

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання розрахункових завдань та лабораторних робіт  
для бакалаврів напрямку 0906 – „Електромеханіка”

Одеса 2004

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до виконання розрахункових завдань та лабораторних робіт  
для бакалаврів напрямку 0906 – „Електромеханіка”

Затверджено  
на засіданні кафедри  
електричних машин  
Протокол № 13 від  
17.05.04

Одеса 2004

Методичні вказівки до виконання розрахункових завдань та лабораторних робіт для бакалаврів напрямку 0906 – „Електромеханіка” / Укл.: В.Г.Дьогтєв, .- Одеса: ОДПУ, 2004. -42 с.

Укладач: Дьогтєв В.Г., доктор технічних наук, проф.

## ЗМІСТ

	Стр.
Лабораторна робота №1 ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ АПАРАТАМИ (ЕА) НИЗЬКОЇ НАПРУГИ.....	6
Лабораторна робота №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ .....	9
Лабораторна робота №3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЕ ЧАСУ .....	18
Лабораторна робота №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ .....	29
Лабораторна робота №5 ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ІЗ САМОПІДМАГНІЧУВАННЯМ.....	37

## Лабораторна робота №1

### ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ АПАРАТАМИ (ЕА) НИЗЬКОЇ НАПРУГИ

**1.1. Ціль роботи** - ознайомитися з призначенням, принципом дії і пристроєм основних типів електричних апаратів (ЕА) низької напруги.

#### **1.2. Знання й уміння**

У результаті проведення лабораторного заняття студенти повинні

**знати:**

- призначення і принцип дії основних типів ЕА низької напруги;
- призначення основних елементів розглянутих ЕА;
- основні місця установки, призначення й область застосування різних типів ЕА;
- схеми включення різних типів ЕА;

**уміти:**

- вибирати ЕА по їх функціональних властивостях і каталожних даних.

**1.3. Темы рефератів по вивченню ЕА низької напруги й основні положення, що повинні бути відбиті в них**

#### **1.3.1. Рубильники і перемикачі. Пакетні вимикачі:**

- призначення рубильників і перемикачів, місця їхньої установки і вимоги, пропонувані до них [1], с. 443-445; [2], с. 183-185;
- основні конструктивні виконання рубильників (одно-, двох - і триполюсні) [1], с. 445-446, [2], с. 183-185;
- умови дугогасіння і конструктивні виконання дугогасільних пристроїв рубильників [1], § 4-8; § 10-3;
- призначення й області застосування пакетних вимикачів;
- конструктивне виконання, достоїнства і недоліки вимикача ПВМ [1], с. 446-447; [2], с. 185.

При вивченні рубильників варто звернути увагу на контактну систему, способи приєднання проводів, механізм фіксації перемикачів у відключеному положенні і кінематичну схему приводу.

#### **1.3.2. Запобіжники. Пристрій і механізм гасіння електричної дуги:**

- призначення і принцип роботи запобіжників [1], с. 448-453; [2], с. 186-189;
- ПР-2 [1], с. 454-456; [2], с. 189-190;
- ПН-2 [1], с. 456-458; [2], с. 191-192;
- запобіжники для захисту напівпровідникових приладів [1], с. 458-459; [2], с. 192;
- струмобмежувальний ефект у запобіжниках ПН-2 і спосіб його реалізації [1], с. 456-457.

При вивченні конструкцій запобіжників звернути увагу на способи гасіння дуги при згорянні плавкої вставки, а також на сутність і причини струмобмежувальної дії деяких типів запобіжників.

#### **1.3.3. Автоматичні і повітряні вимикачі:**

- призначення, принцип роботи, принципова схема автомата на струм більш 200 А [1], с. 470-473; [2] с. 195-199;
- конструктивні особливості, виконання дугогасільних систем автоматичних вимикачів і вимоги, застосовувані до них [1], с.473-477; [2], с. 197-199;
- конструктивне виконання приводів і пристроїв автоматичних вимикачів, що розщеплюють, [1], с. 477-481; [2], с. 199-202;
- особливості виконання автоматів серії А-3700, «Електрон», АК-50. [1], с. 481-487; [2], с. 201-205;
- струмообмежувальні автоматичні вимикачі [2], с.205-208.

#### **1.3.4. Контактори. Магнітні пускачі:**

- контактори постійного струму, наприклад (КПВ-600), і їх дугогасительні пристрої [1], с. 288-301; [2], с. 229-235;
- контактори перемінного струму (КТ-6000, ПА, КТУ), їхньої системи дугогасіння [1], с. 301-310; [2], с. 236-245;
- контактори перемінного струму підвищеної частоти [1], с. 308-310, [2], с. 245-247;
- електромагнітний механізм контактора перемінного струму, розчин, провал, початкове і кінцеве натискання контактів [1], с.310-313;
- магнітні пускачі серій ПМЕ і ПА. Їхнє конструктивне виконання і схеми включення.

#### **1.3.5. Командоапарати, контролери:**

- призначення й області застосування контролерів. Конструктивне виконання барабанного, кулачкового і плоского контролерів [1], с.261-266; [2], с.220-222;
- кнопки керування, командоконтролери. Принцип їхньої роботи і конструктивне виконання [1], с. 266-269; [2], с. 223-226;
- шляхові, кінцеві вимикачі і мікрОВИМКАЧІ. Універсальні вимикачі [1], с. 269-272; [2], с. 226.

#### **1.3.6. Реле контактні:**

- класифікація, пристрій, основні характеристики і вимоги, пропонувані до реле [1], с. 318-322; [2], 248-252;
- реле захисту електричних установок типу РТ-40, ЕВ-100, РЕВ-300. Їхнє конструктивне виконання, достоїнства і недоліки [1], с. 328-329, 330-332; [2], с. 252-254;
- реле струму і напруги для керування електроприводом [1], с. 329-332; [2], с. 254;
- теплові реле. Принцип дії, пристрій реле типу ТРМ, ТРП [1], с. 333-338; [2], с. 257-260;
- поляризовані реле, індукційні реле. Принцип дії, призначення, особливості застосування [1], с. 338-341; [2], с. 255-257;
- реле часу. Схеми включення, регулювання часу роботи, особливості конструктивного виконання [1], с. 341-352; [2], с. 261.

#### **1.4. Перелік документів, необхідних для допуску до лабораторної роботи:**

- реферат до лабораторної роботи (тема задається керівником);
- підготовлений бланк протоколу до лабораторної роботи.

#### **1.5. Указівки до виконання практичної частини лабораторної роботи**

##### **1.5.1. Програма практичної роботи**

При виконанні практичної частини роботи необхідно:

- вивчити призначення основних типів ЕА низької напруги;
- вивчити конструкції ЕА;
- зробити розбирання деяких видів ЕА (за вказівкою керівника) і ознайомитися з призначенням і конструкцією його основних вузлів;
- ознайомитися з лабораторними стендами лабораторних робіт з дисципліни “Електричні апарати”.

##### **1.5.2. Методика практичної реалізації роботи**

Попереднє вивчення призначення і конструкцій окремих видів електричних апаратів здійснюється по літературних джерелах, список яких приведений у розділі 1.6, а також по плакатах, розміщених у лабораторії по циклі “Електричні апарати”.

Шляхом зборки і розробки реальних зразків електричних апаратів, розміщених у лабораторії, закріплюються теоретично отримані знання по конструкціях ЕА і їхніх основних частин.

Керівник лабораторних занять за допомогою наочних приладдя і слайдів конкретно пояснює призначення і конструкцію різних типів ЕА низької напруги, а також указує реальні місця їхнього застосування і приводить конкретні схеми включення деяких ЕА.

**1.5.3. Зміст звіту по роботі:**

- реферат, виконаний по розділі, зазначеному керівником;
- короткий опис і схематичне зображення основних типів ЕА, представлених у лабораторії електричних апаратів;
- схеми включення окремих видів ЕА;
- висновки і висновок по роботі.

Оформлений звіт пред'являється керівнику лабораторної роботи при опитуванні, що, як правило, проводиться наприкінці занять.

**1.6. Література**

1. Алиев И.И., Абрамов М.Б. Электрические аппараты.— Справочник.—М.: Издательское предприятие РадиоСофт, 2004.—256 с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты.— М.: Энергоатомиздат, 1988.— 720 с.
3. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. — Л.: Энергоиздат, 1984. — 431с.

## Лабораторна робота №2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТІВ

**2.1. Ціль роботи** – дослідження тягових характеристик електромагнітів (ЕМ) постійного і змінного струмів, вплив величини повітряного зазору на характеристики ЕМ.

### 2.2. Задачі заняття

У результаті виконання роботи студенти повинні

**знати:**

- залежності тягових зусиль ЕМ постійного і змінного струмів від їхніх параметрів;
- характер зміни тягових характеристик;
- способи усунення вібрацій в ЕМ змінного струму;

**уміти:**

- знімати і розраховувати тягові характеристики ЕМ, величини магнітних потоків;
- обробляти експериментальні дані;
- критично оцінювати результати експериментів і розрахунків.

### 2.3. Рекомендації з виконання розрахункової частини

2.3.1. *Розрахунок і побудова характеристики залежностей тягового зусилля та магнітного потоку від повітряного зазору ЕМ постійного струму*

Тягове зусилля, створюване ЕМ постійного струму, визначається по залежності

$$Q_{\text{э}} = \left( \frac{U \cdot w_{\text{к}}}{R_{\text{к}}} \right)^2 \cdot \frac{dG_{\delta}}{d\delta} \quad (2.1)$$

де  $U$  – напруга живлення, В;

$R_{\text{к}}$  – активний опір котушки ЕМ, ( $R_{\text{к}}=227 \text{ Ом}$ );

$w_{\text{к}}$  – число витків котушки ЕМ,  $w_{\text{к}}=5300$ ;

$dG/d\delta$  – похідна магнітної провідності повітряного зазору по величині зазору.

Величини магнітної провідності  $G_{\delta}$  і її похідної  $dG/d\delta$ , приведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1. Величини магнітної провідності і її похідної

Найменування величин	Величини							
	0,05	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
$\delta, \text{ мм}$	0,05	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0
$G_{\delta} \cdot 10^{-8}, \text{ Гн}$	21,0	20,6	19,6	18,1	17,3	15,8	15,0	14,3
$dG/d\delta \cdot 10^{-6}, \text{ Н/м}$	43,6	34,0	25,7	17,4	12,05	8,4	6,05	5,05

За даними цієї таблиці побудувати графіки залежностей  $G_{\delta}=f(\delta)$  і  $dG/d\delta=f(\delta)$ .

Відповідно до заданого варіанта вихідних даних (табл.2.5) визначають по побудованим графікам  $G_{\delta}=f(\delta)$  і  $dG/d\delta=f(\delta)$  необхідні значення  $G_{\delta}$  і  $dG/d\delta$  для шести значень повітряних зазорів відповідно до табл.2.2. Потім розраховують тягове зусилля по (2.1) і

магнітний потік у повітряному зазорі по формулі  $\Phi_{\delta} = \frac{U \cdot w_{\text{к}}}{R_{\text{к}}} G_{\delta}$  для тих же шести

значень повітряного зазору,

Результати розрахунків заносять в табл.2.2.

За даними табл. 2.2. будують розрахункові залежності  $\Phi_{\delta}=f(\delta)$  і  $Q=f(\delta)$  за зразком рис. 2.1.

Таблиця 2.2. Тягові зусилля і магнітні потоки  
ЕМ постійного струму

№№ п/п	Розрахункові величини			Експериментальні дані		
	$\delta$ , мм	$Q$ , Н	$\Phi_\delta$ , Вб	$\delta$ , мм	$Q$ , Н	$\Phi_\delta$ , Вб
1	$\delta_1 = \delta_{\min}$					
2	$\delta_2 = \delta_{\min} + \Delta\delta$					
3	$\delta_3 = \delta_{\min} + 2\Delta\delta$					
4	$\delta_4 = \delta_{\min} + 3\Delta\delta$					
5	$\delta_5 = \delta_{\min} + 4\Delta\delta$					
6	$\delta_6 = \delta_{\min} + 5\Delta\delta$					

2.3.2. Розрахунок величин струму в котушці ЕМ змінного струму і магнітного потоку в повітряному зазорі

За даними табл.2.3 значенням провідності  $G_\delta$  від величини повітряного зазору побудувати залежність  $G_\delta = f(\delta)$  для ЕМ змінного струму за зразком (рис.2.1).

Таблиця 2.3. Значення магнітної провідності повітряного зазору ЕМ змінного струму

Найменування величин							
$\delta$ , мм	0,05	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0
$G_\delta$ , Гн·10 <sup>-7</sup>	7,6	5,4	4,5	3,4	2,9	2,7	2,5

Для трьох значень повітряного зазору  $\delta_1 = \delta_{\min}$ ,  $\delta_2 = \delta_{\min} + \Delta\delta$ ,  $\delta_3 = \delta_{\min} + 2\Delta\delta$ , (величини  $\delta_{\min}$  і  $\Delta\delta$  беруться з таблиці вихідних даних 2.6) розраховують значення магнітного потоку і струму в котушці ЕМ.

Для розрахунку величин  $\Phi_m$ ,  $I$  скористаємося залежностями:

$$x_K = 2\pi f w_K^2 \cdot G_\delta = 314 \cdot w_K^2 \cdot G_\delta,$$

$$z_K = \sqrt{R_K^2 + x_K^2}; I = U/z_K, \quad (2.3)$$

$$\Phi_m = \frac{\sqrt{U^2 - (IR_K)^2}}{4.44 \cdot f \cdot w_K},$$

де  $w_K = 1840$  – число витків котушки;

$R_K = 540$  – активний опір котушки, Ом.

Результати розрахунків звести в табл.2.4.

Таблиця 2.4. Значення струму в котушці і магнітному потоці в повітряному зазорі ЕМ змінного струму

№№ п/п	Розрахункові величини					Експериментальні дані		
	$\delta$ , мм	$X_K$ , Ом	$Z_K$ , Ом	$I$ , А	$\Phi_m$ , Вб	$\delta$ , мм	$I$ , А	$\Phi_m$ , Вб
1	$\delta_1 = \delta_{\min}$							
2	$\delta_2$							
3	$\delta_3$							



За даними табл.2.4 будують залежності  $I=f(\delta)$  і  $\Phi_m=f(\delta)$  за зразком рис.2.2.

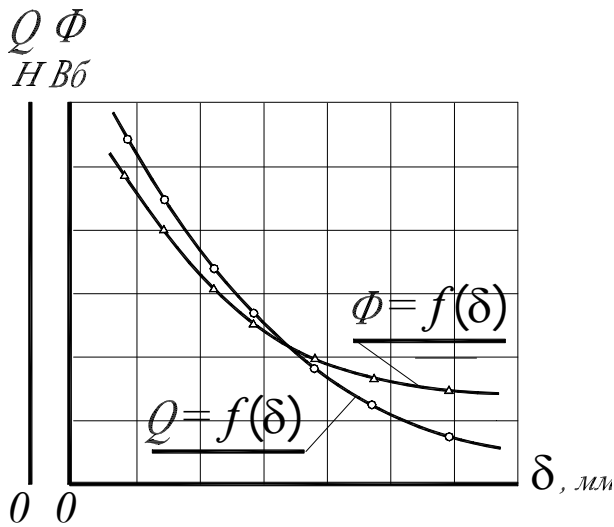


Рис. 2.1. Зразок оформлення залежностей  $Q=f(\delta)$  і  $\Phi_m=f(\delta)$  електромагніта постійного струму

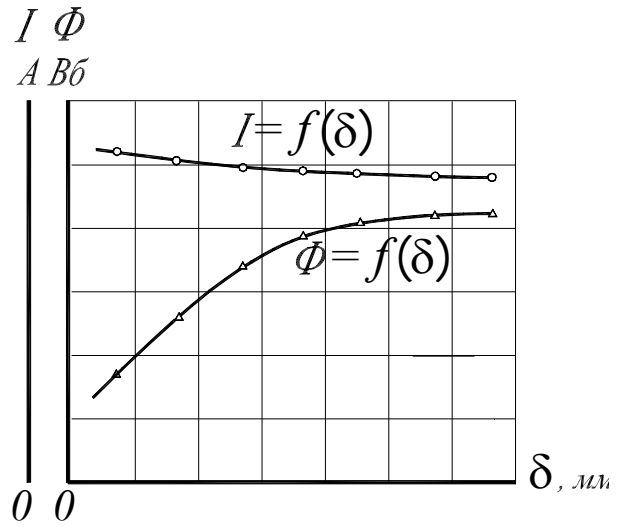


Рис. 2.2. Зразок оформлення залежностей  $I=f(\delta)$  і  $\Phi_m=f(\delta)$  електромагніта змінного струму

2.3.3. Для мінімального повітряного зазору  $\delta_1=\delta_{\min}$  розрахувати середнє значення тягового зусилля по формулі Максвела

$$Q = \frac{1}{4} \frac{\Phi_m^2}{\mu_0 S_\delta}, \quad (2.4)$$

де  $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$  – магнітна проникність повітря, Гн/м;  
 $S_\delta=3,6 \cdot 10^{-4}$  – перетин повітряного зазору, м<sup>2</sup>.

