

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування  
Кафедра агроінженерії

**02-07-28М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи  
з дисципліни «Електротехніка, електрообладнання та засоби  
автоматизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)  
рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною  
радою з якості ННМІ  
Протокол № 2 від 02 жовтня 2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи з дисципліни «Електротехніка, електрообладнання та засоби автоматизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Пилипака Т. С., Данченков Я. В., Голотюк М. В., Налобіна О. О., Бундза О. З. – Рівне : НУВГП, 2024. – 60 с.

Укладачі: Пилипака Т. С. – к.т.н., доцент кафедри агроінженерії; Данченков Я. В. – к.т.н., доцент кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій; Голотюк М. В. – к.т.н., доцент кафедри агроінженерії; Налобіна О. О. – д.т.н., професорка, завідувачка кафедри агроінженерії; Бундза О. З. – к.т.н., доцент кафедри агроінженерії.

Відповідальний за випуск: Налобіна О. О., доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри агроінженерії.

Керівник групи забезпечення спеціальності  
Бундза Олег Зіновійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії.

Попередня версія 04-53-237

© Т. С. Пилипака,  
Я. В. Данченков,  
М. В. Голотюк,  
О. О. Налобіна,  
О. З. Бундза, 2024  
© НУВГП, 2024

# Лабораторна робота № 1

## Тема: «Вивчення та дослідження проводів і кабелів»

- Мета:** 1. Вивчити будову та, маркування проводів та кабелів ,  
2. Вміти експериментально виконувати розрахунок площі перерізу проводів та кабелів.  
3. Вміти розрахувати і вибрати раціональний варіант використання проводів та кабелів для сільськогосподарських споживачів.

### 1. Основні теоретичні відомості

**Провід** - це одна неізольована, одна чи більше ізольовані жили, поверх яких, залежно від умов прокладки і експлуатації, може бути неметалічна оболонка, обмотка або обплетення волокнистими матеріалами або дротом. Провід можуть бути голими і ізольованими.

**Голі дроти.** Голими називають дроти, струмопровідні жили яких не мають ніяких захисних або ізолюючих покриттів. Голі дроти (ПСО, ПС, А, АС і т. д.) в основному застосовують для повітряних ліній електропередач. Ізольованими є дроти, струмопровідні жили яких покриті ізоляцією з гуми або пластмаси. Ці дроти мають поверх ізоляції оплітку з бавовняної пряжі або оболонку з гуми, пластмаси або металевої стрічки. Ізольовані проводи підрозділяють на захищені і незахищені.

**Захищені проводи.** Захищеними називають ізольовані проводи, мають поверх електричної ізоляції оболонку, призначену для герметизації і захисту від зовнішніх впливів. До них відносяться дроти АПРН, ПРВД, АПРФ та ін. Незахищеним ізольованим проводом називається провід, який не має поверх електричної ізоляції оболонки. Це дроти АПРТО, ПРД, АППР, АППВ, ППВ та ін.

**Шнури.** Шнуром називається провід, що складається з двох і більше ізольованих гнучких або особливо гнучких жил перерізом до 1,5 мм<sup>2</sup>, скручених або покладених паралелей але, покритих в залежності від умов експлуатації неметалевою оболонкою або іншими захисними покриттями.

**Кабелі.** Кабелем називається одна або кілька скручених разом ізольованих жил, ув'язнених, як правило, у загальну гумову, пластмасову, металеву оболонку (НРГ, КГ, АВВГ н ін.). Оболонка служить для захисту ізоляції жил від впливу світла, вологи, різних

хімічних речовин, а також для запобігання їй від механічних пошкоджень.

**Інсталяційні дроти.** Інсталяційні проводи призначені для монтажу силових та освітлювальних мереж при нерухомій прокладці на відкритому повітрі і усередині приміщень. Виготовляють їх з мідними і алюмінієвими струмопровідними жилами, одно-і багатожильними, з гумовою і пластмасовою ізоляцією, незахищеними і захищеними від легких механічних пошкоджень. Струмопровідні жили проводів мають стандартні перетину, мм: 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 16,0 і т. д.

Найбільшого поширення ізольовані проводи та кабелі отримали при монтажі електропроводок. Неізольовані дроти застосовуються, в основному, при будівництві повітряних ліній. Пристрій проводів та кабелів показано на рис. 1 та 2

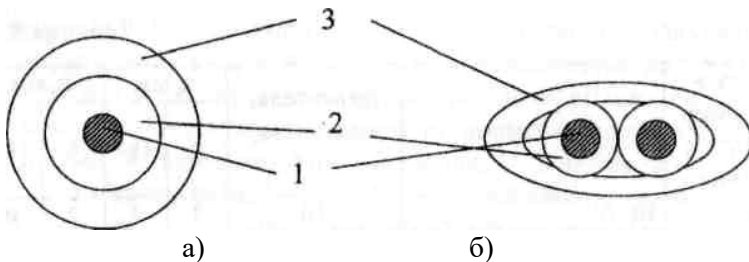


Рис 1 . Будова одножильного (а) і двожильного (б) проводів:  
1 ) струмопровідна жила ; 2 ) ізоляція ; 3 ) оболонка

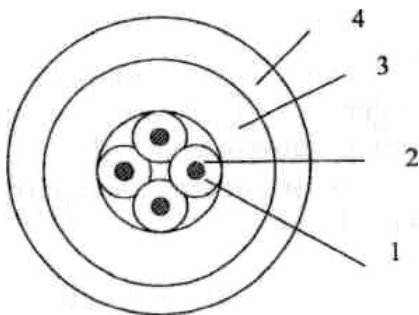


Рис..2 . Будова чотирьохжильного кабелю:

- 1 ) струмопровідна жила ; 2 ) ізоляція жили кабелю; 3 ) оболонка ,  
4 - зовнішній захисний покрив

Всі дроти і кабелі мають своє маркування . Для відмінності дротів від інших матеріалів, в їх маркуванні присутній буква « П».

Розглянемо деякі марки проводів. Наприклад - провід АПРВ Перша літера «А» означає, що жила проводу алюмінієва ; друга

« П» - провід . Третя літера вказує на вид ізоляції ( Р - гума , В - полівінілхлорид , Н - нейрит ( негорюча гума і т. д.). Четверта літера визначає матеріал оболонки ( за аналогією з матеріалом ізоляції)

Якщо перед буквою «П» немає літери « А » це означає , що жила проводу мідна . У маркуванні присутні й інші ознаки (призначення , ступінь гнучкості та ін) При визначенні виду робіт і потужності електроустановки обов'язково присутній кількість проводів або кабелів і переріз жил виробу .

Наприклад - АПВ1 ( 1Х2 , 5 ): один провід , одножильний , матеріал жили - алюміній , ізоляція полівінілхлоридна , перетин жили 2,5 мм кв.

З деякими спрощеннями маркування проводів можна віднести і до кабелів , однак треба мати на увазі , що тут немає літери « П».

Наприклад - ВВГ ( 3х4 ) + ( 1х2 , 5 ): один кабель гнучкий з мідними жилами , ізоляція жив і оболонка полівінілхлоридна ; три жили перетин 4 мм кв , одна жила перетином 2,5 мм кв.

Відомості про марку проводу , площі перетину його жил містяться в сертифікаті виробу - документі, що визначає його якість.

За відсутності паспортних даних (документ відсутній) їх можна визначити , порівнюючи невідомий провід з виробом , що має документ.

Крім того , перетин можна визначити шляхом інструментального ( штангенциркуль , мікрометр ) вимірювання діаметра жил і обчислення за допомогою формули . Для отримання більш точного результату діаметр вимірюємо триразово . Середнє значення  $D_{сер}$  визначається за формулою:

$$D_{сер} = (D1 + D2 + D3) / 3 , \quad (1)$$

де  $D1$  ;  $D2$  ;  $D3$  - діаметри жили провідника при трикратному його вимірі.

Далі знаходиться перетин жили :

$$S_{розрах} = 0.785nD_{сер}^2 \quad (2)$$

де:  $S_{розрах}$  - розрахунковий переріз жили;  $n$  - число неізолюваних провідників у одній жилі .

Результати розрахунків для досліджуваних провідників записуються у таблицю 1.

Таблиця 1 Результати розрахунків провідниково-кабельного виробу

№ Зраз-ка	$D1$	$D2$	$D3$	$D_{сер}$	$n$	$S_{розрах}$	$S_{ct}$	$A_{cu}$	$A_{al}$

Отримані розрахункові перерізи  $S_{розрах}$  для досліджуваних провідників порівнюємо зі стандартними перерізами (див. таблицю 2 і 3) , які , в більшості випадків, із ними не будуть збігатися.

Тому виберемо найближчий стандартне перетин (  $S_{ct}$  з першого стовця таблиць ) .

У таблиці є також допустимі струмові навантаження для мідних і алюмінієвих жил проводів та кабелів згідно ПЕУ .

Наприклад: для мідного дроту перетином 2,5 мм. кв. допустимий струм 30А , а для проводу алюмінієвого того ж перетину - струм 24А .

## **2. Зміст звіту**

1. Назва та мета роботи .
2. Ескізи перерізів проводів та кабелів.
3. Результати вимірювань перерізів жив запропонованих зразків проводу та кабелю та їх допустимих струмових навантажень .
4. Аналіз і розрахунок раціонального використання проводів та кабелів.

## **3. Контрольні запитання**

1. Яке призначення проводів та кабелів ?
2. Як з маркування розрізнити провід та кабель ?
3. Які методи визначення перетину жил ви знаєте?
4. До чого веде неправильне визначення необхідного перетину жил дроту і кабелю ?
5. У чому полягає раціональний вибір проводів і кабелів ?

## **4. Література:**

1. «Конструкційні та електротехнічні матеріали», під ред. В. А. Філікова, М.: Вышш. шк 1990р. 235с.
2. «Електроматеріалознавство», під ред. Н. Г. Дроздова і Н. В. Нікуліна, М.: Вышш. шк 1973р. 157с.

## Додатки

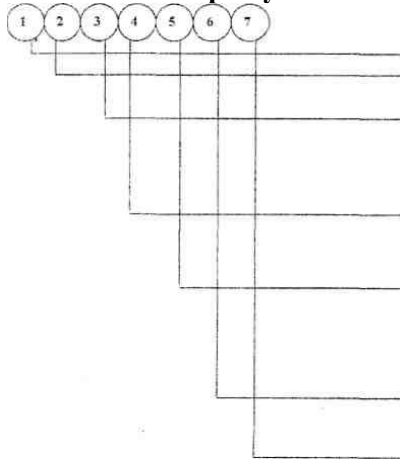
Таблиця 2. Допустимий тривалий струм для проводів і шнурів з гумовою і полівінілхлоридною ізоляцією з мідними жилами

Стандартні перерізи струмопровідної жили, мм <sup>2</sup>	Струм, А, для проводів, розміщених					
	Відкрито	В одній трубці				
		2-х жильних	3-х жильних	4-х жильних	1-го Двужильного	1-го трьох жильного
0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27 31
5	46	42	39	34	37	
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70



25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250

### Структурна схема позначення марок установчих проводів



1. Матеріал жили; А - алюміній , якщо літери А ні, то жили мідні , приклад АПВ і ПВ .

2. Найменування виробу ; П - провід ; ПП - провід плоский : У - інсталяційний , Ш - шнур , приклад - АПВ , АШПВ , ШР , УВГ .

3. Матеріал ізоляції ; А - азбест , В - полівінілхлорид , Р - гума , К - кремнійорганічна жаростійкий гума , Б - бутилова теплостійка гума , Н - найритова негорюча гума. І - гума із захисним шаром , П - поліетилен , Приклад ПАЛ . АПВ . ПРБС , АПН , ПП, ПРКС .

4. Призначення проводу; Г - гнучкий ; С - для прихованого прокладення, Т - для прокладення в трубі. 1,2,3,4 - ступінь гнучкості. ОГ - особливо гнучкий . Приклад ІРГ . АППВС . ПРТО , ПВ1 , ПВ2 , ПВ3 , ПВ4 , УВОГ .

5. Додаткові ознаки ; В - полівінілхлоридна оболонка .

О - х.б. обплетення , Л - х.б. обплетення з лаком , С - оплетка з склотканини , Ф- фальцьована оболонка . Ш - оплетка з шовку лавсан , Р - оболонка з гуми , П - панцерний , обплетення з дротів. Д - подвійний. Приклад АПРВ . ПРТО , ПРЛ , ПРКС , АПФР , ПРДШ , ПРРП .

6. Кількість жил , і їх перетин мм 2; якщо провід одножильний , кількість не ставиться. Приклад : АПВ - 2,5 мм2 , АППВ - 2х2 , 5 мм2 .

7. ДСТУ або ТУ .

