

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА  
ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

*Ярошенко Л.В.*

*ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ  
З АВТОМАТИКИ І АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА*

Навчальний посібник

ВІННИЦЯ – 2017

УДК 631.3-52:621.31(075.3)  
ББК 31.291я73

Ярошенко Л.В. Лабораторний практикум з автоматичної автоматизації виробництва: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 106 с.

Рецензенти:

д. т. н., проф., зав. каф. металорізальних верстатів та обладнання автоматизованих виробництв Вінницького національного технічного університету Р. Д. Іскович-Лотоцький;

д. т. н., проф., зав. каф. тракторів, автомобілів Вінницького державного аграрного університету В. Ф. Анісімов

д. т. н., проф., зав. каф. електротехнічних систем, технологій та автоматизації в АПК Вінницького державного аграрного університету В.А. Матвійчук

Розглянуто будову, принцип роботи та правила вибору функціональних елементів автоматичних систем сільсько-господарського призначення, а також питання дослідження механічних характеристик та визначення потужності електродвигунів за різних режимів навантаження. Описана методика дослідження і наладки апаратів та схем автоматичного керування електроприводами та електрообладнанням сільсько-господарських машин і агрегатів.

Розраховано на викладачів та студентів факультетів механізації сільського господарства вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації з напрямку підготовки машинобудування спеціальності «Обладнання переробних і харчових виробництв».

Рекомендовано науково-методичною комісією  
Вінницького національного аграрного університету  
(протокол № від квітня 2017 року)

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для виконання лабораторних робіт за індивідуальним графіком комплектуються бригади із 3-5 студентів. Одержавши графік виконання робіт, студент повинен самостійно підготуватись до кожної з них, вивчаючи лекційний матеріал чи відповідні розділи підручників, перелік яких розміщений у кінці інструкції до кожної лабораторної роботи, а також наведені у названих інструкціях короткі теоретичні пояснення.

Для оформлення звітів із виконаних лабораторних робіт і підготовки до наступної лабораторної роботи кожен студент повинен мати підписаний робочий зошит. На кожне лабораторне заняття студент повинен приходити підготовленим із необхідними записами у робочому зошиті. Перед практичним виконанням лабораторної роботи у робочому зошиті студента повинні бути такі записи: назва та мета роботи, конспективно, найважливіші теоретичні пояснення (обов'язково наводяться необхідні для розрахунків формули), вказівки щодо виконання роботи, необхідні таблиці та електричні схеми. Детальніше необхідний обсяг записів у робочому зошиті наведено у кінці кожної інструкції до лабораторної роботи.

Перед початком занять викладач перевіряє якість підготовки студентів до проведення лабораторної роботи. Не підготовлені студенти до роботи у лабораторії не допускаються. Уся експериментальна частина робіт виконується студентами відповідно до методичних вказівок та інструкцій до лабораторних робіт під керівництвом викладача, із дотриманням правил техніки безпеки.

Отримані експериментальні дані студенти заносять до робочого зошита, обробляють і закінчують оформляти звіт із виконаної лабораторної роботи, у якому, окрім підготовчих записів повинні бути такі: заповнені таблиці експериментальних та розрахункових даних, графіки (за необхідності), висновки студента про виконану роботу, де необхідно коротко проаналізувати отримані результати.

Усі електричні схеми і графіки необхідно виконувати акуратно, з використанням необхідних креслярських інструментів та дотриманням вимог стандартів на оформлення технічної документації. Графіки краще виконувати на міліметровому папері, приймаючи довжину його координатних осей не менше 100 мм із нанесенням на них шкал, де вказують також їх позначення та одиниці вимірювання.

Маючи оформлений звіт, кожен студент захищає лабораторну роботу під час занять або у визначений викладачем час. Після захисту лабораторних робіт або в кінці навчального семестру звіти з лабораторних робіт обов'язково здаються викладачеві.

## ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В ЛАБОРАТОРІЇ

Електротехнічні лабораторії інститутів належать до категорії приміщень із підвищеною небезпекою, оскільки у них людина може одночасно доторкнутись до металевих конструкцій будівель, технологічних апаратів та механізмів, які з'єднані із землею та до металевих корпусів і струмоведучих частин обладнання. Тому до роботи у лабораторії допускаються тільки ті студенти, які пройшли інструктаж із техніки безпеки. Під час роботи в лабораторії необхідно дотримуватись таких правил техніки безпеки:

1. Не ходити по лабораторії і не торкатись жодного обладнання, окрім того, що призначене для виконання заданої лабораторної роботи.
2. Перед початком роботи в лабораторії студент повинен ознайомитись із схемою електричного живлення лабораторії і робочих місць, з'ясувати, де розташовані апарати для вимикання і вмикання живлення всієї лабораторії.
3. Перед тим, як розпочати збирання електричної схеми на стенді, необхідно переконатись, що він не знаходиться під напругою, перевірити, чи вимкнений автоматичний вимикач, встановлений у кутку вертикальної панелі робочого стола. Для цього потрібно опустити важіль автоматичного вимикача у нижнє положення, або натиснути на червону кнопку на ньому, при цьому, біла чи чорна кнопки повинні знаходитись у не зануреному стані, при цьому також не повинні горіти сигнальні лампочки чи світлодіоди, які розміщені поруч із вимикачем.
4. Починати складання електричної схеми, слід зі збирання послідовного кола, а потім підключати вольтметри, паралельні обмотки ватметрів і лічильників. При складанні схеми необхідно слідкувати за тим, щоб з'єднання були щільними, провідники не перетинали проходів і не потрапляли на рухомі частини машин і механізмів.
5. Забороняється користуватися несправними приладами, апаратами та електричними машинами.
6. Після складання схеми потрібно обов'язково прибрати всі зайві провідники, прилади тощо.
7. Зібрану схему перевіряють усі члени бригади, а потім викладач чи лаборант.
8. Вмикати електричну схему можна тільки з дозволу викладача, попередивши перед цим товаришів по роботі, і переконавшись, що ніхто із присутніх не торкається до струмоведучих частин обладнання чи частин обладнання, що обертаються.
9. Під час дослідів стежать за показами приладів і режимами роботи всього обладнання. Відліки за приладами ведуть в одному, заздалегідь встановленому порядку, записуючи в першу чергу па-

раметри, які при роботі змінюються найшвидше. При проведенні дослідів усі дані випробувань та технічні дані обладнання акуратно записуються у спеціальний зошит.

10. Виконуючи роботу, не слід підходити до пристроїв, що не призначені для виконання даної лабораторної роботи, і торкатися до струмоведучих частин лабораторного обладнання. Забороняється користуватися обладнанням і приладами, що призначені для іншої мети, з'єднувати їх елементи, натискати кнопки, перемикачі вимикачі і т. д.
11. Забороняється лишати ввімкнутий лабораторний стенд без нагляду.
12. Якщо в машині є відкриті частини, що обертаються, то не обхідно перевірити, чи надійно вони закріплені; також перевірити надійність кріплення машини в цілому. Перед вмиканням стенда та під час проведення дослідів необхідно слідкувати, щоб до рухомих частин машин не могли потрапити кінці одягу, волосся та ін.
13. Категорично забороняється вносити будь-які зміни до електричного кола під напругою. При потребі таких змін необхідно за допомогою автоматичного вимикача вимкнути лабораторний стенд. Після внесення необхідних змін в електричну схему стенда його повторно включення можливе тільки з дозволу викладача і після попередження про це присутніх.
14. У разі припинення постачання електроенергії, необхідно вимкнути лабораторний стенд шляхом вимикання автоматичного вимикача, що знаходиться на стенді.
15. Виконання лабораторної роботи однією людиною забороняється.
16. Розбирати електричну схему можна тільки при вимкненій напрузі, після перевірки викладачем результатів виконаної роботи, якщо вони будуть визнані незадовільними, то експеримент слід повторити.
17. Стенд необхідно терміново відключати у таких випадках:
  - при попаданні людини під напругу;
  - при появі запаху горілого, диму чи вогню з обладнання або приладів;
  - при порушенні нормальної роботи схеми та “зашкалюванні” стрілок приладів;
  - при порушенні нормальної роботи електричної машини (сторонні шуми, тріск, стукіт і т. п.);
  - при обриві проводів та пошкодженні їх ізоляції.
18. Після закінчення роботи необхідно розібрати електричну схему, акуратно скласти провідники і прибрати робоче місце.
19. За псування лабораторного обладнання, що викликане неохайним користуванням або невиконанням правил техніки безпеки, студенти несуть відповідальність і не допускаються до занять.