#### 2.4. Вихідні дані і зміст розрахункової частини

2.4.1. Для ЕМ постійного струму варіанти вихідних даних вибирають з табл.2.5

Таблиця 2.5

№№ пп.	Вихідні дані	Варіанти									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$U, B$	100	100	100	100	100	120	120	120	120	120
2	$\delta_{\min}, мм$	0,4	0,3	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,20	0,15	0,1
3	$\Delta\delta, мм$	1,0	1,5	1,25	1,4	1,6	1,25	1,3	1,4	1,35	1,6

Для ЕМ змінного струму варіанти вихідних даних вибирають згідно табл.2.6

Таблиця 2.6

№№ пп	Вихідні дані	Варіанти									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	$U, B$	80	80	80	80	100	100	100	100	110	110
2	$\delta_{\min}, мм$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,15	0,3	0,4	0,4	0,1	0,2
3	$\Delta\delta, мм$	2,5	2,0	2,6	2,4	3,0	3,5	2,8	3,1	3,5	4,0

Варіант вихідних даних задається у виді тризначного числа: по першій цифрі вибирається варіант напруги, по другий –  $\delta_{\min}$ , по третьої –  $\Delta\delta$ . Наприклад, варіанту 638 по табл.2.5 відповідає  $U=120\text{ В}$ ,  $\delta_{\min}=0,1\text{ мм}$ ,  $\Delta\delta=1,4\text{ мм}$ .

#### 2.4.2. Темы рефератів

1. Поясніть дію коротко замкнутого витка, установленого на полюсі ЕМ змінного струму. Чи можна з його допомогою домогтися, щоб змінна складова тягової зусилля стала дорівнює нулю?

2. Порівняйте основні показники ЕМ постійного і змінного струмів, перелічивши їхні переваги і недоліки.

3. Чому виникають вібрації в однофазному ЕМ змінного струму? При яких умовах вібрація ЕМ з короткозамкненим витком на полюсі підсилюється?

4. Як повинні бути погоджені тягова і механічна характеристики ЕМ? Чи залежить від цього час включення?

5. Які стадії перехідного процесу при включенні і відключенні ЕМ ви знаєте? Чи залежить час перехідного процесу від величини напруги живлення?

#### 2.4.3. Перелік документів, необхідних для допуску до лабораторної роботи:

– розраховані і побудовані по заданому варіанті тягова характеристика і залежність магнітного потоку  $\Phi_m=f(\delta)$  для ЕМ постійного струму;

– розраховані і побудовані залежності  $I=f(\delta)$  і  $\Phi_m=f(\delta)$  для ЕМ змінного струму;

– реферат.

### 2.5. Експериментальна частина роботи

#### 2.5.1. Короткий опис стенда

Дослідження ЕМ виробляється на лабораторному стенді, електрична схема якого приведена на рис.2.3. Схема змонтована персоналом лабораторії і зборці розбиранню не підлягає. За допомогою перемикача  $SA$  змінна напруга підводиться до котушки ЕМ змінного струму (становище 2), або за допомогою прямоуючого пристрою до котушки ЕМ постійного струму (становище 1). Вольтметром  $V$  і амперметром  $A$  вимірюються величини напруги і струму в колі обмоток ЕМ. Для виміру величини магнітних потоків у повітряному зазорі служать спробні котушки, з яких знімається сигнал, пропорційний величині потоку, і подається на гальванометр (ЕМ постійного струму) чи вольтметр (ЕМ змінного струму). Обидва види ЕМ, досліджувані в роботі, відносяться до пристроїв клапанного типу.

На рис.2.4 приведений загальний вид ЕМ постійного струму. Величина зазору між якорею і сердечником 5 регулюється за допомогою гвинта 8 і контролюється по шкалі 3. Тягове зусилля ЕМ при різних зазорах визначається по динамометрі 2.

Магнітна система ЕМ змінного струму зазначена на рис. 2,5а, б. Спробні котушки з числом витків  $w_{\text{спр}}=25$  дозволяють визначити величини магнітних потоків у повітряному зазорі в частині полюса, не охопленого короткозамкненим витком 1, охопленого короткозамкненим витком 2 і результуючого магнітні потоки сердечника 3.

#### 2.5.2. Програма експериментальних досліджень

Зняти для ЕМ постійного струму:

– тягову характеристику ЕМ  $Q=f(\delta)$  для трьох значень підведеної напруги (за вказівкою керівника);

– величину магнітного потоку в повітряному зазорі для тих же значень напруги і величин повітряного зазору. Зняти для ЕМ змінного струму:

- залежність величини струму в обмотці ЕМ від величини повітряного зазору для трьох значень величин підведеної напруги (за вказівкою керівника);
- залежність магнітних потоків у повітряному зазорі в трьох перетинах полюса для тих же значень повітряного зазору і напруги, що й у попередньому випадку;
- осцилограми магнітних потоків у повітряному зазорі;
- визначити напруги спрацьовування і відпускання для двох значень повітряного зазору.

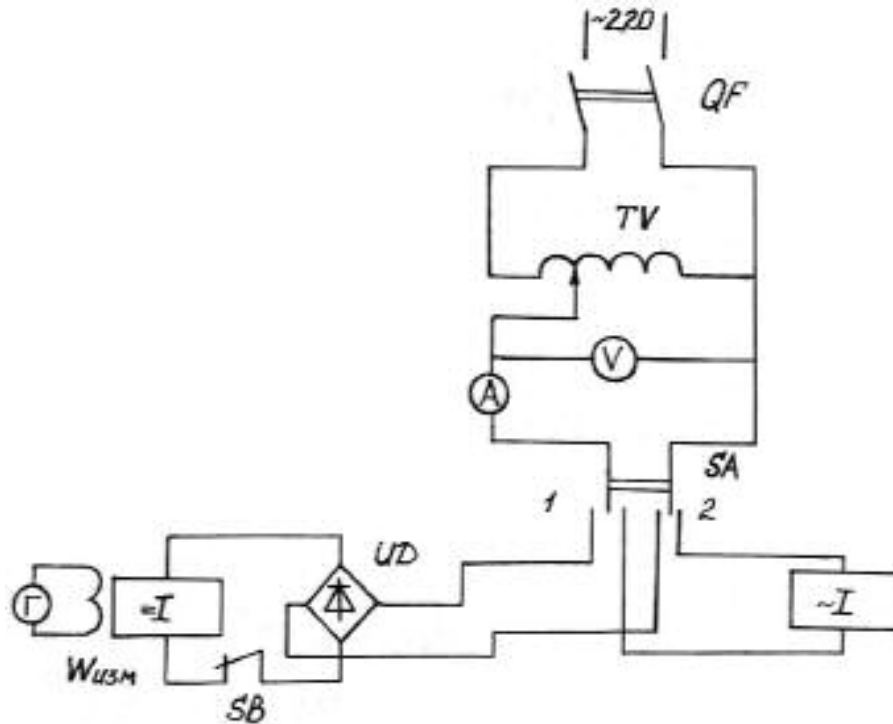


Рис.2.3. Електрична схема стенда

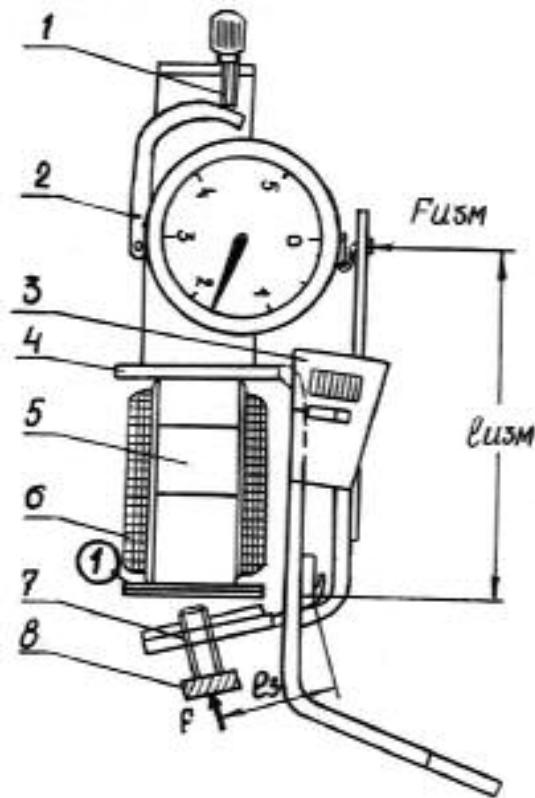


Рис. 2.4. EM постійного струму:

1 – регулювальний гвинт силоміра, 2 – силомір, 3 – показчик величини повітряного зазору, 4 – ярмо, 5 – сердечник, 6 – котушка, 7 – якір, 8 – регулювальний гвинт, ① – пробна котушка.

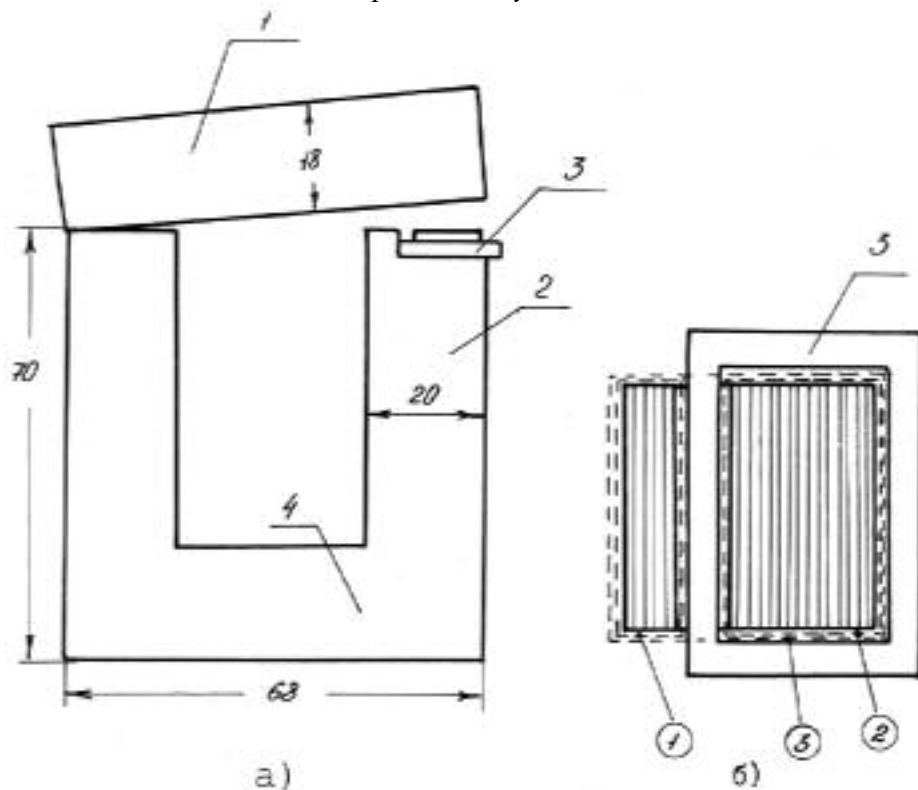


Рис. 2.5. а) Магнітна система EM змінного струму:

1 – якір, 2 – сердечник, 3 – короткозамкнений виток, 4 – ярмо.

б) Перетин полюса EM і розташування пробних котушок ①-③

### 2.5.3. Методика виконання експериментальної частини роботи

#### 2.5.3.1. Зняття тягової характеристики

До подачі напруги на котушку ЕМ 6 установити необхідну величину повітряного зазору, для чого притискати рукою якір 7 до сердечника 5 і за допомогою гвинта 7 регулювати величину зазору, контролюючи його значення по шкалі 3. Перемикач *SA* установити в положення 1 і включити повітряний вимикач *QF*. За допомогою автотрансформатора *TN* встановити задана напруга. Якір притягнеться до сердечника. Переміщаючи гвинт 1 униз, домогтися відриву якоря від сердечника. У цьому випадку динамометр буде показувати максимальне значення сили. Це значення сили і буде пропорційно силі тяги при заданих величинах напруги в повітряному зазорі. Тому що вимірювана сила по силоміру в три рази менше, ніж сила тяги між сердечником і якорем (через відношення пліч  $l_{изм}/l_3$ , рис.2.4), те при розрахунку необхідно враховувати це співвідношення

$$Q = \frac{Q_{изм} \cdot l_{изм}}{l_3} = 3 \cdot Q_{изм}, \quad (2.5)$$

де  $Q_{изм}$  – показання динамометра.

Змінивши величину зазору при  $U = const$ , повторити досвід і вимірювати тягову силу при новому значенні зазору. Зазор змінювати в межах 0...12 мм для 5÷6 крапок.

Тягові характеристики знімати для трьох значень напруги мережі.

Одну характеристику необхідно зняти при значенні напруги, що відповідало величині раніше розрахованій характеристиці. Дані занесені в табл.2.2 і 2.7.

Результати експериментальних досліджень при двох інших значеннях напруги, зазначених керівником, занесені в табл.2.7.

Таблиця 2.7. Тягові характеристики ЕМ постійного струму

Найменування величин		1	2	3	4	5	6
U= , В	$\delta, мм$ $Q, Н$ $\Phi, Вб$						
U= , В	$\delta, мм$ $Q, Н$ $\Phi, Вб$						
U= , В	$\delta, мм$ $Q, Н$ $\Phi, Вб$						

#### 2.5.3.2. Зняття залежності величини магнітного потоку в зазорі від значення повітряного зазору

Для тих же значень напруги і величин повітряного зазору, що й у попередньому випадку, визначити значення магнітного потоку в зазорі за допомогою спробної котушки, намотаної на полюс сердечника. Число витків котушки  $w_{изм}=50$ . Величина магнітного потоку визначається за показниками гальванометра, включеного в коло спробної котушки і градуйованого у веберах, помножених на  $10^{-3}$ .

Для виміру магнітного потоку необхідно:

а) кнопкою *SB* розімкнути коло котушки ЕМ. У колі спробної котушки наводиться ЕРС, що спрямована так, що стрілка гальванометра відхиляється вліво. Щоб у цей час якір ЕМ не відпадав, його утримують у притягнутому положенні рукою;

б) після того, як перехідний процес у колі котушки закінчиться і стрілка гальванометра установиться на нуль, відпускаємо кнопку *SB*, замикаючи коло котушки ЕМ. Мак-

симальне відхилення стрілки гальванометра фіксуємо. Відповідне значення потоку визначаємо по шкалі гальванометра.

Дані вимірів заносимо в табл.2.7 і 2.2.

