



Міністерство освіти і науки України  
**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій  
Кафедра електропостачання та  
енергетичного менеджменту

## **ЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
«Дослідження комбінованого індукційного струмового реле  
типу РТ- 80»  
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної форми навчання  
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»**

**Харків  
2023**

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки та  
комп'ютерних технологій  
Кафедра електропостачання та  
енергетичного менеджменту

## ЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
«Дослідження комбінованого індукційного струмового реле  
типу РТ- 80» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої  
освіти  
денної форми навчання  
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

Затверджено рішенням  
науково-методичної ради  
факультету енергетики,  
робототехніки та комп'ютерних  
технологій  
Протокол № 3  
від 22 лютого 2023 року

Харків  
2023

УДК 621.31

С 31

Схвалено на засіданні кафедри  
електропостачання та енергетичного  
менеджменту Протокол №7 від 8.02.2023

р.

**Рецензенти:**

**С. О. Тимчук**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДБТУ;

**Ю. М. Хандола**, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

С 31 Електричні установки і системи електропостачання: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження комбінованого індукційного струмового реле типу РТ- 80» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної форми навч. зі спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Держ. біотехнол. ун-т; авт.-уклад.: О. А. Савченко, С.А. Попадченко – Харків: [б. в.], 2023. – 20 с.

Методичні вказівки розроблено відповідно до програми навчальної дисципліни. Видання включає теоретичну частину, алгоритм виконання лабораторної роботи, контрольні запитання та перелік рекомендованої літератури.

Видання призначена для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

**УДК 621.31**

**Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник**, д-р техн. наук

© Савченко О. А., Попадченко С.А., 2023.

© ДБТУ, 2023

## Лабораторна робота

### «Дослідження комбінованого індукційного струмового реле типу РТ-80»

#### Мета роботи:

1. Вивчення будови, принципу дії та способів регулювання струму спрацювання і часу спрацювання індукційного реле струму.

2. Набуття навичок випробування реле.

#### I. Звіт по роботі повинен мати:

1. Мету роботи.

2. Принципову електричну схему досліджень(рис. 2, 3).

3. Паспортні дані реле, приладів та обладнання.

4. Розрахунки зроблені згідно таблиці 1 та таблиці 2, 3, 4 з даними вимірювань.

5. Часо - струмову характеристику реле.

6. Висновки по роботі та висновки стосовно відповідності паспортних і дослідних даних реле..

#### II. Підготовка до виконання роботи.

1. Пояснення до роботи. Вивчити підрозділ III.

2. Зробіть розрахунки згідно даних таблиці 1 номера бригади. Формули: (1 – 4).

3. Підготуйте необхідні таблиці 2, 3, 4, зробіть розрахунки згідно розділу I.

4. Ознайомтесь з лабораторною установкою та з випробувальним реле. Зробіть креслення електричних схем випробування реле рисунки 2, 3. 5. Запишіть паспортні дані

приладів та обладнання, яке використовується в роботі для проведення дослідів Рисунок 2, 3).

Таблиця 1 - Дані для розрахунку уставок струму спрацювання та часу спрацювання реле

Номер бригади	Робочий максимальний струм, А	Коефіцієнт трансформації трансформатора струму, у. о.	Час спрацювання попереднього захисту, с	Струм к. з. $I^{(3)}$ , А
1	40	15	0,8	400
2	35	20	1	350
3	30	15	0,7	280
4	24	10	0,6	320
5	28	20	0,5	300
6	23	15	1,2	360
7	18	10	0,4	410

### III. Пояснення до роботи

Індукційні струмові реле типу РТ-80 призначені для створення максимального струмового захисту (МСЗ) і використовуються в схемах релейного захисту ліній електропередавання, силових трансформаторів, електричних двигунів на постійному оперативному струмі (РТ-81, РТ-82) та змінному (РТ-85, РТ-86). Реле мають обмежено – залежну часо - струмову характеристику, рис.1, що дає можливість краще забезпечити вибірковість (селективність) спрацювання послідовно встановлених захистів з подібними характеристиками, наприклад, плавкими вставками запобіжників, встановлених для захисту силових трансформаторів 6-10/0,4 кВ, тепловими вставками

(розчіплювачами) автоматичних вимикачів, встановлених на стороні 0,4 кВ підстанцій 6-10/0,4 кВ .