## ПРАВИЛА ЗОБРАЖЕННЯ СХЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА















1. Положення всіх елементів у схемах показують у нормальному стані. *Нормальним станом* контактів та інших елементів схем вважають їх положення при знеструмленому стані та відсутності механічної дії (натиску на кнопку), при нульовому положенні командоапарата чи контролера.
2. Довільна електрична схема автоматизованого електропривода складається з таких (частин) електричних кіл:
  - а) кола головного струму, куди входять з'єднання якорів електродвигунів, їх статорів і роторів, (зображуються суцільними товстими лініями, удвічі товстішими за лінії інших кіл);
  - б) кола керування або кола допоміжного струму, куди входять з'єднання апаратів керування, сигналізації та контролю, (зображуються суцільними тонкими лініями);
  - в) кола взаємних блокувань, що об'єднують блокувальні зв'язки (зображуються суцільними тонкими лініями);
  - г) кола сигналізації, що об'єднують сигнальні та контрольно-вимірювальні прилади й апарати (зображуються суцільними тонкими лініями).На електричних схемах допускається зображувати механічні зв'язки між елементами пунктирними або подвійними лініями.
3. Кожен елемент, що входить у схему автоматичного керування, повинен позначитися за допомогою букв. Причому елементи, що належать одному і тому самому апарату, позначають однією і тією ж буквою. Найчастіше позначення апаратури керування та контролю складається із декількох букв, із яких перша відповідає назві апарату, а решта – його призначенню у схемі. У випадку, коли у схемі автоматичного керування є декілька однакових за назвою апаратів, то їм привласнюють порядкові номери.
4. Маркування схем з'єднань здійснюють від вводу джерела живлення, де вказують напругу мережі постійного струму або напругу і частоту струму мережі змінного струму. Вхідні ділянки силового кола трифазного змінного струму маркують  $L1, L2, L3, N$ ; однофазного змінного струму -  $L1, N$ ; постійного струму -  $L+, L-$ .
5. Головними фізичними величинами, які використовуються при автоматичному керуванні електродвигунами, є швидкість ( $e, p, c$ ., частота або напруга), струм, шлях і час.

Умовні графічні позначення на електричних схемах наведено у табл. В.1, а буквені позначення на електричних схемах – у табл. В.2.

Таблиця В.1























## Умовні графічні позначення на електричних схемах

Позначення	Найменування
-	Струм постійний
~	Струм змінний
	Лінія електричного зв'язку
	Лінія електричного зв'язку з відгалуженням
	Заземлення
	Корпус апарата (машини, приладу)
Контакти контактного з'єднання	
	штир
	гніздо
	розбірне з'єднання
	нерозбірне з'єднання
	З'єднання контактне рознімне
Контакти комутаційного пристрою	
	замикаючий
 або  або 	розмикаючий
Контакт комутаційного пристрою замикаючий з уповільнювачем, що діє:	
	при спрацюванні
	при поверненні
	при спрацюванні і поверненні
Контакт комутаційного пристрою розмикаючий з уповільнювачем, що діє:	
	при спрацюванні
	при поверненні
	при спрацюванні і поверненні
Контакт з механічним зв'язком (загальне позначення)	
 або 	замикаючий
 або 	розмикаючий

Позначення	Найменування
Вимикач	
	однополюсний
	триполюсний
	Вимикач триполюсний автоматичний з вказуванням величини, при зміні якої відбувається вимикання:
$I >$ $I <$ $U >$ $U <$ $T^{\circ} >$	максимального струму мінімального струму максимальної напруги мінімальної напруги максимальної температури
Вимикач шляховий (кінцевий)	
	однополюсний
	триполюсний
Вимикач кнопковий натискний із самоповерненням	
	із замикаючим контактом
	із розмикаючим контактом
Перемикач	
	однополюсний
	однополюсний багатопозиційний
Контакт електротеплового реле	
	з самоповерненням
	з поверненням при натисканні на кнопку
	Сприймаючий елемент електротеплового реле
	Котушка електромагнітного пристрою
	Котушка електромагнітного пристрою трифазного струму

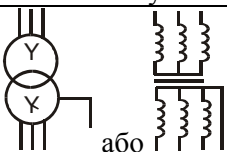
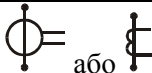


## Продовження таблиці В.1

Позначення	Найменування
	Електромагніт змінного струму
	Котушка електромагнітного пристрою
	Котушка електромагнітного пристрою трифазного струму
	Електромагніт змінного струму
Резистори, конденсатори	
	Резистор постійного опору
	Резистор змінного опору
	Терморезистор
	Конденсатор постійної ємності
	Конденсатор змінної ємності
	Конденсатор електролітичний полярний
	Конденсатор електролітичний неполярний
Прилади напівпровідникові	
	Діод
	Тиристор
	Стабілітрон односторонній
	Стабілітрон двосторонній
	Транзистор типу $p - n - p$
	Транзистор типу $n - p - n$
	Фоторезистор
	Фотодіод
Джерела оптичного випромінювання	
	Видиме випромінювання
	Ультрафіолетове випромінювання
	Інфрачервоне випромінювання

Позначення	Найменування
Тиск газів у джерелах випромінювання	
	низький
	високий
	надвисокий
	Лампа розжарювання
	Лампа газорозрядна освітлювальна низького тиску
	Лампа газорозрядна освітлювальна низького тиску з простими електродами
	Лампа газорозрядна освітлювальна високого тиску
Електронагрівні пристрої	
	Електропід трифазна
	Електронагрівач однофазний
Машини електричні	
	Машина електрична (загальне позначення)
	Двигун трифазний із з'єднанням обмоток "зіркою"
	Машина постійного струму змішаного збудження
Вимірювальні прилади	
	прилад показуючий (наприклад, амперметр)
	прилад реєструвальний (наприклад, ватметр)
	прилад інтегруючий (наприклад, лічильник електроенергії)
Котушки індуктивності, дроселі трансформатори	
	котушка індуктивності, дросель без осердя
	котушка індуктивності, дросель з осердям
	трансформатор однофазний

Продовження таблиці В.1

Позначення	Найменування
Котушки індуктивності, дроселі трансформатори	
	трифазний трансформатор з феромагнітним осердям при з'єднанні обмоток зірка – зірка із виведеною нейтральною (середньою) точкою
	трансформатор струму

Таблиця В.2

Буквені позначення на електричних схемах

Перша літера	Групи видів елементів	Приклади видів елементів	Двобуквені коди
А	Пристрій (загальне позначення)		
В	Перетворювачі неелектричних величин в електричні (окрім генераторів і джерел живлення) або, навпаки, аналогові чи багато розрядні перетворювачі або датчики	Тепловий датчик	ВК
		Фотоелемент	ВL
		Датчик тиску	ВР
		Датчик частоти обертання (тахогенератор)	ВR
		Датчик швидкості	ВV
С	Конденсатор		
Е	Елементи різні	Нагрівний елемент	ЕК
		Освітлювальна лампа	ЕL
F	Розрядники, запобіжники, захисні пристрої	Дискретний елемент захисту за струмом, миттєвої дії	FA
		Те ж, інерційної дії	FP
		Плавкий запобіжник	FU
		Дискретний елемент захисту за напругою, розрядник	FV
L	Котушки індуктивності, дроселі	Дросель люмінесцентної лампи	LL
К	Реле, контактори, пускачі	Реле струмове	КА
		Реле вказівне	КН
		Реле електротеплове	КК
		Контактор, магнітний пускач	КМ
		Реле часу	КТ
		Реле напруги	КV

Продовження таблиці В.2

<i>Серія літера</i>	<i>Групи видів елементів</i>	<i>Приклади видів елементів</i>	<i>Двобуквенні коди</i>
P	Прилади, вимірювальне обладнання	Амперметр	PA
		Лічильник імпульсів	PC
		Частотомір	PF
		Лічильник активної енергії	PI
		Лічильник реактивної енергії	PK
		Омметр	PR
		Реєструвальний прилад	PS
		Годинник	PT
		Вольтметр	PV
		Ватметр	PW
Q	Вимикачі та роз'єднувачі у силових колах	Автоматичний вимикач	QF
		Короткозамикач	QK
		Роз'єднувач	QS
R	Резистори	Терморезистор	RK
		Потенціометр	RP
		Шунт вимірювальний	RS
		Варистор	RV
T	Трансформатори	Трансформатор струму	TA
		Електромагнітний стабілізатор	TS
		Трансформатор напруги	TV
S	Пристрої комутаційні в колах керування, сигналізації та вимірювальних	Вимикач або перемикач	SA
		Кнопковий вимикач	SB
		Автоматичний вимикач	SF
		Вимикачі, що спрацьовують від:	
		- рівня	SL
		- тиску	SP
- положення (шляховий)	SQ		
- кутової швидкості	SR		
- температури	SK		
Y	Пристрій механічний з електромагнітним приводом	Електромагніт	YF
		Гальмо з електромагнітним приводом	YD
		Муфта з електромагнітним приводом	YC
V	Прилади електровакуумні та напівпровідникові	Діод, стабілітрон	VD
		Прилад електровакуумний	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS

*Продовження таблиці В.2*

Серія літера	Групи видів елементів	Приклади видів елементів	Двоук-вені коди
Х	Контактні з'єднання	Струмознімач, контакт ковзкий	ХА
		Штир	ХР
		Гніздо	ХS
		З'єднання розбірне	ХТ
У	Пристрій механічний з електромагнітним приводом	Електромагніт	УF
		Гальмо з електромагнітним приводом	УD
		Муфта з електромагнітним приводом	УС

## МОДУЛЬ № 1

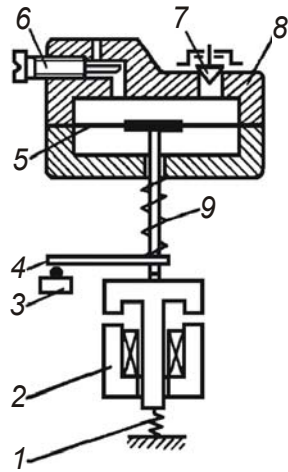
### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

#### ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЕ ЧАСУ ТА ПРОГРАМНИХ ПРИСТРОЇВ

*Мета роботи: Вивчити будову, принцип роботи і методи регулювання витримки часу в реле часу та програмних пристроях різних типів, дослідити точність роботи різних реле часу та вольт-амперну характеристику електромагнітної системи пневматичного часу реле.*

#### КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Реле часу та програмні пристрої забезпечують необхідну затримку часу при автоматизованому запуску а також роботу електрообладнання за заданою програмою. У сільськогосподарському виробництві реле часу та програмні пристрої застосовують у тваринницьких та птахівничих фермах для роздавання кормів, керування додатковим освітленням, вентиляцією, мікрокліматом у теплицях, овочесховищах на птахофабриках та в інших виробничих приміщеннях. На ремонтних підприємствах програмне керування може бути використане для підтримання температурних режимів печі при загартовуванні деталей, на автоматизованих стендах обкатування авто тракторних двигунів, при керуванні автоматизованими станками та ін.