2.5.3.3. *Зняття залежності струму в обмотці ЕМ змінного струму і магнітного потоку від величини повітряного зазору при  $U=const$*

Для зняття цієї залежності перемикач *SA* встановлюється в положення 2. До включення повітряного вимикача *QF* установити необхідну величину повітряного зазору за допомогою немагнітних прокладок, що встановлюють у зазорі між полюсом і якорем. Величина зазору визначається по шкалі, розташованій на панелі стенда, і фіксується натискним гвинтом, що притискає якір до сердечника. Потім включається *QF* і встановлюється необхідне значення напруги за допомогою автотрансформатора (за завданням керівника). По амперметрі *A1* вимірюється струм у котушці ЕМ, а по вольтметрі *V2* вимірюється ЕРС спробних котушок 1÷3, що охоплюють частини полюса (рис.2.4).

Величина магнітного потоку розраховується по формулі

$$\Phi_{1,2,3} = \frac{E_{1,2,3}}{5000}, \text{ Вб}, \quad (2.6)$$

де  $E_{1,2,3}$  – ЕРС у вольтах, вимірювана на спробних котушках 1,2,3.

Установивши інші значення повітряного зазору, досвід повторити при  $U=const$ . Далі проводять такі ж виміри при інших значеннях напруги на котушці. Одна з напруг повинна відповідати значенню, при якому виробляється розрахунок величин  $I$ ,  $\Phi_m$ , представлених у табл.2.4. Два інших значення напруги задаються викладачем. Дані вимірів заносять в табл.2.8 і 2.4.

Таблиця 2.8. Дані експериментів по вимірі струму і магнітного потоку ЕМ змінного струму

Найменування величин		1	2	3	4	5	6
$U =$	$\delta, \text{ мм}$						
	$I, \text{ А}$						
	$\Phi_m, \text{ Вб}$						
$U =$	$\delta, \text{ мм}$						
	$I, \text{ А}$						
	$\Phi_m, \text{ Вб}$						
$U =$	$\delta, \text{ мм}$						
	$I, \text{ А}$						
	$\Phi_m, \text{ Вб}$						

2.5.3.4. *Зняття осцилограм магнітних потоків у повітряному зазорі*

Осцилограми знімаються за допомогою спробних котушок 1-3, що охоплюють частини полюса ЕМ (див. рис.2.5), і спеціального осцилографа, встановленого на стенді. На прозорий папір знімаються криві магнітних потоків у повітряному зазорі при двох значеннях зазору, один із яких дорівнює мінімальному значенню. По кривій визначається також кут зрушення між потоками  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ . Цей кут можна також розрахувати по формулі:

$$\varphi = \arccos \left( \frac{\Phi_2^2 + \Phi_3^2 - \Phi_1^2}{2\Phi_2\Phi_3} \right),$$

де  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  – амплітудні значення магнітних потоків.

2.5.3.5. *Визначення напруги спрацьовування і відпускання ЕМ змінного струму*

До включення ЕМ в мережу треба встановити початковий зазор між якорем і сердечником (за завданням керівника) за допомогою гвинта. Рукоятка автотрансформатора встановлюється в положення, при якому напруга дорівнює нулю. Включається автоматичний повітряний вимикач  $QF$ . Напруга живлення плавно підвищується до значення, при якому якір притягається до сердечника. Ця напруга і буде напругою спрацьовування  $U_{спр}$ . Далі напруга плавно знижується до значення, при якому якір відпадає. Отримане значення напруги називається напругою відпускання  $U_{від}$ . За отриманим значенням визначається коефіцієнт повернення  $k_{п}$

$$k_{п} = \frac{U_{отп}}{U_{спр}} .$$

Досвід проводиться для двох значень початкового зазору.

## 2.6. Зміст експериментальної частини звіту

За даними іспитів у звіті повинні бути приведені:

- тягові характеристики ЕМ постійного струму для трьох значень напруг (в одній системі координат) за даними табл.2.7;
- побудовані в одній системі координат залежності  $Q=f(\delta)$  і  $\Phi_{\delta}=f(\delta)$ , отримані розрахунковим і досвідченим шляхом за даними табл.2.2;
- побудовані в одній системі координат значення  $I_{\delta}=f(\delta)$  і  $\Phi_{\delta}=f(\delta)$  для трьох значень напруги на котушці за даними табл.2.8;
- характеристики  $I_{\delta}=f(\delta)$  і  $\Phi_{\delta}=f(\delta)$ , отримані розрахунковим і експериментальним шляхом за даними табл.2.4;
- осцилограми магнітних потоків при двох значеннях повітряного зазору; розрахункове значення кута зрушення між потоками в повітряному зазорі;
- розрахунок коефіцієнта повернення для ЕМ змінного струму.

## 2.7. Література

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты.– М.: Энергоатомиздат, 1988.– С. 183-240.
2. Родштейн Л.А. Электрические аппараты.– Л.: Энергия, 1981. С. 164-186. ,
3. Основы теории электрических аппаратов/ Под ред. Буткевича Г.В.– М.: Высш. шк., 1970.– С. 282-338.

## Лабораторна робота №3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЕ ЧАСУ

**3.1. Ціль роботи** - вивчення принципу дії, основних властивостей і конструкцій реле часу різних типів, а також придбання навичок їхнього налаштування.

### 3.2. Задачі заняття

У результаті підготовки до роботи і виконання лабораторних досліджень студент повинен

**знати:**

- принципи дії електромагнітного реле часу (ЕМ РЧ) і таймера, виконаного на базі операційних підсилювачів;
- характер зміни потоку в повітряному зазорі електромагнітного реле при відключенні його котушки;
- вплив різних факторів на характер зміни потоку;
- способи регулювання витримок часу в досліджуваних типах реле;
- конструкції досліджуваних реле;

**уміти:**

- практично здійснювати регулювання витримок часу електромагнітного реле часу і таймера;
- розраховувати параметри таймера для одержання необхідних витримок часу;
- виявляти причини розбіжності експериментальних і розрахункових даних.

### 3.3. Рекомендації до виконання розрахункової частини

#### 3.3.1. Побудова залежності зміни потоку в часі після відключення котушки ЕМ РЧ

Виконання цього завдання засновано на допущенні, що характер спадання потоку після відключення визначається, головним чином, параметрами мідного короткозамкненого витка і розмірами робочого повітряного зазору, що приведені нижче:

$Q_k=4,35 \cdot 10^{-4}$  – перетин короткозамкненого витка,  $m^2$ ;  
 $l_{кр}=0,144$  – середня довжина короткозамкненого витка,  $m$ ;  
 $\rho_{кз}=0,0175$  – питомий електричний опір матеріалу короткозамкненого витка при температурі  $15^\circ C$ ,  $Om \cdot mm^2/m$ ;

$S_\delta=3,63 \cdot 10^{-4}$  – перетин робочого повітряного зазору,  $m^2$ ;

$\Delta=3,75 \cdot 10^{-5}$  – величина робочого зазору при притягнутому якорі ЕМ РЧ,  $m$ .

Розраховується постійна часу ЕМ РЧ по залежності

$$T = \frac{w_{кз}^2 G_\delta}{R_{кз}} = \frac{\mu_0 \cdot S_\delta \cdot q_{кз}}{\delta \cdot \rho_{см} \cdot l_{кз} \cdot c_p} \quad (3.1)$$

Необхідну залежність доцільно будувати у відносних одиницях з обліком того, що відносне значення залишкового потоку при відсутності немагнітних прокладок  $\Phi_{ост*}=0,05$ . В аналітичній формі залежність має вид



$$\Phi_*(t) = 0,05 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \Phi_{y*} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (3.2)$$

$\Phi_{y*}$  – відносне значення потоку в момент відключення котушки ЕМ РЧ для заданої напруги живлення.

Розрахунки по вираженню (3.2) виконують у діапазоні зміни часу від 0 до 12 с при постійному збільшенні аргументу ( $\Delta t = 1,5 \text{ с} = \text{const}$ ) починаючи зі значення  $t_0$ . Величину  $\Phi_{y*}$  визначають по кривій  $\Phi_{y*} = f(U_*)$  (рис.3.1) у залежності

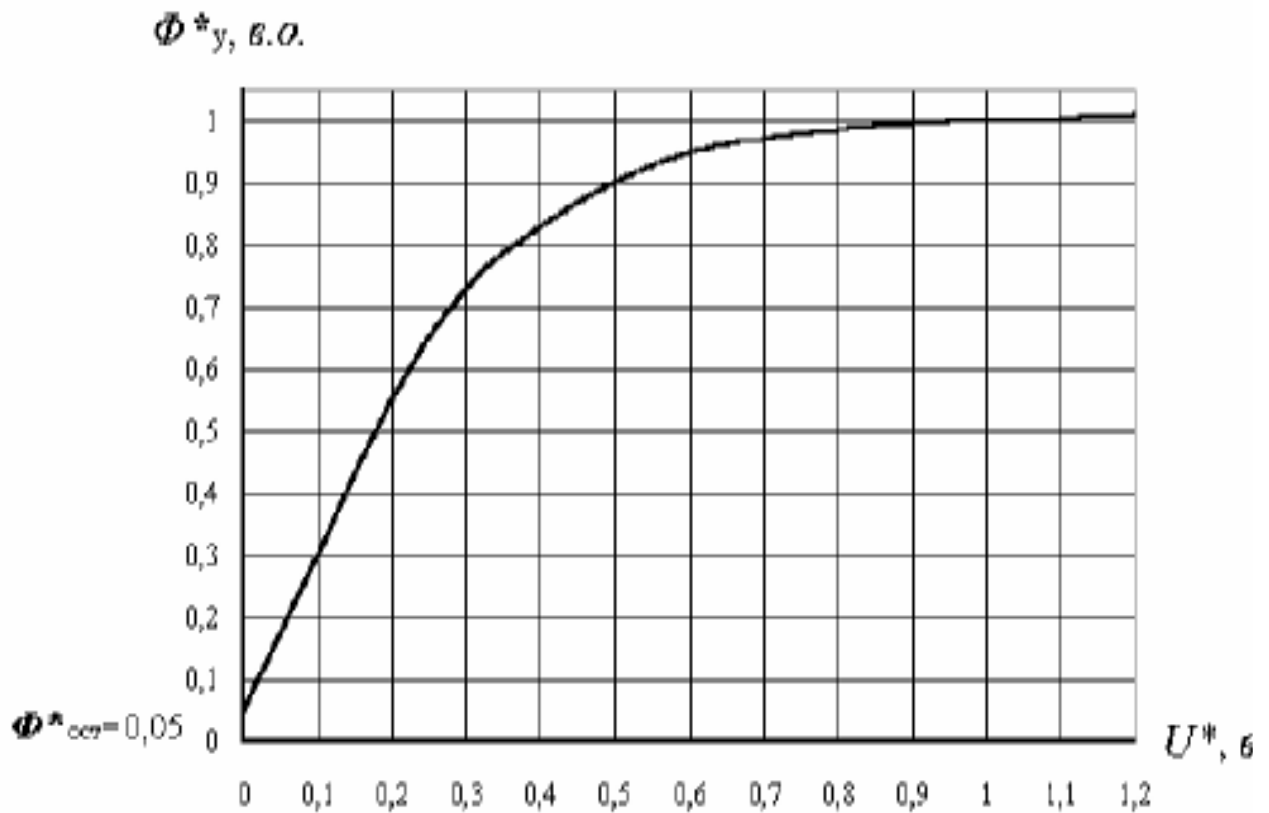


Рис.3.1 Спадаюча гілка кривої намагнічування

від заданого відносного значення напруги живлення  $U_*$ . Величини  $t_0$  і  $U_0$  визначають по табл. 3.4, приведеної в підрозділі 3.4 відповідно до номера варіанта. Дані розрахунків зводяться в табл.3.1.

Таблиця 3.1. Дані розрахунку залежності

$i$	0	1	2	...	7	
$t, c$	0	$t_0$	$t_0+1,5$	$t_0+3$	$t_0+1,5i$	$t_0+10,5$
$e^{-t/T}$						
$\Phi_{ост}*(1-e^{-t/T})$						
$\Phi_{y*}e^{-t/T}$						
$\Phi_*$						
$T = c$						

За даними табл. 3.1 будується графік  $\Phi_*=f(t)$  (див. рис.3.2). Розмір поля графіка, що рекомендується, не менш 100...120.

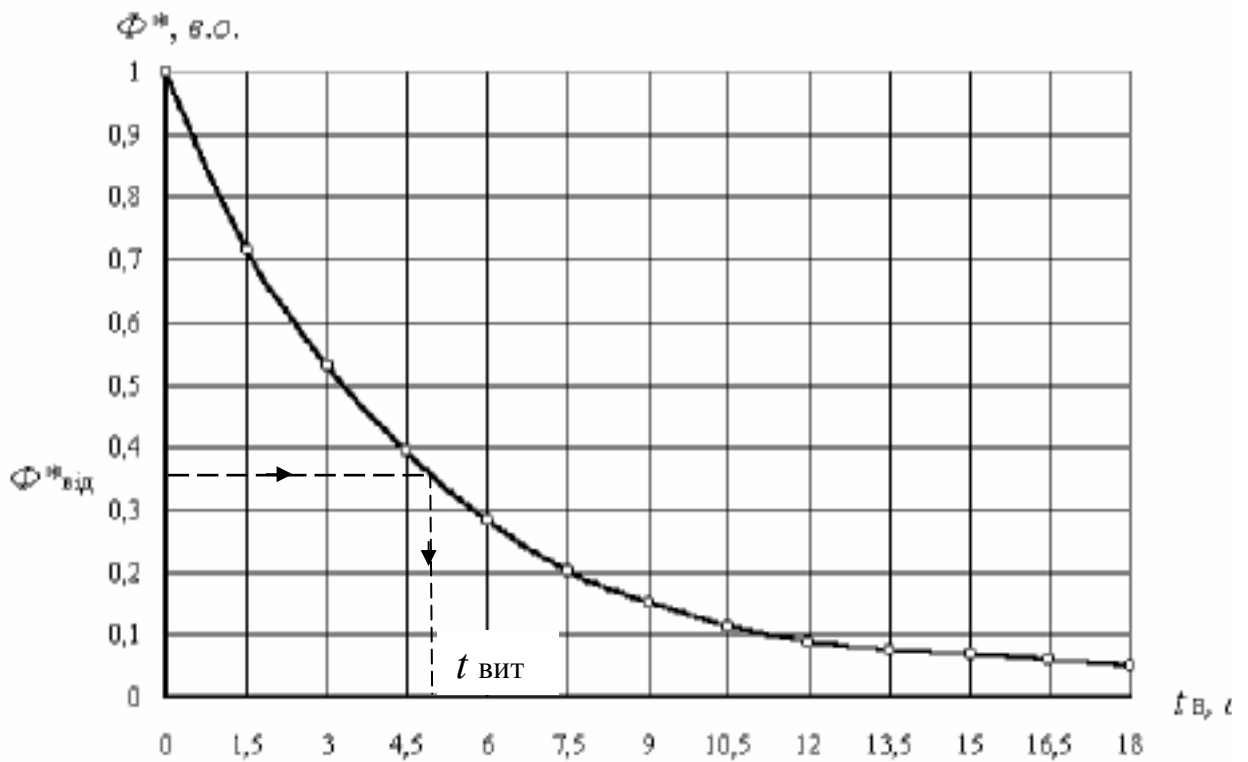


Рис.3.2 Зміна потоку відпуску від часу при відключенні котушки електромагнітного реле часу

### 3.3.2. Побудова залежності витримок часу ЕМ РЧ від величини натягу поворотної пружини

Спочатку задаються послідовністю чисел оборотів гайки регулювання натягу поворотної пружини. При цьому нулю оборотів відповідає максимально стиснута поворотна пружина. Тоді послідовність чисел оборотів гайки визначається по вираженню:

$$N_i = N_0 + 2,5i$$

де  $N_0$  – початкове число оборотів, обумовлене в залежності від варіанта завдання по табл.3.4,  $i = 0, 1, 2, \dots, 7$  – натуральне число. Отриманий ряд чисел заноситься в перший рядок табл.3.2.

