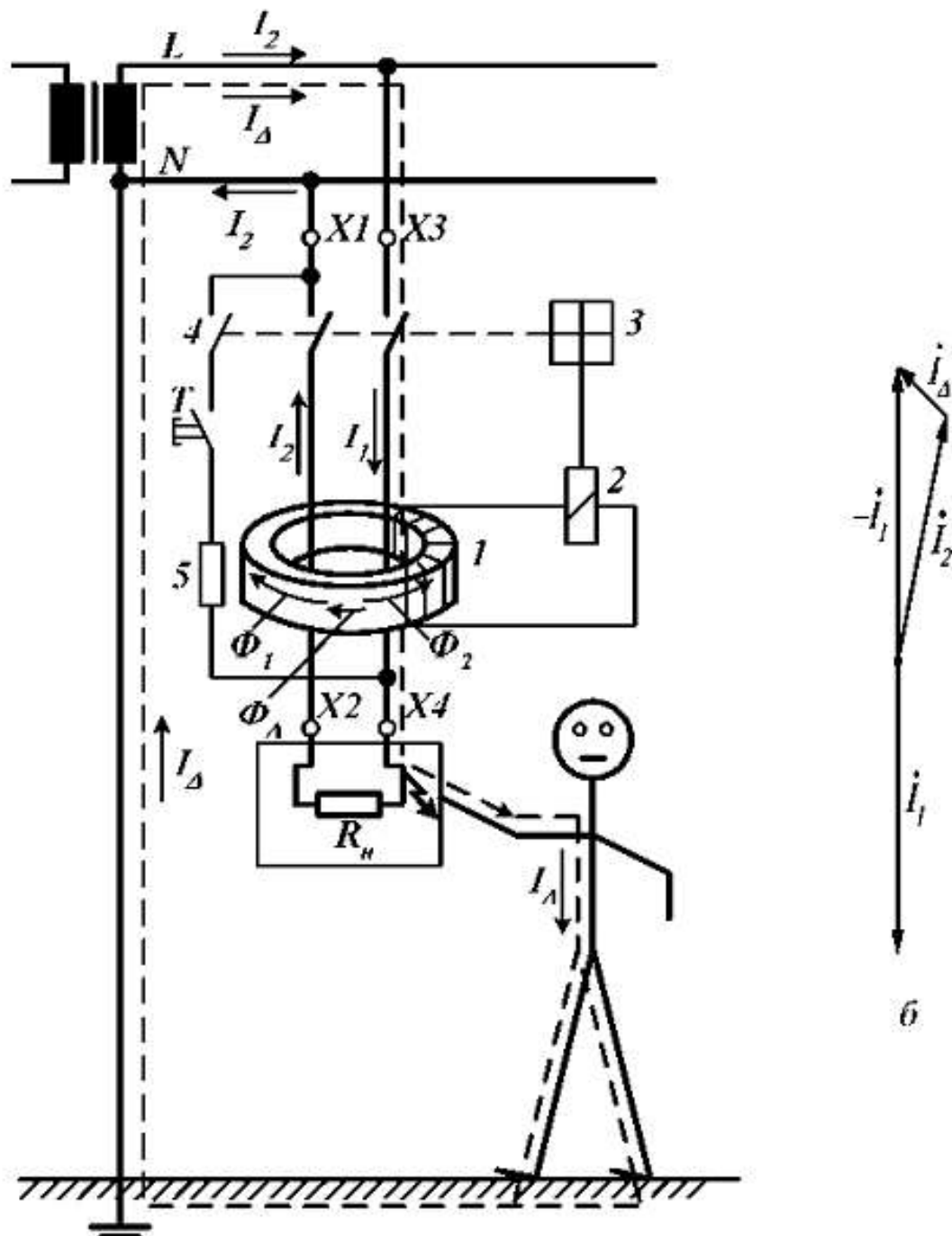


Рис. 7.3. Функціональна схема пристрою захисного вимкнення (а) та векторна діаграма струмів (б). I_1 – струм фазного робочого провідника L ; I_2 – струм нульового робочого провідника N ; I_Δ – струм витоку.

Найчастіше застосовують ПЗВ, призначені для змінного диференційного струму (тип АС), рідше – для змінного й водночас для пульсуючого

постійного струму (тип А). Графічні позначки, що характеризують відповідний тип ПЗВ, наведені в табл. 7.3; їх наносять на корпус кожного пристрою.

Таблиця 7.3. Позначки, що характеризують чутливість ПЗВ до різних видів диф. струму

Позначки	Тип	Властивості ПЗВ
	АС	Чутливий до змінного диференційного струму
	А	Чутливий до змінного і пульсуючого постійного* диференційних струмів
	В	Чутливий до змінного, пульсуючого постійного і згладженого постійного** диференційних струмів

* Пульсуючий постійний струм – хвилеподібні імпульси струму тривалістю (у кутовому вимірюванні) не менше за 150° за один період пульсації, що виникають періодично з номінальною частотою і розділені проміжками часу, протягом яких постійний струм набуває значення, що не перевищує 0,006 А.

** Згладжений постійний струм – постійний струм з незначними хвилеподібними імпульсами (коефіцієнт пульсації не вище ніж 10 %).

Час спрацювання є одним із важливих параметрів ПЗВ. В цьому аспекті ПЗВ поділяють на такі: загального застосування та з певною невеликою затримкою спрацювання. Перші вимикають одразу після виникнення диференційного струму, значення якого перевищує те, що необхідне для спрацювання. Для других затримка характеризується терміном – граничний час невимикання. Упродовж цього нормованого відрізка часу ПЗВ не повинен спрацювати навіть за великого диференційного струму.