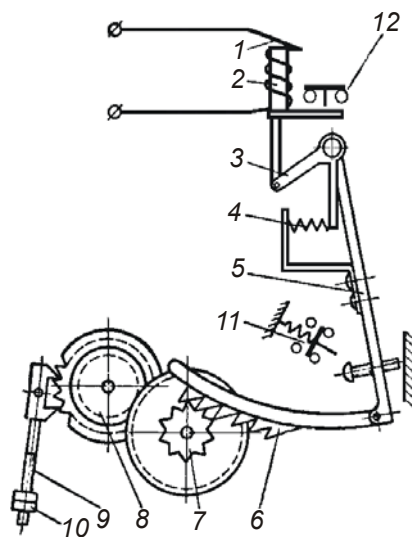


Мал. 1.1 - Принципова  
схема пневматичного  
реле часу РВП2

Автоматичні системи програмного (розімкнутого) керування працюють за наперед заданою програмою, яка задається на підставі раніше відпрацьованих технологічних процесів та графіків оптимальної роботи технологічного обладнання. При складанні програм враховуються властивості керованого об'єкту та необхідний алгоритм його роботи. Але у таких системах автоматичного керування не враховується фактичне значення керованої величини та дія збурень.

За конструктивним виконанням реле часу бувають пневматичні, із годинниковим механізмом, електромеханічні, електромагнітні, конденсаторні, електронні та ін.

Пневматичне реле часу РВП2 (мал. 1.1) забезпечує затримку часу на спрацювання контактів у межах 0,5...180 с і складається із електромагніту 2, ярір якого підпружинений за допомогою пружини 1, повітряного сповільнювача та мікрореле 3. Повітряний сповільнювач складається із пневмокамери 8 із мембраною 5 шток якої підпружинений за допомогою пружини 9. Повітря у порожнину над мембраною надходить через канал, перетин якого регулюється за допомогою гвинта 6, а виходить через клапан 7. До кінця штоку мембрани 5 жорстко прикріплена колодка 4. Причому жорсткість пружини 1 набагато більша за жорсткість пружини 9, тому при знеструмленому стані електромагніту 2 мембрана 5, її шток та колодка 4 знаходяться у крайньому верхньому положенні. При подачі струму на котушку електромагніту 2, її ярір втягується, стискає пружину 1 та звільняє колодку 4, яка під дією пружини 9 починає опускатись донизу, що супроводжується створенням розрідження у порожнині над мембраною 5. Швидкість переміщення колодки 4 та мембрани 5 залежить від швидкості надходження повітря під дією атмосферного тиску у порожнину над мембраною 5. Регулювання швидкості надходження повітря у порожнину над мембраною 5 і, отже, часу спрацювання реле, здійснюється шляхом зміни площі перетину повітряного каналу за допомогою гвинта 6. Коли колодка 4 дійде до крайнього нижнього положення, вона натисне на мікрореле 3 і перемкне його контакти. Після відключення котушки електромагніту 2, його ярір під дією пружини 1

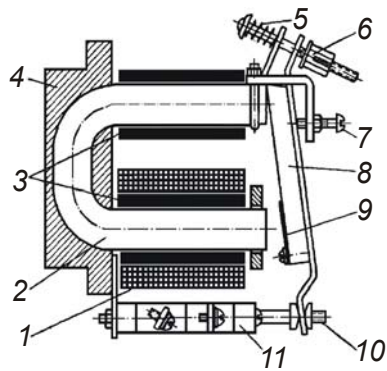


Мал. 1.2 - Принципова схема маятничого реле часу

підніметься вгору і підніме колодку 4 у крайнє верхнє положеннє. У пневмокамері при цьому пройде виштовхуваннє повітря у атмосферу через клапан 7, а контакти мікрореле 3 повернутьсє у вихідний стан. Котушки реле виготовляють на напругу 36, 127 та 220 В.

У маятничовому реле часу затримка часу здійснюєтьсє годинничовим механізмом. При вмиканні котушки 1 (див. мал. 1.2) втягуєтьсє якорь реле 2, який через двоплечий важіль 3 та пружину 4 діє на важіль 5, що починає провертатись. При цьому зубчата рейка 6 провертає шестерню 7, від якої через зубчатую передачу обертаєтьсє анкерна шестерня 8. Швидкість обертання останньої встановлюєтьсє шляхом переміщення вантажу 10 на маятнику 9. Коли рейка 6 пройде весь шлях і вийде із зачеплення із шестерню 7, важіль 5 швидко провертєтьсє і перемкне контактну систему 11. При вимиканні котушки 1 із електромережі, реле миттєво повертаєтьсє у вихідний стан. Окрім контактів, що працюють із затримкою часу, у маятничовому реле є контакти миттєвої дії 12. Регулюваннє затримки часу спрацюваннє контактів маятничового реле в межах від 0,5 до 10 секунд здійснюєтьсє шляхом переміщення вантажу 10 по маятнику 9 та зміною довжини ходу зубчатої рейки 6, за допомогою упорного гвинта.

Серед електромагнітних реле найбільшого розповсюдженнє отримали реле типів РЭ-100, РЭ-180 та РЭ-500, за допомогою яких можна створити затримку часу у межах 0,3...6,0 с. На мал. 1.3 приведено конструктивну схему реле РЭ-500. На осерді 2 реле розміщена намагнічувальна котушка 1 та короткозамкнуті обмотки 3, які намотані із товстого мідного проводу, або виконані у вигляді мідних чи алюмінієвих гільз. Осердя 2 та якорь 8 виготовляютьсє із м'якої електротехнічної сталі. Якорь 8 відтягуєтьсє пружиною 5, натяг якої регулюєтьсє гайкою 6. Упорний гвинт 7 обмежує рух якоря 8. На якорі 8 закріплені немагнітні прокладки 9 із латуні або



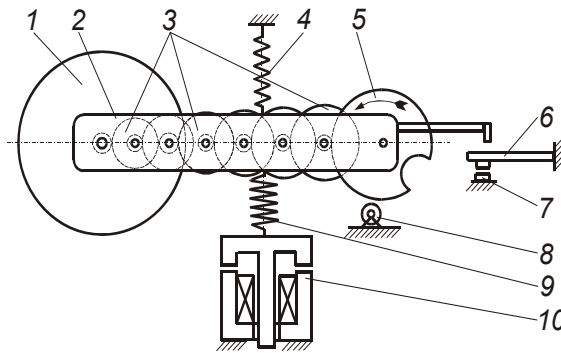
Мал. 1.3 - Принципова схема електромагнітного реле часу

фосфористої бронзи. Із якорем 8 зв'язана контактна система 10-11. Реле працює тільки на постійному струмі. Затримка часу у електромагнітному реле створюється при відмиканні котушки реле від мережі внаслідок повільного зменшення магнітного потоку, до значення при якому якорь відпускається. Це пояснюється наявністю коротко замкнутих обмоток 3 на магнітопроводі реле та повільним спаданням їх залишкового магнітного потоку. При відключенні котушки 1 реле її зникаючий магнітний потік індукує у короткозамкнутій обмотці 3 струм, який за законом Ленца, збуджує свій магнітний потік, що підтримує головний магнітний потік котушки 1. В результаті загальний магнітний потік спадає зі сповільненням. Коли загальний магнітний потік знизиться до величини, при якій сила пружини 5 буде більшою від сили магнітного притягання, якорь 8 відпуститься і перемкне контакти 11. На величину залишкового магнітного потоку і, отже, на величину затримки часу впливає товщина немагнітних прокладок 9 між осердям 2 та якорем 8. Чим менша товщина немагнітної прокладки 9, тим більша затримка часу. Наявність немагнітних прокладок 9 є обов'язковою і з огляду гарантованості відпускання якоря 8. Однак, прокладками здійснюють лише грубе регулювання затримок часу, а для точного регулювання змінюють натяг пружини 5 за допомогою гайки 6.

Електродвигунні (моторні) реле часу являють собою електромеханічний пристрій із приводом від синхронного мікродвигуна. Вал цього двигуна за допомогою електромагнітної муфти може з'єднуватись із редуктором, який передає обертовий рух валику із упорами, які у свою чергу, діють на контактну систему. Синхронні двигуни мають жорстку механічну характеристику і забезпечують постійну частоту обертання при коливаннях напруги живлення чи моменту опору на їх валу. Тим самим вони гарантують високу точність керування без додаткових стабілізуючих пристроїв.

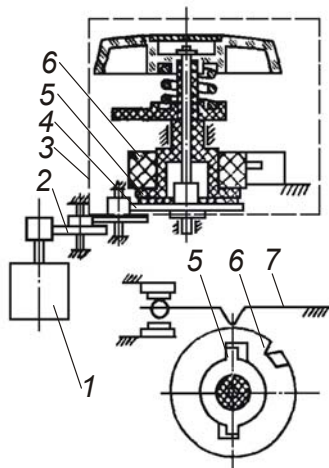
На мал. 1.4 приведена принципова схема електромеханічного (електродвигунного) реле часу ВС-47, що складається із синхронного мікродвигуна 1, редуктора 2 та виконавчого механізму 3.