Промисловістю випускаються декілька типів індукційних струмових реле (РТ-80 - РТ-90) у двох виконаннях. Реле першого виконання (РТ-80/1, РТ-90/1) мають максимальний струм уставки по шкалі 10 А з дискретним регулюванням в межах зміни уставок від 4 до 10 А. Реле другого виконання (РТ-80/2, РТ-90/2) мають уставки зміни струму спрацювання індукційного елемента в межах від 2 до 5 А.

Для захисту ліній 6 – 10 кВ найбільше розповсюдження знайшли реле типу РТ-85. Цей тип реле має перемикаючі контакти здатні дешунтувати котушку вимикання типу РТМ в колі трансформатора струму до 150 А.

Реле працює наступним чином.

Диск починає обертатись при струмі, що становить 20...30 % струму уставок. На вісі алюмінієвого диску розміщений черв'як і до початку спрацювання реле він не знаходиться в зачепленні з сектором, оскільки диск пружиною відведений вбік. Під час обертання на диск діє сила гальмування, яка створюється постійним магнітом.

Якщо по обмотці реле проходить струм спрацювання індукційного елемента реле, або більший від нього, то зусилля пружини, яка утримує рамку з диском, перемагається, рамка повертається і сектор входить в зачеплення з черв'яком. Величина струму в момент, коли сектор входить в зачеплення з черв'яком, приймається за струм спрацювання, а в момент, коли сектор виходить із зачеплення - струм повернення.

Після зачеплення з черв'яком сектор піднімається вгору і закріплений на кінці сектора поводок піднімає важіль і якір-

коромисло контактної системи перекидається, а потім притягується до виступу на магнітопроводі, контакти замикаються.

Проміжок часу від моменту зачеплення сектора з черв'яком до замикання контактів дорівнює витримці часу. Витримка часу залежить від швидкості обертання диску і довжини шляху, який проходить сектор. Швидкість обертання диску тим більша, чим більший струм проходить по обмотці реле.

Уставка реле за витримкою часу спрацювання реле у незалежній частині регулюється гвинтом на шкалі витримки часу. Уставка часу для різного типу реле регулюється в межах: 0,5...4 с, 1...16 с або 4...16 с.

Для регулювання струму спрацювання обмотка реле має відгалуження. На контактній колодці розміщені два переставні контактні гвинти, за допомогою яких в коло трансформаторів струму приєднується певна кількість витків обмотки реле. Два гвинти потрібні, щоб забезпечити техніку безпеки і не розривати електричне коло трансформаторів струму.

При проходженні по обмотці реле струму, у 2...8 разів більшого від струму індукційного елемента, створюється електромагнітна сила, достатня для притягування якоря коромисла до виступу електромагніту. Величина струму, коли реле спрацьовує без витримки часу, називається струмовою відсічкою.

Робота індукційного реле основана на використанні сил, які виникають при взаємодії між змінним магнітним потоком і індуктованими струмами в рухомій системі. На індукційному принципі можна виконати тільки реле змінного струму.

Обов'язковою умовою створення обертового моменту на рухомих частинах реле є наявність не менше двох магнітних потоків, які зсунуті між собою в просторі і за фазою.

В котушці індукційного реле з однією вхідною величиною, струмом, магнітний потік розчіплюють на дві частини за допомогою двох короткозамкнених витків встановлених на полюсах магнітопроводу. Короткозамкнені витки розміщені на полюсах магнітопроводу між зазором електромагніту.

Обертовий момент рухомої частини, диску розміщеному між полюсами електромагніту, визначається за формулою:

$$M_{об} = K \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \sin \phi \quad (1)$$

де  $K$  - коефіцієнт пропорційності, який залежить від частоти змінного струму, та конструктивних особливостей реле;  
 $\Phi_1$   $\Phi_2$  - магнітні потоки, відповідно основний і допоміжний, створюваний коротко замкнутими витками;  
 $\phi$  - фазовий кут між потоками.

$$\text{Уставка кратності струмової відсічки ( } k_e = \frac{I_p}{I_{ур}} \text{ ) ,}$$

де  $I_p$  - струм який протікає в котушці реле;

$I_{ур}$  - струм уставки по шкалі реле.