Кожному числу оборотів гайки  $N_i$  ставиться у відповідність відносне значення потоку відпустки  $\Phi_{\text{отп}^*}$ . Для цього, відклавши значення  $N_i$  по осі абсцис (див. рис.3.3), відновлюють перпендикуляр до перетинання з однієї з залежностей  $\Phi_{\text{отп}^*}=f(N)$ : Ст1 - для стенда № 1 і Ст2 - для стенда № 2.

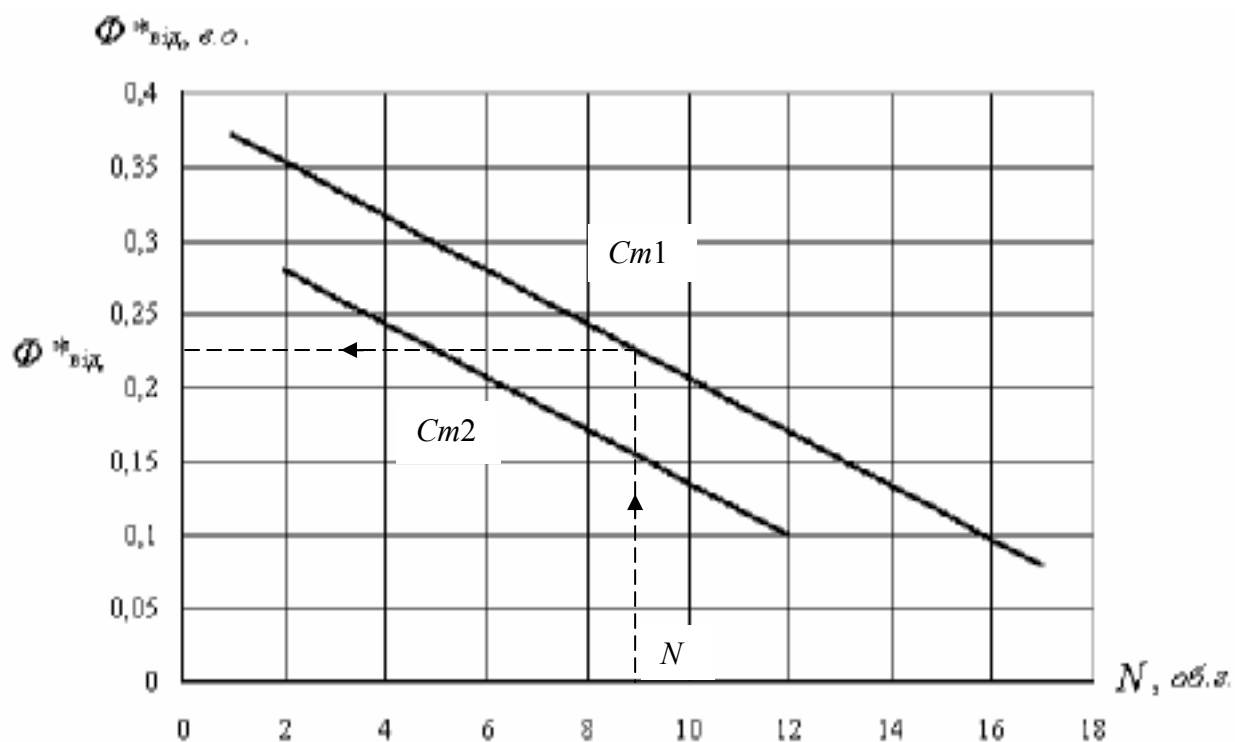


Рис.3.3. Залежність потоку відпустки від числа оборотів гайки ЕМРЧ

З точки перетинання проводиться горизонталь, що відтинає на осі ординат шукане значення  $\Phi_{\text{отп}^*}$ , яке заноситься в другий рядок табл. 3.2. За значенням  $\Phi_{\text{отп}^*}$  та за допомогою графіка  $\Phi_{\text{отп}^*}=f(t)$  визначається витримка часу  $t_{\text{виг}}$  (рис.3.2).

Результати заносяться в третій рядок табл.3.2. За даними табл.3.2 будується графік залежності  $t_{\text{виг}}=f(N)$  (див. рис.3.4) при зміні  $N$  від 0 до 16. Масштаби, що рекомендуються: по осі часу -  $m_t=2$  с/см, по осі оборотів -  $m_N=(0,8...1,0)$  об/см.

Таблиця 3.2 Дані для побудови залежності  $t_{\text{виг}}=f(N)$

$N_i$ , об/і	$N_0$	$N_0+2,5$	$N_0+2,5$	$N_0+7,5$	...	$N_0+17,5$
$\Phi_{\text{отп}^*}$						
$\Phi_{\text{отп}^*}$						

### 3.3.3. Розрахунок залежності витримки часу від величини напруги живлення

Для визначення впливу величини живильного напруги на витримку часу рекомендується зневажити впливом залишкового потоку ( $\Phi_{\text{ост}^*}=0,0$ ). Тоді крива зменшення потоку після відключення відповідає рівнянню

$$\Phi_*=\Phi_y*e^{-t/T}. \quad (3.3)$$

З огляду на, що в момент спрацьовування  

$$\Phi_{отп*} = \Phi_{y*} e^{-t_{вит}/T}. \quad (3.4)$$
 одержуємо

$$t_{вит} = T \ln \left| \frac{\Phi_{y*}}{\Phi_{отп}} \right|. \quad (3.5)$$

Тут значення потоку відпустки приймається постійним і визначається по кривій не рис. 3.3 для  $N=N_0+5$ , а величини сталого потоку  $\Phi_{y*i}$  знаходяться по кривій намагнічування (рис.3.1) для напруг:  $U_{ni}=(230 В, 220 В, 200 В, 180 В, 150 В, 100 В, 80 В, 60 В)$ , що попередньо переводяться у відносні значення ( $U_{ni*}=U_{ni}/220$ ). Дані розрахунків заносяться у відповідні рядки табл.3.3 (зі 2-й по 4-ю), а останній рядок заповнюється даними  $t_{вит}$  після завершення експерименту.

Таблиця 3.3 Розрахункові ( $t_{вит.р}$ ) і експериментальні ( $t_{вит.е}$ ) дані до побудови залежності  $t_{вит}=f(U)$

$U_{ni}, В$	230	220	200	180	150	100	80	60
$U_{ni*}$								
$\Phi_{y*}$								
$t_{вит.р}, с$								
$t_{вит.е}, с$								
$N=N_0 + 5 = \dots$ оборотов, $U_{п.ном}=220 В$								

Потім будується графік залежності  $t_{вит}=f(U_n)$ . Розмір поля графіка, що рекомендується,  $80 \div 160$  мм.

#### 3.3.4. Розрахунок характеристик таймера

Вихідні дані, необхідні для розрахунків ( $R_{вх}, C, U_{оп}, E_{вх}$ ) визначаються керівником робіт.

Для кожного варіанта сполучення вхідних даних визначається швидкість зміни напруги на виході генератора лінійно змінюється напруги (ГЛЗН),  $В/с$

$$\frac{U_1}{t} = \frac{E_{вх}}{R_{вх} C},$$

де  $E_{вх}$  – ЕДС на вході ГЛЗН,  $В$ ;  
 $R_{вх}$  – вхідний опір ГЛЗН,  $МОм$ ;  
 $C$  – ємність у колі зворотного зв'язку ОУ1,  $мкф$ .

Величина ( $U_1/t$ ) дорівнює тангенсу кута нахилу прямолінійної залежності  $U=f(t)$ , що з урахуванням знака повинна проходити в ІУ квадранті (див.рис.3.4) і переходить у горизонтальну пряму при досягненні поточного

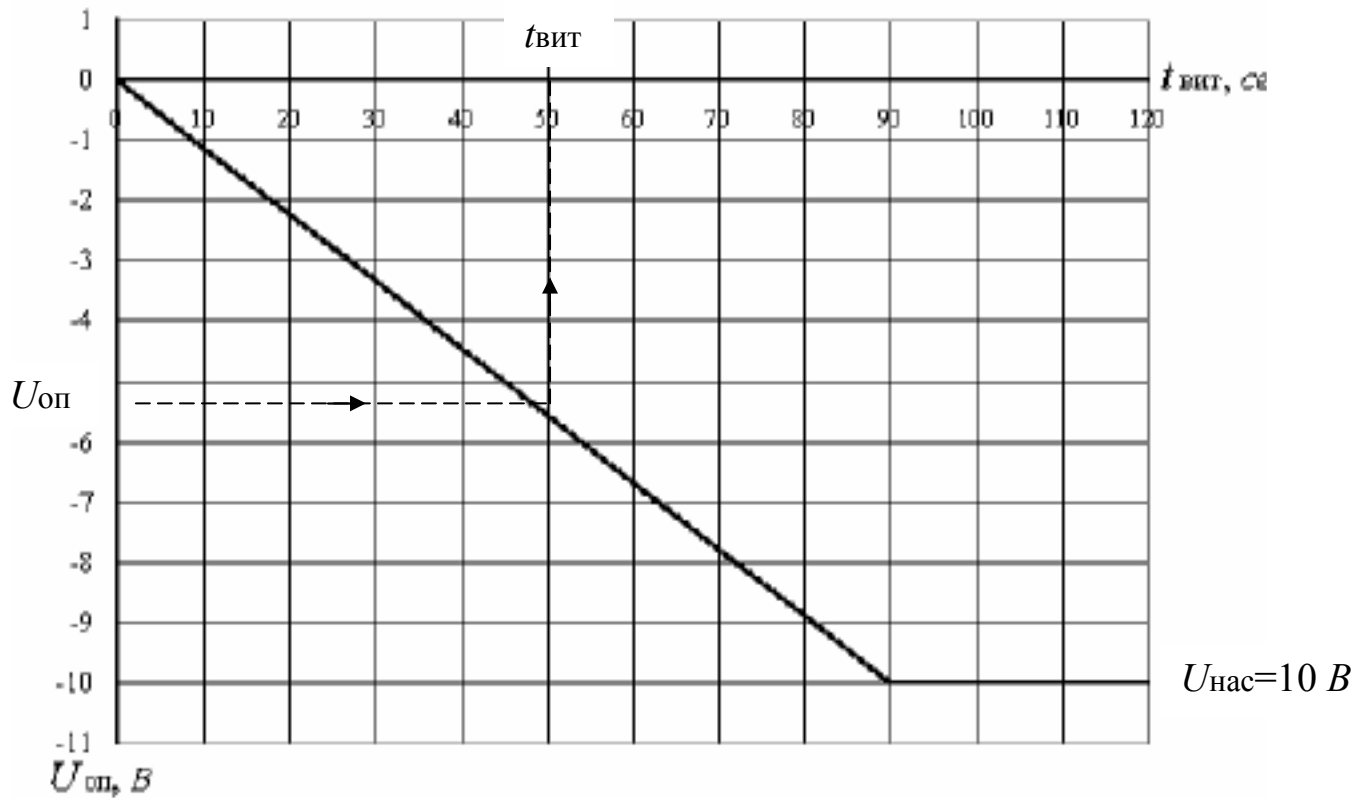


Рис. 3.4. До визначення часу витримки таймера

значення напруги, рівного напрузі насичення  $U_{нас}$ . Побудувавши зазначений графік, необхідно визначити витримку часу  $t_{вит}$  для заданого значення опорної напруги, для чого через відповідну цьому значенню ординату провести горизонталь до перетинання з графіком  $U=f(t)$ , а потім із точки перетинання на вісь часу опустити перпендикуляр, підстава якого визначає  $t_{вит}$  (на рис.3.5 побудови показані пунктиром). Витримки часу для будь-якого значення перемінних  $R_{вх}$ ,  $C$ ,  $U_{оп}$ ,  $E_{вх}$  можуть бути також визначені по вираженню

$$t = \frac{U_{оп} R_{вх} C}{E_{вх}} \quad (3.7.)$$

### 3.4. Вихідні дані і зміст розрахункової частини

#### 3.4.1. Варіанти вихідних даних до розрахункової частини

Варіанти вихідних даних представлені в табл. 3.4 – для розрахунку характеристик ЕМ РЧ,

Варіанти вихідних даних задаються у виді чотиризначного числа, причому перша цифра, відділена дефісом, означає номер стенда і приймає значення 1 чи 2. Інші три цифри ставляться після дефіса, причому перша з них відповідає номерам варіантів (стовпців) величин, значення яких зазначені в перших рядках табл.3.4 і 3.5 ( $U_*$  і  $R_{вх}$ ), друга – номерам варіантів величин других рядків цих же таблиць ( $t_2$  і 3), а третя – номерам варіантів величин третіх рядків зазначених таблиць ( $N_0$  і  $E_{вх}$ ).

Таблиця 3.4. Варіанти вихідних даних до розрахунку ЕМ РЧ

№№ п/п	Величина	Номер варіанту								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$U_*$	0,5	0,55	<b>0,6</b>	0,65	0,7	0,8	0,9	1,0	1,14
2	$t_2, c$	0,2	<b>0,3</b>	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
3	$N_0, об$	0,0	0,25	0,5	<b>0,75</b>	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0

*Приклад розшифровки варіанта.*

Варіант 2-324. Робота виконується на стенді № 2. Вихідні дані до розрахунку ЕМ РЧ (табл.3.4)  $U_*=0,6$ ;  $t_2=0,3 c$ ,  $N_0=0,75 об$ . Вихідні дані приклада виділені жирним шрифтом.

### 3.4.2. Теми рефератів

А. Як зміниться витримка часу ЕМ РЧ при збільшенні товщини немагнітної прокладки  $\Delta$ ? Як вплине збільшення  $\Delta$  на постійну часі при відключенні, на величину залишкового потоку, на вид кривої  $\Phi=f(t)$ ?

Б. Яким повинне бути число витків короткозамкнутого контури ЕМ РЧ для одержання найбільшого діапазону регулювання, якщо за інших рівних умов задана площа вікна для розміщення короткозамкнутого контуру ЕМ РЧ  $S=const$ . Доведіть своє твердження,

В. Покажіть, як зміниться графік  $\Phi=f(t)$  після відключення ЕМ РЧ, якщо:

- перетин короткозамкнутого контуру зменшилося вдвічі;
- замість міді короткозамкнений контур виготовлений з алюмінієвого сплаву;
- зменшилася площа полюсного наконечника.

Г. Опишіть принцип дії ГЛЗН у таймері, виконаному на базі операційних підсилувачів.

Д. Опишіть пристрій і принцип дії пневматичного реле часу.

### 3.4.3. Перелік документів, необхідних для допуску до лабораторної роботи:

- дані розрахунку залежності  $\Phi=f(t)$  (табл.3.1);
- графік зміни потоку в часі після відключення котушки ЕМ РЧ (рис.3.2);
- дані розрахунку залежності витримки часу від числа оборотів гайки ЕМ РЧ

(табл.3.2);

- графік зміни витримки часу від числа оборотів гайки ЕМ РЧ (рис.3.4);
- таблиця для розрахункових і експериментальних даних до побудови залежності витримки часу ЕМ РЧ від величини живильного напруги  $t_{вит}=f(U_n)$  (табл.3.3);
- графік розрахункової залежності  $t_{вит}=f(U_n)$  (рис.3.4);
- графік зміни напруги на виході генератора ГЛЗН (рис.3.5);
- реферат.

### 3.5. Експериментальна частина роботи

#### 3.5.1. Програма експериментальних досліджень

– Зняти залежність витримок часу ЕМ РЧ від числа оборотів гайки, що регулює натяг поворотної пружини, при напругах живлення, що відповідають варіантам завдань кожного члена бригади.

– При напрузі, зазначеній керівником, повторити попередня випробування з одночасним закорочуванням котушки ЕМ РЧ і включенням паралельно котушці реле напівпровідникового діода.