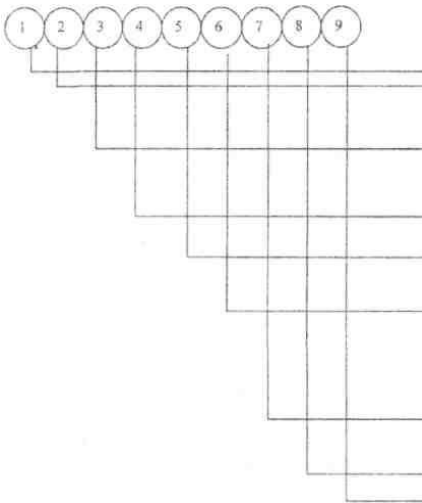
**Примітка:** Із загальних правил є винятки , наприклад , одножильні і дво жильні проводи з мідними жилами для зарядки арматури світильників позначені АР І АРД .

Таблиця 3. Допустимий тривалий струм для проводів з гумовою і полівінілхлоридною ізоляцією з алюмінієвими жилами .

Стандар тні перерізи струмо- провідно ї жили, мм2	Струм, А, для проводів, розміщених					
	Відкрито	В одній трубі				
		2-х одно жиль них	3-х одно жильни х	4-х одножиль них	1-го двужиль ного	1-го трьох жиль ного
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32

10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190

**Структурна схема позначення марок силових і контрольних кабелів напругою до 1000 В**



1. Матеріал жили; А , А с, А к , А м - алюміній і його сплави , якщо буква А відсутній , то жили мідні .

2. Найменування виробу : К- кабель для підключення пересувних механізмів , К - кабель контрольний . Якщо буква К відсутня , то кабель силовий для нерухомої прокладки.

3. Матеріал оболонки ; А - алюміній , В полівінілхлорид , П. поліетилен , П з Апв - само затухаючий або вулканізуючий поліетилен , Р - гума , С - свинець , Н - нар .

4. Матеріал ізоляції ; В - полівінілхлорид , П - поліетилен , Р - гума  
Якщо букви відсутні , то ізоляція паперова . Захисна броня ; Б -  
броньований двома сталевими стрічками. К - блокований  
оцинкованими сталевими дротами . П - броньований плоскими  
дротами .

5. Зовнішній покрив ; Г - без зовнішнього покриву . Шов , Ш а . -  
полівінілхлорид ний або поліетиленовий шланг Л і 2 Л- один йди два  
шари поліетилентерефталатної стрічки. А - асфальтовий. Якщо букви  
відсутні , то крої з просоченої кабельної пряжі.

6. Призначення; ПЛ - переносний легкий. ПС - переносний  
середній, ПТ - переносний важкий , С - для сільського господарства.

7. Кількість жил і їх перетин ;  $3 \times 50 + 1 \times 16$  .

8. ДСТУ або ТУ ,

## Лабораторна робота №2 .

### Тема « Дослідження характеристик трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

**1. Мета роботи:** Вивчити конструкцію, принцип дії та  
експериментально дослідити основні характеристики трифазного  
асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

### 2. Короткі теоретичні відомості

#### 2.1. Будова і принцип дії трифазного асинхронного двигуна

Трифазні асинхронні двигуни (АД) найбільш розповсюдженні в  
промисловості і сільському господарстві завдяки простоті, надійності  
і відносно низькій вартості в порівнянні з електродвигунами інших  
типів. Двигуни основного виконання призначені для роботи від  
мережі з частотою 50 Гц. У позначення типу АД всіх серій входить  
буква «А» (асинхронний). В даний час найбільш поширеною є серія  
АІР, яка замінила серію 4А.

Асинхронний двигун складається з статора і ротора, який  
обертається на підшипниках, встановлених в щитах (рис. 1.).

Магнітопроводи статора і ротора набирають з окремих листів  
електротехнічної сталі товщиною 0,35 ... 0,5 мм. Пакет листів статора  
встановлюється в чавунному або алюмінієвому корпусі, пакет листів  
ротора закріплюється на сталевому валу. У пази магнітопроводів  
статора і ротора укладаються обмотки.

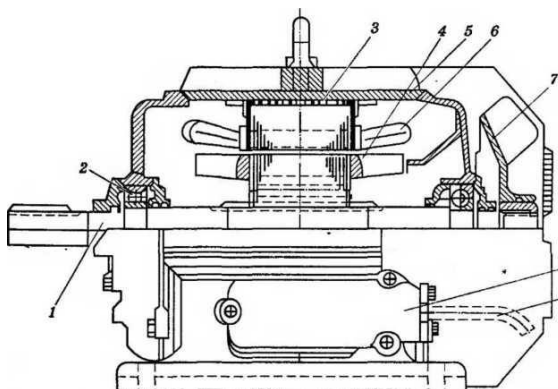


Рис. 1.. Пристрій асинхронного трифазного електродвигуна з короткозамкнутим ротором:

1 - вал; 2 - підшипник; 3 - магнітопровід статора; 4 - ротор; 5 - корпус; 6 - обмотка статора; 7 - вентилятор; 8 - клемна коробка; 9 – проводи

Магнітна система (магнітопровід) асинхронного двигуна складається із двох частин: зовнішньої нерухомої, що має форму порожнього циліндра і внутрішньої - обертового циліндра (рис. 2).

Обидві частини асинхронного двигуна збираються з листів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм. Ці листи для зменшення втрат на вихрові струми ізолюваний друг від друга шаром лаку.

Нерухлива частина машини називається статором, а обертова – ротором (від латинського stare – стояти й rotate – обертатися).

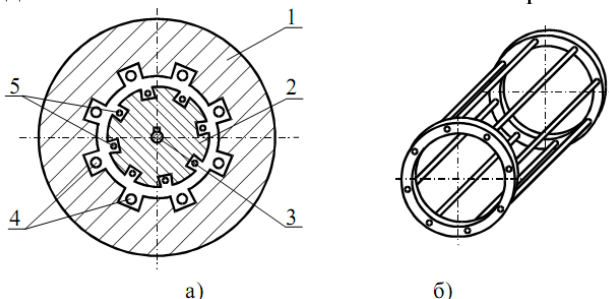


Рис. 2 - Схема пристрою асинхронного двигуна: поперечний розріз (а); обмотка ротора (б)  
 1 - статор; 2 - ротор; 3 - вал; 4 - витки обмотки статора; 5 - витки обмотки ротора

У пазах із внутрішньої сторони статора покладена трифазна обмотка, струми якої збуджують обертове магнітне поле машини. У

пазах ротора розміщена друга обмотка, струми в якій індують ся обертовим магнітним полем.

Магнітопровід статора укладений у масивний корпус, що є зовнішньою частиною машини, а магнітопровід ротора укріплений на валу.

Ротори асинхронних двигунів виготовляються двох видів: короткозамкнені й з контактними кільцями. Перші з них простіші по будові пристрою й частіше застосовуються.

Обмотка короткозамкненого ротора являє собою циліндричну клітку («біляча колесо») з мідних шин або алюмінієвих стрижнів, замкнених на коротко на торцях двома кільцями (рис. 2,б). Стрижні цієї обмотки вставляються без ізоляції в пази магнітопроводу.

Застосовується також спосіб заливання пазів магнітопроводу ротора розплавленим алюмінієм з одночасною відливкою і замикаючих кілець.

## 2.2. Характеристики асинхронного двигуна.

Швидкість обертання обертового магнітного поля визначається або кутовою частотою  $\omega$ , або числом обертів  $n$  у хвилину. Ці дві величини зв'язані формулою

$$n = 30\omega / \pi \quad (1)$$

Характерною величиною є відносна швидкість обертового магнітного поля, називана *ковзанням*

$$s = \frac{\omega - \omega_p}{\omega} \text{ або } s = \frac{n - n_p}{n}, \quad (2)$$

де,  $\omega_p$  - кутова частота ротора, рад/с;  $n_p$  - число обертів у хвилину, об/хв.

Чим ближче швидкість ротора  $n_p$  до швидкості обертового магнітного поля  $n$ , тим менше ЕРС, що індують ся полем у роторі, а, отже, і струми в роторі. Убування струмів зменшує обертаючий момент  $M_{вр}$ , що впливає на ротор, тому ротор двигуна повинен обертатися повільніше обертового магнітного поля - асинхронно.

При збільшенні механічного навантаження асинхронного двигуна гальмуючий момент на валу стає більше обертаючого й ковзання  $S$  зростає.

Збільшення ковзання викликає зростання ЕРС і струмів в обмотці ротора, завдяки чому збільшується обертаючий момент  $M_{\text{впр}}$  і відновлюється динамічна рівновага обертаючого  $M_{\text{впр}}$  и гальмуючого  $M_m$  моментів:

$$M_{\text{впр}} = M_m = M \quad (3)$$

Таким чином, збільшення навантаження асинхронного двигуна викликає збільшення його ковзання.

У сучасних асинхронних двигунів ковзання навіть при повному навантаженні відносно невелике - близько 0,04 (чотири відсотки) у малих і близько 0,015-0,02 (півтора-два відсотки) у великих двигунів.

Характерна крива залежності  $M$  від ковзання  $S$  показана на рис. 3,а.

Максимум обертового моменту розділяє криву  $M = f(S)$  на стійку частину від  $S = 0$  до  $S_k$  і нестійку частину від  $S_k$  до  $S = 1$ , у межах якої обертаючий момент зменшується з ростом ковзання.

На ділянці від  $S = 0$  до  $S_k$  при зменшенні гальмуючого моменту  $M_m$  на валу асинхронного двигуна збільшується швидкість обертання, ковзання зменшується, так що на цій ділянці робота асинхронного двигуна стійка.

На ділянці від  $S_k$  до  $S = 1$  зі зменшенням  $M_m$  швидкість обертання збільшується, ковзання зменшується й обертаючий момент збільшується, що приводить до ще більшого зростання швидкості обертання, так що робота двигуна нестійка.

Таким чином, поки гальмуючий момент  $M_m < M_{\text{max}}$ , динамічна рівновага моментів автоматично відновлюється. Коли ж  $M_m > M_{\text{max}}$ , при подальшому збільшенні навантаження зростання ковзання приводить до зменшення обертового моменту  $M$  і двигун зупиняється внаслідок переваги гальмуючого моменту над обертаючим.

Для практики велике значення має залежність швидкості двигуна  $n_p$  від навантаження на валу  $n_p = F(M)$ . Ця залежність зветься *механічною характеристикою* (рис. 3,б).

Як показує крива рис. 3,б, швидкість асинхронного двигуна лише незначно знижується при збільшенні обертаючого моменту в межах від нуля до максимального значення  $M_{max}$ . Таку залежність називають жорсткою.

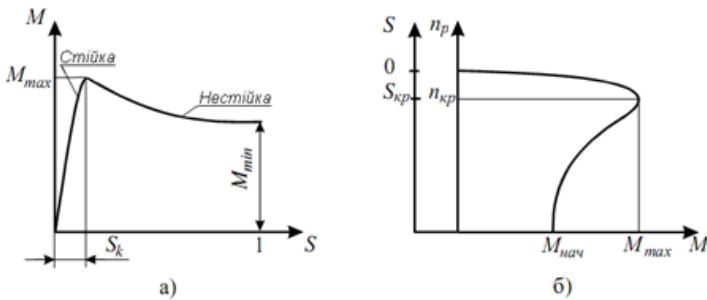


Рис. 3 - Залежність обертаючого моменту на валу асинхронного двигуна від ковзання (а) і механічна характеристика (б)

Механічна характеристика асинхронного двигуна може бути представлена як залежність  $M(s)$ :

$$M = \frac{2M_{max}}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s}}, \quad (4)$$

Підставивши в /4/ замість біжучих значень  $M$  і  $s$  їх номінальні значення  $s_n$  і  $M_n$  та позначивши  $M_k / M_n = \lambda$ , одержимо

$$s_k = s_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \quad (5)$$



Графік механічної характеристики трифазного АД, побудований за рівнянням ( 4 ), представлений на рис. 4.

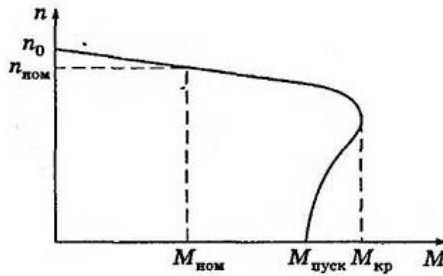


Рис 4. Механічна характеристика АД в руховому режимі

На рис. 4 наведена механічна характеристика двигуна, ротор якого має круглі пази. Ділянка характеристики від  $n = n_0$  до  $n = n_k$  відповідає рівнянню ( 4 ).

Робочі характеристики двигуна середньої потужності наведені на рис. 5. Їх характер пояснюється наступним. Залежність струму статора від навантаження  $I_1 = f(P_2)$  нелінійна. При  $P_2=0$  струм статора визначається, в основному, струмом намагнічування. При збільшенні навантаження збільшуються ковзання, е.р.с. обмотки ротора і, як наслідок, зростає струм ротора. Це зростання не є пропорційним, бо одночасно змінюється і реактивний опір обмотки ротора  $x_2 = \omega L_p = 2\pi f L_p s$ , де  $L_p$  - індуктивність обмотки.