Мал. 1.5 - Принципова схема електромеханічного (електродвигунного) реле часу RZW

Обертання від електродвигуна 1 через редуктор 2 та зубчате колесо 4 за рахунок сил тертя передається до втулки 5. На втулку 5 надіте кільце 6 із впадиною. В процесі роботи реле кільце 6 повертається відносно пружної контактної пластини 7. У момент, коли виступ контактної пластини 7 попаде у впадину кільця 6, проходить перемикавання контактів. Необхідна затримка часу спрацювання реле задається попереднім повертанням, за допомогою рукоятки, втулки 5 та кільця 6 і встановлення її впадини на певний кут відносно виступу контактної пластини 7. Після відключення реле у вихідний стан не повертається, тому перед наступним вмиканням його необхідно знову виставляти на задану витримку часу, що створює певні незручності при користуванні ним.

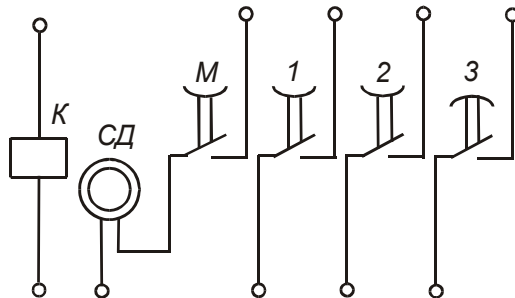


Мал. 1.4 - Принципова схема електромеханічного (електродвигунного) реле часу BC-47

На мал. 1.5 приведена принципова схема електромеханічного (електродвигунного) реле часу RZW, що складається із синхронного мікродвигуна 1, поворотної траверси 2 із редуктором 3, остання шестерня якого знаходиться у зачепленні з шестернею зі впадиною 5. Поворотна траверса 2 може повертатись на певний кут навколо осі, що збігається з віссю ротора двигуна 1. До траверси 2 прикріплені дві пружини 4 і 9, причому пружина 9, яка своїм другим кінцем зв'язана із електромагнітом 10, порівняно із пружиною 4, що другим кінцем прикріплена до корпусу реле, має набагато більшу жорсткість. До траверси 2 прикріплена колодка за допомо-

гою якої вона може діяти на контактну систему 6-7. Рух траверси 2 із редуктором 3 та шестернею 5 до низу обмежується паразитною шестернею 8. Для введення шестерні 5 у зачеплення із паразитною шестернею 8 служить електромагніт 10, який зв'язаний із траверсою 2 за допомогою пружини 9. При підключенні реле до електромережі струм одночасно подається на двигун 1 та електромагніт 10, при цьому обертовий рух від двигуна 1 через редуктор 3 передається на шестерню зі впадиною 5, а електромагніт 10 через жорстку пружину 9 розтягує пружину 4, повертає траверсу 2 і вводить шестерню 5 у зачеплення із паразитною шестернею 8. У момент, коли шестерня 8 попаде у впадину шестерні 5 проходить перемикання контактів 6-7. Необхідна затримка часу спрацювання реле задається попереднім повертанням, за допомогою рукоятки, шестерні зі впадиною 5 та встановлення її впадини на певний кут відносно паразитної шестерні 8. Після відключення реле, траверса 2 під дією пружини 4 повертається у вихідний стан, звільняючи контакти 6-7, які також повертаються у вихідний стан. Окрім того, шестерня 5 за допомогою спеціальної зворотної пружини також повертається у вихідний стан і реле стає готовим до наступних включень. Змінюючи передавальне число редуктора 3 та положення шестерні 5, можна задавати витримку часу у межах від 0,5 секунди до декількох годин.

Багатоколове електромеханічне (електродвигунне) реле часу Е-58, схема якого приведена на мал. 1.6 належить до програмних і дозволяє отримувати різні затримки часу в межах від 1 до 60-ти секунд в окремих незалежних електричних колах. Реле містить чотири диски із нанесеними на них поділками, що відповідають часу спрацювання у секундах контактів на відповідних дисках. Диски 1, 2, 3 дозволяють встановлювати необхідну витримку часу для вмикання окремих елементів

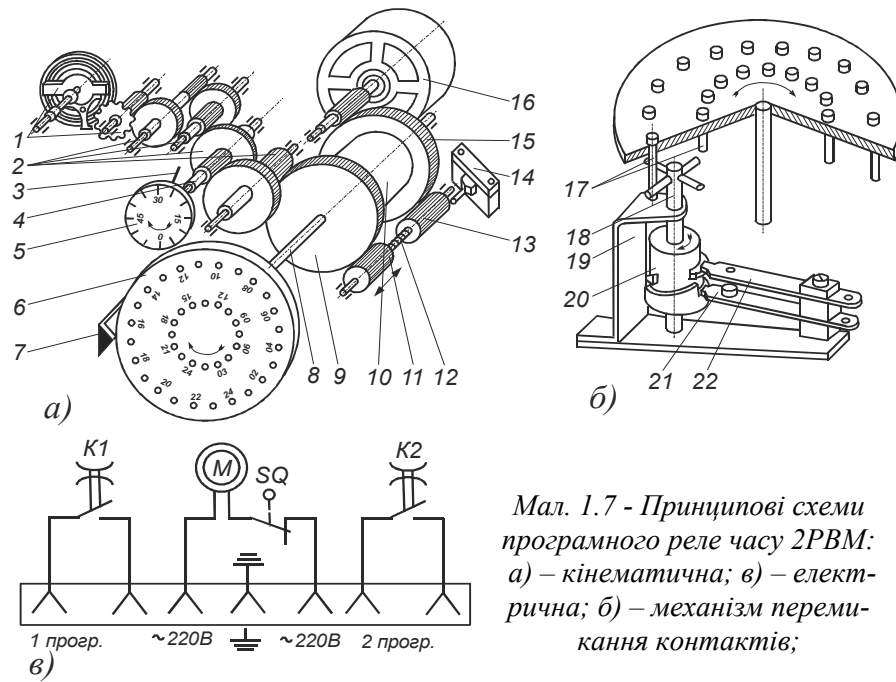


Мал. 1.6 - Схема вмикання багатокологового програмного реле часу Е-58

кання окремих елементів схеми. Диск М відключає електродвигун після закінчення циклу роботи реле. Робота реле проходить таким чином: при вмиканні реле починає обертатись електродвигун СД, після чого вмикається електромагніт К муфти зчеплення, яка з'єднує двигун СД

із редуктором, на вихідному валу якого розміщені диски. Диски починають повільно обертатись і через заданий час упори, що розташовані на них, діють на контакти та перемикають їх. При цьому час, через який від моменту початку обертання дисків відбудеться перемикання того чи іншого контакту, залежить від кутової відстані, яку необхідно пройти відповідному упору. Ця кутова відстань задається виставленням диска. Для виставлення дисків необхідно відпустити гайку, що їх стискає, і повертаючи диски, встановити їх так, щоб проти стрілки у відповідному віконці була поділлка, що відповідає заданому часу. Після виставлення дисків їх затискають гайкою. Коли закінчиться цикл роботи реле, контакт на диску М вимкне електродвигун та електромагніт муфти зчеплення і диски за допомогою спеціальної пружини повернуться у вихідний стан. В процесі зворотного руху дисків їх упори піднімуть контактні пружини і повернуть всі контакти у нормальний стан. Реле часу виявиться таким чином підготовленим до нового циклу роботи.

Електромеханічне (електродвигунне) реле часу 2РВМ, схема якого приведена на мал. 1.7 належить до програмних, застосовують його у тих випадках, коли необхідно задати добовий цикл роботи обладнання. Це реле є двопрограмним і дозволяє задати дві незалежні програми роботи. Реле часу 2РВМ складається із анкерного годинникового механізму 1, який приводиться у рух через зубчаті передачі 2, 9, 15 від пружини годинникового механізму 10 та програмного пристрою. Накручування пружини годинникового механізму 10 здійснюється електродвигуном 16. При вмиканні електродвигуна 16 приводиться у рух гвинтовий диференційний механізм 11, 12, 13, який за допомогою мікрвимикача 14 вимикає електродвигун 16 після повного накручування пружини 10 і знову вмикає його при повному розкручуванні пружини 10. Головною частиною програмного пристрою є програмний диск 6 із двома рядами отворів, у які, відповідно до програми, загвинчуються штифти 17. Під час обертання диску 6 штифти 17 діють на важелі механізму 18, 19, 20, який перемикає контакти 21-22. Реле заводиться один раз на добу і має добовий резерв при перервах в електропостачанні. Сумарний час роботи двигуна на добу - 4 хв. Для похвилинного контролю роботи реле використовується хвилинна шкала 5 із покажчиком 3. Хвилинна шкала 5 встановлена на осі 4, яка здійснює один оберт на годину. Для погодинного контролю роботи реле використовується програмний диск 6 та покажчик 7. Програмний диск 6 встановлений на осі 8, яка здійснює один оберт на добу.