– Зафіксувавши число оборотів гайки, зазначене викладачем, зняти залежність витримки часу ЕМ РЧ від величини живильного напруги в діапазоні відносних значень

(0,4...1,2).

– Не змінюючи натягу поворотної пружини й установивши напругу живлення за вказівкою керівника, зняти залежність витримки часу ЕМ РЧ від величини ємності, включеної паралельно з котушкою.

– Зняти залежності зміни напруги на виході ГЛЗН'а таймера від часу для всіх сполучень параметрів, заданих учасникам бригади.

– Визначити в кожному випадку витримки часу таймера при величині опорної напруги на компараторі, зазначеної викладачем.

### 3.5.2. Короткий опис стенда

Загальна електрична схема стенда приведена на рис.3.6. Стенд забезпечує можливість дослідження як ЕМ РЧ, так і таймера. Для виміру витримок часу використовується електросекундомір РТ, живлення обмотки якого здійснюється від мережі змінної напруги 220 В. Подача живлення виробляється включенням SA2. Крім того, керування електросекундоміром РТ виконується перемикачем на три положення SA6.

#### УВАГА!

1. При дослідженні ЕМ РЧ перемикач SA3 встановити в положення 1.

2. При дослідженні таймера встановити SA6 у положення 2.

3. При нейтральному положенні SA6 коло секундоміра РТ ЗАВЖДИ ЗНЕСТРУМЛЕНА.

Попередня подача живлення в схему іспитів ЕМ РЧ здійснюється включенням SA1, а для керування напругою на котушці реле КГ використовується універсальний перемикач SA3.

Якщо SA3 встановлений у нейтральному ("О") положенні, то напруга на котушку КГ подано, і яркі реле притягається до полюсного наконечника. При цьому його блок-контакт КГ замикається і підготовляє коло секундоміра РТ до роботи ( перемикач у положенні І ).

При перекладі перемикача SA3 у положення "В" котушка КГ відключається й одночасно подається напруга на котушку секундоміра РТ.

Стрілки секундоміра приводяться в обертання і зупиняються в момент повернення якоря, тому що розмикається блок-контакт КГ.

Схема керування стендом дозволяє після відключення котушки реле замкнути її на один з контурів:

– при перекладі SA3 у положення "О" **ПІСЛЯ** попереднього замикання вимикача SA4 - на короткозамкнений контур з діодом VDI;

– при перекладі ключа SA3 у положення "У" **ПІСЛЯ** попереднього замикання вимикача SA5 на контур з перемінною ємністю З;

– при перекладі ключа SA3 у положення "Н" – закоротити котушку КГ.

Кожна випробування по визначенню витримок часу варто повторювати не менш 3 разів при незмінних параметрах досліджуваних реле часу і розраховувати середньоарифметичне значення.

Скидання показань секундоміра КГ, тобто повернення його стрілок у нульове положення, виконується різким натисканням на кнопку повернення, розташовану на правій бічній стінці його корпусу.

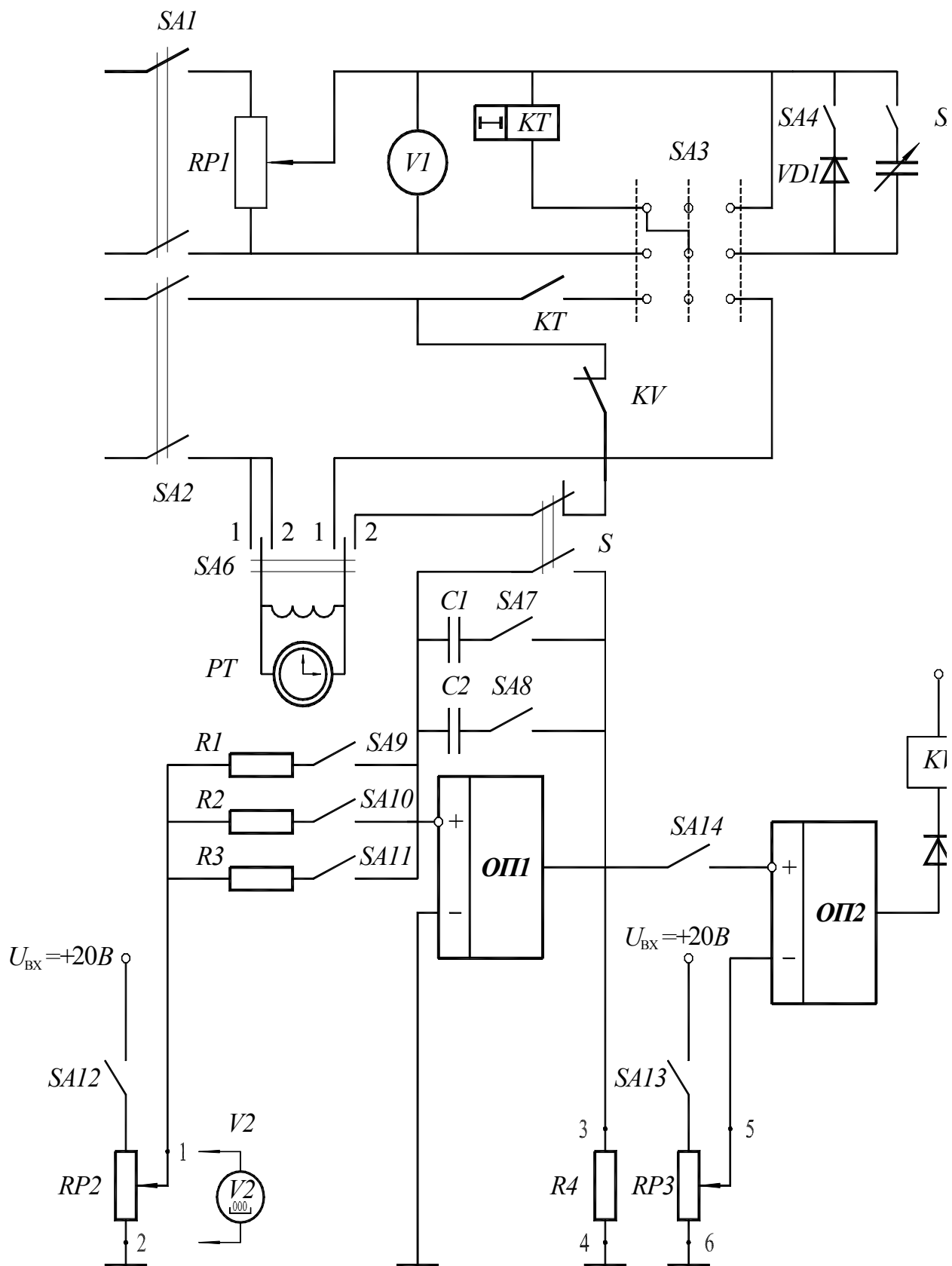


Рис.3.5. Схема стенду



При знятті залежностей від ступеня натягу поворотної пружини ЕМ РЧ за вихідне приймається стан максимальний стиснутої пружини. Повертаючи гайку проти вартовий стрілки і фіксуючи положення по одній з її чотирьох граней, відраховують число оборотів з точністю до 1/4. Ступінь натягу пружини назад пропорційна числу оборотів гайки.

Для переходу до дослідження таймера необхідно перевести перемикач SA6 у положення 2, а потім подати живлення в схему таймера включенням тумблера SA12.

Набір заданих значень вхідних опорів і ємностей у колі зворотного зв'язку ОУ1 здійснюється включенням у паралельно необхідної кількості резисторів R1...R5 і ємностей C1...C2 за допомогою тумблерів SA7... SA11. Номінальні значення цих елементів зазначені на панелях стендів. Варто пам'ятати, що при рівнобіжному включенні опорів

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n},$$

а при такому ж характері з'єднання ємностей

$$C_{\Sigma} = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Величини вхідного  $E_{вх}$  і опорного  $U_{оп}$  напруг регулюються потенціометрами RP2 і RP3. Контроль рівня напруг у процесі регулювання здійснюється за допомогою цифрового вольтметра V2, що підключається до гнізд 1-2 чи 5-6 за допомогою монтажних проводів. Зняття експериментальної залежності  $U=f(t)$  здійснюється в такий спосіб.

Набравши задані величини  $R_{вх}$ , C, затиски цифрового вольтметра V2 приєднують до гнізд 1-2 і за допомогою потенціометра RP2 устанавлюють необхідне значення  $E_{вх}$ . Потім затиски V2 приєднують до гнізд 5-6 і потенціометром RP5 виставляють перше значення опорної напруги  $U_{оп}$ . Після цього V2 приєднують до гнізд 3-4 опору навантаження на виході ОП1.

Запуск генератора ГЛЗН виробляється відключенням тумблера S, що усуває шунтування кола зворотного зв'язку ОУ1 і одночасно забезпечує подачу напруги на котушку секундоміра PT за умови: SA2 – замкнуті і SA6 – У ПОЛОЖЕННІ 2!

У момент, коли напруга на виході ГЛЗН  $U=U_{оп}$  компаратор ОУ2 стрибком змінить полярність напруги на виході і котушка проміжного реле РП одержить живлення. Якір KV притягнеться, і його блок-контакт, що розмикає, розірве коло живлення котушки електросекундоміра. Для експериментального зняття прямолінійної залежності  $U=f(t)$  досить трьох точок. Тому випробування повторюється при другому значенні  $U_{оп}$ , рівному приблизно половині первісного, і незмінних значеннях інших параметрів.

Експериментальні дані по дослідженню таймера через їхню простоту відразу наносяться на графіки (рис.3.5) і з'єднуються пунктирними лініями, а результати іспитів ЕМ РЧ спочатку заносяться в табл.3.6.

Таблиця 3.6. Експериментальні дані по дослідженню ЕМРЧ

Положення SA3	Величини	Число обертів гайки						
"B"	$U_{1*} =$							
	$U_{1*} =$							
	$U_{2*} =$							
	$U_{3*} =$							
	$U_{4*} =$							
"H"	$U_{п*} =$							
U= B	$t_{вип}, c$							
	C, мкF							

По експериментальним даним необхідно побудувати графічні залежності. При цьому графіки  $t_{\text{внт}}=f(N)$  за даними табл.3.6 будуються в координатах відповідних графіків розрахункової частини кожного члена бригади (рис.3.4). Побудова інших графічних залежностей виконується аналогічно на окремих рисунках.

### **3.6. Зміст експериментальної частини звіту**

– Залежності витримок часу ЕМ РЧ від числа оборотів гайки, що регулює натяг поворотної пружини, при напругах живлення, що відповідають варіантам завдань кожного члена бригади.

– Залежності витримок часу ЕМ РЧ при напрузі, зазначеній керівником, з одночасним закорочуванням котушки ЕМ РЧ і включенням паралельно котушці реле напівпровідникового діода.

– Залежність витримки часу ЕМ РЧ від величини живильної напруги в діапазоні відносних значень (0,4...1,2).

– Залежність витримки часу ЕМ РЧ від величини ємності, включеної паралельно з котушкою.

– Залежності зміни напруги на виході ГЛЗН'а таймера від часу для всіх сполучень параметрів, заданих учасникам бригади.

– Витримки часу таймера при величині опорної напруги на компараторі, зазначеної викладачем.

### **3.7. Література**

Чунихин А.А. Электрические аппараты.—М.: Энергаториздат, 1988. — С. 226-240, 370-375.

## Лабораторна робота №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ

4.1. **Мета роботи** – дослідження характеристик електричної дуги, умови горіння і гасіння електричної дуги постійного і перемінного струмів.

### 4.2. **Задачі занять**

У результаті виконання лабораторної роботи студенти повинні

#### **знати:**

- процеси іонізації і деіонізації, що відбуваються в електричній дузі постійного і змінного струмів – умови виникнення дугового розряду;
- способи гасіння електричної дуги постійного і перемінного струмів

#### **уміти:**

- знімати і розраховувати вольт-амперні характеристики;
- розраховувати параметри електричного кола, при яких дуга гасне.

### 4.3. **Рекомендації з виконання розрахункової частини**

#### 4.3.1. **Розрахунок і побудова вольт-амперної характеристики дуги**

По табл.4.3 вибирають вихідні дані, по яких розраховується вольт-амперна характеристика дуги  $U_D=f(I_D)$ . Напряга на дузі в залежності від величини струму і довжини дуги ( $l_D$ ) розраховується по залежності, приведеної в [3]

$$U_D = \frac{80l_D}{\sqrt{I_D}}.$$

Значення довжини дуги необхідно проставляти в міліметрах, струм в амперах. Розрахунок виробляється для значень струмів  $I_D=1, 2, 4, 7, 10, 15, 20, 25$  А.

Розрахункові значення напруги заносяться в табл.4.1, по цим даним будується вольт-амперна характеристика  $U_D=f(I_D)$  як показана на рис.4.1

Таблиця 4.1 *Вольт-амперна характеристика дуги при  $l_D=const=$  мм*

U <sub>Д</sub>	В								
I <sub>Д</sub>	А								

#### 4.3.2. **Визначення точки стійкого горіння дуги**

По величинах напруги мережі й опори в колі (таблиця вихідних даних 1.3) визначається точка стійкого горіння дуги (точка А, див.рис.1.1). Для цього будується реостатна характеристика  $(U_D-I_D R_D)=f(I_D)$  по двох точках:

- $I_D=0$ ;  $\rightarrow (U_D-I_D R_D)=U_C$ .
- $I_D=I_K$ ;  $\rightarrow (U_D-I_D R_D)=0$ .

і знаходяться графічно точки перетинання побудованої прямої з вольт-амперною характеристикою дуги.

Для точок стійкого горіння дуги (точка 1) і хитливого горіння (точка 2) визначаються опори дуги  $R_{D1}=U_{D1}/I_{D1}$  і  $R_{D2}=U_{D2}/I_{D2}$ . Розраховуються критичний опір кола дуги  $R_{KP}=U_C/I_K$  (див.рис.1.1), мінімальне число пластин дугогасительной решітка  $n_{min}=U/\Delta U_E$ , а також кратність  $k=R_{KP}/R_1$ , де  $\Delta U_E$  – спадання напруги на електродах дуги. Для дуги постійного струму  $\Delta U_E=(20\div 30)$  В.