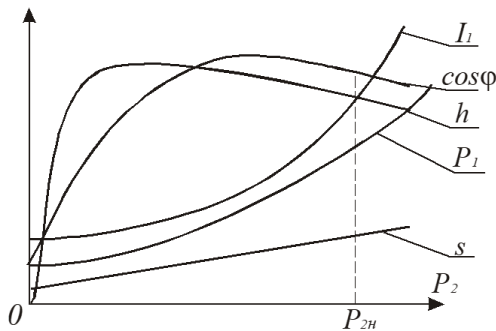


Рис. 5 . Робочі характеристики двигуна середньої потужності.

Робоча характеристика  $\cos\varphi_1 = f(P_2)$  виражає залежність між корисною потужністю і потужністю, яку споживає двигун, тобто показує, яка частина повної потужності перетворюється в механічну потужність. Це перетворення залежить від фазового зсуву між напругою і струмом статора. Фазовий зсув визначає також потужність, яка йде на створення електромагнітного поля. Асинхронний двигун, як і трансформатор, споживає із мережі струм  $I_0$ , який йде на створення основного магнітного потоку і який відстає від напруги на кут  $\varphi_1$ , близький до  $\pi/2$ . Тому при холостому ході  $\cos\varphi_1 \leq 0.2$ . При збільшенні навантаження збільшуються активні складові струмів ротора і статора, що призводить до різкого збільшення  $\cos\varphi_1$ . Максимального значення  $\cos\varphi_1$  досягає при  $P_2 \approx P_{2n}$ . При подальшому збільшенні  $P_2$  величина  $\cos\varphi_1$  починає зменшуватись. Це зумовлене збільшенням ковзання, а значить і реактивного опору обмотки ротора, а значить, і фазового зсуву  $\varphi_2$ . Зі збільшенням  $\varphi_2$  збільшується і  $\varphi_1$ , а  $\cos\varphi_1$  буде зменшуватись. Для асинхронних двигунів номінальний  $\cos\varphi_{1n} = 0,75 \dots 0,95$ . Менша цифра відноситься до двигунів малої потужності.

Характер робочої характеристики  $\eta = f(P_2)$  пояснюється наступним. Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1}. \quad (6)$$

Втрати потужності  $\Delta P$  згідно з (6) складається із постійних втрат і змінних, які пропорційні квадрату струму і які залежать від навантаження. При холостому ході переважають втрати в сталі, бо  $I_2 \approx 0$  і  $I_1$  дорівнює струму холостого ходу, який близький до струму намагнічування  $I_0$ . Зі збільшенням  $P_2$  змінні втрати (втрати в міді обмоток  $p_{m1}$  і  $p_{m2}$ ) зростають і коли вони досягнуть постійних втрат, к.к.д. буде максимальним. При подальшому зростанні  $P_2$  змінні втрати збільшуються, що призводить до значного зменшення к.к.д. Коефіцієнт корисної дії асинхронних двигунів досить високий і знаходиться в межах  $0,7 \dots 0,96$  в залежності від потужності: двигуни великої потужності мають вищий к.к.д.

Вид робочої характеристики  $P_1 = f(P_2)$  визначає те, що  $P_1 = P_2 / \eta$ . Оскільки залежність  $\eta = f(P_2)$  спочатку різко зростає, досягає максимуму, а потім знижується, то крива  $P_1 = f(P_2)$  спочатку збільшується помалу, а потім значно зростає, наближаючись до прямої лінії.

Важливою характеристикою асинхронних двигунів є пусковий струм, який в залежності від потужності і конструкції більший номінального в 5...7 разів. Це зумовлено тим, що в момент пуску робота двигуна подібна до роботи трансформатора в режимі короткого замикання, бо індукована в обмотці ротора е.р.с.  $E_{20}$  максимальна із-за пересікання її магнітним потоком зі швидкістю  $n_0$ . Максимальна е.р.с. спричинить максимальний струм в обмотці ротора і відповідно – максимальний (пусковий) струм в обмотці статора. Після пуску е.р.с.  $E_2 = E_{20} \cdot s$  буде зменшуватись, зменшуватись будуть і струми в обмотках ротора і статора до значення, яке відповідатиме рівності моменту двигуна моменту сил опору механізму, який приводиться в рух.

### 3 Програма роботи

1. Ознайомитись з будовою і принципом роботи трифазного асинхронного двигуна з коротко замкненим ротором.
2. Вивчити схему пуску і будову гальмівного механізму.
3. Експериментально дослідити робочі характеристики двигуна.
4. За експериментальними і розрахунковими даними в одних координатах побудувати робочі характеристики.
5. За паспортними даними двигуна побудувати механічну характеристику і порівняти її з експериментальною. Зробити висновки щодо точності розрахунків.

### 4. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 6.) складається з трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором  $M$ , тахогенератора  $BR$ , механічного пристрою для створення і вимірювання гальмівного моменту МП, автоматичного вимикача  $QF$  і вимірювальних приладів (амперметра  $PA$ , вольтметра  $PV$ , трифазного ватметра  $PW$ ), які знаходяться на окремі панелі.

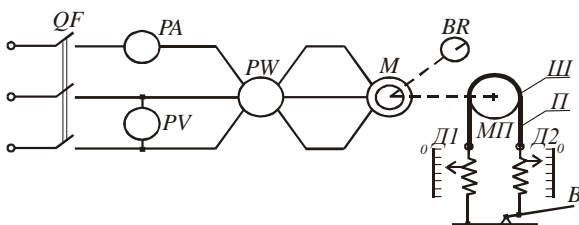


Рис. 6. Схема лабораторної установки

Пристрій для створення і вимірювання гальмівного моменту  $M_c$  складається із шківів  $Ш$ , паса  $П$ , двох пружинних динамометрів  $D_1$  і  $D_2$  і важеля  $B$ . Натяг паса здійснюють за допомогою важеля. Натягуючи пас, змінюють силу тертя  $F_m$ , яка чисельно дорівнює різниці показів динамометрів.

Гальмівний момент в ньютонах

$$M_c = R_{ш} g (F_1 - F_2), \quad (7.)$$

де  $R_{ш}$  - радіус шківів в метрах;  $F_1$  і  $F_2$  - покази динамометрів в кілограмах;  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ .

В усталеному режимі момент двигуна врівноважується гальмівним моментом, тобто

$$M = M_c. \quad (8)$$

Паспортні дані двигуна і радіус шківів вказані на панелі приладів.

## 5. Порядок виконання роботи

1. Вивчаючи будову розібраного асинхронного двигуна, зверніть увагу на форму пазів, в яких знаходяться обмотки статора і ротора, на систему вентиляції і визначить число пар полюсів за номінальною швидкістю обертання і за з'єднанням секцій обмотки статора. Крім того, зверніть увагу на конструкцію магнітопроводів двигуна.

2. Оскільки двигун невеликої потужності, то пуск здійснюють безпосереднім підключенням обмотки статора до мережі живлення автоматичним вимикачем, натиснувши верхню кнопку.

Для створення гальмівного моменту використовується шків з пасом. Випробуйте дію пристрою при нерухомому роторі, натиснувши на важіль, і зверніть увагу на покази динамометрів при зміні сили натягу паса.

3. Експериментальне дослідження робочих характеристик проводять у такій послідовності. При не натягнутому пасі включають двигун і в режимі холостого ходу покази вольтметра, амперметра, ватметра і тахогенератора заносять в табл. 1.

Поступово навантажуючи двигун гальмівним пристроєм, записати покази приладів для значень струму, вказаних в табл. 1.

Таблиця 1

№ п/п	Виміряно						Вирахувано				
	$I_1,$ $A$	$U,$ $B$	$P_1,$ $Bm$	$n$	$F_1$	$F_2$	$M$	$P_2$	$s$	$\cos\varphi_1$	$\eta$
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											

4. За даними вимірювань вирахувати момент за формулою /7./ якщо відомо що  $R_{ш}$  - радіус шківів в метрах = 0,1, потужність, ковзання,  $\cos\varphi$  і  $\eta$  за такими формулами:

$$P = M\omega = \frac{\pi}{30} M$$

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}; \quad (n_0 = 1500)$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI} - \text{при з'єднанні обмотки зіркою};$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

За даними експериментів і вимірювань в одній системі координат побудувати робочі характеристики  $I_1 = f(P_2)$ ,  $P_1 = f(P_2)$ ,  $s = f(P_2)$ ,  $\cos\varphi_1 = f(P_2)$  і  $\eta = f(P_2)$ .

## 6. Контрольні запитання

1. Що створює обертове магнітне поле в асинхронному двигуні?
2. Як залежить швидкість обертання магнітного поля статора від числа полюсів?
3. Як визначити швидкість ідеального холостого ходу двигуна?
4. Що таке ковзання і як його визначити?
5. З якою швидкістю рухається у просторі магнітне поле ротора?
6. Чому трифазний двигун змінного струму назвали асинхронним двигуном?
7. Чи залежить частота струму в обмотці ротора від ковзання?
8. Чому залежність коефіцієнта корисної дії від корисної потужності має екстремум?
9. Чим пояснити великий пусковий струм асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором?

## Лабораторна робота №3.

### Тема: « Дослідження релейних елементів»

#### 1. Мета роботи

1. Ознайомитися з будовою і принципом дії реле : електромагнітних та на герконах.
2. Експериментально визначити статичні характеристики і основні параметри заданих релейних елементів

#### 2. Теоретичні відомості

**Реле** пристрої, що використовуються для керування виникненням або припиненням процесів у виконавчому колі, якщо в керуючому колі величина, на яку реагує реле, досягає певних значень

Основні параметри реле визначаються із статичної характеристики реле (рис.1)

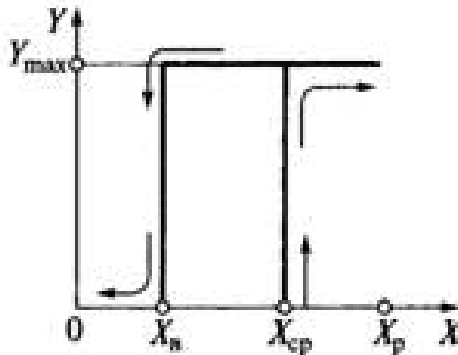


Рис. 1. Статична характеристика електромагнітного реле.

**Параметр спрацювання ( $X_{сп}$ )** мінімальне значення вхідної величини, при якому вихідна величина приймає значення до спрацювання реле.

**Параметр відпускання ( $X_{вп}$ )** - максимальне значення вхідної величини, при якому вихідна величина приймає значення до спрацювання реле.

Відношення  $X_{вп} / X_{сп} = K_{пов} \leq 1$  - **коефіцієнт повернення.**

Відношення  $X_{ном} / X_{сп} = K_3 > 1,5$  - коефіцієнт запасу.

**X ном** - номінальний або робочий параметр; це таке значення вхідної величини, при якому забезпечується надійне спрацювання реле.

**Y кер** - це максимальне значення вихідної (комутованої) величини, при якому забезпечується безаварійна надійна робота контактів реле.

Завжди  $Y_{кер} \gg X_{ном}$

Відношення  $Y_{кер} / X_{ном} = K_k$  - параметр керування.

Оскільки за природою, характером зміни та потужністю вхідна й вихідна величини різні, реле є перетворювачем та підсилювачем сигналів. Залежно від природи вхідної величини розрізняють електромагнітні, пневматичні, гідравлічні, теплові, фотореле, реле часу та ін. Найбільш поширені електромагнітні реле.

Схему нейтрального електромагнітного реле постійного струму показано на рис. 2. Під час проходження струму по котушці 1 у магнітопроводі, що складається з осердя 10 та якоря 9 виникає магнітний потік; якір притягується до осердя, контактна група 7, 8 розмикається (розмикальний контакт), а контактна група 6, 7 замикається (замикальний контакт). Коли котушка знеструмлена, якір відтягується пружиною 8. Сила притягання якоря  $F_n$  дорівнює

$$F_n = k(I\omega)^2 dG d\delta, \quad (1)$$

де  $k$  – сталий коефіцієнт;  $I$  – струм у котушці;  $\omega$  – кількість витків котушки;  $G$  – магнітна провідність зазору між якорем та котушкою;  $\delta$  – зазор.



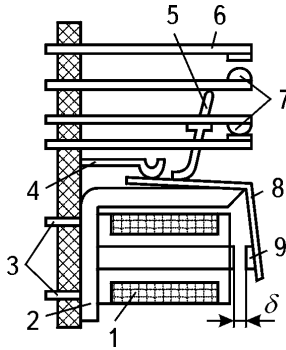


Рис. 2 – Будова нейтрального електромагнітного реле

Це реле є нечутливим до полярності струму, оскільки сила притягання якоря залежить від квадрата струму  $I^2$ , тому його називають *нейтральним*.

Часто виникає потреба живити реле від мережі змінного струму. Якщо увімкнути котушку реле постійного струму в коло змінного струму, якір і контакти реле вібруватимуть, оскільки два рази за період струм дорівнюватиме нулю. Для усунення вібрації частину осердя в поперечному перерізі охоплюють короткозамкненим витком із міді. При цьому в магнітному колі діятимуть два потоки – основний і сформований короткозамкненим витком. Останній буде відставати за фазою від основного потоку, результуючий потік не дорівнюватиме нулю, і вібрація якоря припиниться.