Залежно від граничного часу невимикання розрізняють ПЗВ:

- загального призначення з мінімальною природною затримкою – ;
- з підвищеною стійкістю до струму короткого замикання і середньою затримкою – ;
- селективні з істотною затримкою – .

ПЗВ типу G може бути використаний, щоб не допустити хибних спрацювань під впливом зовнішніх чинників (перенапруг, різних завад, комутацій електроприймачів тощо).

7.2.3 Дія електричного струму на організм людини

У разі дотику людини до частини електроустаткування, що опинилося під напругою, по тілу людини протікає електричний струм. Реакція організму на вплив електричного струму й можливі наслідки цього впливу залежать від дуже багатьох чинників, основними з яких є: параметри електричної мережі, умови довкілля (кліматичні й погодні), тривалість впливу струму, перехідний опір між тілом людини й землею (взуття, підлога), характеристика приміщення й опір тіла людини.

На рис. 7.6 зображено граничні криві змінного струму промислової частоти (повідомлення ІЕС 479, розділ 2, 3-тє видання 1994 року), що характеризують вплив сили електричного струму на людину залежно від тривалості часу його протікання. Пояснення до рис. 5 наведено в табл. 7.4.

Таблиця 7.4. Фізіологічний вплив електричного струму на людину залежно від інтервалу значень струму і часу його протікання по тілу

Позначення інтервалу	Граничні значення струму в інтервалі	Фізіологічний вплив
АС-1	до 0,5 мА (пряма а)	Звичайно без відчутного впливу
АС-2	від 0,5 мА до лінії b	Звичайно без шкідливого фізіологічного впливу
АС-3	від лінії b до кривої c	Звичайно без органічного ушкодження. Можлива судова м'язів і проблеми з диханням, якщо струм протікає довше за 2 с. Порушення серцевої діяльності без фібриляції серцевого м'яза спостерігається тільки при тривалішому часі протікання і за вищих значень струму
АС-4	вище від кривої c	Збільшується ймовірність виникнення таких небезпечних патологічних явищ, як зупинка дихання, важкі опіки і фібриляція серцевого м'яза

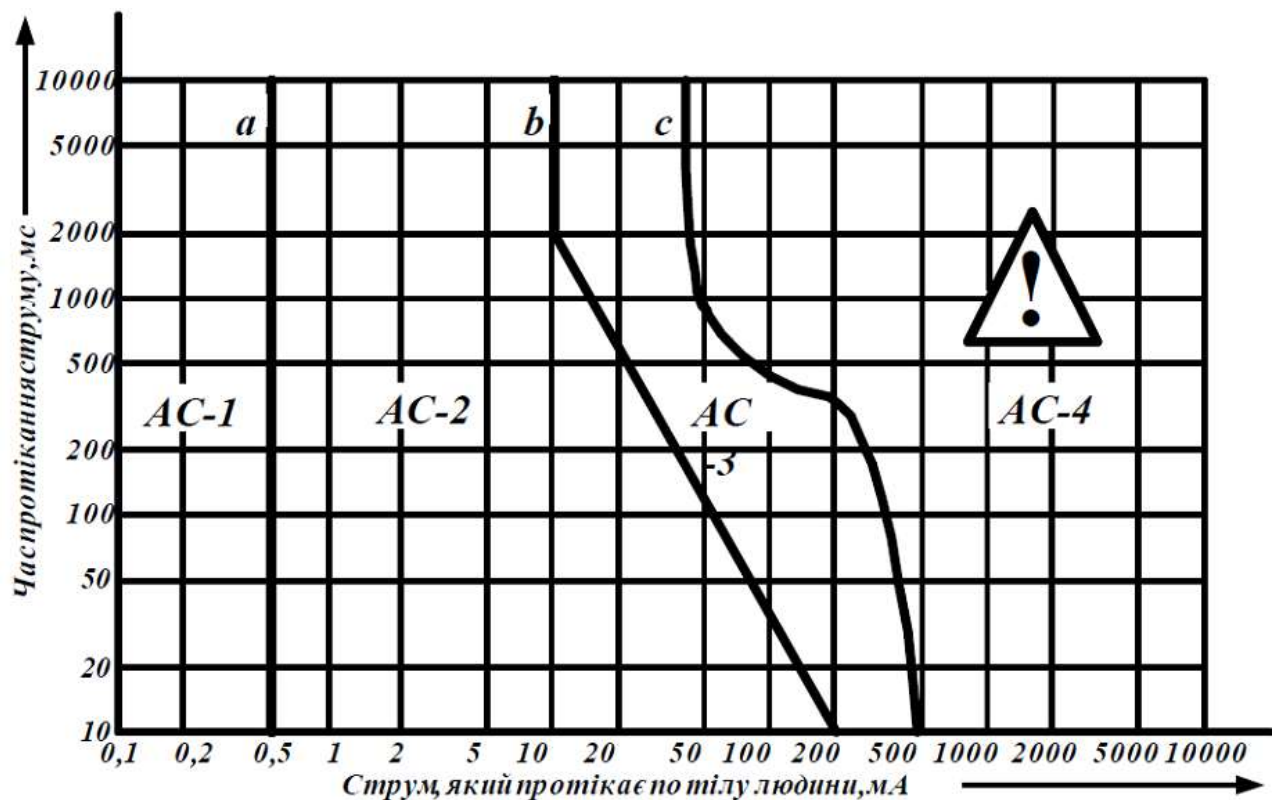


Рис. 7.6. Граничні криві змінного струму

Головним чинником, що зумовлює відсутність смертельного результату у разі ураження людини електричним струмом, є малий час протікання електричного струму. У спеціальній літературі наводиться значення граничнодопустимого добутку струму, що протікає по тілу людини, і часу його протікання, який дорівнює 70 мАс. При значеннях опору тіла людини 2000 Ом і напруги дотику 230 В значення струму, що протікає по тілу, становитиме $230/2000 = 0,115$ А. Час протікання струму у такому разі не повинен перевищувати значення 0,6 с. За умови використання ПЗВ з номінальним вимикальним диференційним струмом 30 мА значення часу вимкнення при доторканні людини до струмоведучого провідника звичайно лежить в межах від 10 до 30 мс, що гарантує високий ступінь безпеки. Залежно від умов довкілля, особливо за наявності чи відсутності вологи, згідно зі стандартом ІЕС 60364-4-41 прийнято, що значення безпечної напруги змінного струму становить:

- 50 В для сухого середовища;
- 25 В для вологого середовища.

7.3 Маркування модульних вимикачів

У однофазних електричних мережах із номінальною напругою 220 В можуть одночасно бути використані різні двополюсні комутаційні апарати різних типів. Основні характеристики за якими можна ідентифікувати тип модульного вимикача та які розміщуються безпосередньо на них самих зведено до таблиці 7.5

Таблиця 7.5 Маркування вимикачів

Показник	Позначення	Автоматичні вимикачі	Вимикачі керовані диференційним струмом	Диференційні автомати	Вимикачі навантаження
1) Наявність дугогасильних контактів, що призначені здійснювати комутації у нормальних та аварійних режимах, у т.ч. відключення струмів КЗ.		+	–	+	–
2) Відсутність дугогасильних контактів, комутація струмів, що не перевищують номінальні.		–	+	–	+
3) Наявність теплового та електромагнітного захисту.		+	–	+	–
4) Вимикальна здатність вимикача (10 кА).		+	–	+	–
5) Позначення номінального струму. Зображення літери В, С чи D перед числовим значенням номінального струму вказує на наявність електромагнітного захисту, літера відповідає його класу.		C10	10	B10	10
6) Керованість диференційним струмом: часто наводиться схема диференційного захисту, вказується номінальний диференційний струм, а також відповідно до таблиці 7.3 позначається тип диференційного струму, до якого чутливий вимикач.	(Рис. 7.5 б) 30 mA I _{Δn} 30mA	–	+	+	–

Контрольні питання

1. Призначення автоматичних вимикачів.
2. Види диференційних струмів на які спрацьовують автоматичні вимикачі.
3. Призначення незалежного розчеплювача.
4. Принцип дії електромагнітного розчеплювача.
5. Принцип дії теплового розчеплювача.

Лабораторна робота № 8

ЗАХИСТ ТА КОМУТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

1 Мета роботи

Вивчення принципу дії та характеристик блоків захисту електродвигунів

2 Теоретична частина

Правильний вибір та налагоджування захисту асинхронних машин дають змогу істотно продовжити їх ресурс і забезпечити надійну та безаварійну роботу самої машини і технічних засобів, в складі яких її використовують. Як правило, вартість системи захисту та її експлуатації значно менша від вартості машини, яку вона захищає, та розміру збитків від простоювання обладнання, в якому вона працює.

Аналіз аварійних режимів асинхронних двигунів (АД) з короткозамкненим ротором дає змогу виділити такі типи аварій, що часто стаються на практиці:

- коротке замикання (КЗ) на затискачах двигуна або в його статорній обмотці;
- обрив фази статорної обмотки двигуна (часто трапляється у разі захисту двигунів запобіжниками);
- загальмування ротора під час пуску двигуна (особливо часто зустрічається під час прямого пуску двигуна за рахунок зниження напруги мережі);
- технологічні перевантаження, що виникають при накиді навантаження під час функціонування двигуна;

Аварійні режими в колі асинхронного двигуна можуть спричиняти або короткочасне підвищення струму в десятки разів порівняно з номінальним (КЗ у колі), або тривале протікання струму перевантаження, який у рази перевищує номінальне значення струму.

Для захисту електричних кіл широко застосовують автоматичні вимикачі з максимальним та тепловим розчеплювачем струму, реле струму, теплові реле, запобіжники, мікропроцесорні апарати захисту тощо. Аварійні режими вимагають вибору захисту, який є найефективнішим при тій чи іншій аварії.

Правильний і раціональний вибір пускозахисних апаратів є основним у розробленні схем керування й захисту. Різноманітність схем захисту як за потужністю, так і за ступенем відповідальності, надійності, економічності змушує мати справу з такою самою різноманітністю виконавчих елементів, правильний вибір яких багато в чому визначає техніко-економічні показники об'єкта керування та захисту загалом. Вибір тих або інших показників якості (як правило, суперечливих) залежить від об'єкта керування та захисту й вимог до нього.

Основним завданням, яке виникає під час вибору апаратури захисту асинхронного двигуна, є узгодження часострумових характеристик апаратів захисту 1 з граничнодопустимими навантаженнями за струмом і часом споживачів 2 (рис. 8.1). Для кожного конкретного типу споживачів найповніше узгодження може бути досягнуте за умови використання визначеного типу апаратів захисту.