Уставка кратності струмової відсічки регулюється гвинтом зміни зазору між якорем і електромагнітом в межах кратності 2...8.

При замиканні контактної системи реле, за допомогою важеля, звільняється прапорець, пофарбований у червоний колір, котрий падає на обмежувальний майданчик. Через



віконце видно, що прапорець упав і це свідчить про спрацювання реле.

Таким чином, комбіноване індукційне струмове реле об'єднує в загальній конструкції три реле:

- індукційне з диском, яке створює залежну часо-струмову характеристику;
- електромагнітне, яке створює незалежну характеристику;
- показове.

Загальний вигляд обмежено - залежної характеристики реле наведений на рисунку 1.

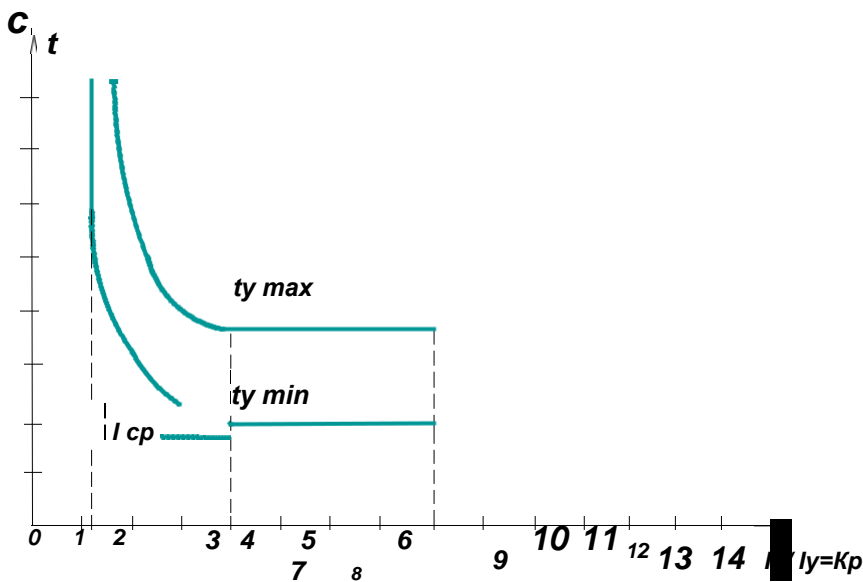


Рисунок 1 – Залежність витримки часу спрацювання реле від кратності струмів..

Розрахунок струму спрацювання та вибір уставок реле, наприклад, для захисту ліній 10 кВ, виконується в наступній послідовності.

Визначається вторинний струм спрацювання захисту:

$$I_{с.з} = \frac{K_n \cdot K_{сп} \cdot K_{\alpha}}{K_n \cdot n_{TC}} \cdot I_{p. \max} \quad (1)$$

де  $I_{p \max}$  - робочий максимальний струм, А

$K_n$  - коефіцієнт надійності, яким враховують неточність визначення струму та реле і який приймається в межах 1,1...1,2;

$K_{сп}$  - коефіцієнт самозапуску, яким враховують збільшення струму навантаження при самозапуску електродвигунів, після спрацювання АПВ 1,1...1,8;

$K_{сх}$  - коефіцієнт схеми, яким враховують збільшення вторинного фазного струму трансформаторів струму по відношенню до первинного струму. При з'єднанні трансформаторів струму в зірку або неповну зірку  $K_{сх} = 1$ ;

$n_{TC}$  - коефіцієнт трансформації трансформаторів струму;

$$K_n - \text{коефіцієнт повернення реле, } K_n = \frac{I_n}{I_c} \cdot K_n = 0,8 \dots 0,85.$$

Уставка струму спрацювання реле вибирають за паспортними даними вибраного типу реле:

$$I_{у.р} \geq I_{с.з} \quad (2)$$

Струм спрацювання електромагнітного елемента реле, струмової відсічки, визначається:

$$I_{с.з} = \frac{K_{сх} \cdot K_n}{n_{TC}} \cdot I_{\min}^{(3)} \quad (3)$$

де  $I_{\min}^{(3)}$  - струм трифазного короткого замикання в місці встановлення більш віддаленого від джерела живлення

захисту. Для ліній 10 кВ, як правило, приймається струм к.з. в кінці лінії.