Мал. 1.7 - Принципові схеми програмного реле часу 2РВМ: а) – кінематична; в) – електрична; б) – механізм перемикання контактів;

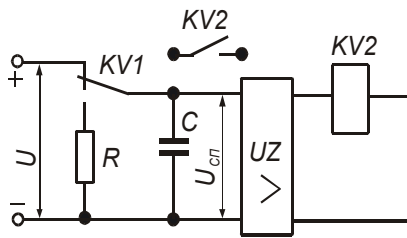
Зовнішній ряд отворів на програмному диску 6 задає одну програму роботи, містить 96 отворів і дозволяє задавати час роботи через 15 хв. при мінімальних інтервалах між двома послідовними командами 30 хв. Внутрішній ряд отворів на програмному диску 6 задає другу програму роботи, містить 72 отвори і дозволяє задавати час роботи через 20 хв. при мінімальних інтервалах між двома послідовними командами 40 хв.

Для отримання затримки часу проходження електричного сигналу від десятих часток секунди до декількох десятків секунд все більшого розповсюдження знаходять електронні конденсаторні пристрої (див. мал. 1.8). У них використовується явище перехідного процесу при зарядці чи розрядці конденсатора через електричний опір у колах постійного струму. При цьому напруга на затискачах конденсатора змінюється поступово за експоненційною залежністю. Тривалість затримки спрацювання реле  $t$  у такому перехідному процесі:

$$t = RC \ln U / (U - U_{сп}),$$

де  $R$  – опір реле;  $C$  – ємність конденсатора;  $U$  – напруга живлення;  $U_{сп}$  – напруга спрацювання реле.

При подачі напруги живлення шляхом замикання контакту

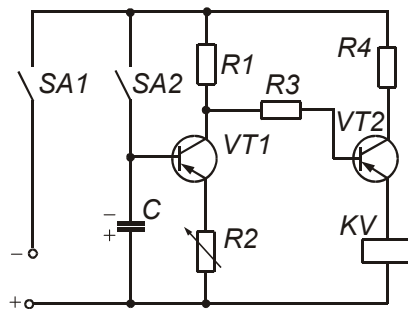


Мал. 1.8 - Принципова електрична схема електронних конденсаторних реле часу

KV1 конденсатор  $C$  заряджається. Відлік часу починається з моменту коли контакт  $KV1$  перемкнута у нижнє положення, при цьому конденсатор  $C$  почне розряджатися через резистор  $R$ . Коли напруга на конденсаторі знизиться до певної величини, на виході підсилувача  $UZ$  з'явиться напруга і електро-магнітне реле  $KV2$  спрацює.

Типовим прикладом реле та-кого типу може бути реле, представлене на мал. 1.9, що побудоване на двох транзисторах та конденсаторі. При замиканні вимикача  $SA1$  та  $SA2$  конденсатор  $C$  швидко заряджається, оскільки під'єд-нується до джерела живлення напряду без резистора. На базу тран-зистора  $VT1$  подається від'ємний потенціал відносно емітера і транзистор відкривається. Струм починає проходити по колу  $R2$ ,  $VT1$  та  $R1$ . Опір  $R2$  малий порівняно із опором котушки реле  $PP$ , а опір  $R1$  набагато більший опору  $R4$ , тому потенціал бази транзит-тора  $VT2$  буде позитивним відносно його емітера. Транзистор  $VT2$  буде закритим, а котушка реле  $PP$  знеструмлена.

При розмиканні контакту  $SA2$  конденсатор  $C$  почне розряд-жатись через резистор  $R2$  та перехід емітер-колектор транзистора  $VT1$ . Час розрядки буде пропорційним величині ємності кон-денсатора та опору  $R2$ . Після закінчення розрядки транзистор  $VT1$

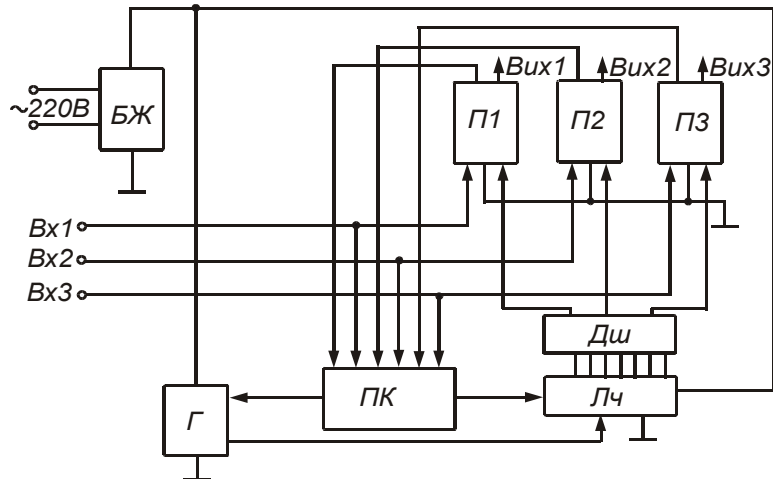


Мал. 1.9 - Принципова схе-ма електронного напівпро-відникового реле часу

закриється, а база транзистора  $VT2$  отримає негативний потенціал. Струм бази обмежений резисто-ром  $R3$ . Транзистор  $VT2$  відкри-ється і по колу емітер-колектор почне протікати струм і реле  $PP$  спрацює. Змінюючи опір  $R2$ , мож-на регулювати затримку часу спрацювання реле. При замиканні контакту  $SA2$ , транзистор  $VT1$  знову відкриється, а транзистор  $VT2$  закрититься. Реле  $PP$  відпус-титься і його контакти

повер-нуться у нормальний стан.

На мал. 1.10 приведена функціональна схема реле ВЛ-35, що працює на принципі підрахунку імпульсів, які виробляє спеціальний кварцовий генератор  $\Gamma$ . Реле має три канали. При подачі керуючого сигналу на один із входів ( $Vx1$ ,  $Vx2$ ,  $Vx3$ ) генератор починає видавати імпульси, які підраховуються лічильником імпульсів  $Лч$ . Коли число імпульсів досягне числа, що встановлене на дешифраторі  $Дш$ , спрацює відповідний вихідний підсилювач ( $П1$ ,  $П2$ ,  $П3$ ) і подасть живлення на відповідне реле. За допомогою перемикаючого пристрою  $ПК$  можна забезпечувати послідовну чи паралельну роботу каналів. Подібний принцип роботи має і реле УЭ-1, тільки воно виготовлене одно каналним і дозволяє задавати періодичність вмикання обладнання у межах від



Мал. 1.10 - Функціональна схема електронного реле часу з генератором імпульсів

0 до 30 год., та тривалість вмикання в межах від 0 до 3,0 год.

#### ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Ознайомитись із будовою, принципом роботи та технічними характеристиками реле часу, що знаходяться на лабораторному стенді (записати їх технічні характеристики у робочий зошит).
2. Відрегулювати реле на задану викладачем витримку часу і визначити похибку їх роботи. Для чого необхідно до контактів реле під'єднати електричний секундомір і після встановлення реле на заданий час спрацювання, під'єднати його до мережі. Визначити похибку за формулою:

$$\Delta t = [(t_{\theta} - t_p) / t_p] 100\%,$$

де  $t_p$  – розрахунковий час спрацювання, на який відрегульовано реле;

$t_{\theta}$  – дійсний час спрацювання реле, за показами секундоміру.

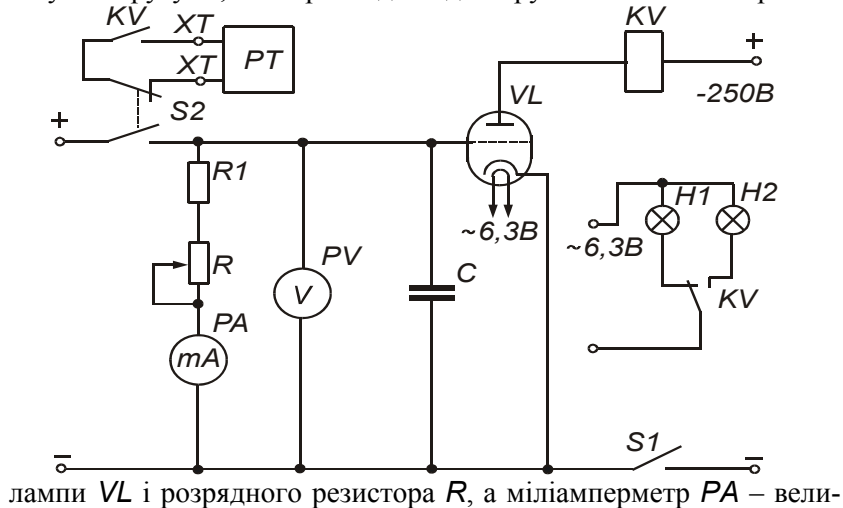
Результати записати в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

*Протокол випробувань реле часу*

Тип реле	Заданий час спрацювання реле, $t_p$ , сек..	Дійсний час спрацювання реле, $t_{\theta}$ , сек.	Похибка, %
РВП72 – 3			
RZW			
E – 58	1 контакт		
	2 контакт		

3. Дослідити залежність часу спрацювання  $t$  конденсаторного реле часу на електронній лампі (див. мал. 1.11) від величини опору розрядного резистора  $R$ . Для чого з'єднати вказане реле із вимірювальними приладами до мережі змінного струму напругою 220 В, а до клем ХТ - електросекундомір РТ, виставити розрядний резистор  $R$  на найбільшу величину опору. Включити тумблери  $S1$  та  $S2$ , при цьому на лампу  $VL$  подається анодна напруга та напруга на керуючу сітку, вона відкривається і подає струм на проміжне реле  $KV$ , яке спрацьовує і перемикає свої контакти, одночасно із тим конденсатор  $C$  заряджається. Вольтметр  $PV$  показує напругу  $U$ , яка прикладена до керуючої сітки електронної



Мал. 1.11 - Принципова електрична схема лабораторного стенду для дослідження електронного реле часу на електронній лампі

чину сили струму, що протікає через нього. При відключенні тумблера  $S2$ , конденсатор  $C$  почне розряджатись і коли напруга на ньому (яка подається на сітку лампи  $VL$ ) знизиться до певної величини, лампа  $VL$  закрийється і вимкне проміжне реле  $KV$ , при цьому, електросекундомір  $PT$  покаже час спрацювання  $t$  реле часу. Таким чином, витримка часу спрацювання даного реле часу залежить від часу розрядки конденсатора. Включити тумблер  $S2$ , і за допомогою розрядного резистора  $R$  встановити інше значення сили струму  $I$ , який протікає через нього, після чого, відключивши тумблер  $S2$ , заміряти час спрацювання реле  $t$ . Дослід повторити при десяти різних значеннях струму  $I$ . Результати вимірів і розрахунків записати до табл. 1.2. За отриманими результатами побудувати залежність:  $t = f(R)$ .