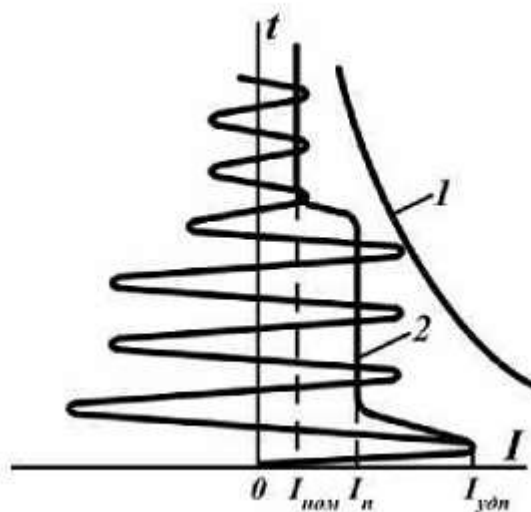


Рис. 8.1. Узгодження часострумової характеристики апарата захисту 1 і навантажувальної характеристики АД 2. $I_{ном}$, I_n , $I_{удп}$ – відповідно номінальний, пусковий та ударний пусковий струми двигуна.

Найповніше узгодження захисних і навантажувальних характеристик досягається тоді, коли часострумова характеристика апарата проходить понад і якомога ближче до захисної характеристики споживача.

8.2 Автоматичний вимикач для захисту АД

Різні виробники постійно працюють над створенням ефективного і повноцінного захисту АД. Але завдання створення захисного пристрою, який контролює струми, виявилось доволі складним. По-перше, струм необхідно вимірювати якомога точніше, адже відомо, що тривала робота АД зі струмовим перевантаженням лише 5 % від номінального скорочує термін служби обмоток у 10 разів. По-друге, у разі сильного відхилення форми кривої струму від синусоїди необхідно визначати діючі значення струмів або максимально до них наближені, оскільки контроль за піковими значеннями струму є недопустимим, адже це призводить до помилкових спрацьовувань. По-третє, необхідно забезпечити пуск АД при 7-8-кратних пускових струмах, одночасно забезпечуючи вимикання двигуна навіть за невеликих тривалих перевантажень.



Рис. 8.2. Автоматичний вимикач для захисту електродвигунів

По-четверте, захист від перевантаження повинен бути “розумним”, тобто час спрацьовування має залежати від струму. Одним із простих та ефективних засобів, що відповідають наведеним вище вимогам є автоматичні вимикачі для захисту електродвигунів виробництва Hager (рис. 8.2).

Автоматичний вимикач захисту двигуна має тепловий та електромагнітний захист і фактично являє собою триполюсний автоматичний вимикач, схема рис 8.3.

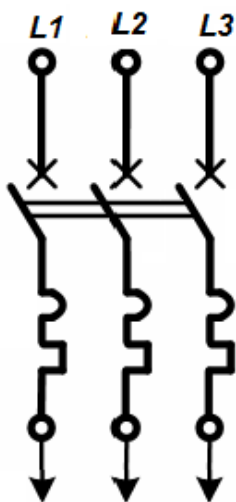


Рис. 8.3. Електрична схема автоматичного вимикача захисту двигуна

Відмінність автоматичного вимикача захисту двигуна від триполюсного автоматичного вимикача полягає у можливості плавного регулювання номінального струму та у відмінності вимикальної характеристики, рис 8.4.

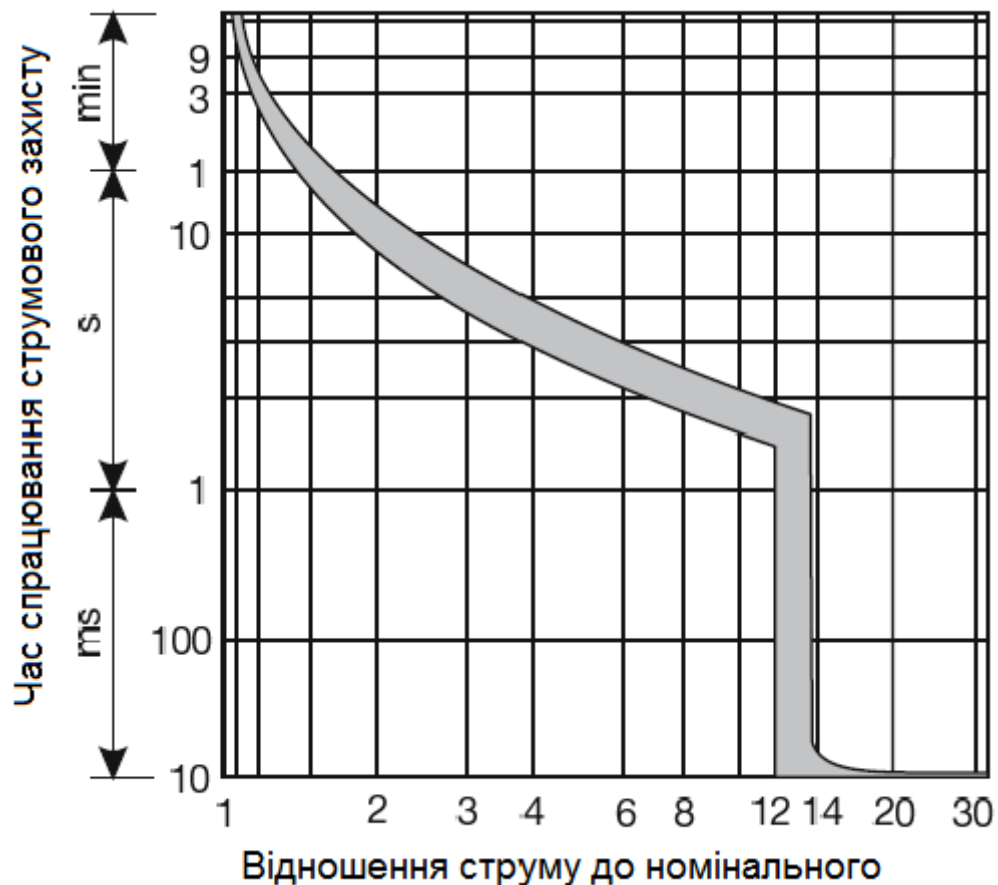


Рис. 8.4. Вимикальна характеристика автоматичного вимикача захисту двигуна

8.3 Контактори

8.3.1 Малогабаритні контактори

Малогабаритні контактори виготовляються на струми від 9 до 95 А. Їх використовують для комутації струмів у силових колах трифазних асинхронних двигунів, а також кіл освітлення, нагрівання; вони можуть комутувати струми у трифазних конденсаторних батареях та первинних обмотках трифазних низьковольтних трансформаторів тощо.