До електромагнітних реле постійного струму належать також геркони. *Геркони* – це без'якірні малогабаритні реле з магнітокерованими герметизованими контактами. Геркон (рис. 3) становить собою скляний балон 1, усередині якого містяться контактні пружини 2, виготовлені з феромагнітного матеріалу. Зовні скляного балона розміщено котушку 3, яка створює магнітне поле.

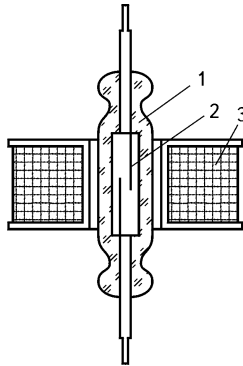


Рис. 3 – Будова геркона

Якщо контактні пружини намагнічуються різнойменно, вони притягуються одна до одної, якщо однойменно, то відштовхуються. Поверхні контактування пластин покривають тонким шаром добре провідних металів (срібло, золото). Герметизація запобігає шкідливому впливу

В автоматичних системах досить часто вимагається, щоб елементи, в тому числі і електромагнітні реле, реагували не тільки на значення, але й на полярність струму на вході. Наприклад, в системі автоматичного регулювання температури, при температурі, яка перевищує те значення, що вимагається, повинен включатись охолоджувач (наприклад, вентилятор), а при температурі нижче значення, що вимагається, повинен включатись нагрівач. Отже, реле при одній полярності вхідного сигналу повинно включати одну групу контактів, а при іншій полярності – іншу.

Для одержання в електромагнітному механізмі знакозмінної залежності сили тяжіння від напрямку вхідного сигналу необхідна наявність двох магнітних потоків: потоку, що створюється струмом в обмотці реле, і постійного, незмінного за величиною і напрямком, що створюється зазвичай постійним магнітом. Таким чином, при одному напрямку струму в обмотці реле магнітні потоки будуть додаватись, а при іншому напрямку струму – відніматись. Отже, модифікація напрямку струму призведе до модифікації абсолютної величини магнітного потоку, чого не було в електромагнітних нейтральних реле.

Чутливість до напрямку (поляризація) здійснюється за рахунок постійного магнітного потоку. Всі поляризовані реле основані на

використанні в електромагнітному механізмі двох потоків. За конструктивною схемою магнітного кола розрізняють поляризовані реле, що побудовані за диференційною і мостовою схемами. За кількістю стійких положень якоря розрізняють двопозиційні і трипозиційні поляризовані реле. Поляризоване реле з диференційною схемою магнітного кола показано на рис. 4. Робочий (керувальний) магнітний потік  $\Phi_u$  створюється при проходженні струму по обмотці реле, що складається з двох однакових половин 1 і 1', ввімкнених послідовно та узгоджено. Постійний (поляризувальний) магнітний потік  $\Phi_p$  створюється постійним магнітом 2. Котушки реле 1 і 1' розміщені на нерухомому осерді 3. Якір 4 може обертатись відносно вісі  $O$  в робочому зазорі  $d$ . На якорі розміщений рухомий контакт, який може замикатись з нерухомими контактами 5 або 5'.

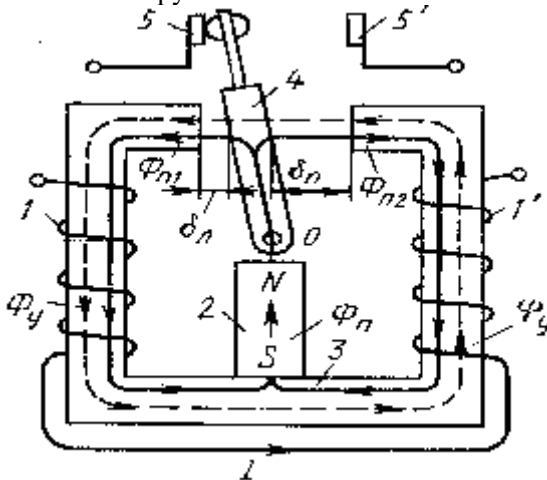


Рис. 4. Поляризоване реле

Шлях магнітного потоку  $\Phi_u$  показаний пунктиром, а шлях магнітного потоку  $\Phi_p$  – неперервною лінією. Напрямок потоку  $\Phi_p$  незмінний, а напрямок потоку  $\Phi_u$  залежить від напрямку струму в котушці реле. На рис. 4 напрямок потоку  $\Phi_u$  показаний для позначеного на цьому рисунку напрямку струму  $I$ .

Поляризувальний потік  $\Phi_p$  проходить по якорю 4 і розділяється на дві частини  $\Phi_{p1}$  і  $\Phi_{p2}$  у відповідності з провідностями повітряних зазорів ліворуч ( $d_l$ ) і праворуч ( $d_p$ ) від якоря.

В залежності від полярності струму в обмотці реле робочий потік  $\Phi_u$  віднімається від потоку  $\Phi_{p1}$  в зазорі ліворуч від якоря і додається

до потоку Фп2 в зазорі праворуч від якоря (як показано на рис. 4), або навпаки: потоки додаються в лівому зазорі і віднімаються в правому зазорі при протилежному напрямку струму. На якір діють дві електромагнітні сили, направлені назустріч одна одній, кожна з яких пропорційна квадрату потоку у відповідній частині зазору. Для напрямків струму і магнітних потоків, що наведені на рис. 4, результуюче тягове зусилля змусить якір перекинутись з лівого положення в праве. При відключенні вхідного сигналу ( $I=0$ ) якір залишається в тому ж положенні, що він займав до вимикання сигналу. Реле, яке показано на рис. 4, є двопозиційним. Підсумкове електромагнітне зусилля, що діє на якір поляризованого реле, направлене в сторону того зазору, в якому керувальний і поляризувальний магнітні потоки додаються.

### 3. Порядок виконання роботи

1. Для дослідження електромагнітного реле, складаємо схему, рис.4, і визначаємо параметри спрацювання і відпускання наступним чином. Вмикаємо вимикачем S і регульованим випрямлячем UD1 збільшуємо напругу живлення обмотки реле KL1 до моменту спрацювання. При спрацюванні реле, притягнеться до осердя якір, замкнуться контакти і засвітиться сигнальна лампа HL1. Значення напруги і струму спрацювання записуємо в таблицю 1. Дослід повторюємо 5-6 разів.

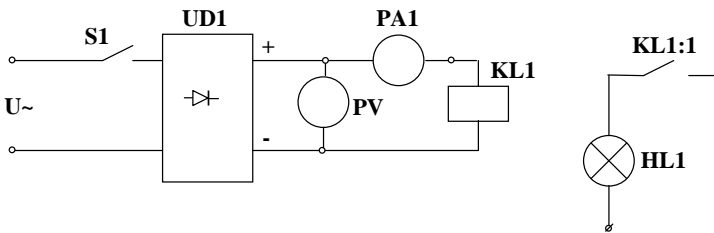


Рис.4. Схема установки для дослідження електромагнітного реле

Після спрацювання реле, напругу живлення поступово зменшуватимемо і в момент відпускання якоря (сигнальна лампа HL1 погасне) значення напруги і сили струму відпускання ( $U_{вп}$ ,  $I_{вп}$ ) записуємо в таблицю 2. Дослід повторюємо 5-6 разів. Номінальна потужність  $P_H$  вмикання реле і потужність керування  $P_K$  приведені на передній панелі лабораторного стенда.

Для дослідження герконового (без'якірного) реле складаємо схему дослідної установки, рис.5а, визначаємо напругу і струми спрацювання та відпускання, результати дослідів записуємо в таблицю2. Номінальна потужність вмикання реле і потужність керування приведені на передній панелі лабораторного стенда.

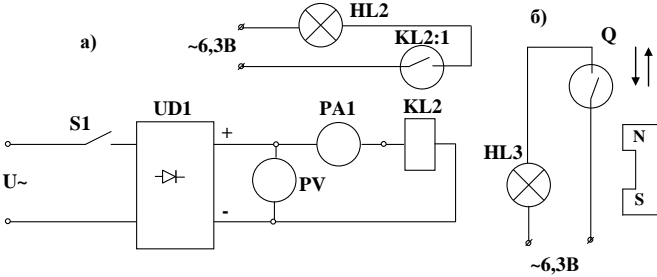


Рис.5. Схеми вмикання герконового реле за допомогою обмотки (а) і постійного магніту (б)

#### 4. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені таблиці з дослідними даними, схеми включення реле, побудовані згідно отриманих даних статичні характеристики реле (зразок рис. 6) і висновки по роботі.

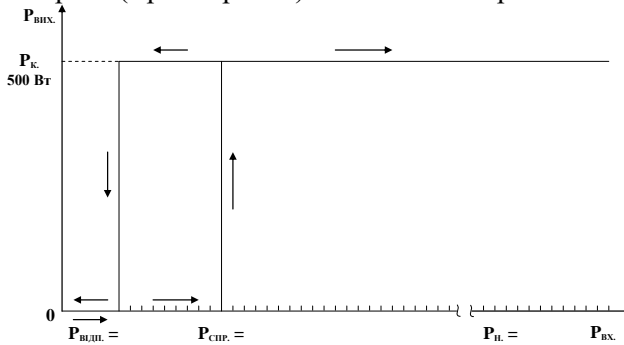


Рис.6. Зразок статичної характеристика реле

#### 5. Контрольні питання

1. Будова і принцип дії нейтрального реле.
2. Будова і принцип дії поляризованого реле
3. Будова і принцип дії герконового реле
4. Де використовуються електромагнітні реле?
5. Розкрийте основні параметри реле, що визначаються із статичної характеристики

Таблиця .1

## Параметри реле постійного струму

	Виміряти				Вирахувати				
	Параметри спрацювання		Параметри відпускання		Р <sub>сп</sub> , Вт	Р <sub>вп</sub> , Вт	К <sub>з</sub>	К <sub>пов</sub>	К
	U <sub>сп</sub> , В	I <sub>сп</sub> , А	U <sub>вп</sub> , В	I <sub>вп</sub> , А					
1									
2									
3									
4									
5									
6									
Сер.									

Таблиця 2.

## Параметри герконового реле

	Виміряти				Вирахувати				
	Параметри спрацювання		Параметри відпускання		Р <sub>сп</sub> , Вт	Р <sub>вп</sub> , Вт	К <sub>з</sub>	К <sub>пов</sub>	К
	U <sub>сп</sub> , В	I <sub>сп</sub> , А	U <sub>вп</sub> , В	I <sub>вп</sub> , А					
1									
2									
3									
4									
5									
6									
Сер.									

Реле постійного струму

Р<sub>н</sub> = 3,4 ВтР<sub>к</sub> = 500 Вт

Герконове реле

Р<sub>н</sub> = 1,2 ВтР<sub>к</sub> = 7,5 Вт

## Лабораторна робота №4

**Тема: «Вивчення релейних перетворювачів неелектричних величин»**

### **1. Мета роботи**

1. Вивчити будову та принцип роботи релейних перетворювачів неелектричних величин для контролю, сигналізації та дискретного керування рівня, температури, тиску, швидкості обертання..

2. Вміти вибрати раціональний варіант використання релейних перетворювачів в практичній діяльності

### **2. Основні теоретичні відомості**

Для забезпечення нормальної роботи промислових і сільськогосподарських об'єктів (насосних станцій, трансформаторних підстанцій та інш.) та автоматизації виробничих процесів потрібно здійснювати контроль, сигналізацію ряду неелектричних величин таких як: рівень рідини та сипучих матеріалів, температуру, диск, оберти електродвигунів та інше.

В наш час розроблено і випускається багато різних пристроїв для здійснення контролю та сигналізації вказаних величин, які відрізняються зовнішнім виглядом, конструкціями, призначенням, але в основу їх роботи закладені одні і ті ж принципи дії.

Серед таких перетворювачів велику кількість складають такі, в яких вихідна величина змінюється стрибкоподібно при досягненні вхідною (контрольованою) величиною певного заданого значення. Такі перетворювачі дістали назву релейних перетворювачів неелектричних величин.

#### **2.1. Контроль і вимірювання рівня.**

**Контроль рівня** здійснюється поплавковими, електродними і фотоелектричними датчиками.

В поплавковому реле зміна рівня води змінює положення поплавка, який через механічну передачу замикає, розмикає контакти електричного кола.

В електродному датчику рівня використовуються електропровідність води. Розглянемо будову та принцип дії електродного сигналізатора рівня ЕРСУ-3. На рис.1 показана спрощена принципова схема цього сигналізатора

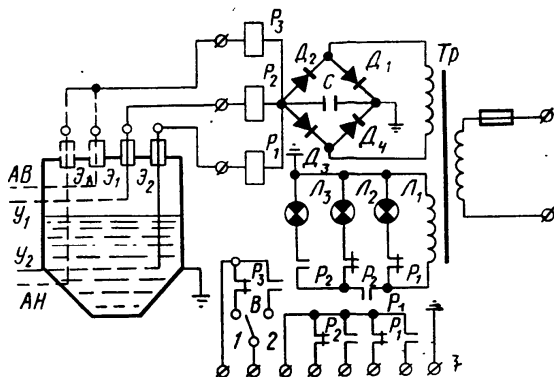


Рис. 1. Спрощена принципова схема електродного сигналізатора рівня (ЕРСУ-3).