Кратність відсічки визначається :

$$K_{в} = \frac{I_{с.в.}}{I_{ур}} \quad (4)$$

де  $I_{ур}$  - струм уставки по шкалі індукційного елемента реле.

Витримку часу реле вибирають так, щоб спрацював раніше попередній захист на пошкодженій ділянці в системі захисту :

$$t_{с.з} = t_1 - \Delta t \quad (5)$$

де  $\Delta t$  - ступінь селективності, яку приймають при роботі реле в незалежній частині характеристики – 0,6 с, в залежній частині – 0,8 с;

$t_1$  - час спрацювання попереднього струмового захисту, як правило запобіжника захисту силового трансформатора 10/0,4 кВ найбільшої потужності.

Таким чином, при установці реле в схемах МСЗ його потрібно випробувати і налагодити у відповідності до параметрів паспортних і розрахункових даних.

В перевірку входять визначення основних параметрів реле:

- струм початку обертання диску, виражений у відсотках від струму уставки, (20...30)%  $I_{ур}$ ;
- коефіцієнт повернення, який повинен бути в межах не нижче 0,8;
- коефіцієнт надійності, який визначається при визначенні похибки при роботі індукційного і

електромагнітного елементів,  $\pm (0,5...0,8)\% I_y$  та похибки в часі, для незалежної частини характеристики  $\pm (0,5...0,25)\%$

$I_y$ ;

- залежність часу спрацювання від струму, який протікає по обмотці реле, для розрахункових даних уставки струму і часу МСЗ.

Коефіцієнт повернення визначається за формулою:

$$k_n = \frac{I_n}{I_{cnp}} \quad (6)$$

де  $I_n$  - струм повернення реле;

$I_{cnp}$  - струм спрацювання реле.

Похибка індукційного елемента визначається:

$$\delta I_i \% = \frac{I_{cd} - I_y}{I_y} \cdot 100 \quad (7)$$

де  $I_{cd}$  - дійсне значення струму спрацювання реле при даній уставці по шкалі;

$I_y$  - уставка реле по шкалі.

Похибка електромагнітного елемента визначається:

$$\delta I_e \% = \frac{I_{cd} - k_e \cdot I_y}{k_e \cdot I_y} \cdot 100, \quad (8)$$

де  $I_{cd}$  - дійсний струм спрацювання електромагнітного елемента;

$I_y$  - струм уставки індукційного елемента;

$k_e$  - кратність відсічки, розрахункова величина.

Похибка реле по часу визначається тільки для незалежної частини характеристики, рис. 1:

$$\delta t\% = \frac{t_{cd} - t_y}{t_y} \cdot 100, \quad (9)$$

де  $t_{cd}$  - дійсний час спрацювання реле в незалежній частині характеристики, (при кратності струму 4 і більше);  $t_y$  - уставка часу по шкалі.

З метою виключення випадковостей при вимірах параметрів реле рекомендується підставляти середнє значення із трьох вимірів струму і часу спрацювання.

#### **IV. Послідовність проведення дослідження реле та налагодження його роботи.**

1. Після виконання робіт, визначених в розділі 2, отримайте у керівника дозвіл на проведення досліджень.

2. Визначення струму початку обертання диску. Після отримання дозволу зберіть електричну схему, рис. 2. Дайте перевірити схему керівникові робіт. Цей дослід виконується у такій послідовності:

встановіть гвинтом на шкалі реле мінімальне значення струму уставки індукційного елемента, ввімкніть вимикач і плавно збільшуйте регулятором струм до величини, при якій диск реле починає обертатись. Показники амперметра запишіть у звіт. Величину струму виразіть у відсотках відносно струму уставки. Порівняйте з паспортною допустимою величиною.

Перевірте роботу реле при розрахунковій уставці. Після перевірки мінімальної величини струму початку обертання диску регулятор струму поставте в нульове положення. Вимкніть вимикач живлення лабораторного стенду.

3. Визначення величини коефіцієнта повернення.