Електричні схеми різних типовиконань контакторів наведено на рис. 8.5.

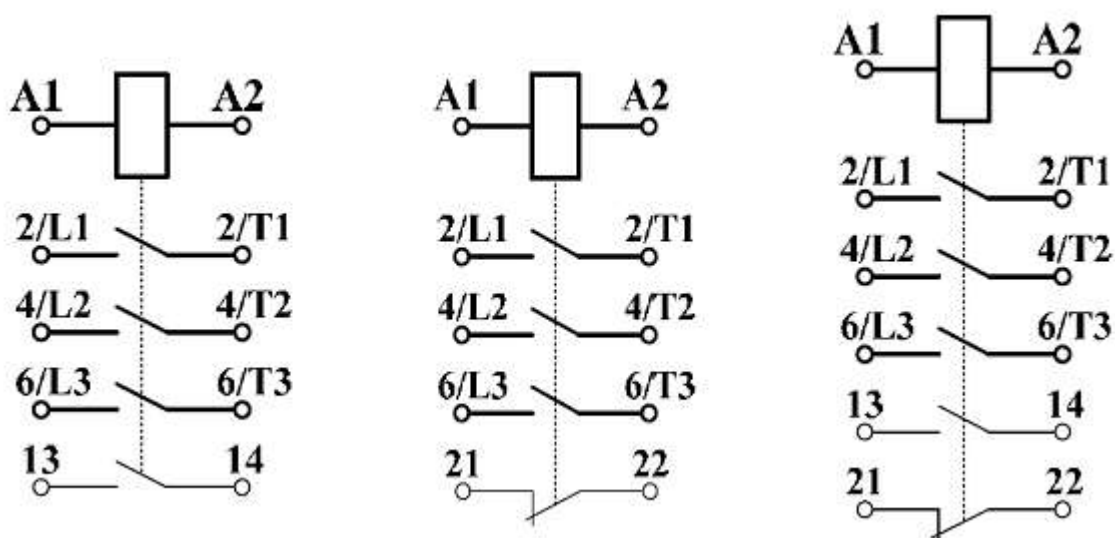


Рис. 8.5. Електричні схеми різних типовиконань контакторів

Контактори можуть комплектуватись додатковими пристроями, а саме:

- електротепловим реле;
- контактними приставками без витримки часу та з витримкою часу.

Електротеплові реле призначені для захисту електродвигунів від перевантажень, асиметрії фаз, затяжного пуску, заклинювання ротора і встановлюються безпосередньо на контакторі. Для захисту від короткого замикання необхідно передбачити запобіжники або автоматичні вимикачі з миттєвими електромагнітними розчеплювачами.

Приставки контактні на дві і чотири групи призначені, щоб розширити можливості використання контакторів у системах автоматизації технологічних процесів. Приставки контактні є механічними пристроями миттєвої дії без власного споживання енергії, які комутують своїми контактами електричні кола сигналізації і керування.

У контактних приставка з витримкою часу витримку часу задають за допомогою регульовального руків'я.

8.3.2 Важкі контактори

Типовиконання важких контакторів залежить від струму навантаження, що лежить у межах від 115 до 630 А. Ці контактори виділені в окрему групу

“важких”. Функціонально важкі контактори аналогічні малогабаритним, але конструктивно мають низку серйозних особливостей. Важкі контактори комутують струм у силових колах електроприводів на базі трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, а також можуть бути використані в силових колах іншого електроустаткування. Електрична схема важкого контактора наведена на рис. 8.6.

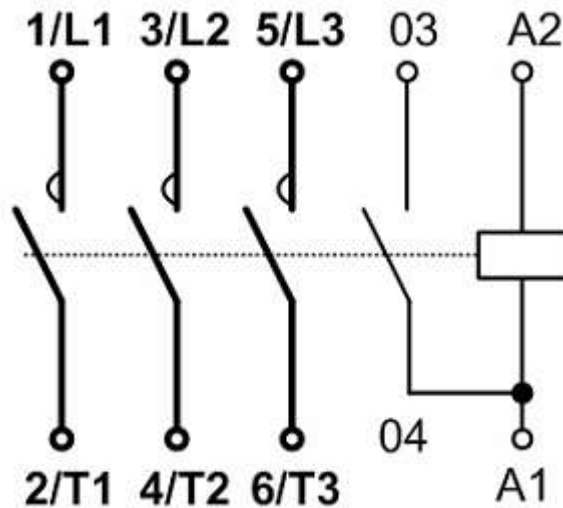


Рис. 8.6. Електрична схема важкого контактора

Контрольні питання

1. Призначення контакторів?
2. Вимикальна характеристика автоматичного вимикача захисту двигуна?

Лабораторна робота № 9
РЕЛЕЙНІ ПРИСТРОЇ У СИСТЕМАХ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

1 Мета роботи

Вивчення принципу дії та функціональних властивостей реле напруги, чергування фаз, перекосу фаз, перемикання фаз, часу та затримки.

2 Теоретична частина

Можливості і галузі застосування цифрової мікропроцесорної техніки, безумовно, знайшли своє втілення в проектуванні і виготовленні електронних релейних апаратів.