Принцип дії ЕРСУ базується на електропровідності рідини. Досягаючи електрода, вода замикає електричне коло протікання струму в якому використовується у якості сигналу про рівень. Електрод представляє собою стержень з нержавіючої сталі, які, за допомогою спеціального кріплення ізолюється від стінок резервуару, на якому він установлюється. Електричні кола зв'язують електроди із котушками реле. При спрацьовуванні того чи іншого реле загораються лампи індикації Л1-Л3.

## 2.2. Контроль і вимірювання тиску.

Для контролю наявності тиску газоподібного середовища чи рідини використовують реле тиску, в яких мембрана (рис.2, а), сильфон (рис.2, б) чи манометрична пружина (рис.2, в) при досягненні заданого тиску замикають або розмикають контакти електричного кола.



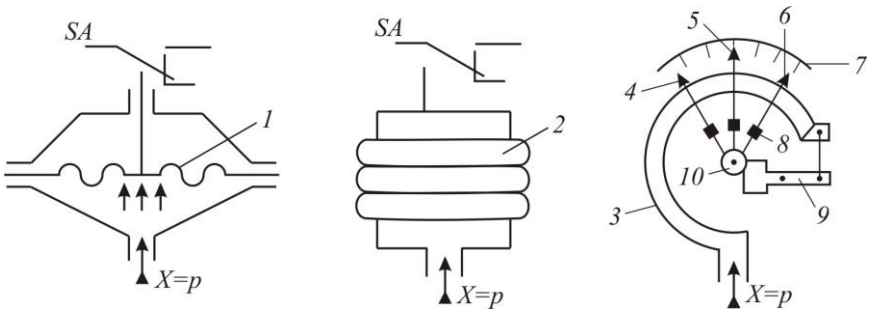


Рис. 2. Схематичні зображення мембранного (а), сифонного (б) реле тиску і електроконтактного манометра (в):

- 1 – мембрана; 2 – сиффон; 3 – манометрична трубчаста пружина; 4, 6 – задавальні стрілки відповідно мінімального і максимального тисків; 5 - показуюча стрілка; 7 – шкала; 8 – електричні контакти; 9 – зубчатий сектор; 10 – зубчате колесо; SA – мікроперемикач.

Аналогічну функцію сигналізації і регулювання з можливістю змінювати задані межі мінімального і максимального тисків виконують електроконтактні манометри (рис.4, в). При дії тиску на манометричну пружину 3 вона пропорційно величині тиску випрямляється і через зубчатий сектор 9 повертає зубчате колесо 10, на якому закріплена показуюча стрілка 5. На задавальних (4, 6) і показуючій (5) стрілках закріплені контакти 8. Якщо тиск знаходиться в заданих межах електричні кола розімкнуті. При досягненні показуючою стрілкою задавальної контакти замикаються і в колі виникає струм.

## 2.3. Контроль і вимірювання температури

### 2.3.1. Термометри, засновані на розширенні твердих тіл

До цієї групи приладів відносяться дилатометричні і біметалічні термометри, засновані на зміні лінійних розмірів твердих тіл зі зміною температури.

1) Конструктивне виконання дилатометричних термометрів засновано на перетворенні вимірюваної температури в різницю абсолютних значень подовжень двох стрижнів, виготовлених з матеріалів з істотно різними термічними коефіцієнтами лінійного розширення:

$$\beta_{t_1, t_2} = \frac{l_{t_1} - l_{t_2}}{l_0 (t_2 - t_1)}, \text{ 1/град, } (1)$$

де  $l_0$ ,  $l_{t_1}$ ,  $l_{t_2}$  - лінійні розміри тіла при  $0^\circ\text{C}$ , температурах  $t_1$  і  $t_2$  відповідно.

У силу того, що  $\Delta\beta$  мале, дилатометричні термометри застосовуються як різний рід теплових реле в пристроях сигналізації і регулювання температури.

2) **Біметалічні** термометри засновані на деформації біметалічної стрічки при зміні температури. Звичайно застосовуються біметалічні стрічки, зігнуті у виді плоскої чи гвинтової спіралі. Один кінець спіралі укріплено нерухомо, другий - на осі стрілки. Кут повороту стрілки дорівнює куту закручування спіралі, що пропорційний зміні температури.

Біметалічні термометри забезпечують зміну температури з відносними погрішностями 1 - 1,5 %.

### 2.3.2 Газові манометричні термометри

В основу принципу дії манометричного термометра покладена залежність між температурою і тиском термометричної (робочої) речовини, позбавленої можливості вільно розширюватися при нагріванні.

Манометричні термометри звичайно містять у собі термобалон, капілярну трубку і трубчасту пружину з повідцем, зубчастим сектором і стрілкою (див. рис3).

Уся система заповнюється робочою речовиною. При нагріванні термобалона, встановленого в зоні вимірюваної температури, тиск робочої речовини усередині замкнутої системи збільшується. Збільшення тиску сприймається манометричною пружиною, що впливає через передавальний механізм на стрілку чи перо приладу.

Газові манометричні термометри засновані на залежності температури і тиску газу, укладеного в герметично замкнуту термосистему.

Перевага: шкала приладу практично рівномірна.

Недоліки: порівняно велика інерційність і великі розміри термобалона.

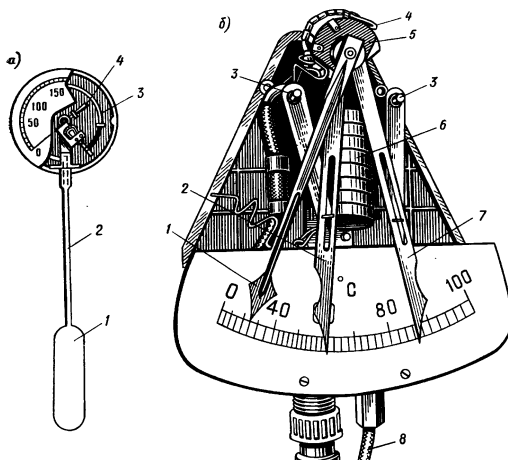


Рис. 3. Термометри парові манометричні.  
а) показуючий, б) сигналізуючий ТСМ-100

## 2.4. Електромеханічне реле контролю швидкості (РКС)

Електромеханічне реле контролю швидкості (рис.4) працює за принципом асинхронного двигуна.

Ротор реле являє собою постійний магніт 1, з'єднаний з валом двигуна, швидкість якого вимірюється. Постійний магніт поміщений всередині алюмінієвого циліндра 5, що має обмотку у вигляді білячої клітини.

Циліндр може повертатися навколо осі на невеликий кут і перемикає при цьому за допомогою упору 3 контакти 4 (6).

При нерухомому двигуні упор займає середнє положення і контакти реле перебувають у нормальному положенні. При обертанні двигуна і тим самим магніту 1 вже при невеликих швидкостях на циліндр 5 починає діяти обертальний момент, під впливом якого він повертається і забезпечує за допомогою упору 3 перемикання контактів 4.

При швидкості двигуна, близькою нулю, циліндр повертається в середнє положення і контакти 4 переходять у свій нормальний стан. Величина швидкості, при якій перемикаються контакти реле, визначається положенням настроювальних гвинтів 2.

Реле контролю швидкості зручно використовувати при автоматизації процесу гальмування, коли потрібно забезпечувати відключення двигуна від мережі після зниження його швидкості до

нуля, тому реле контролю швидкості дуже часто використовуються в схемах автоматичного гальмування трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором методом противмикання.

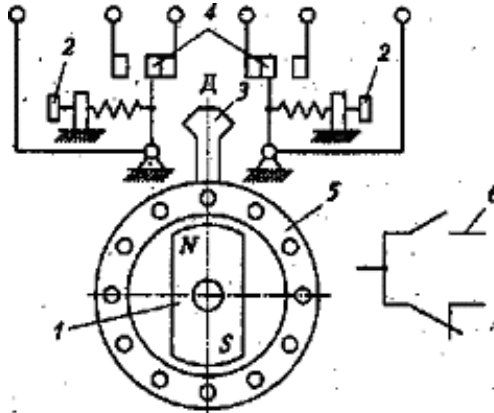


Рис.4. Схема пристрою реле контролю швидкості РКС

### Технічні характеристики реле контролю швидкості РКС

Номінальний струм контактів - 2,5 А.

Номінальна напруга змінного струму на контактах 500 В.

Частота обертання реле максимальна - 3 000 об / хв.

Кількість і рід контактів - 2 перемикаючих

### 3. Зміст роботи.

1. Ознайомитися з конструкціями релейних перетворюючих величин, які представлені на лабораторному стенді.

2. Вивчити принцип їх роботи і місце застосування .

3. У звіті привести схеми і короткий опис принципу дії релейних перетворювачів ЕРСУ, ТСМ -100 , РКС, мембранного . сильфонного та електроконтактного манометра

### 4. Контрольні питання.

1. Поясніть принцип дії всіх розглянутих релейних перетворювачів неелектричних величин.

2. Для контролю яких технологічних процесів вашої галузі можна використовувати ці перетворювачі?

## Лабораторна робота №5.

### Тема: «Дослідження первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків)»

#### 1. Мета роботи

1. Ознайомитися з конструкцією і принципом дії первинних вимірювальних перетворювачів кутового і лінійного переміщення, деформації, частоти обертання, температури.
2. Практично визначити статичні характеристики досліджуваних первинних вимірювальних перетворювачів неелектричних величин.

#### 2. Основні теоретичні відомості

##### 2.1 Датчики неелектричних величин.

Джерелом інформації про величину контрольованої чи регульованої фізичної величини є датчики. Датчиком називається пристрій, який призначений для перетворення вхідної неелектричної величини (температура, тиск, витрата, концентрація і т.і.) в іншу фізичну величину, яка придатна для використання в пристроях автоматичного контролю, вимірювання, регулювання. Вихідними величинами (сигналами) повинні бути Е.Р.С. або струм, а для систем пневмоавтоматики - тиск.

Оскільки сучасні автоматичні системи обладнанні пристроями цифрової обробки сигналів (контролери, процесори, комп'ютери), тому вихідні сигнали мають бути уніфікованими і регламентовані за видом і величиною, а саме:

- напруга постійного струму  $0 — 5$ ;  $0 — 20$ ;  $0 — 100\text{мВ}$ ;  $0-15$ ;
- постійний струм  $0-5$ ;  $4 — 20$ ;  $0 — 100\text{мА}$  ;
- напруга змінного струму  $0 — 1$ ;  $0 — 25$ ;
- пневматичний сигнал  $0,02 — 0,1 \text{ МПа}$ ;
- двійковий цифровий код.

За принципом перетворення датчики Д можна поділити на прямої та непрямої дії (або генераторні та параметричні). В датчиках прямої дії - генераторних вхідна неелектрична величина

$X_{вх}$  безпосередньо перетворюється у вихідну електричну величину - Е.Р.С, (рис. 1 а) наприклад, термопара, фотодіод, тахогенератор і ін.

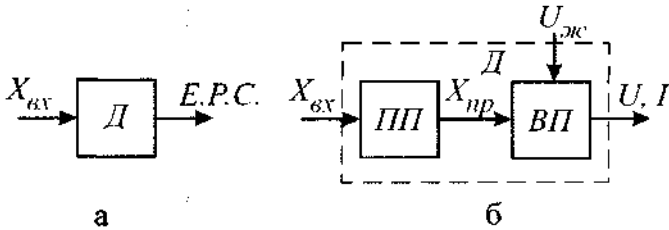


Рис. 1. Структурні схеми датчиків прямої дії (а) і непрямой дії (б): ПП - первинний перетворювач; ВП - вторинний перетворювач;  $U_{жс}$  - напруга живлення.

У датчиків непрямой дії – параметричних ( рис. 1, б), є мінімум два перетворювачі первинний перетворювач (ПП) і один або кілька вторинних перетворювачів (ВП). У первинному перетворювачі відбувається перетворення вхідної неелектричної величини  $X_e$  (температури, тиску, різниці тисків і ін.) в проміжку неелектричну величину  $X$  (лінійне переміщення, зміну омичного опору, індуктивності, ємності і ін.), яка у вторинному перетворювачеві за рахунок енергії зовнішнього джерела енергії  $U_{жс}$  перетворюється в електричний сигнал. До таких датчиків відносяться поплавкові, буйкові, ємнісні, манометричні перетворювачі рівня рідин, мембранні, сильфонні перетворювачі тиску, резистивні перетворювачі температури, деформації. До вторинних перетворювачів відносяться контактні перетворювачі (замикання і розмикання електричного кола), диференційно-трансформаторні перетворювачі, листові схеми вимірювання, уніфікуючі перетворювачі і аналого-цифрові перетворювачі.