Для цього встановіть уставку за струмом – мінімальну, а уставку за часом і кратність відсічки – максимальну. Уставка за часом встановлюється поводом по шкалі часу, а кратність відсічки встановлюється гвинтом, який регулює повітряний зазор електромагнітного елемента. Ввімкніть вимикач і збільшуйте регулятором струм від нуля до тих пір, доки черв'як на вісі диску, зайде в зачеплення із зубчатим сектором. Це значення приймається за струм спрацювання при даній уставці. Далі зменшіть струм до тих пір, доки черв'як вийде із зачеплення з сектором. Це значення приймається за струм повернення. Дослід повторіть тричі для даної мінімальної уставки, результати виміру струму спрацювання і повернення записуйте в таблицю 2.

Після проведення досліду регулятор струму поставте в нульове положення, вимкніть вимикач живлення лабораторного стенду. Для розрахованої уставки струму спрацювання, таблиця 1, досліди повторюють в тій же послідовності так, як і для мінімальної уставки струму спрацювання. За даними таблиці 2 та за формулами (6, 7) визначте коефіцієнт повернення і похибку роботи індукційного елемента.

4. Будова залежності часу спрацювання реле від струму.

Встановіть на реле, розраховані згідно табл.1 уставки по струму і часу. Зберіть схему (рис.3) з амперметрами А1, А2, А3. Електричний секундомір не підключайте до живлення. Ввімкніть вимикач і встановіть регулятором струм, рівний 1,1 струму уставки реле згідно (1) даних табл.2. Вимикач вимкніть. Приєднайте за допомогою провідника електросекундомір до живлення. Ввімкніть вимикач

живлення лабораторного стенду, після спрацювання реле електросекундомір зупиниться. Вимкніть вимикач лабораторного стенду. Запишіть дані часу в таблицю 3. Зробіть важелем скидання показу секундоміра, повторіть дослід ще два рази. Від'єднайте провідник живлення секундоміра.

Таблиця 2.

Струм установки	Струм спрацювання				Струм повернення				Коефіцієнт повернення $K_n$	Похибка $\Delta I_i$
	$I_{спр1}$	$I_{спр2}$	$I_{спр3}$	Сер. знач.	$I_{n1}$	$I_{n2}$	$I_{n3}$	Сер. знач.		
A	A	A	A	A	A	A	A	A		%
$I_{у. min}$										
$I_{у. роз}$										

Вимкніть вимикач і регулятором збільшуйте струм до величини 1,5 струму установки реле. Вимкніть вимикач живлення лабораторного стенду і приєднайте провідник живлення електросекундоміру. Вимкніть вимикач і дослід повторіть, записуючи дані в таблицю 3. Аналогічно провести по три досліди для кожної кратності 2, 3, 4 струму установки до величини струму спрацювання відсічки. По закінченні дослідів вимикач вимкнути, регулятор струму установити в нульове положення. За результатами дослідів накреслити залежність часу спрацювання реле від кратності струму, подібну рис.1.

Таблиця 3.

Уставка			Струм в реле $I_p$	Кратність струму $\kappa = \frac{I_p}{I_y}$	Час спрацювання реле			
по часу $t_y$	по струму $I_{i.y}$	по відсічці $K_{від}$			$t_1$	$t_2$	$t_3$	середнє значення $I_{сер}$
с	А		А		с	с	с	%

5. Визначення похибки спрацювання електромагнітного елемента реле.

Для проведення цього дослідів слід зібрати схему за рис.3. Уставку струму встановіть мінімальну, а за часом – максимальну. Кратність відсічки встановіть рівною 2. Ввімкніть вимикач і, збільшуючи регулятором струм, доведіть до спрацювання електромагнітного елемента. Величину струму спрацювання запишіть у таблицю 4. Аналогічно проведіть по три дослідів для уставки за струмом спрацювання електромагнітного елемента, розрахованої згідно таблиці 1. За даними вимірів розрахувати похибку (9) спрацювання електромагнітного елемента реле.

Таблиця 4.