Таблиця 1.2

Результати заміру часу спрацювання реле

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I$	мА										
$U$	В										
$R$	Ом										
$t$	сек										

ПРОГРАМА ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год.
1	За рекомендованою літературою вивчити принцип роботи автоматичних систем програмного керування та призначення у них реле часу і програмних пристроїв	1
2	Вивчити будову та принцип роботи пневматичних, із годинниковим механізмом, електромеханічних, електромагнітних, конденсаторних, електронних реле часу, виявити їх переваги та недоліки	1
3	1. Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> <li>- назву та мету роботи;</li> <li>- короткі теоретичні пояснення (конспективно, із необхідними для розрахунків формулами);</li> <li>- порядок проведення експериментів, аналіз та обробка результатів;</li> <li>- таблиці 1.1, 1.2;</li> <li>- електричну схему (мал. 1.11)</li> </ul>	2



## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для чого використовуються реле часу та програмні пристрої, і в яких технологічних процесах сільськогосподарського виробництва вони використовуються?
2. У чому полягає принцип роботи автоматичних систем програмного (розімкнутого) керування?
3. Як побудовані та працюють пневматичне і маятникове реле часу?
4. Як побудоване та працює електромагнітне реле часу типу РЭ?
5. Як побудовані та працюють електромеханічні реле часу ВС-47, RZW?
6. Як побудовані та працюють електромеханічні програмні реле часу 2РВМ, Е-58?
7. У чому полягає принцип роботи електронних конденсаторних реле часу?
8. Як побудовані та працюють електронні конденсаторні реле часу на транзисторах та на електронній лампі?
9. Як побудоване та працює електронне реле часу із генератором імпульсів?

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ И. Ф. Кудрявцев, Л. А. Калинин, В. А. Карасенко и др./ Под ред. И. Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988. – 480 с. (С. 95 - 98).
2. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: Высш. шк., 1985. – 192 с. (С. 30 - 34).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ ТИСКУ ТА ЗУСИЛЬ

*Мета роботи: вивчити будову та принцип дії датчиків тиску, механічних зусиль та моментів*

### КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

До датчиків тиску відносять численні типи приладів для вимірювання зусиль та тисків газів і рідин. У більшості датчиків тиску використовується принцип перетворення тисків та зусиль у механічні переміщення.

За конструктивним виконанням датчики тиску поділяють на такі групи: з механічними сприймаючими органами (рідинні, поршневі, мембранні, сильфонні, із манометричними трубками); з електричними сприймаючими органами (електричні, радіометричні); з

термічними сприймаючими органами (термокомпенсаційні); і засновані на вимірюванні теплопровідності газів.

Датчики з механічними сприймаючими органами

У рідинних датчиках тиск сприймає або поверхня рідини, що налита у посуд, або поверхня жорсткої стінки. Зрівноважувальне зусилля у більшості таких датчиків створюється силою тяжіння. Рідинні датчики тиску поділяють на U-подібні (мал. 2.1а), куполоподібні (мал. 2.1б) та диференційні (гідростатичні) (мал. 2.1в).

В *U-подібних* датчиках різниця у тисках  $\Delta P = P_1 - P_2$  зрівноважується вагою стовпа рідини  $h$ :  $\Delta P = \gamma \cdot h$ , де  $\gamma$  - густина рідини. У куполоподібних датчиках надлишковий тиск  $\Delta P = P_1 - P_2$  викликає переміщення купола, за величиною якого визначають тиск  $P_1$ . У диференційних датчиках різниця тисків  $\Delta P = P_1 - P_2$  пропорційна куту повороту кільцевих терез  $\alpha$ . Рідинні датчики тиску найточніші та найстабільніші. Однак внаслідок експлуатаційних незручностей (малі межі вимірювань, необхідність дотримання суворо вертикального положення, великі габарити та ін.) вони останнім часом витісняються іншими датчиками.

У поршневих датчиках тиск вимірюваного середовища діє на поршень, який стискає калібровану пружину. Вони не знайшли широкого застосування внаслідок пропускання рідини чи газу через зазор між поршнем та циліндром, заклинювання поршня та ін. Однак, зважаючи на їх високу стабільність, поршневі датчики використовуються для тарування інших датчиків тиску.

У мембранних датчиках (мал. 2.1г) еластична пластинка (мембрана) під дією контрольованого середовища переміщає шток, який у свою чергу діє на контактну систему. Існують датчики із плоскою, хлопаючою (куполоподібною) та гофрованою металевією чи м'якою мембранами. Кільцеві гофри, що видавлені на мембрані, сприяють зниженню її жорсткості. Хлопаючі мембрани, що використовуються у реле тиску, являють собою пружні металеві пластини куполоподібної форми, вершина купола яких при деякому надлишковому тиску, перекидається стрибком з одного положення у інше. М'які мембрани виготовляють із прогумованих бензостійких тканин або із пластмас. У датчиків із м'якою мембраною протидіюче зусилля створюється додатковою пружиною. Простота конструкторської, надійність та достатня точність вимірювань зумовили широке розповсюдження датчиків цього типу.

Сильфонні датчики (мал. 2.1д) являють собою гофровані тонкостінні трубки, що виготовлені із пружного металу. Різниця

зовнішнього та внутрішнього тисків створює зусилля, під дією якого сильфон розтягується. Переміщення вільного кінця сильфону передається до рухомої стрілки чи рухомих контактів.

У датчиках тиску з манометричною трубчатою пружиною (мал. 2.1e) використовується вигнута дугою пружна тонкостінна трубка, що має овальний перетин. При збільшенні тиску контрольного середовища всередині неї, трубчатая пружина старается випрямитись.

Переміщення

вільного кінця трубки

використовується для приведення у дію стрілки та керування контактною системою.

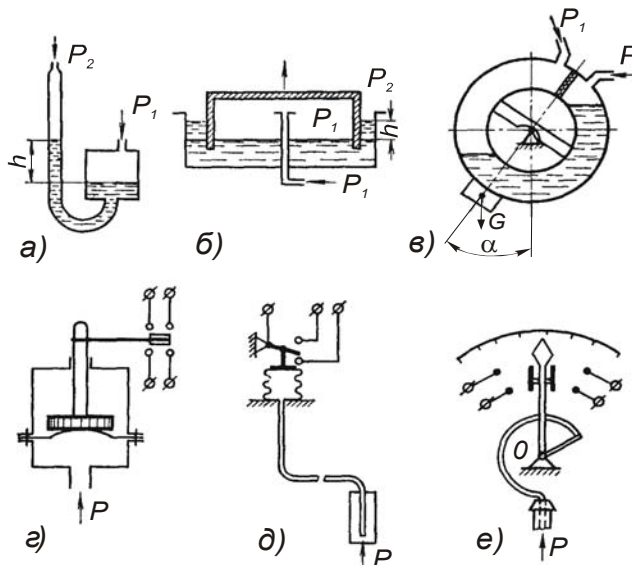
Найрозповсюдженішими є одновиткові пружини еліптичного та плоско-овального перетинів.

Використовуються також виті гвинтові, спіральні, S-подібні та інші трубчаті

пружини.

Використовуються також виті гвинтові, спіральні, S-подібні та інші трубчаті

пружини.



Мал. 2.1 - Датчики тиску із механічними сприймаючими органами: а) рідинний з U-подібною трубкою; б) рідинний куполоподібний; в) гідростатичний (диференційний); г) мембранний; д) сильфонний; е) із манометричною трубкою

пружини.

#### Датчики тиску з електричними сприймаючими органами.

Датчики цього типу можуть виготовлятися на основі п'єзоопорів, п'єзокристалів, ємнісних опорів, а також іонізаційного типу.

Принцип дії датчиків із п'єзоопором заснований на залежності електричного опору металів та напівпровідників від величини статичного тиску. Мала чутливість металів до тиску обмежує об-

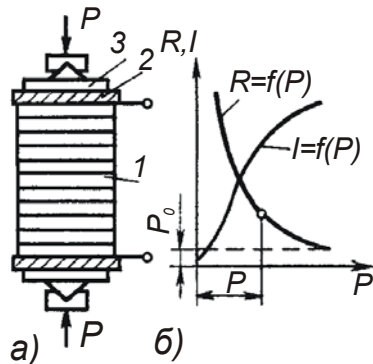
ласть їх застосування тільки вимірюванням надвисоких тисків (понад  $10^8$  Н/м<sup>2</sup>).