Метрологічні властивості датчиків описуються статичними і динамічними характеристиками. Статичною характеристикою називається функціональна залежність зміни вихідної величини  $X_{вих}$  від

зміни вхідної величини  $X_{вх}$  в усталеному режимі. Усталеним називається режим роботи, при якому зміни вхідної і вихідної у

функції часу є сталими. Різні види статичних характеристик датчиків наведені на рис. 2.

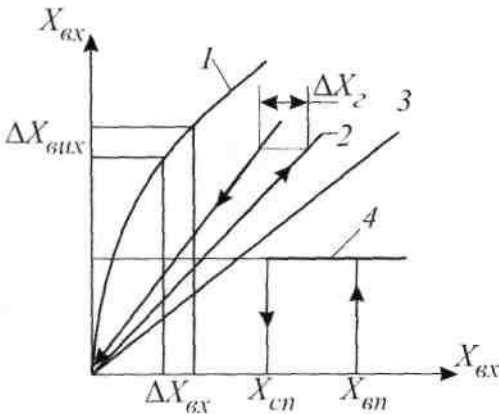


Рис. 2. Статичні характеристики датчиків: 1 - нелінійна; 2 - лінійна із гістерезисом  $\Delta X_2$ ; 3 - лінійна без гістерезису; 4 - стрибкоподібна (релейна).

Статичні характеристики датчиків мають задовольняти певні вимоги; однозначність (мінімальний гістерезис  $\Delta X_2 >$ ); лінійність; висока чутливість, яка визначається за формулою:

$$S = \frac{\Delta X_{вх}}{\Delta X_{вх}}$$

## 2.2. Параметричні первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП).

До параметричних первинних вимірювальних перетворювачів відносяться перетворювачі активного і реактивного опорів.

До ПВП активного опору відносяться потенціометри, терморезистори, тензорезистори, фоторезистори і ін.

Потенціометричний ПВП являє собою змінний опір, ввімкнутий за схемою подільника напруги, рис. 1а

В режимі холостого ходу вихідна напруга  $U_{вих}$ . Визначається за формулою:

$$U_{вих} = IR_x = \frac{U_{вх}}{R} R_x \quad (1)$$

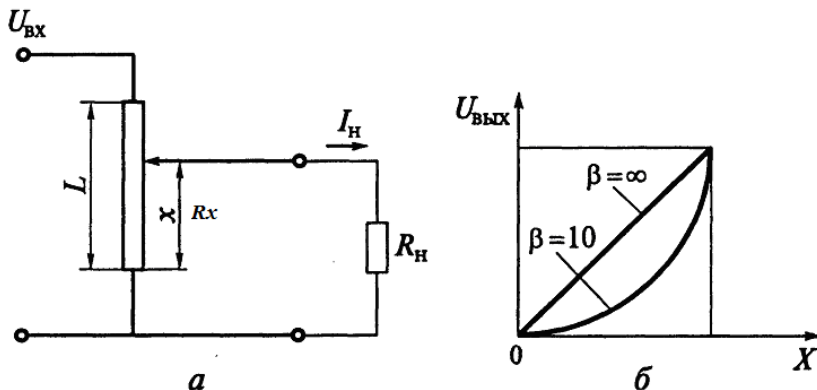


Рис. 1. Потенціометричний перетворювач  
а - схема вмикання; б - статична характеристика

Оскільки опір  $R_x$  пропорційний переміщенню  $X$  ковзаючого контакту потенціометра, тобто

$$R_x/R_0 = x/L \quad (2)$$

Так як  $U_{вх}$  та  $L = \text{const}$  тоді,  $U_{вх}/L = \text{const} = k$

Тобто  $U_{вих} = kx \quad (3)$

Звідси видно, що статична характеристика буде мати лінійний характер, крива  $\beta = \infty$ , рис. 1.б.

Якщо опір датчика  $R_d$  одного порядку з величиною опору навантаження  $R_н$  то струмом  $I_н$  знехтувати не можна і тоді (враховуючи еквівалентну схему паралельно включених опорів)

статична характеристика буде нелінійною, рис. 1 б, крива.  $\beta = 10$ .



Для зменшення похибки вимірювання, обумовленої нелінійністю статичної характеристики, вимагається, щоб вхідний опір вторинного вимірювального приладу був на один - два порядки більше опору потенціометра, тобто  $R_H \geq 10R_D$ .

Позитивними якостями потенціометричних перетворювачів є простота конструкції, малі габарити, можливість роботи на постійному і змінному струмах.

Основними недоліками є невисока надійність за рахунок наявності ковзаючого контакту і залежність лінійності статичної характеристики від вхідного опору вторинного вимірювального приладу, що впливає на точність вимірювання.

### 2.2.1.. Термометричні первинні вимірювальні перетворювачі

Термоперетворювачі опору поділяються на термометри опору платинові (ТОП) і термометри опору мідні (ТОМ).

Чутливим елементом в ТОП є платинова спіраль, яка розміщена в канавках керамічного каркасу і закріплена там ізоляційним порошком, наприклад, керамічним. Зміна опору в ТОП описується рівнянням

$$R_T = R_0 (1 + AT + BT^2) \quad (4)$$

$R_T$  - опір при вимірюванні температурі;

$R_0$  - опір при температурі  $0^\circ\text{C}$ .

$A=3,988 \cdot 10^{-3}$  1/град.,  $B=5,847 \cdot 10^{-7}$  1/град<sup>2</sup>.

Діапазон вимірювання температури: від  $-260$  до  $+750^\circ\text{C}$ .

Кожен тип термометра опору характеризується номінальною статичною характеристикою (НСХ), тобто залежністю електричного опору від температури в числовому вигляді.

Показники НСХ при температурі  $0^\circ\text{C}$  приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Термометри опору :	ТОП			ТОМ		
ТИП :	гр. 21	50 П	100П	гр.23	50 М	10 0М
Значення $R_0$ , Ом	46	50	100	53	50	10 0

Чутливим елементом ТОМ є безкаркасна обмотка з тонкого мідного дроту, покритого фторопластовою плівкою, яка розміщена в тонкостінній металевій гільзі і засипана керамічним порошком.

Зміна опору від температури середовища, в якому знаходиться чутливий елемент ТОМ, відбувається згідно рівняння

$$R_T = R_0 (1 + \alpha T) \quad (5)$$

де,  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$  1/град - температурний коефіцієнт опору.

Загальний вигляд статичних характеристик приведений на рис. 6

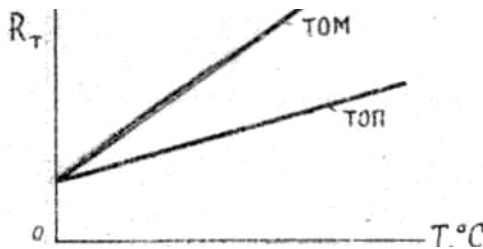


Рис.6. Статичні характеристики термометрів опору типу ТОМ і ТОП

Терморезистори являються інерційними елементами, тобто, зміна температури не приводить до миттєвої зміни їх опору.

### 2.2.2. Індуктивні (трансформаторні) первинні вимірювальні перетворювачі

Вимірювальний перетворювач механічної величин (переміщення, зусилля, кута повороту) в зміну коефіцієнта трансформації трансформатора або коефіцієнта взаємної індукції між його первинною і вторинною обмотками.

Дія трансформаторного датчика ( ТД ) заснована на залежності ЕРС, що наводиться у вторинній обмотці трансформатора, від одного із зазначених коефіцієнтів, що змінюються відповідно до зміни повітряного зазору в магнітопроводі трансформатора, взаємного розташування обмоток і т.п.

На рис. 7а показана схема найпростішого трансформаторного датчика, в якому відповідно до переміщення  $x$  , що вимірюється, змінюється зазор в магнітопроводі. При постійній амплітуді напруги  $U_1$  напруга  $U_2$  залежить від розміру зазору, тобто від  $x$ . Для поліпшення метрологічних характеристик ТД його вторинну обмотку

зазвичай ділять на дві ідентичні секції (рис.,7 б), включені зустрічно (диференційно). При симетричному розташуванні рухомої частини магнітопроводу щодо секцій вторинної обмотки сумарна напруга на них практично дорівнює нулю; при зміщенні рухомої частини воно змінюється відповідно величині зсуву.

Для диференційно –трансформаторного датчика (ДТД) характерні висока чутливість, лінійність статичної характеристики, а отже, точність перетворення і вимірювання. Такі датчики дозволяють, наприклад, вимірювати переміщення від 0,01 до 20 мм і більше.

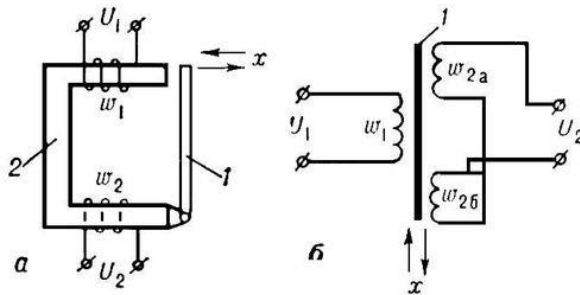


Рис 7. Принципова схема трансформаторного датчика переміщення:

а - зі змінним зазором; б - диференціального;

1 - рухома частина магнітопроводу (якір); 2 - його нерухома частина;  $U_1$  - напруга живлення;  $U_2$  - вторинна напруга;  $w_1$ ,  $w_2$  - обмотки датчика;  $x$  - вимірювана величина (переміщення).

Перевагою індуктивних перетворювачів є відсутність ковзаючого контакту, велика чутливість і довговічність.

Основними недоліками є обмеженість лінійної частини характеристики, залежність коефіцієнта перетворення від величини напруги живлення обмотки збудження.

## 2.3. Генераторні первинні вимірювальні перетворювачі

### 2.3.1. Тахометричні вимірювальні перетворювачі

Тахогенераторами називаються спеціальні електромеханічні генератори постійного або змінного струму, призначені для вимірювання частоти обертання. Тахогенератор постійного струму принципово подібний генератору постійного струму з незалежним збудженням, рис. 8.

Для стабільності в роботі магнітний потік збудження створюється постійним магнітом.

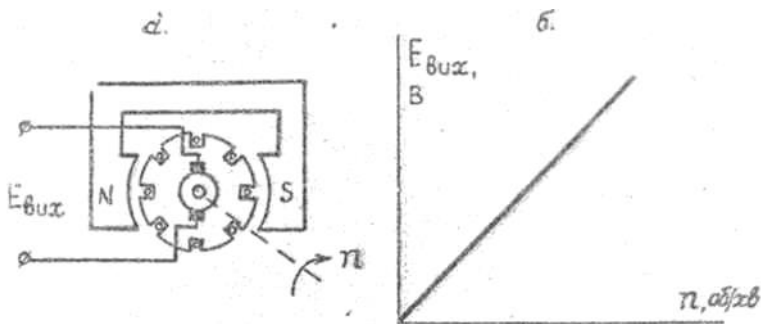


Рис. 8. Схематична будова (а) і статична характеристика (б) тахогенератора  
 Е.р.с. тахогенератора,  $E_{TG} = kn\Phi$ , (6)

Де  $k$  - коефіцієнт, який залежить від конструктивних параметрів машини ;  
 $\Phi$  - магнітний потік збудження;  
 $n$  - частота обертання якоря тахогенератора.

Оскільки магнітний потік збудження постійний; а тахогенератор працює з режимі холостого ходу (реакцією якоря можна знехтувати), то

$$E_{TG} = k_T n \quad (7)$$

де  $k_T$  - коефіцієнт перетворення тахогенератора.

Тахогенератори повинні забезпечувати лінійність характеристики з точністю 0,1 - 0,5 і величину е.р.с. до 100 В.

### 2.3.2. Електричні термометри (термопари)

Принцип дії цього типу термометрів заснований на залежності термо-ЕРС (ТЕРС) ланцюга від зміни температури.

У термоелектричному ланцюзі, що складається з двох провідників А (3) і В (4) (рис. 9. ) виникають 4 різні ТЕРС: 2 ТЕРС у місцях спаїв провідників А і В, ТЕРС на кінці провідника А и ТЕРС на кінці провідника В.

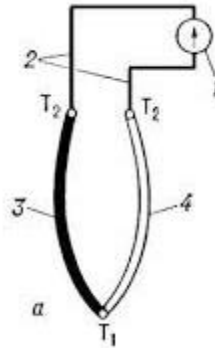


Рис. 9 Схематична будова термопары

1. вимірювальний прилад; 2 – лінія зв'язку (сполучні проводи);  
3 і 4 провідники, що утворюють термопару

Сумарна ТЕРС, що виникає при нагріванні спаїв провідників до температур  $t$  і  $t_0$ :

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0),$$

де  $e_{BA}$  і  $e_{AB}$  - ТЕРС, обумовлена контактною різницею потенціалів і різницею температур кінців А і В.

ТЕРС  $E_{AB}(t, t_0)$  є функцією від температури гарячого спаю  $t$  за умови сталості температури холодного спаю  $t_0$ .