Струм уставки $I_{1.y}$	Кратність відсічки $K_{від}$	Струм спрацювання				Похибка $\Delta I_e$
		$I_{e.cnp1}$	$I_{e.cnp2}$	$I_{e.cnp3}$	Середнє значення	
А		А	А	А	А	%





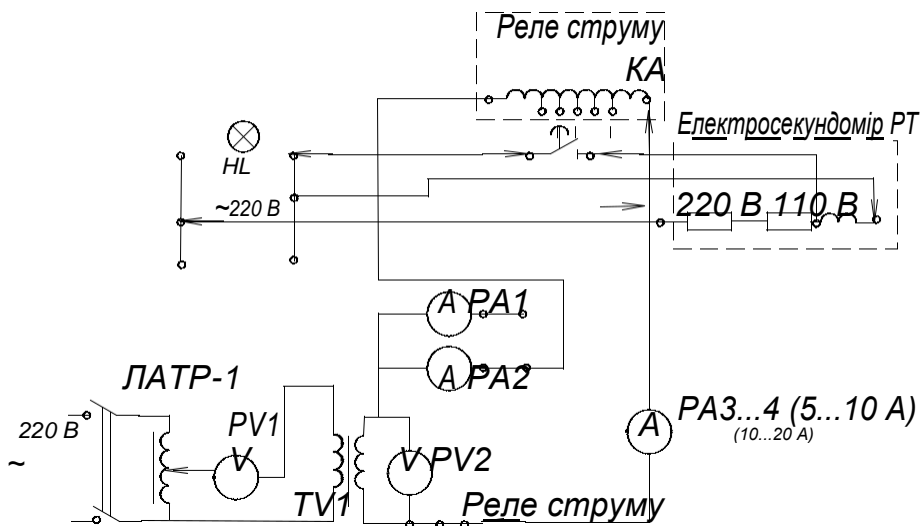


Рисунок 3 – Схема для випробування реле і зняття часо - струмової характеристики.

## Контрольні запитання

1. Які функції виконує постійний магніт в реле типу РТ-80 ?
2. Чому індукційне реле типу РТ -80 має обмежено залежну характеристику  $t_{спр} = f(I_p / I_y)$  ?
3. Чому характеристики реле РТ-80, задані кривими  $t_{спр} = f(I)$  зберігають постійні значення при одній і тій же кратності струму, який протікає в обмотці реле при різних уставках?
4. Поясніть принцип дії реле РТ-80, як забезпечується обертовий і гальмівний моменти реле?
5. Які шкали уставок мають реле РТ і як вони регулюються ?
6. Які значення коефіцієнта повернення допускаються для індукційного елемента ?
7. Чому в схемах захисту з реле РТ-80 не потрібно проміжних та сигнальних реле ?
8. Поясніть улаштування контактної системи реле РТ-80 і РТ-85, поясніть роботу перемикаючого контакту.
9. Яким чином підбирається потрібна часо-струмова характеристика реле ?
10. Як змінюється струм спрацювання відсічки, якщо при незмінному часі  $t$  струм уставки реле  $I_y$  збільшити з 4 до 6 А ? Як зміниться при цьому час спрацювання реле ?
11. Порівняйте реле РТ-80 з електромагнітним реле струму по основним показникам: точності роботи, значенням коефіцієнта повернення, межах і способам регулювання уставок струму, потужності контактів реле.

## Література

1. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства / И. А. Будзко, Н. М. Зуль – М.: Агропромиздат, 1990 – 495 с.
2. Будзко И. А. Практикум по электроснабжению сельского хозяйства / И. А. Будзко. – М.: Колос, 1982. – с.183-192.
3. Какуевичкий Л. Н. и др. Справочник реле защиты и автоматики – М.: Энергия, 1970.
4. Алексеев В. С. Реле защиты / В. С. Алексеев, Г. П. Варганов, Б. Н. Панфилов, Р. З. Роземблум. – М.: Энергия, 1976.
5. Чернобровов Н. В. Релейная защита / Н. В. Чернобровов. – М.: «Энергия», 1985.

Навчальне видання

## ЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
«Дослідження комбінованого індукційного струмового реле типу РТ- 80»

Автори-укладачі:  
**САВЧЕНКО** Олександр Анатолійович  
**ПОПАДЧЕНКО** Світлана Анатоліївна

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman Папір для цифрового друку. Друк  
ризографічний. Ум. друк. арк. 0,6. Наклад 100 пр. Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44