Найчутливішими є напівпровідникові опори - тензоліти, що являють собою стовпчик із вугільного порошку, що спечений бакелітовим лаком при високій температурі. Тензоліти виготовляють у вигляді стовпчиків, що набирають із 10...15 вугільних шайб товщиною 1...2 мм (мал. 2.2а) або стержня діаметром 1 мм із мідними виводами. Вугільні стовпчики використовують для вимірювання зосереджених зусиль, а стержневі тензоліти наклеюють на тонкий папір, який у свою чергу, наклеюють на деталь, що досліджується для вимірювання її пружної деформації під дією зовнішніх навантажень. При зростанні величини зусилля чи деформації електричний опір датчика різко зменшується. Про величину тиску або зусилля судять за величиною опору датчика чи струму, що проходить через нього.

Головними недоліками даних датчиків є не лінійність залежності електричного опору від зусилля чи деформації (див. мал. 2.2б), нестабільність опору, його залежність від температури та наявність явища аналогічного гістерезису. Для усунення нелінійності характеристики та впливу зміни температури, тензоліт включають в одне із плечей вимірювального моста.

Робота п'єзодатчиків заснована на явищі п'єзоефекту, або виникнення на гранях п'єзокристалів електричних зарядів під дією механічного тиску, причому величина заряду пропорційна тиску на кристал. В якості сприймаючих елементів використовують кристали сахарози, турмаліну або винної кислоти.

У ємнісних датчиках використовується явище зміни діелектричної проникності речовин при зміні тиску. До таких речовин відносять: бензин, ізоляційні рідини, повітря та різні гази. З твердих речовин такі властивості мають сегнетова сіль, титанат барію та інші сегнетоелектрики. Ємнісний датчик тиску являє собою конденсатор, ємність якого залежить від діелектричної проникності середовища між його електродами:



Мал. 2.2 - Вугільний датчик (а) та його характеристика

$$C = \epsilon_0 \epsilon F / \delta,$$

де  $\epsilon_0$  - діелектрична стала;

$\varepsilon$  - відносна діелектрична проникність середовища;

$F$  - активна площа електродів;

$\delta$  - відстань між електродами.

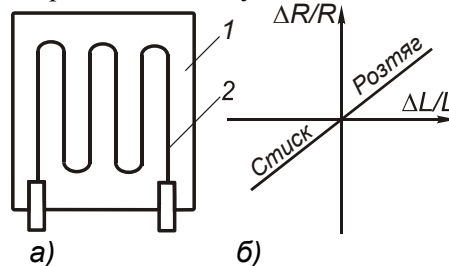
Внаслідок малої чутливості та залежності характеристик від температури такі датчики знаходять обмежене використання.

В іонізаційних датчиках використовується залежність інтенсивності іонізації газів від їх тиску. Для іонізації використовують потік електронів,  $\gamma$ -частинок чи електричне поле. Ці датчики служать для вимірювання особливо малих тисків.

Для вимірювання тиску газів у діапазоні  $10^{-6} \dots 10^{-1}$  Н/м<sup>2</sup> використовують також радіометричні датчики, покази яких, на відміну від попередніх, не залежать від складу та властивостей газового середовища. Для вимірювання тиску газів у діапазоні 0,1...1000 Н/м<sup>2</sup> використовуються датчики, засновані на вимірюванні теплопровідності газів, яка при таких тисках залежить від величини тиску.

Тензометричні датчики (тензодатчики чи тензоопори) використовують для вимірювання деформацій, тисків, зусиль, переміщень та прискорень, а також для вимірювання цих параметрів при пружних коливаннях із частотою до 50 кГц в умовах високих температури та вологості. Принцип дії цих датчиків заснований на явищі тензоефекту - зміни електричного опору датчика при його деформації. Вони виготовляються у вигляді тонкого (діаметром 0,02...0,04 мм) ніхромового чи константанового проводу 2, вкляденого зигзагами і обклеєного із обох сторін тонким папером або поліетиленом 1 (див. мал. 2.3а). До кінців проводу приварюють виводи. Існують також тензодатчики що виготовлені шляхом травлення з фольги. Розміри тензодатчиків невеликі: довжина 2,5...150 мм, ширина 2...60 мм, номінальний електричний опір знаходиться у діапазоні 10...3000 Ом (звичайно 100...200 Ом). Гранично допустима розсіювана потужність визначається боковою поверхнею датчика та допустимим струмом,

який для константанового проводу діаметром 0,025 мм не повинен перевищувати 20 мА, а при діаметрі 0,1 мм - 300 мА. Тензодатчики наклеюють на досліджувану деталь таким чином, щоб напрям очікуваної найбільшої деформації збігався із довгою стороною петель



Мал. 2.3 - Тензометричний датчик (а) та його характеристика (б)

проводу, при цьому використовують клей, що має високу пружність при зсуві, високий електричний опір та не деформується під дією навколишнього середовища (звичайно, БФ-2).

Зміна електричного опору проводу  $\Delta R$  при стискуванні чи розтягу пов'язана з його відносною деформацією:  $\varepsilon = \Delta l/l$  лінійною залежністю:

$$\Delta R/R = k(\Delta l/l) = k\varepsilon,$$

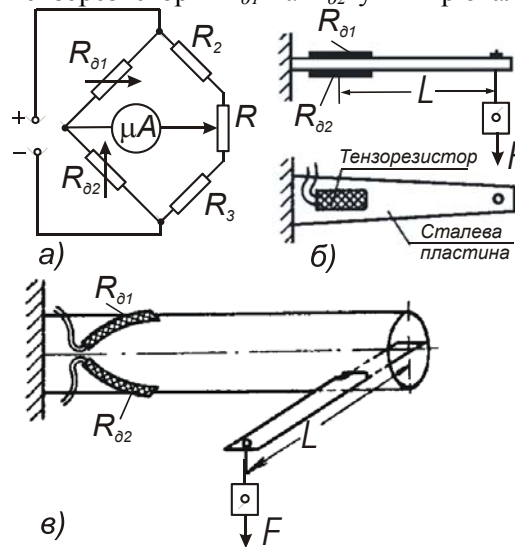
де  $k$  коефіцієнт чутливості датчика (для константану  $k = 1,9 \dots 2,1$ , для ніхрому  $k = 2,0$ ).

Лінійність та стабільність характеристики тензодатчиків (див. мал. 2.3б) є їх важливою перевагою порівняно із вугільними датчиками, що зумовило їх більш широке використання.

До недоліків тензодатчиків можна віднести вплив температури на їх електричний опір та порівняно низьку чутливість (набагато меншу ніж у вугільних датчиків).

Максимальне значення відносної зміни опору тензодатчиків  $\Delta R/R$  складає долю відсотка, тому ставляться підвищені вимоги до точності вимірювань, а у вимірювальних схемах передбачають температурну компенсацію.

На мал. 2.4 а приведено електричну схему підключення двох тензорезисторів  $R_{\partial 1}$  та  $R_{\partial 2}$  у вимірювальний міст (куди, крім них,



входять постійні опори  $R_2$  та  $R_3$  а також змінний опір  $R$ , який необхідний для встановлення

вимірювального приладу на нуль). Як видно зі схем

(див. мал. 2.4 б, в) тензорезистори  $R_{\partial 1}$  та  $R_{\partial 2}$

на-клеюють таким чином, щоб один із них працював

на розтяг, а інший - на стиск. Застосування двох

тензорезисторів підвищує чутливість датчика вдвічі,

окрім того, застосування другого тензорезистора

необхідне для температурної компенсації (усу-

нення впливу зміни тем-

Мал.2. 4 - Схеми випробувань датчиків механічних величин

ператури на покази датчи-ка) та усунення впливу не вимірюваних деформацій (наприклад, поперечних).

Мостові тензометричні схеми можуть працювати при постійному та змін-ному струмі. Для того, щоб за допомогою тензо-датчика визначити вели-чину зусилля, деформації чи механічної напруги у досліджуваній деталі, не-обхідно знати залежність від цих величин струму, що проходить через вимірювальний прилад моста. Така залежність називається тарувальною кривою датчика і визначається дослідним шляхом.

### ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ, АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ:

1. Ознайомитись із будовою та принципом дії датчиків тиску, що знаходяться на стенді.
2. Побудувати тарувальну криву для визначення напруги згину у сталевій пластині за допомогою тензовимірювального моста (мал. 2.4 а, б). Для цього при відсутності вантажів за допомогою резистора R встановити стрілку мікроамперметра на нуль, після чого кінець сталеві пластини поступово завантажувати гилями, записувати покази мікроамперметра у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

*Протокол дослідження тензовимірювального моста для вимірювання напруги згину сталеві пластини*

Параметр	Розмірність	Величина	№ з/п	F		M <sub>зг</sub>	σ <sub>зг</sub>	I
				кгс	Н	Нм	Н/м <sup>2</sup>	мкА
b	м		1.					
			2.					
h	м		3.					
			4.					
			5.					
l <sub>1</sub>	м		6.					
			7.					
			8.					
W <sub>п</sub>	м <sup>3</sup>		9.					
			10.					

Момент згину M<sub>зг</sub> визначити за формулою:

$$M_{зг} = Fl_1,$$

де F - вага вантажу; l<sub>1</sub>- плече, рівне відстані від місця прикладання вантажу до центру наклеєного тензодатчика.

Механічна напруга згину:

$$\sigma_{зг} = M_{зг} / W_{II},$$

де  $W_{II}$  - момент опору пластини у місці наклеювання датчика, що рівний:

$$W_{II} = bh^2/12,$$

де  $b$  – ширина пластини;  $h$  - висота пластини.