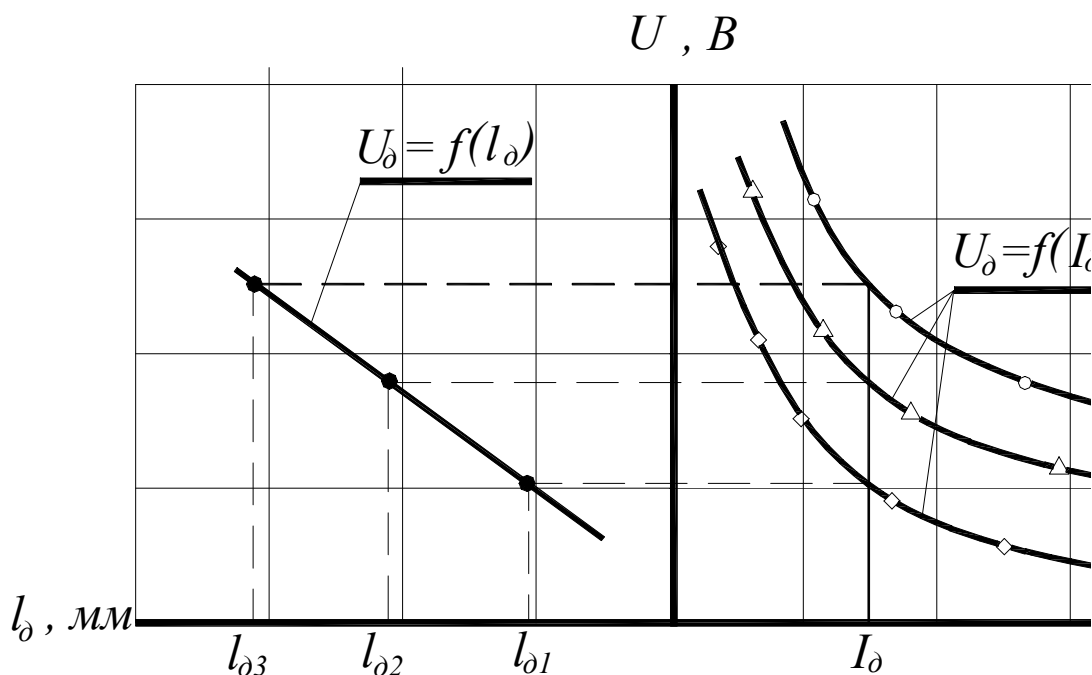


Рис. 4.4. Графічна побудова залежності  $U_d=f(l_d)$

Таблиця 4.3 Вихідні дані

Первая цифра варианта задания	Исходные данные		
	$l_d, мм$	$U_d, В$	$R_1, Ом$
	1	2	3
1	2,0	180	8,3
2	1,5	155	5,2
3	1,0	80	3,3
4	2,5	200	8,7
5	3,0	220	9,2
6	1,25	90	4,0
7	1,75	170	8,6
8	2,25	190	8,0

#### 4.4.2. Теми рефератів

1. Які необхідно дотримувати умови, щоб дуга перемінного струму згасла при першому переході струму через нуль? Чи залежать ці умови від кута зрушення між струмом і напругою?
2. Дуга горить стійко. У якому співвідношенні знаходяться процеси іонізації і деіонізації в стовпі дуги? Чи буде дуга горіти стійко, якщо в зоні горіння підвищити тиск? Чому?
3. Як розраховується число пластин дугогасительной грати при гасінні дуги перемінного струму? Якщо напруга мережі однаково на постійному і перемінному струмах, то в якому випадку число пластин більше? З якого матеріалу виконуються пластини дугогасительных грат постійного і перемінного струмів?
4. Що таке вузька і широка дугогасительная щілини? У якій щілині дуга гаситься краще? Чому?
5. Чи поліпшуються умови гасіння дуги в середовищі трансформаторної олії? Поясніть.

ните.

6. Зобразите графіки залежностей напруг мережі і напруги дуги, струму дуги, а також електричної міцності дугового проміжку у функції часу протягом 3-х напівперіодів напруги живлення за умови розбіжних контактів і чисто активному навантаженню.

7. Зобразите статичну вольт-амперну характеристику дуги постійного струму і реостатну характеристику  $(U_D - I_D R_D) = f(I_D)$ . Знайдіть точки рівноважного стану і доведіть, яка з них буде точкою стійкого горіння дуги. Як зміняться графіки, якщо живляча напруга зменшити в два рази за інших рівних умов?

#### 4.4.3. Перелік документів, необхідних для допуску до лабораторної роботи:

– Розраховані і побудовані вольт-амперні характеристики при заданій і критичній довжинах дуги.

– Визначення графічним шляхом точок стійкого і хитливого горіння дуги, розрахунок величин опорів дуги і критичного опору кола.

– Розрахунок критичної довжини дуги і числа пластин дугогасительной грати.

– Реферат.

#### 4.5. Указівки до виконання експериментальної частини

##### 4.5.1. Короткий опис стенда

Дослідження електричної дуги виробляється на стенді з застосуванням спеціальної установки, зображеної на рис.4.2. Дуга горить між вугільними електродами, відстань між якими (довжина дуги) визначається по зображенню дуги на екрані. Відстань між двома сусідніми вертикальними лініями екрана відповідає одному міліметру в області горіння дуги.

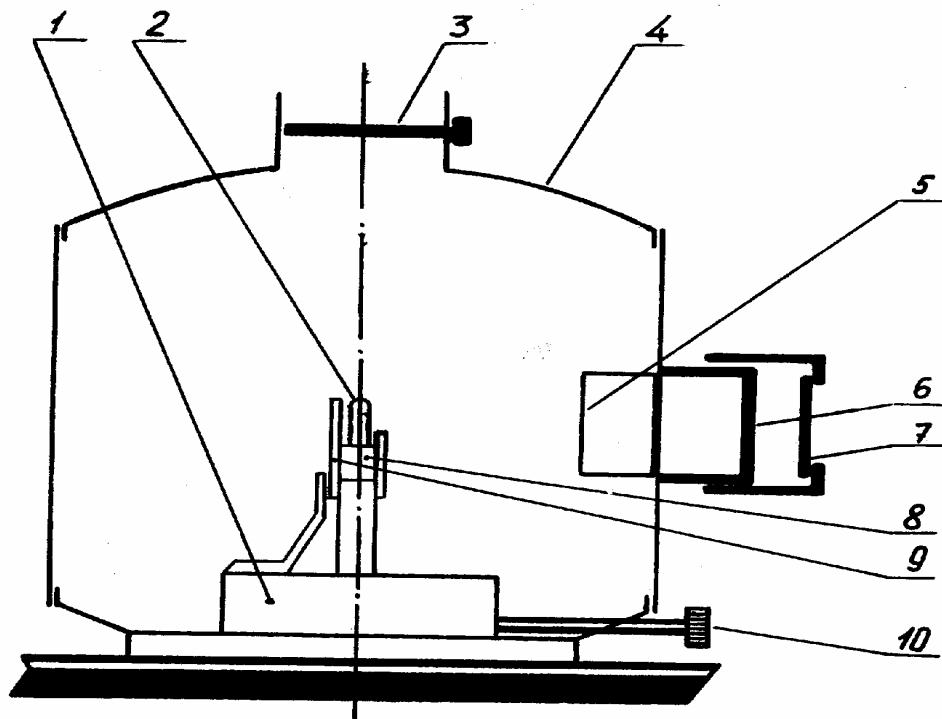


Рис. 4.2. Дугова установка (розріз):

1 – підстава дугового пристрою, 2 – вісь дуги, 3 – витяжна труба і заслінка, 4 – кожух, 5 – точковий отвір, 6 – екран, 7 – світлофільтр, 8 – котушка магнітного дуття, 9 – магнітопровод котушки магнітного дуття, 10 – рукоятка переміщення електрода.

Електрична схема стенда представлена на рис.4.3. Перемикачем *SN1* установка включається в коло постійного чи перемінного струмів. Перемикачем *SN2* комутується котушка магнітного дуття.

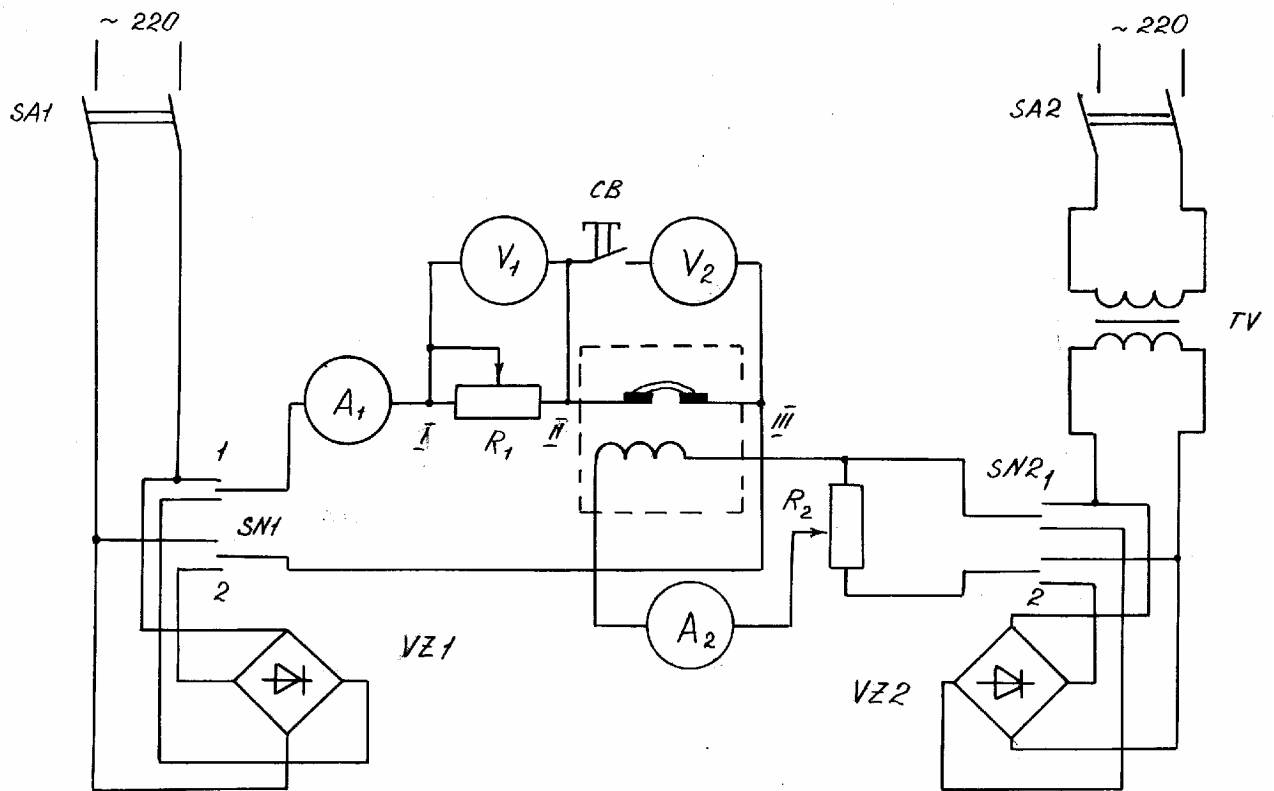


Рис. 4.3. Електрична схема стенда

Величина струму дуги  $I_D$  регулюється реостатом  $R_1$ , напруга на дузі вимірюється вольтметром  $V_1$ , що підключається кнопкою  $CB$  тільки під час горіння електричної дуги.

Для зняття осцилограм струму, напруги і вольт-амперної характеристики дуги перемінного струму на вхід осцилографа подається спадання напруги на резисторі  $R_1$  чи напруга на дузі. Для цього на стенді мають спеціальні гнізда I, II, III. Величина струму в котушці магнітного дуття регулюється за допомогою реостата  $R_2$  і визначається по амперметрі  $A_2$ .

**Увага!** Перемикачі  $SN1$  і  $SN2$  варто переключати тільки при відсутності струму (при розімкнутих вимикачах  $SA1$  і  $SA2$  відповідно).

#### 4.5.2. Програма експериментальних досліджень

Зняти:

– вольт-амперні характеристики дуги постійного струму  $U_D=f(I_D)$  при постійній величині її довжини  $l_D=const$ ;

– залежність напруги на дузі від її довжини  $U_D=f(l_D)$  при постійному опорі в колі  $R_D=const$ ;

– вольт-амперні характеристики дуги змінного струму  $u_D=f(i_D)$  при  $l_D=const$  (значення  $l_D$  прийняти такими ж, як і при знятті подібних характеристик дуги постійного струму);

– осцилограми напруги  $u_D=f(t)$  і струму  $i_D=f(t)$  дуги й осцилограму вольт-амперної характеристики  $u_D=f(i_D)$  дуги перемінного струму;

– досліджувати вплив магнітного дуття на гасіння дуги постійного і перемінного струмів.

### 4.5.3. Методика виконання експериментальної частини

#### 4.5.3.1. Зняття статичної вольт-амперної характеристики дуги постійного

струму

Для зняття статичної вольт-амперної характеристики дуги перемикач  $SN1$  встановлюється в положення 2 (рис.4.3), після чого включити повітряний вимикач  $SA1$ . Рукояткою 10 (рис.4.2) електроди перемістити до їхнього зіткнення. В електричному колі протікає струм, величина якого фіксується по амперметрі  $A_1$ . За допомогою реостата  $R_1$  установити максимальне значення струму в колі і зняти показання амперметра і вольтметра, після чого записати значення струму і напруги в табл.4.4.

Таблиця 4.4 Дані вимірів струмів і напруг при замкнутих електродах

№№ п/п	Дослідні дані			Розрахункові дані			Примітка
	$I_1, A$	$U_1, B$	$U_2, B$	$R_1, Ом$	$R_1, Ом$	$U_2, B$	
							До виникнення дуги
							Після виникнення дуги

Потім електроди розводяться при незмінному значенні  $R_1$ , в установці виникає електрична дуга. Відстань між електродами фіксується на екрані установки (6). Один розподіл на екрані відповідає відстані між електродами в 1 мм. Установивши значення довжини дуги в діапазоні від 0,5 до 3 мм (за вказівкою керівника) записують показання вольтметра й амперметра. Ці дані заносяться в табл.4.5. Далі змінюється величина струму за допомогою реостата  $R_1$  при незмінній величині довжини дуги. Для кожного значення струму (вибрати 5...6 точок) записується напруга дуги, дані заносяться в табл.4.5.

Таблиця 4.5 Статичні вольт-амперні характеристики дуги

№№ п/п	Довжина дуги, мм	Статичні вольт-амперні характеристики			
		$U_d, B$			
1	$l_d = \quad , мм$	$U_d, B$			
		$I_d, A$			
2	$l_d = \quad , мм$	$U_d, B$			
		$I_d, A$			
3	$l_d = \quad , мм$	$U_d, B$			
		$I_d, A$			

При визначеному критичному значенні опору в колі дуги  $R_1$  дуга гасне, що фіксується за показниками амперметра  $A_1$  ( $I_1 = 0$ ). Для визначення цього опору електроди установки переміщуються до їхнього зіткнення, у колі виникає струм. Дані вимірів токи і напруг записують у другий рядок табл.1.4.

Потім, установивши максимальне значення струму, повторно запалюється електрична дуга і знімається вольт-амперна характеристика при новому значенні довжини дуги. Дані вимірів заносяться в табл.1.5. Необхідно зняти вольт-амперні характеристики для 3-х значень довжин дуги.

#### 4.5.3.2. Зняття залежності напруги на дузі від довжини дуги при постійному значенні струму

Перемикач  $SN1$  встановлюється в положення 2. Тік у колі при замкнутих електродах встановлюється в межах  $(8 \div 12) A$  (за завданням керівника). Потім дуга запалюється і



при різних значеннях довжини в межах (0,5÷4 мм) записують показання напруги на дузі для п'яти – шести точок. Дані виміри заносяться в табл.4.6.

Таблиця 4.6. Напруга на дузі в залежності від довжини дуги

$$U_D = f(l_D) \text{ при } I_D = \text{const} = \dots A$$

$U_D, B$					
$l_D, мм$					

#### 4.5.3.3. Зняття вольт-амперної характеристики дуги перемінного струму

Перемикач *SN1* встановлюється в положення 1. Після цього, у відповідність з описом у п. 4.5.3.1., знімаються вольт-амперні характеристики дуги для трьох значень довжини дуги. Значення довжин дуг прийняти такими ж, як і при знятті вольт-амперних характеристик на постійному струмі. Дані вимірів записуються в табл.4.7.

Таблиця 4.7. Вольт-амперні характеристики дуги перемінного струму

Довжина дуги	Експериментальні дані					
	Вольт-амперні характеристики дуги					
$l_D = \dots, мм$						
$l_D = \dots, мм$						
$l_D = \dots, мм$						

#### 4.5.3.4. Зняття осцилограм дуги перемінного струму

Перемикач *SN1* установити в положення 1. У цьому випадку дугова установка живиться від мережі перемінного струму.

Запалюється електрична дуга по способі, описаному в п. 4.5.3.1.

Для зняття осцилограм  $u_D = f(t)$  чи  $i_D = f(t)$  на вхід осцилографа подаються сигнали, що знімаються зі спеціальних гнізд I, II, III, пропорційні величинам  $u_D$  і спаданню напруги на резисторі  $R_1$ .