Сьогодні ринок пропонує цілу низку реле, в яких логічне опрацювання інформації ведеться за допомогою мікроконтролера і на підставі результатів цього опрацювання реалізується алгоритм вмикання чи вимикання комутаційного пристрою, що будується в певному сенсі як класичне електромагнітне чи безконтактне реле. У структурі вищого рівня таких реле можна виділити: мікроконтролерний пристрій, задавачі рівня порогів вхідних фізичних величин (аргументів) та логічних розгалужень, аналого-цифровий та цифроаналоговий перетворювачі, підсилювач потужності, комутаційний пристрій кола навантаження (функцію), блок живлення, індикатори стану тощо.

У практичній роботі вивчаються функціональні властивості і основні технічні характеристики: однофазного реле напруги, трифазного реле напруги, перекосу і послідовності фаз, універсального автоматичного електронного перемикача фаз, реле затримки, реле часу.

9.2 Однофазне реле напруги

Призначене для захисту навантаження, що живиться від мережі номінальною напругою 220 В, частотою 50 Гц, від недопустимих коливань напруги мережі.

Забезпечує три незалежні регулювання:

- поріг спрацювання за мінімальною напругою $U_{\min}$;
- поріг спрацювання за максимальною напругою;
- час затримки автоматичного повторного вмикання після відновлення параметрів мережі.

Лицьова панель та органи керування електронного реле напруги показані на рис. 9.1.

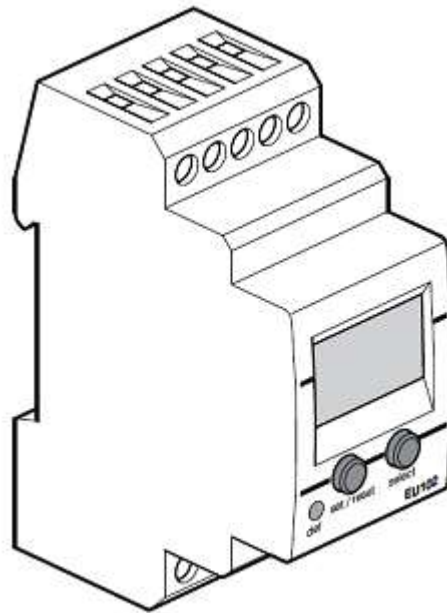


Рис. 9.1. Лицьова панель та органи керування електронного реле напруги

Роботу реле можна описати вербально, проте якість описання зростає, якщо його супроводжують часовими діаграмами напруги та сигналів станів вихідних контактів й індикації, які відображають вмикання та вимикання реле в часі (рис. 2).

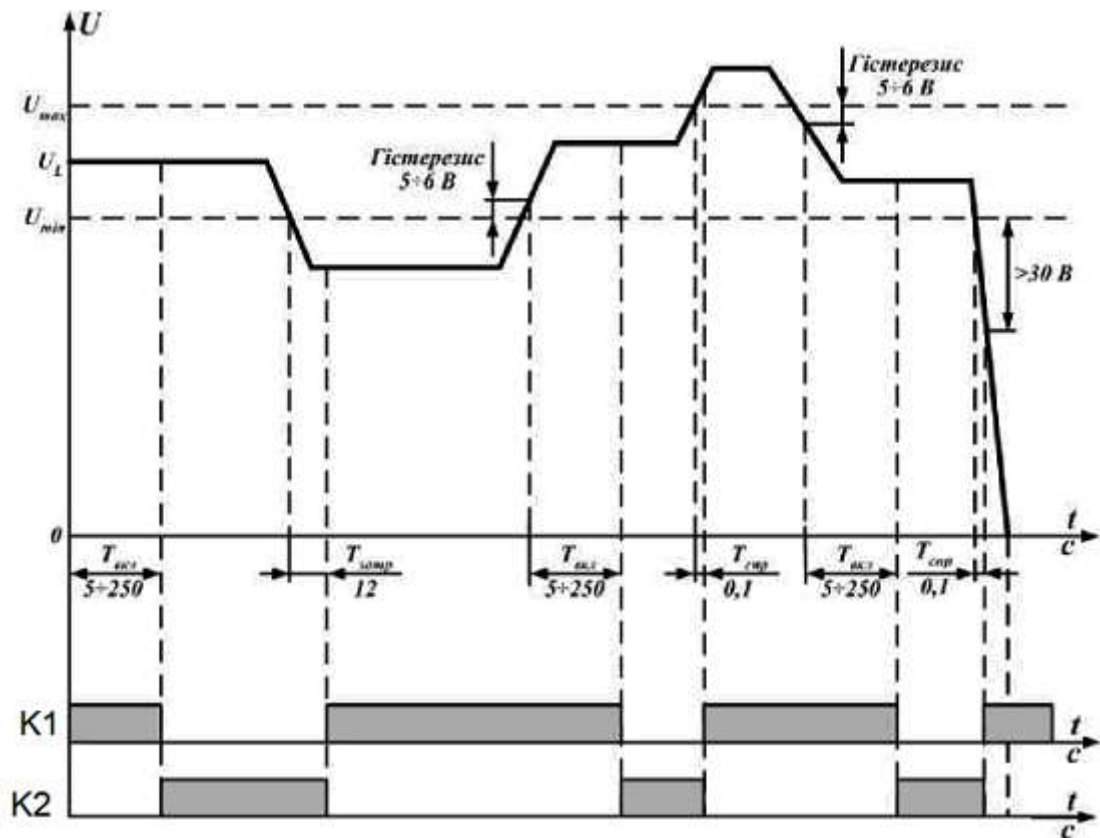


Рис. 9.2. Діаграма режимів роботи реле напруги

У разі подання на вхід реле напруги, яка лежить у межах максимальної та мінімальної настанов, через виставлений час $T_{\text{вкл}}=5+250\text{ с}$, реле подає живлення – замикає контакт K2.