Термопары градууються при визначеній постійній температурі  $t_0$  (звичайно  $t_0 = 0$  °С чи 20 °С). При вимірюваннях температура  $t_0$  може відрізнятись від градуювального значення. У цьому випадку вводиться відповідне виправлення в результат вимірювання:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'_0) + E_{AB}(t'_0, t_0).$$

Виправлення  $E_{AB}(t'_0, t_0)$  дорівнює ТЕРС, що розвиває дана термопара при температурі гарячого спаю  $t'_0$  і градуювальному значенні температури холодних спаїв. Виправлення береться позитивне, якщо  $t'_0 > t_0$ , і негативне, якщо  $t'_0 < t_0$ .

Величина виправлення може бути узята з градуювальної таблиці.

*Конструктивне* виконання термопар різноманітне і залежить головним чином від умов їхнього застосування. При необхідності вимірювання невеликої різниці температур чи одержання великої ТЕРС застосовуються диференціальні термопары і термобатарей, що представляють собою трохи послідовно з'єднаних термопар.

*Компенсація* зміни температури холодних спаїв термопар. Правильне вимірювання температури можливо лише при сталості

температур вільних спаїв  $t_0$ . Воно забезпечується за допомогою сполучних проводів і спеціальних термостатуючих пристроїв. Сполучні проводи в даному випадку призначені для переносу вільних кінців термопар в зону з відомою постійною температурою, а також для приєднання вільних кінців термопар до затискачів вимірювальних приладів. Сполучні проводи повинні бути термоелектрично подібні термоелектродам термопар.

Як правило, сполучні проводи для термопар, виготовлених з неблагородних металів, виконуються з тих же самих матеріалів, що і термоелектроди. Виключення складає хромель-алюмелева термопара, для якої з метою зменшення опору лінії як сполучні проводи застосовується мідь у парі з константаном.

*Градування термопар:* **ХА** - хромель-алюмелеві (по міжнародній класифікації – градуировка К); **ХК** - хромель-копелеві (L);

**ПП** - платинородій-платинові (S) і ін.

Вимоги до термопар:

- 1) відтворюваність,
- 2) висока чутливість,
- 3) надійність,
- 4) стабільність,
- 5) достатній температурний діапазон.

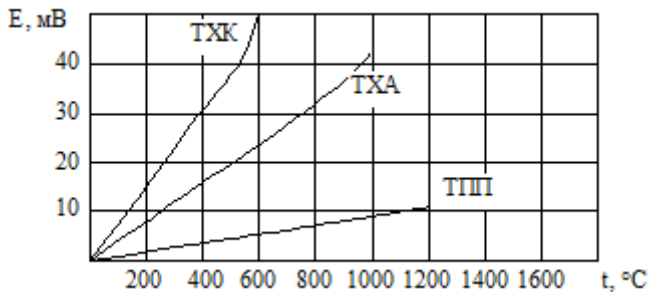


Рис. 10. Градувальна таблиця промислових термопар

### 3. Експериментальна частина

#### 3.1. Дослідження потенціометричного перетворювача кутових переміщень

Ознайомитися із схемою, рис. 9, дослідної установки

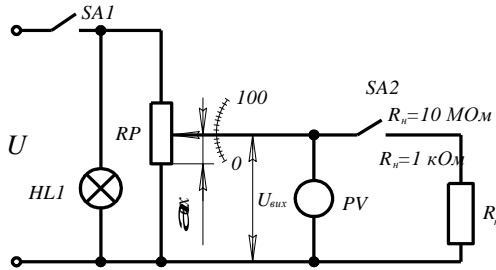


Рис. 9. Схема установки для дослідження потенціометричного ПВП

Таблиця 2.

№ досліджу		1	2	3	4	5	6
$R_H = 1 \text{ кОм}$	Кут, градусів	15	30	45	60	75	90
	$U_{\text{вих}}, \text{ В}$						
$R_H = 10 \text{ МОм}$	Кут, градусів	15	30	45	60	75	90
	$U_{\text{вих}}, \text{ В}$						

Ввімкнути вимикачем SA1 живлення потенціометра RP під еднавши вольтметр PV. Поставити перемикач SA2 в положення  $R_H=10\text{МОм}$ . змінюючи положення ковзаючого контакту від "0" до "100" через кожні  $30^\circ$  ( 1 поділка =  $3^\circ$ ), записати значення кута  $\alpha$  і вихідної напруги  $U_{\text{вих}}$  в таблицю 2. Досліди, повторити при навантаженні  $R_H=1 \text{ кОм}$  ( поставити вимикач SA2 в положення  $R_H=1 \text{ кОм}$ ). Після закінчення досліджу вимкнути SA1.

#### 3.2. Дослідження тахометричного перетворювача частоти обертання

Повернути ручку регулювання напруги автотрансформатора T проти годинникової стрілки до кінця і ввімкнути напругу живлення вимикачем SA3. Приєднати вольтметр pV. Змінюючи напругу живлення двигуна Д який обертає тахогенератор, записати значення частоти обертання по приладу Pn і вихідну напругу тахогенератора

$U_{вих.}$  в таблицю 3. Дослід провести при збільшенні і зменшенні частоти обертання.

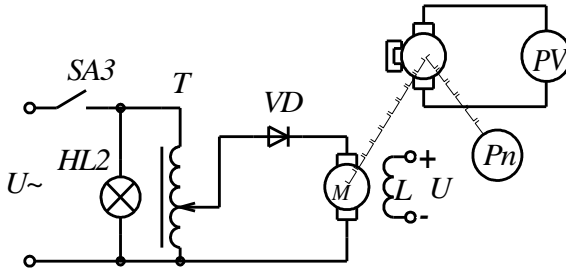


Рис. 10. Схема установки для дослідження тахогенератора

Таблиця 3

№ досліду		1	2	3	4	5	6
При збільшенні $n$	$n$ , об/хв						
	$U_{вих.}$ , В						
При зменшенні $n$	$n$ , об/хв.						
	$U_{вих.}$ , В						

Після закінчення досліду вимкнути напругу живлення автотрансформатора Т.

### 3.3. Дослідження диференційно-трансформаторного перетворювача лінійних переміщень

Ознайомитися із схемою рис 11, дослідної установки

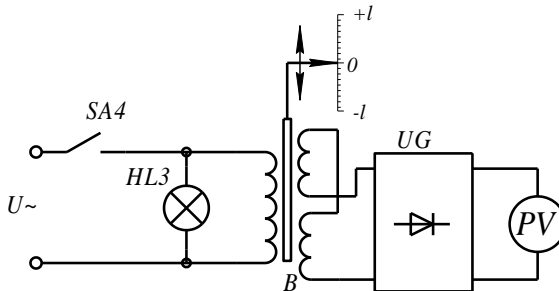


Рис. 11. Схема установки для дослідження диференційно-трансформаторного ПВП.

Вимикачем SA4 ввімкнути напругу живлення обмотки збудження перетворювача В. Приєднати вольтметр PV. Переміщуючи плунжер



від нейтрального положення “0” в напрямку додатних значень  $+l$  через  $2 \div 3$  мм записати покази вольтметра  $pV$  і  $l$  в таблицю 4.

Таблиця 4.

№ досліду	1	2	3	4	5
$+l$ , мм	0	+3	+6	+9	+12
$+U_{вих}$ , В					
$-l$ , мм	0	-3	-6	-9	-12
$-U_{вих}$ , В					

Аналогічні вимірювання провести в напрямку  $-l$ . Після закінчення досліду вимкнути напругу живлення.

### 3.4. Дослідження термометричного перетворювача температури.

Ознайомитися із схемою дослідної установки, рис. 12.

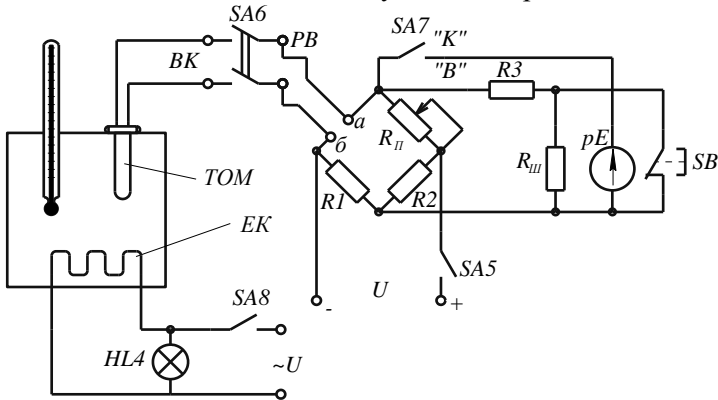


Рис. 12. Схема установки для дослідження термометра опору

Перевести перемикач SA6 в положення BK- вимірювання опору терморезистора  $R_T$ . Встановити значення опору  $R_n$  рівним номінальному значенню опору  $R_T$  терморезистора TOM. Поставити вимикач SA7 в положення "К". ввімкнути напругу живлення вимикачем SA5 і натиснути кнопку SB. Якщо стрілка гальванометра відхиляється, то зміною  $R_n$  зрівноважити мостову схему, перевести

перемикач SA7 в положення "В" і остаточно зрівноважити мостову схему.

Значення  $R_T = R_n$  і температури  $T$  (по термометру 1, рис. 12.) записати в таблицю 1.5.

Таблиця 6.

№ досліду.	1	2	3	4	5	6	7
$T, ^\circ\text{C}$							
$R_T, \text{Ом}$							

Вимикачем SA8 подати напругу живлення на нагрівальний елемент ЕК. При збільшенні температури на  $5 \div 6^\circ\text{C}$  провести  $5 \div 6$  вимірювань опору і дані записати в таблицю 6.

Після закінчення досліду вимкнути SA8, SA5, а SA7 перевести в положення "К".

#### 4. Зміст роботи

1. Ознайомитися з конструкціями релейних перетворюючих величин, які представлені на лабораторному стенді.

2. Вивчити принцип їх роботи і місце застосування .

3. У звіті привести схеми і короткий опис принципу дії релейних перетворювачів ЕРСУ, ТСМ -100 та електроконтактного манометра

4. Побудувати графіки статичних характеристик:

$U_{вих} = f(\alpha)$  - для потенціометричного ПВП;

$U_{вих} = f(I)$  - для диференційно-трансформаторного ПВП;

$U_{вих} = f(n)$  - для тахометричного ПВП;

$R_T = f(T)$  - для термометричного ПВП.

#### 1.5. Контрольні питання

1. Поясніть принцип дії всіх розглянутих перетворювачів неелектричних величин.

2. Для контролю яких технологічних процесів вашої галузі можна використовувати ці перетворювачі?

3. Що називається первинним вимірювальним перетворювачем?

4. Що називається вимірювальним перетворювачем (ВП)?

5. Чим характеризуються основні властивості ПВП?

6. Яка різниця між реверсивними і нереверсивними ПВП?

7. Що таке діапазон вимірювання?

8. Що являє собою потенціометричний ПВП?

## Лабораторна робота №6

### Тема: « Дослідження логічних елементів».

#### 1. Мета роботи:

1. Вивчити будову і принцип роботи безконтактних логічних елементів на інтегральних мікросхемах.
2. Навчитись розпізнавати основні логічні функції на базових логічних елементах (АБО, І, НІ).

#### 2. Теоретичні відомості.

Елемент, що здійснює певну логічну залежність між вхідними і вихідними величинами, називається **логічним елементом**. Для аналізу, синтезу логічних елементів використовують методи математичної логіки, яка базується на булевій алгебрі. В алгебрі логіки розглядають залежність типу:

$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$  де  $X_1, X_2, \dots, X_n$  аргументи та  $Y$  – функція можуть приймати тільки два значення “1” та “0”.

Практичне використання таких функцій є формальним описом логіки цифрових пристроїв. За законами алгебри логіки функція будь якої кількості змінних може бути представлена за допомогою функції тільки двох змінних. Такий прийом має назву суперпозиція.

Найбільше розповсюдження мають такі логічні функції як інверсія ( або логічне заперечення), кон'юнкція (або логічне множення), диз'юнкція (або логічне додавання). Ці функції практично реалізуються такими логічними елементами, як "НІ", "І" та "АБО". Умовне позначення цих елементів а також їх реалізація на релейних схемах наводяться в таблиці 1.

За допомогою основних логічних функцій можливо визначити будь яку логічну функцію. Для опису законів функціонування комбінаційних електронних схем в цифрових пристроях використовують математичний апарат двійкових функцій. Змінні  $x_1, x_2, \dots, x_n$  і функція від них  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  називаються двійковими (або булевими), якщо вони можуть приймати тільки два значення: 0 і 1. Символ "0" відповідає низькому рівню - відсутність сигналу. Символ "1" відповідає високому (максимальному) рівню - сигнал є.

Таблиця 1

Логічні функції	Умовні позначення	Релейний еквівалент
Кон'юнкція "І" $y = x_1 \cdot x_2$		
Диз'юнкція "АБО": $y = x_1 + x_2$		
Інверсія "НІ": $y = \bar{x}$		
Заперечення диз'юнкції (Пірса) "АБО-НІ": $y = \overline{x_1 + x_2}$		
Заперечення кон'юнкції "І-НІ": (Шеффера) $y = \overline{x_1 \cdot x_2}$		

Люба булева функція може бути задана таблицею її істинності в залежності від значень аргументів.