Для зняття осцилограми вольт-амперної характеристики дуги  $u_D = f(i_D)$  на один вхід (Y) осцилографа подається напруга  $u_D$ , а на другий вхід (X) подається сигнал, що пропорційний току  $i_D$ . Перемикач "Діапазони частот" установити в положення "Виключене". За допомогою рукояток "Посилення", "Діапазони частот", "Частота плавно" установлюються необхідні розміри зображення, що переносяться на чи кальку інший прозорий папір.

#### 4.5.3.5. Дослідження впливу магнітного дуття на гасіння електричної дуги

Подати на дуговою установку постійна напруга (перемикач у положення 2) і запалити дугу, установивши одне зі значень довжин дуги, при якому знімалися вольт-амперні характеристики. Уключити повітряний вимикач 5 і установити перемикач *SN2* у положення 2 за допомогою реостата  $R2$  плавно змінюється струм у котушці магнітного дуття, що фіксується по амперметрі  $A2$ . Зафіксувати величину струму по амперметрі  $A2$ , при якому дуга згасне. Якщо гасіння дуги не відбудеться, зменшити величину струму дуги за допомогою реостата  $R_2$  і повторити експеримент, домігшись гасіння дуги.

Після перебування величини струму магнітного дуття  $I_{2M}$  при який дуга гасне, визначаються величини критичного опору в колі дуги при струмі  $I_2=0$  і  $I_2=I_{2M}/2$ . Для цього при зазначених вище струмах  $I_2$  і постійному значенні довжини дуги плавно збільшується опір  $R_2$  до значення, при якому дуга гасне ( $I_1=0$ ). Після чого електроди переміщуються до їхнього зіткнення і записуються значення  $I_1$ , і  $U_1, U_2$ , по яких визначається  $R_{кр}$ .

Дані вимірів записуються в табл.4.8.

Аналогічні досвіди проводяться при живленні установки перемінним струмом (перемикач *SN1* у положення 1, а перемикач *SN2* – у положення 2).

Дані вимірів і розрахунків записуються в табл.4.8.

Таблиця 4.8. Дані вимірів напруг і струмів для визначення критичних опорів

Род струму	Дані вимірів			Розрахункові величини		
		$I_1, A$	$U_1, B$	$U_2, B$	$R_1, Ом$	$R_{кр}, Ом$
Постійний	$I_2=0$					
	$I_2=I_{2г}/2$					
Змінний	$I_2=0$					
	$I_2=I_{2г}/2$					

#### 4.6. Зміст експериментальної частини звіту

– Таблиці досвідчених даних і розрахункових величин 4.4÷4.8.

– Розраховані опори електричного кола до виникнення електричної дуги за даними першого рядка табл.4.4.

$$R_1 = U_1/I_1, \quad R_K = U_2/I_1, \quad U_C = U_1 + U_2 .$$

де  $R_K$  – опір електродів;

$U_C$  – напруга мережі.

– За даними другого рядка табл.1.4 і даним табл.1.8 визначаються критичні опори в колі дуги

$$R_{кр} = U_1/I_1, \quad R_K = U_2/I_1.$$

– Побудована за даними табл.4.5 вольт-амперна характеристика дуги з визначеної точкою стійкого горіння дуги.

– Кратність критичного опорів  $k = R_{кр}/R_1$  і порівнюється з раніше розрахованою такою же завбільшки п. 4.3.3.

– Три вольт-амперні характеристики дурниці постійного і перемінного струмів, побудовані в одній системі координат, згідно табл. 4.5 і 4.7.

– Графік залежності  $u_d = f(I_d)$  при  $I_d = const$ , побудований за даними табл.4.6. Одержати цю же залежність розрахунково-графічним способом, як це показано на рис.4.4.

– Три осцилограми зняті криві  $u_d = f(t)$ ,  $i_d = f(t)$  і  $u_d = f(i_d)$ . По осцилограмі визначити проміжок часу без струму в секундах.

– Величини струмів у котушці магнітного дуття, при яких відбувається гасіння електричної дуги.

– Розрахунок критичних опорів колу при гасінні електричної дуги з магнітним дуттям і при відсутності магнітного дуття за даними табл.4.8. Пояснити розходження цих опорів по величині.

#### 4.7. Література

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты.– М.: Энергоатомиздат, 1988.– С. 183-240.
2. Родштейн Л.А. Электрические аппараты.– Л.: Энергия, 1981. С. 164-186. ,
3. Основы теории электрических аппаратов/ Под ред. Буткевича Г.В.– М.: Высш. шк., 1970.– С. 282-338.

## Лабораторна робота №5 ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОГО ПІДСИЛЮВАЧА ІЗ САМОПІД- МАГНІЧУВАННЯМ

5.1. **Ціль роботи** – закріплення знань про основні властивості і характеристики магнітного підсилювача із самопідмагнічуванням (МПС), а також придбання навичок його експериментального дослідження і керування підсилювачем у різних режимах роботи.

### 5.2. **Задачі заняття**

У результаті підготовки і виконання лабораторних досліджень, включених у дану роботу, студент повинний знати:

- принципи дії дроселя насичення без підмагнічування (ДН) і МПС;
- характер зміни індукції  $B$  у сердечниках, напруг на дроселі  $U_D$  і на навантаженні  $U_H$ , струму навантаження  $I_H$  у функції часу при різних режимах роботи ДН і МПС;
- основні характеристики МПС – динамічну криву розмагнічування (ДКР) і характеристику керування (ХУМПС), вплив зворотного зв'язку на ХУМПС;
- методику розрахунку ХУМПС, а також статичних і динамічних параметрів МПС;
- принцип уведення зовнішнього зворотного зв'язку (ОС) у МПС і одержання релейного режиму вмiти:
- розрахувати характеристику керування і параметри МПС;
- знімати експериментальні характеристики МПС;
- одержувати задану характеристику керування МПС шляхом введення ОС я використання обмотки зсуву;
- враховувати вплив зовнішніх факторів на характеристики і параметри МПС;
- здійснювати релейний режим роботи МПС.

### 5.3. **Рекомендації з виконання розрахункової частини**

#### 5.3.1. **Конструктивні дані МПС**

При виконанні будь-якого варіанта розрахункового завдання необхідно ознайомитися з основними конструктивними даними МПС типу ТУМА4-П (табл.5.1) і номінальними даними, приведеніми нижче.

Номінальна напруга при послідовному включенні двох комплектів робочих обмоток (A1-X1, Y1-Y1), (A2-X2, Y2-Y2):  $U_C=127\text{ В}$ .

Номінальна напруга при рівнобіжному включенні двох комплектів чи використанні одного комплекту робочих обмоток:  $U_C=63,5\text{ В}$ .

Номінальна частота:  $f=50\text{ Гц}$ .

Номінальна потужність:  $P_H = 25\text{ Вт}$ .

Номінальний струм:  $I_H= 300\text{ ма}$ .

Таблиця 5.1. Конструктивні й обмотувальні дані ТУМА4-II

Маркірування виводів	A1– X1 B2–	Обмотки керування						
	Y2 B1–	1Н–1К	2Н–2К	3Н–3К	4Н–4К	5Н–5К	6Н–6К	7Н–7К
Дані обмоток								
Діаметр проводу	0,33	0,38	0,15	0,18	0,15	0,15	0,21	0,21
Число витків	1200	65	470	1100	1100	1100	1100	1100
Опір при 20°C	17,2	1,7	77	124	184	184	103	103
Тривало припустимий струм, <i>mA</i>	300	330	52	74	52	52	100	100
Переріз магнітопровода, $m^2$	$1,28 \cdot 10^{-4}$							
Середня довжина магнітній силовій лінії, <i>m</i>	$16,3 \cdot 10^{-4}$							

Магнітні властивості сердечників МПС характеризуються динамічної кривої розмагнічування (ДКР), приведеної на рис.5.1.

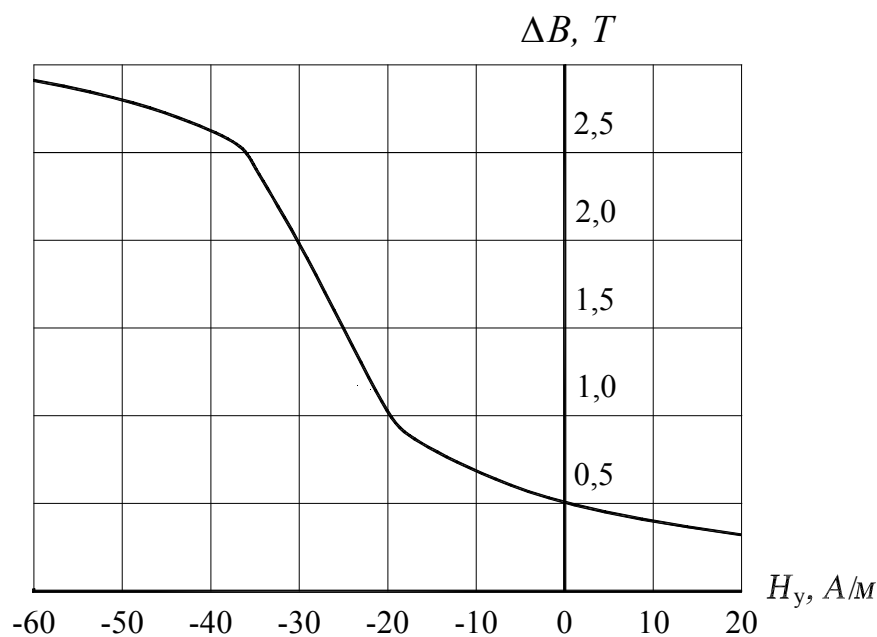


Рис. 5.1. Динамічна крива розмагнічування МПС

### 5.3.2. Побудова характеристики керування

Розрахунки, необхідні для побудови зазначеної характеристики, виконують у такій послідовності [1]:

- у діапазоні зміни напруженностей по рис.5.1 (–60, +20 *A/m*) вибирають 7...9 зна-

чень  $H_{yi}$  для кожного з них визначають по ДКР відповідне значення перепаду індукції  $\Delta B_i$ ;

– по табл.5.1 вибирають обмотку керування, визначаючи при цьому її число витків  $w_y$ ;

– для кожного значення  $H_{yi}$  визначають відповідне значення струму керування по вираженню

$$I_{yi} = H_{yi} \cdot L_c / w_y,$$

де  $L_c$  – середня довжина магнітної силової лінії в сердечнику МПС (див. табл.5.1);

– середнє значення напруги на навантаженні  $U_{ni}$ , що відповідає току обмотки керування  $I_{yi}$ , розраховується по формулі

$$U_{ni} = \frac{R_n}{R_n + r_p} (U_c - 2 f w_p S_o \Delta B_i)$$

де  $S_o$  – перетин магнітопровода сердечника (табл.2.1),  $m$ ;

$U_c$  – напруга живлення в ланцюзі робочих обмоток МПС,  $U$ ;

$\Delta B_i$  – перепад індукції, визначений по ДКР,  $T$ ;

$w_p$  – число послідовне з'єднаних витків робочих обмоток одного з дроселів МПС;

$R_n$  – опір навантаження,  $Om$ ;

$r_p$  – опір робочих обмоток з урахуванням характеру їхнього з'єднання,  $Om$ ;

– визначають середнє значення струму навантаження  $I_{ni}$ , що відповідає току  $I_{yi}$

$$I_{ni} = U_{ni} / (R_n + r_p).$$

Дані розрахунків заносять у табл.5.2 і на окремому графіку самостійно будують розрахункові графічні характеристики керування МПС  $U_n = f(I_y)$  і  $I_n = f(I_y)$ . Зразок побудов одного зі зазначених графіків приведені на рис.5.2.

По побудованих характеристиках визначаються два значення струму керування, що відповідають режимам неодруженого ходу  $I_{y0}$  і максимальної віддачі  $I_{yMO}$ .

Таблица 5.2. Дані характеристик керування МПС

№ № п/п	Расчетные данные					Опытные данные		
	$H_y$	$\Delta B$	$I_y$	$U_{ni}$	$I_{ni}$	$I_y$	$U_{ni}$	$I_{ni}$
	$A/m$	$T$	$mA$	$B$	$A$	$mA$	$B$	$mA$
1.								
2.								
• • •								
9.								
$U_c = \quad B; w_y = \quad ; w_p = \quad ; R_n = \quad Om; r_p = \quad Om;$								

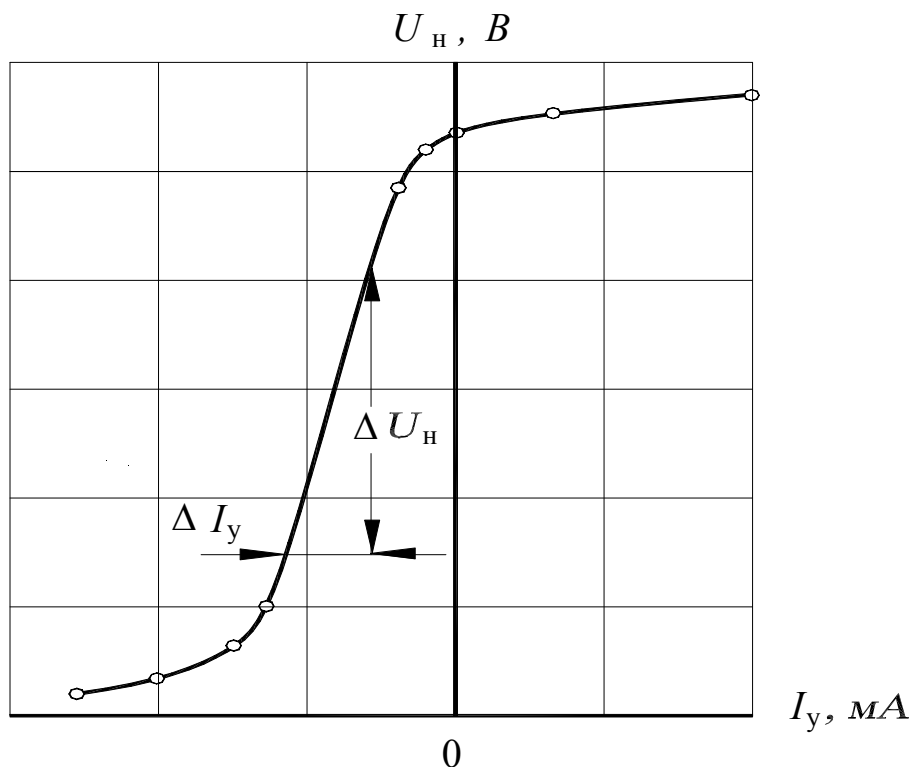


Рис. 5.2. Зразок оформлення характеристики керування МПС

### 5.3.3. Визначення параметрів МПС

По прямолінійній частині характеристики керування МПС визначають коефіцієнт крутості  $k_R$  як відношення збільшень по осях координат (див. рис.5.2) з урахуванням масштабів  $m$  і  $m$ .

$$k_R = \frac{\Delta U_H \cdot m_U}{\Delta I_y \cdot m_I} .$$

Потім послідовно розраховують. ( стр. 206.. .209, [5.1]):

- $k$  – коефіцієнт підсилення по струму;
- $k$  – коефіцієнт підсилення по напрузі;
- $k_p$  – коефіцієнт підсилення на потужності;
- $T$  – постійну часу МПС;
- $D$  – добротність МПС.

### 5.3.4. Побудова залежностей основних величин МПС від часу

Залежності  $U_c, B_1, B_2, U_H, U_d=f(\omega t)$  будуються для ідеального двухполуперіодного МПС протягом одного періоду живильного напруги для заданого кута насичення  $\Theta_S=\omega t$  і з урахуванням особливостей з'єднання робочих обмоток у припущенні, що  $B_S=B_m$ . Зразок побудови графіків приведений на рис.5.3. Спочатку будується залежність  $U_c=f(\omega t)$ . Для правильної побудови графіка  $B_1=f(\omega t)$  спочатку варто розрахувати значення індукції керування  $B_{y*}$  у відносних одиницях

$$B_{y*}=B_y/B_S=\cos\Theta_S .$$

Графіки  $U_D=f(\omega t)$  і  $U_H=f(\omega t)$  виконують в одній системі координат, зображуючи перший з них пунктирною, а другий суцільний лініями. Штрихування використовувати відповідно до рис.5.3.