У разі відхилення напруги нижче від уставки $U_{\min}$ реле спрацьовує з заданою затримкою $T_{\text{затр}}$: контакти K2 розмикаються, а K1 – замикаються. Після відновлення рівня вхідної напруги між заданими порогами з урахуванням гістерезису за напругою реле з регульованою затримкою $T_{\text{вкл}}$ повертається у вихідний робочий стан: контакти K2 замикаються, а K1 – розмикаються. Якщо напруга відхилиться вище від уставки $U_{\max}$, реле спрацьовує з часом $T_{\text{спр}}\text{ с}$: контакти K2 розмикаються, а K1 замикаються. Після відновлення рівня вихідної напруги між заданими порогами із урахуванням гістерезису за напругою реле повертається у вихідний робочий стан із регульованою затримкою $T_{\text{вкл}}$. У разі зниження напруги більше ніж на 30 % від уставки $U_{\min}$ реле спрацьовує з затримкою $T_{\text{спр}}$.

9.3 Трифазне реле напруги, перекосу та послідовності фаз

Призначене для вимикання навантаження 380 В/50 Гц за недопустимих коливань напруги в мережі, порушення амплітудної симетрії напруги мережі (перекосу фаз), обриву фаз та порушення послідовності фаз.

Забезпечує чотири незалежні регулювання:

- поріг спрацювання за мінімальною напругою $U_{\min}$;
- поріг спрацювання за максимальною $U_{\max}$;
- час затримки спрацювання за мінімальною напругою;
- амплітудний перекид фаз.

Лицьова панель, органи керування та схема вмикання показані на рис.

9.3.

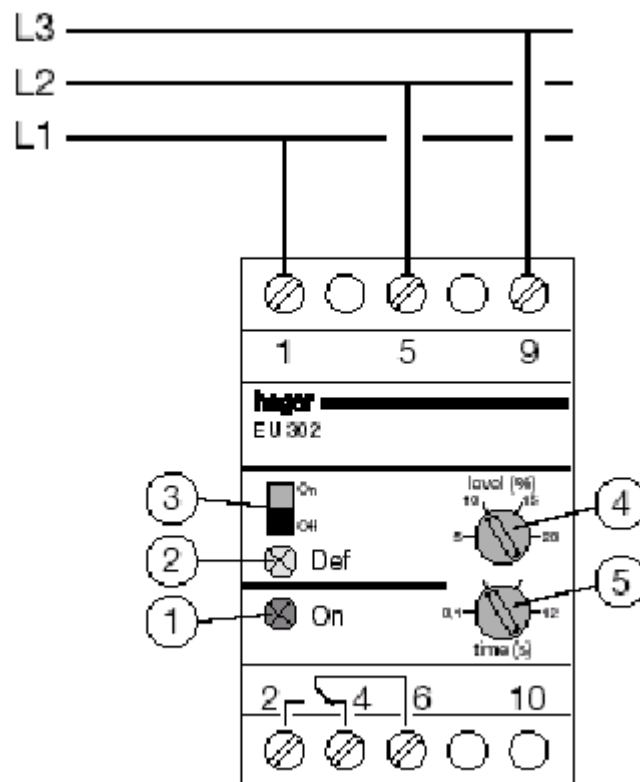


Рис. 9.3. Лицьова панель та органи керування трифазного реле напруги

Про неправильне чергування фаз сигналізує послідовне миготіння червоних індикаторів.

9.4 Електронне реле затримки

Призначене для комутації електричних кіл змінного (220В/50Гц) струму з регульованою витримкою часу від 0,1 секунд до 10 годин (рис. 9.4). Має режими затримки на увімкнення та вимкнення.

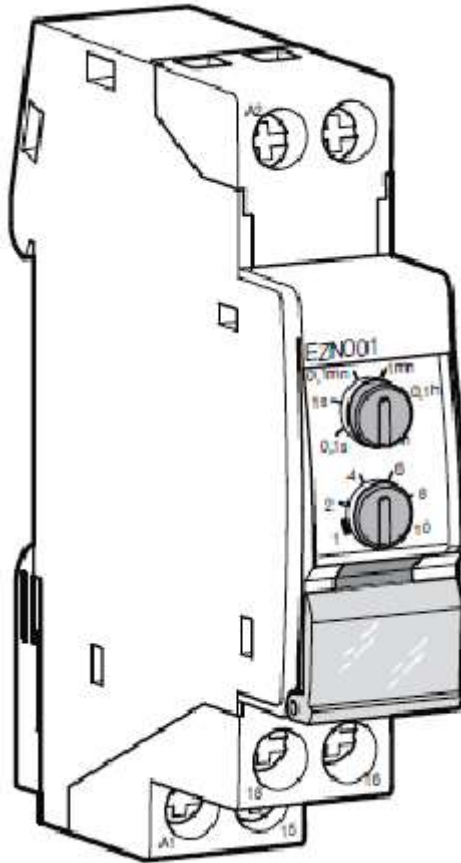


Рис. 9.4. Зовнішній вигляд реле затримки

Затримку виставляють двома ручками потенціометрів: від 0,1 секунд до 1 години і множник від 1 до 10.

Після відповідних комутацій починається зворотній відлік, про що сигналізує блимання світло діода. Коли відлік часу закінчиться відбудеться комутація силового контакту.