Умовні графічні позначення (УГП) та принципові схеми найпростіших логічних елементів "АБО", "І", "НІ" представлені на фотографії лабораторного стенда (рис.1).

### 1. Експериментальна частина.

Вхідна величина  $X_1; X_2$  - приймає значення логічного "0" і "1" і задається тумблерами  $X_1; X_2$ , розміщеними внизу пристрою з індикацією ламп.

Вихідна величина  $Y$  визначається шляхом вимірювання вихідного сигналу елемента за допомогою вольтметра.

Для вимірювання логічного 0, 1 використовується логічний індикатор, а для вимірювання їх потенціалів – вольтметр (рис.1).

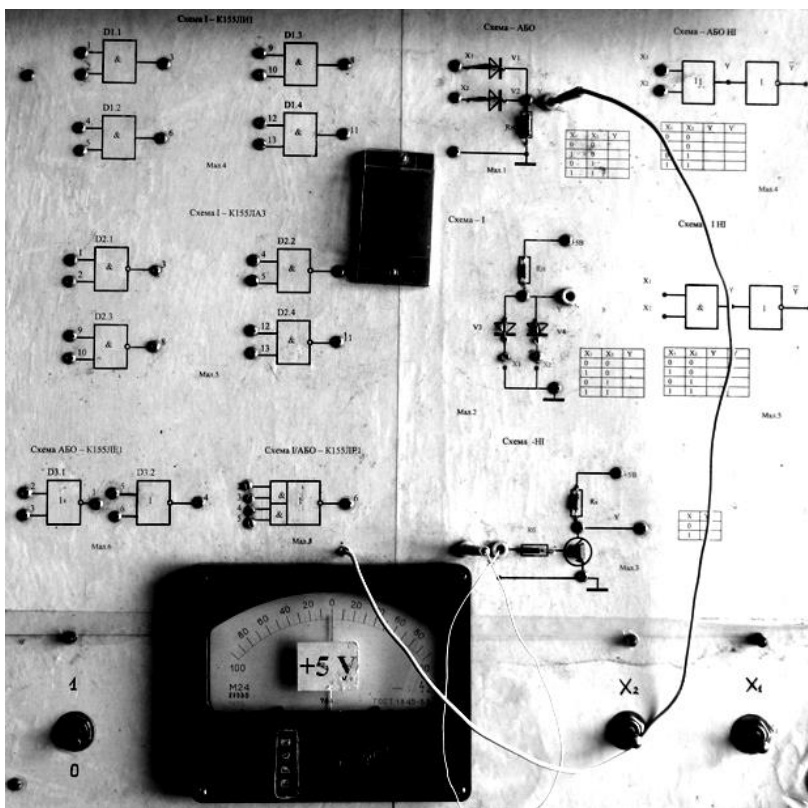


Рис.1. Лабораторний стенд для дослідження логічних елементів

1. Дослідження схем - АБО; І; НІ (Рис. 2, 3, 4)

а) на входи подати всі можливі комбінації значень  $X_1$  та  $X_2$  згідно логіки (0, 1), приведеної в таблицях, і виміряти логічним індикатором значення вихідного сигналу  $Y$ .

б) аналогічно заміряти потенціали  $X_1$ ;  $X_2$ ;  $Y$  вольтметром і записати в таку ж таблицю.

2. Дослідження схеми – АБО-НІ; І-НІ (Рис. 5, 6).

Зібрати схему рис. 5, таким чином. Вихідні контакти схеми (Рис. 2) з'єднати зі входом схеми (Рис. 4). Виміряти вихідний сигнал для всіх можливих комбінацій вхідних сигналів

3. Таблиці математичної логіки, потенціал  $Y$  і всі досліджувані схеми привести в звіті.

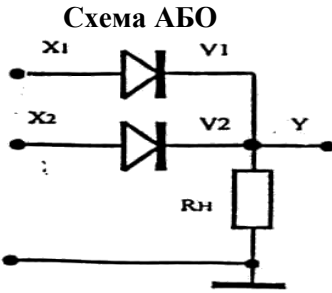


Рис. 2 Схема «АБО»

Таблица 2

$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

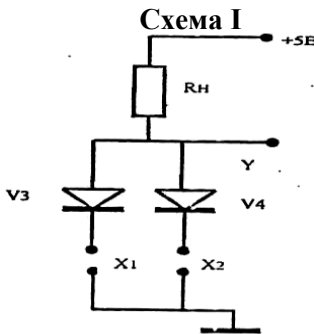


Рис. 3 Схема «I»

Таблица 3

$X_1$	$X_2$	$Y$
0	0	
1	0	
0	1	
1	1	

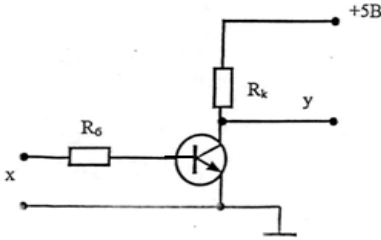


Рис. 4. Схема «НИ»

Таблица 4

$X$	$Y$
0	
1	

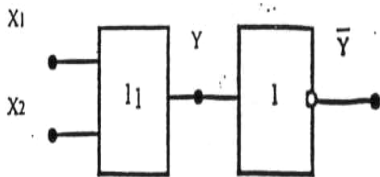


Рис. 5. Схема «АБО-НІ»

Таблиця 5

X1	X2	Y	$\bar{Y}$

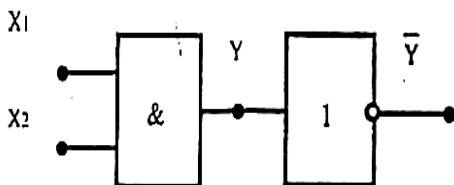


Рис. 6. Схема «І\_НІ»

Таблиця 6.

X1	X2	Y	$\bar{Y}$

#### 4. Зміст роботи

1. Ознайомитися з конструкціями релейних перетворюючих величин, які представлені на лабораторному стенді.
2. Вивчити принцип їх роботи і місце застосування .
3. У звіті привести:
  - тему, мету ;
  - таблицю з результатами досліджень;
  - висновки.

#### 5. Контрольні запитання.

- 1.Визначити формули алгебри логіки (Дж. Буля), що описують схеми дискретного керування, зображені на рисунках 7 і 8.
2. Дайте означення логічної функції.
3. Визначити кількість можливих комбінацій 2-х, 3-х, 4-х і т.д. сигналів.

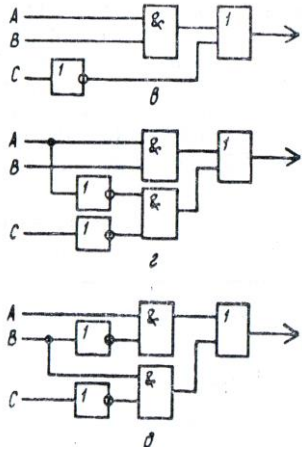
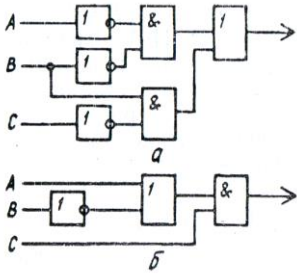


Рис. 7

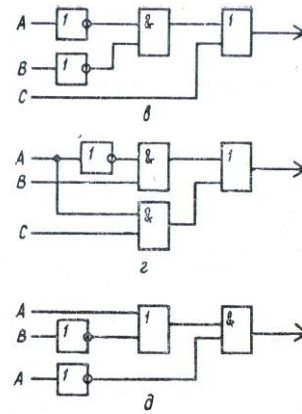
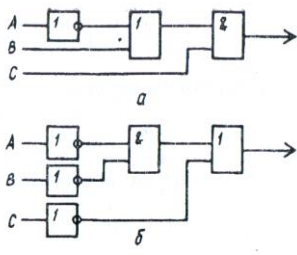


Рис. 8



## Рекомендації до виконання самостійної роботи

Розподіл годин самостійної роботи для здобувачів освіти денної форми навчання:

- підготовка до аудиторних занять –  $0,5 \text{ год./1 год. занять} = 0,5 \cdot (44) = 22 \text{ год.}$

- підготовка до контрольних заходів –  $6 \text{ год. на 1 кредит ЄКТС} = 6 \cdot 4 = 24 \text{ год.}$

- опрацювання окремих тем програми або її частин, які не розглядаються на лекціях –  $76 - 22 - 24 = 30 \text{ год.}$

### Теми для самостійної роботи

№	Теми самостійної роботи
1	Закони Ома та Кірхгофа для розрахунку кіл постійного струму
2	Активний, реактивний та повний опір кола змінного струму.
3	Аналогії між електричними та магнітними явищами. Закон Ома для магнітних кіл.
4	Вимірювальні трансформатори.
5	Комутуючі реле. Релейні автомати.
6	З'єднання споживачів трикутником.
7	Машина постійного струму.
8	Синхронна машина.
9	Трифазні випрямлячі змінного струму.
10	Керовані тиристорні випрямлячі.
11	Вивчення апаратних засобів мікропроцесорних систем
12	Давачі мехатронних систем. Класифікація та основні характеристики
13	Мікропроцесорні пристрої управління в мехатронних системах
14	Надійність елементів та систем автоматичного керування
15	Мехатронні системи тракторів і автомобілів
16	Автоматичний контроль технологічних процесів в галузях
17	Програмно-технічний комплекс
18	Сучасні мехатронні системи управління

19	Автоматизовані системи керування
20	Сучасні мехатронні системи управління в АПК

Оцінка рівня освоєння здобувачами освіти питань, які виносяться на самостійне опрацювання проводиться на модульних контролях.

### Список рекомендованої літератури

1. Квітка С. О. Силові електронні пристрої в системах керування : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2021. 180 с.
2. Пістун Є. П., Стасюк І. Д. Основи автоматики та автоматизації : навчальний посібник / друге видання, змінене і доповнене. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 336 с
3. Воронич А. Р. Основи автоматичного керування технічними об'єктами : конспект лекцій. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. 128 с. URL: <https://files.library.nung.edu.ua/chytalnya/6218/index.html#p=12>.
4. Пузанов А. П. Електротехніка і електромеханіка : навчальний посібник. К. : Видавничий центр «Vitas-LTD», 2019. 304 с.
5. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК : підручник / Мартиненко І. І., Лисенко В. П., Тищенко Л. П., Болбот І. М., Олійник П. В. Київ, 2008. 330 с.
6. Електропривод і автоматизація : навчальний посібник / О. Ю.Синявський, П. І Савченко, Ю. М. Лавріненко та ін. ; за ред. О. Ю.Синявського. Київ : Аграр Медіа Груп, 2013. 586 с.
7. Автоматизація виробничих процесів : навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Я. І. Проць, В. Б. Савків, О. К. Шкодзінський, О. Л. Ляшук. [авторська версія]. 2011. 344 с.
8. Попова І. О., Курашкін С. Ф., Вовк О. Ю., Попрядухін В. С. Теоретичні основи електротехніки, частина 3 : навч. посіб. для здобувачів ступеня вищої освіти закладів вищої освіти. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. 221 с.
9. Проектування систем електрифікації технологічних процесів на підприємствах АПК. Загальні питання проектування : навчальний посібник / В. Ф. Яковлев, Ю. М. Куценко, С. О. Квітка, Ю. О. Б гатирьов; за заг. ред. проф. Яковлева В. Ф. Мелітополь, 2010. 117 с.
10. Vasylets K., Kvasnikov V., Vasylets S. Refinement of the mathematical model of electrical energy measurement uncertainty in reduced load mode. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 4 (8 (118)). P. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.262260> (Scopus, Author ID 55553389000)
11. Vasylets K., Kvasnikov V., Vasylets S. Determining the static characteristic of a measuring current transformer at a reduced load of the

metering unit. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 5 (8 (119)). P. 13–20. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265068> (Scopus, Author ID 55553389000).

12. Vasylets S., Vasylets K. Determining optimal rated power of a photovoltaic station for mine dewatering. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6 (8 (120)). P. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267034> (Scopus, Author ID 55553389000)

13. Vasylets K. S., Vasylets S. V. Increasing the accuracy of electricity accounting by digital information-measuring systems. *Applied Aspects of Information Technology*. 2023. Vol. 6 No. 2. P. 151–162. DOI: <https://doi.org/10.15276/aait.06.2023.11>

14. Vasylets S., Vasylets K., Ilchuk V. Increasing the accuracy of electrical energy accounting at reduced load. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. 4 (8 (130)). P. 19–30. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.310103> (Scopus, Author ID 55553389000).

15. Василець С.В., Василець К.С., Ільчук В.В. Оцінювання невизначеності вимірювання електроенергії при зниженому струмі через вузол обліку. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2024. 339 (4). С. 49–54.

16. Розроблення та дослідження сучасних систем електроенергетики та автоматизації : монографія / В. В. Древецький, С. В. Василець, А. В. Рудик та інші. Рівне : Овід, 2020. 380 с.