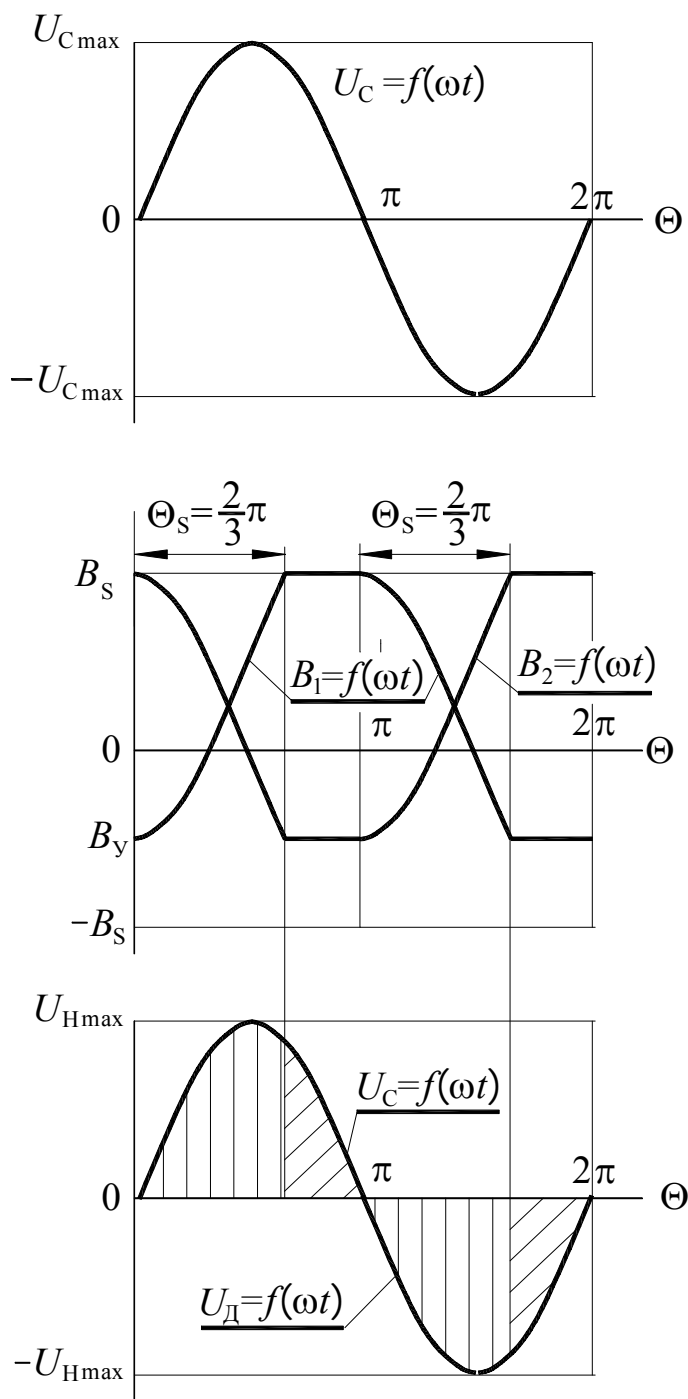


Рис.5.3. Зразок побудови графіків  $U_C, B_1, B_2, U_H, U_D=f(\omega t)$

Усі три зазначених графіки виконувати на одному малюнку, розташувавши всі осі ординат по одній вертикалі і зберігаючи масштаб по осях абсцис постійним.

### 5.3.5. Підготовка монтажної схеми

Набір всіх елементів лабораторного станда приведений на рис.5.4. Позначення всіх елементів на цьому малюнку ідентичні позначенню відповідних елементів на панелі станда. Для спрощення процесу зборки схем частина елементів станда мають внутрішні з'єднання, утворити модулі з маркірованими затисками.

Використовуючи маркірування затисків модулів станда, відповідно до варіанта завдання необхідно виконати монтажну схему дослідження МПС. При цьому модулі станда рекомендується зображувати тонкими лініями, а зовнішні з'єднання, що будуть виконуватися монтажним проводом у процесі комутації, – товстими лініями. Приклад складання монтажної схеми приведений на рис.5.5.

**5.4. Вихідні дані і зміст РГР**  
 5.4.1. Варіанти вихідних даних

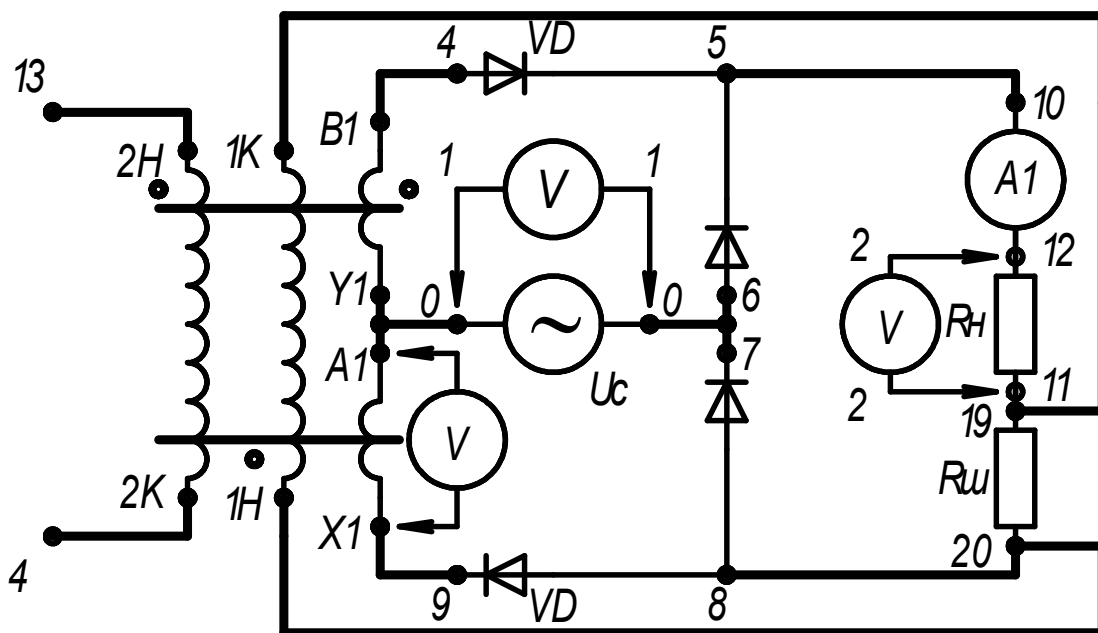


Рис.5.4. Зразок складання монтажної схеми

Варіанти представлені в табл.5.3 і задаються у виді комбінації буквеного сполучення і чотирьох цифр. Буквене сполучення вказує на особливості схеми МПС і може приймати наступні значення:

- М – МПС із включенням навантаження за мостовою схемою;
- П – МПС із включенням навантаження на перемінному струмі;
- М(П)ОС – МПС із включенням навантаження за мостовою схемою (на перемінному струмі) із зовнішнім зворотним зв'язком по струму;
- М(Н)СУ – МПС із включенням навантаження за мостовою схемою (на перемінному струмі) з використанням обмотки зсуву. Наступна за буквою цифри може приймати значення 1 чи 2 і визначає число комплектів робочих обмоток, використовуваних у схемі. Інші три цифри ставляться після дефіса і визначають номери варіантів:
- перша цифра – величин живильного напруги (рядок  $U_{c1}$  для одного і  $U_{c2}$  – для двох комплектів робочих обмоток);
- друга цифра – опорів навантаження (рядок  $R_n$ );
- третья цифра – величин кутів насичення (рядок  $\Theta_s$ ).

Таблиця 5.3. Варіанти вихідних даних

№№ п/п	Величина	Номера варіантів								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$U_{c1}, B$	42,5	45,0	47,5	50,0	52,0	54,0	56,0	58,0	60,0
	$U_{c2}, B$	90,0	94,0	98,0	100	102	104	106	108	100
2	$R_n, Ом$	175	200	225	250	275	300	325	350	350
3	$\Theta_s$	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	150°	15°

*Приклади розшифровки варіантів.*

Варіант МІ-234 – використовується один комплект робочих обмоток при напрузі живлення  $U_{c1}=45 B$ , опір навантаження  $R_n=225 Ом$ , кут насичення  $\Theta_s=75^\circ$ , навантаження включене за мостовою схемою (М),



Варіант ПОС2-573 – використовуються два комплекти послідовно з'єднаних робочих обмоток при напрузі живлення  $U_{c2} = 102 \text{ В}$ , включення навантаження на перемінному струмі, опір  $R_H = 325 \text{ Ом}$ , кут насичення  $\Theta_S = 60^\circ$ , із зовнішнім зворотним зв'язком по струму (необхідно використовувати випрямний міст  $V A 1!$ ).

#### 5.4.2. Темы рефератів

А. Як зміниться характеристика керування двухполупериодного МПС із включенням навантаження на перемінному струмі, якщо зворотні опори діодів у робочому ланцюзі не рівні ??

Б. Побудуйте монтажну схему двухполупериодного МПС із включенням навантаження за мостовою схемою і зворотним зв'язком по струму. Виберіть полярність обмотки ОС такий, щоб зворотний зв'язок був позитивною. Задавши характеристикою керування МПС без ОС у координатах  $I_H, I_y$ , побудуйте залежність  $I_{HOC} = f(I_y)$  після введення зворотного зв'язку.

В. Сформулюйте умови, при яких досягається релейний режим роботи МПС. Приведіть характеристику керування  $U_H = f(I_y)$  (з поясненням ходу її побудови) МПС, що працює в релейному режимі.

М. Зобразите протягом одного періоду живильного напруги графіки залежностей  $U_c, B_1 = f(\omega t)$  при умовах  $B_S = B_m, B_y = -B_S$ . Покажіть, як зміниться останній графік, якщо напруга живлення збільшити на 20%.

Д. Як відбивається введення позитивного зворотного зв'язку на статичних і динамічних параметрах МПС? Порівняйте значення коефіцієнтів підсилення, постійної часу і добротності МПС до і після введення позитивного зворотного зв'язку по напрузі.

#### 5.4.3. Перелік документів, необхідних для допуску до лабораторної роботи:

- характеристика керування МПС (табл.5.2 і рис.5.2);
- розрахунок параметрів МПС:  $k; k; k; k_p; T; D$ .
- графіки зміни основних величин МПС протягом одного періоду живильного напруги при заданому куті насичення  $\Theta_S$  (рис.5.3);
- монтажна схема дослідження (рис.5.5);
- реферат.

### 5.5. Указівки до виконання експериментальної частини

#### 5.5.1. Програма досліджень:

- зібрати за указівкою викладача один з варіантів монтажної схеми;
- зняти характеристику керування МПС, параметри якого збігаються з одним з варіантів розрахункових завдань;
- зняти осцилограми  $U_c, B_1, B_2, U_H, U_d = f(t)$ ;
- зібрати схему дослідження МПС із застосуванням обмотки зсуву;
- зняти характеристику керування МПС із зазначеним викладачем струмом зсуву;
- зібрати схему дослідження МПС із зовнішнім зворотним зв'язком;
- зняти характеристику керування МПС із зовнішнім зворотним зв'язком;
- реалізувати релейний режим роботи МПС і зняти дані релейної характеристики.

#### 5.5.2. Методика виконання роботи

Зборка схем експериментального дослідження МПС здійснюється шляхом з'єднання елементів і модулів стенда (рис.5.5) монтажними проводами відповідно до монтажних схем (рис.5.4), підготовленими в РГР членами бригади, за вказівкою керівника занять.



- від  $(-iy_0+I_{cm})$  до  $I_{cm}$  – при дослідженні МПС з обмоткою зсуву;
- у межах прямолінійної частини (3...5...5 крапок) характеристики керування МПС із зовнішньої ОС.

При дослідженні безконтактного реле на базі МПС для одержання релейної характеристики досить визначити 2 значення струму керування  $I_{y1}$  і  $I_{y2}$  при якій спостерігаються зриви струмів  $I_p$  (напруги  $U_n$ ) у ланцюзі навантаження до відповідного кожному з них пари значень:

$$I_{p01}, I_{pmax1}; (U_{p01}, U_{pmax1}); I_{pmax2}, I_{p02}; (U_{pmax2}, U_{p02}).$$

Досвідчені дані характеристики керування МПС без обмоток зсуву з ОС заносять у праву частину табл.5.2, а інші експериментальні результати – у табл.5.4. і 5.5. Експериментальний графік характеристики керування за даними табл.5.2 будується пунктиром разом з розрахунковою кривою в координатах рис.5.2. Інші графіки за результатами досвідів – на окремих малюнках.

Таблиця 5.4. Дані дослідження МПС з обмоткою зсуву

№№ п/п	$I_y$	$I_n$	$U_n$
	мА	мА	В
1			
•			
•			
8			
$U_c = \quad B; R_n = \quad Ом; I_{cm} = \quad mA.$			

Таблиця 5.5. Дані дослідження МПС зі зовнішньої зворотним зв'язком

№ № п/п	Режим підсилення			Релейний режим		
	$I_y$	$U_{ні}$	$I_{ні}$	$I_y$	$U_{ні}$	$I_{ні}$
	мА	В	А	мА	В	мА
1.						
2.						
•						
•						
9.						
$U_c = \quad B; w_{oc} = \quad ; R_n = \quad Ом.$						

При реалізації зовнішньої ОС по струму рекомендується як обмотку зворотного зв'язку використовувати (1Н-1К), а як обмотку керування – (2Н-2ДО). Рівень сигналу ОС необхідно зменшити, для чого в схемах із включенням навантаження на постійному струмі послідовно з опором  $R_n$  включається набір шунтів  $R_{ш}$  (див. рис.5.5), у сигнал знімається з одного з них. У режимі посилення для цього рекомендується шунт 0,1 Ом, а в релейному режимі – 1 чи 10 Ом. Якщо навантаження  $R_n$  використовується на перемінному струмі, то послідовно з нею включаються плечі випрямного моста VA 23-24, а до затисків 25-26 приєднується набір шунтів  $R_{ш}$  (рис.5.4). Зняття осцилограм  $U_c, U_n, U_d=f(t)$  виробляється після включення осцилографа подачею на його вхід сигналів із затисків (0-0) і (11-12), відповідно. Для осцилографування залежності  $U_d=f(t)$  сигнал на вхід осцилографа подається з затисків однієї з робочих обмоток, причому у випадку використання в робо-

чому ланцюзі одного їхнього комплекту допускається зняття сигналу затисків кожної з вільних робочих обмоток. Останній варіант використовується і для одержання осцилограм  $B_1, B_2=f(t)$  тільки сигнал із затисків вільної робочої обмотки подається на входи 15-16 інтегратора  $R-C$ , а з його виходів 17-18 на вхід осцилографа.

**УВАГА!** В усіх випадках експериментальні дослідження можна виконувати тільки після перевірки схеми викладачем.

### **5.6. Зміст експериментальної частини звіту**

- характеристика керування МПС, параметри якого збігаються з одним з варіантів розрахункових завдань;
- осцилограми  $U_c, B_1, B_2, U_n, U_d=f(t)$ ;
- характеристика керування МПС із зазначеним викладачем струмом зсуву;
- характеристика керування МПС із зовнішнім зворотним зв'язком;
- характеристика релейного режиму роботи МПС.

### **5.7. Література**

1. Чунихин А.А. Электрические аппараты.—М.: Энергтоиздат, 1988. — С. 245-269, 275-279.
2. Шопен Л. В. Бесконтактные электрические аппараты.—М.: Энергоатомиздат, 1966.—С. 114-163.