9.5 Електромеханічне реле часу

Електромеханічне реле часу призначено для керування включенням і відключенням живлення споживача в задані інтервали часу.

Передня кришка має можливість пломбування для запобігання несанкціонованому доступу після завершення програмування. Зовнішній вигляд та схема підключення таймера подані на рис. 9.5

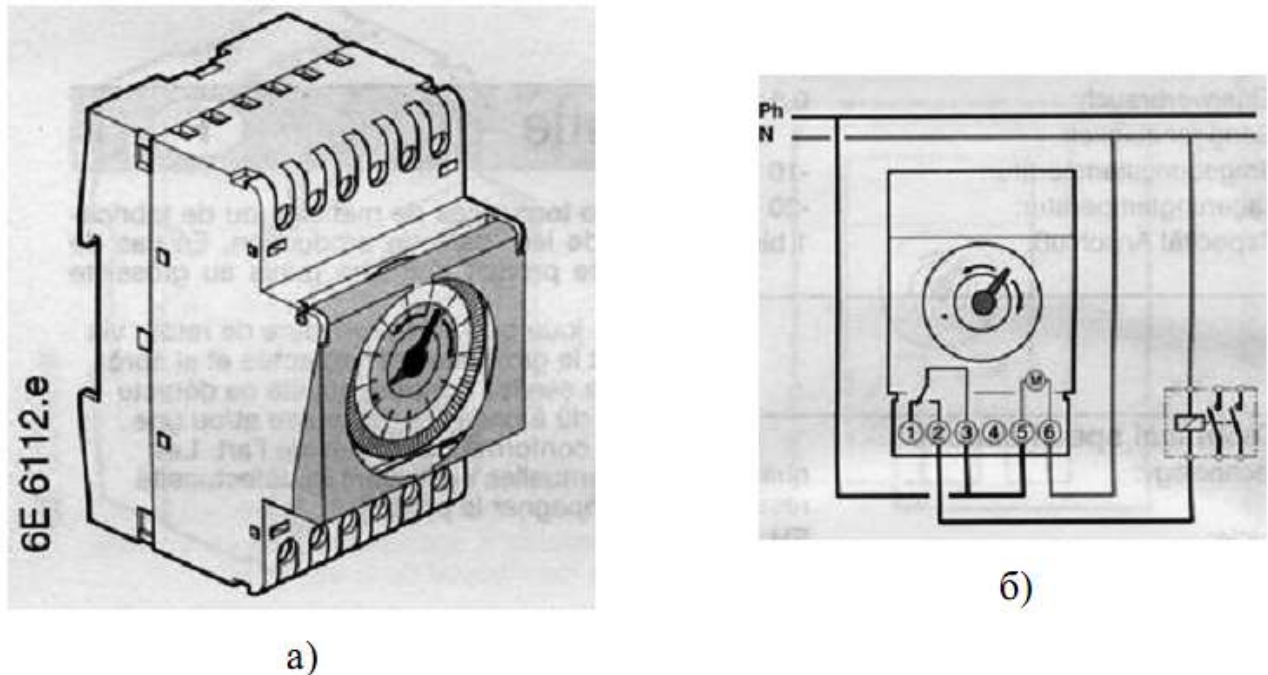


Рис. 9.5. Зовнішній вигляд реле часу (а) та схема його підключення (б)

У таймері передбачено автоматичний і ручних режими роботи. При ручному режимі контакти 1 і 3 завжди замкнуті або розімкнуті.

Для автоматичної роботи таймера необхідно:

1.Перемикач режиму перевести в положення AUTO (перемикач розміщено під передньою кришкою).

2.На зубчастому колесі встановити час роботи контактів 2 і 3 у включеному і відключеному стані. Для цього необхідно: час роботи у включеному стані встановити висуненням відповідних засувки, а для роботи у відключеному стані – засунути відповідні засувки. Засувка відповідає 15 хвилинам. Повний оборот зубчастого колеса відповідає 24 годинам.

Контрольні питання

1. Призначення реле напруги та його види?
2. Призначення реле часу?

Список використаних джерел

1. Апарати захисту та керування в електричних установках низької напруги. Навчальний посібник / М. В. Бурштинський, Л. С. Копчак, М. В. Хай. 2-ге вид. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2008. 184 с.
2. Електричні системи та мережі: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.В. Кирик, С.В. Казанський, Т.Л. Кацадзе, О.Б. Бесараб. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 92 с.
3. Електричні мережі та системи [Електронний ресурс]: Лабораторний практикум для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Електричні системи і мережі» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. В. Кирик, В. А. Халіков, В. І. Моссаковський. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,368 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 31 с.
4. Кирик В. В. Електричні мережі: підручник / В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2024. – 280с.
5. Електричні системи та мережі: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.В. Кирик, С.В. Казанський, Т.Л. Кацадзе, О.Б. Бесараб. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 92 с.
6. Електричні системи і мережі. Частина 1: навчальний посібник / Ю. В. Малогулко, О. Б. Бурикін, Т. Л. Кацадзе, В. В. Нетребський; за ред. П. Д. Лежнюка. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 200 с.
7. Електричні мережі та системи: Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. В. Мейта, М. П. Осадчук, – Електронні текстові дані (1 файл: 5,20 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.– 91 с.

**Савойський Олександр Юрійович
Козін Віктор Миколайович
Шашков Сергій Валерійович
Сіренко Юлія Володимирівна
Лисенко Віта Василівна**

Електричні мережі та системи

Методичні вказівки щодо проведення лабораторних робіт

м. Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160.

Підписано до друку: січень 2025 р. Формат А5: Гарнітура. Times New Roman.

Тираж: _____ примірників. Замовлення _____ Ум. друк. арк. 2,5