За отриманими даними побудувати криву  $I = f(\sigma_{зг})$ .

3. Побудувати тарувальну криву для визначення напруги кручення у сталевій трубі за допомогою тензовимірювального моста. Для цього при відсутності вантажів за допомогою резистора R (мал. 2.4 а, в) встановити стрілку мікроамперметра на нуль, після чого кінець сталевого важеля завантажити вантажами, які створюють момент кручення  $M_{кр} = F \cdot l_2$ , що є причиною створення напруги кручення у тілі труби:

$$\tau_{кр} = M_{кр} / W_T,$$

де  $W_T$  – момент опору перетину труби, рівний

$$W_T = 0,2d_1^3 [1 - (d_2/d_1)^4],$$

де  $d_1$  і  $d_2$  – зовнішній і внутрішній діаметр труби, відповідно.

Покази мікроамперметра записувати у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

*Протокол дослідження тензовимірювального моста для вимірювання напруги кручення у сталевій трубі*

Параметр	Розмірність	Величина	№ з/п	F		M <sub>кр</sub>	τ <sub>кр</sub>	I
				кгс	Н	Нм	Н/м <sup>2</sup>	мкА
d <sub>1</sub>	м		1.					
			2.					
d <sub>2</sub>	м		3.					
			4.					
			5.					
l <sub>2</sub>	м		6.					
			7.					
			8.					
W <sub>T</sub>	м <sup>3</sup>		9.					
			10.					

За отриманими даними побудувати криву  $I = f(\tau_{кр})$ .

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які існують типи механічних датчиків тиску та зусиль, для вимірювання яких тисків і в яких середовищах вони призначені?
2. Як побудовані та працюють рідинні датчики тиску і які у них переваги та недоліки?



3. Як побудовані та працюють поршневі, мембранні та сильфонні датчики тиску і які у них переваги та недоліки?
4. Як побудовані та працюють вугільні датчики тиску і які у них переваги та недоліки?
5. Як побудовані та працюють п'єзодатчики тиску і які у них переваги та недоліки?
6. Як побудовані та працюють ємнісні та іонізаційні датчики тиску і які у них переваги та недоліки?
7. Як побудовані та працюють тензометричні датчики тиску і які у них переваги та недоліки?
8. Як побудовані та працюють вимірювальні мости для вимірювання тисків та зусиль, як і для чого їх тарують?

#### ПОРЯДОК ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити призначення, будову та принцип роботи датчиків тисків та зусиль	1
2	Вивчити способи вимірювання тисків та зусиль у різних середовищах чи деталях	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> <li>- назву та мету роботи;</li> <li>- короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами;</li> <li>- порядок проведення експерименту;</li> <li>- таблиці 2.1, 2.2;</li> <li>- електричні схеми мал. 2.4.</li> </ul>	2

#### ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колесов Л. В. Основы автоматизации. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1984. – 288 с. (С. 40-43, 65-66).
2. Автоматизация и автоматизация производственных процессов / И. И. Мартиненко, Р. Д. Проценко, Т. Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с. (С. 103-110).
3. Автоматизация сельскохозяйственного производства / В. В. Коцур, В. М. Писаренко, Ю. Л. Козлов, Е. И. Ласточкин. - К.: Урожай, 1988. – 168 с. (С. 46 – 47, 136 - 137).

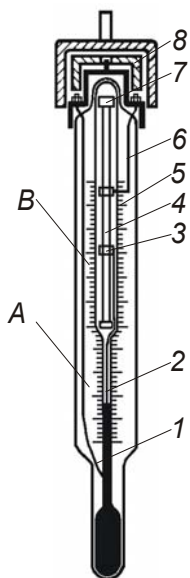
ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ

Мета роботи: вивчити будову та принцип дії датчиків температури і дослідити роботу терморезисторів

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У датчиках для вимірювання температур різних тіл або середовищ використовують властивості речовин та матеріалів, що змінюються залежно від температури. Це може бути зміна лінійних розмірів або об'єму, електропровідності, термоелектрорушійної сили, магнітних властивостей і т. п. Широке застосування у системах автоматики знаходять контактні термометри, біметалеві, інварні та магнітні датчики, термометри опору, напівпровідникові термометри, термометри опору, термометри опору, термометри опору, термометри опору.

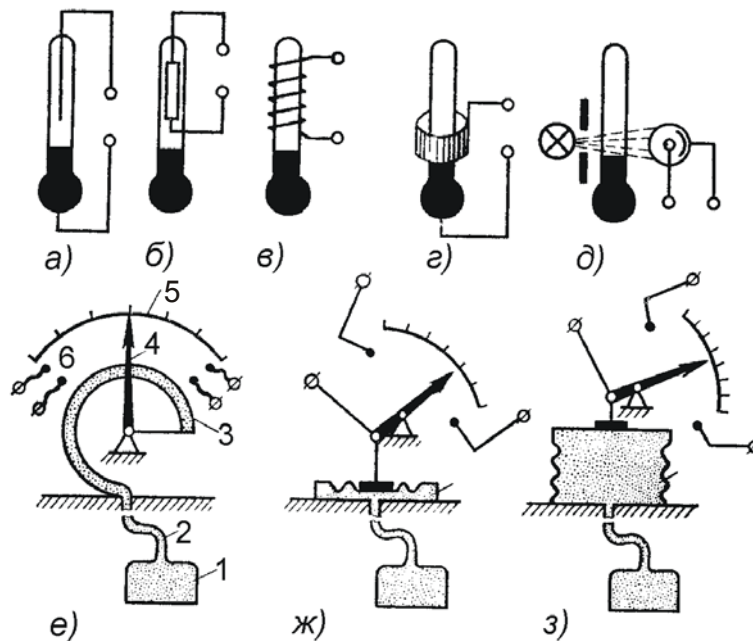
Контактні термометри - працюють на принципі теплового розширення рідин та газів. Рідинний (ртутний) датчик (див. мал. 3.1) являє собою скляну трубку 5, всередині якої розміщена скляна ампула із капіляром, де знаходиться ртуть. В ампулі розміщено два контакти: один впаєний знизу 1 і з'єднаний із стовпиком ртуті, а другий 2 (рухомий) розміщений зверху і може переміщатись у капілярі за допомогою магнітної головки 8 що розміщена над термометром. При провертанні магнітної головки 8, починає провертатись стальне осердя 7 та ходовий гвинт 4, по якому переміщується муфта 3, що з'єднана з рухомих контактом 2. Про положення рухомого контакту на вимірювальній шкалі *A* судять за положенням муфти 3 на допоміжній шкалі *B*. Оскільки висота стовпчика ртуті залежить від температури середовища, то кожному положенню рухомого контакту відповідатиме певне значення температури при якій спрацюватиме датчик. Таким чином, контактний термометр – датчик двохпозиційної дії, вхідною величиною якого є температура, а вихідною – висота рідини у капілярі. Межі регулювання температури від  $-30$  до  $+100$  °C (та вище). У схемах автоматики такі термометри



Мал. 3.1 - Контактний термометр

застосовуються із проміжними реле, тому що потужність контактів не перевищує 2 Вт при струмі 0,2 А. Окрім розглянутої конструкції застосовують термометри, де зміну висоти стовпця рідини використовують для зміни опору резистора, який впаяний у капіляр (мал. 3.2б), індуктивності котушки (мал. 3.2в), ємності (мал. 3.2г), інтенсивності світлового потоку (мал. 3.2д).

Манометричні датчики використовують залежність тиску газу або насиченої пари низько кипучої рідини, що знаходиться у замкнутій системі, від температури. Замкнута система (мал. 3.2е, ж, з) складається із балону 1, який занурюють у середовище, температуру якого треба виміряти, з'єднувального капіляра 2 та манометра 3, що зв'язаний системою важелів із стрілкою 4 вимірювальної шкали 5. Зміна температури у цих датчиках фіксується за рахунок переміщення манометричних пружин (е), мембран (ж), сильфонів (з). При досягненні граничних значень температури стрілка викликає спрацьовування контактної системи 6, у результаті чого виникає керуючий сигнал. Датчики манометричного типу дозволяють вести візуальний контроль температури, причому шкала датчика може бути віддаленою на значну відстань від контрольованого



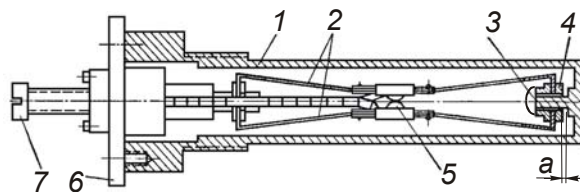
Мал. 3.2 - Датчики температури: а, б, в, г, д – рідинні;  
е, ж, з – манометричні

об'єкта (довжина капіляру до 40 м). Рідинні манометричні датчики заповнюються ртуттю, ацетоном, ефіром, спиртом та їх сполуками, а газові - азотом та інертними газами.

Похибка вимірювань манометричних датчиків становить 1...2,5%, а межі вимірювань обмежуються температурами якісної зміни фізичних властивостей робочого тіла (наприклад, температури замерзання та кипіння робочої рідини). До недоліків цих датчиків слід віднести значну інерційність та підвищену чутливість до вібрації та поштовхів, які можуть викликати спрацювання контактів. У схемах автоматики манометричні датчики застосовують без проміжних реле, оскільки потужність їх контактів достатня для керування магнітними пускачами виконавчих механізмів.

У магнітних датчиках температури (як правило, це релейні сигналізатори про настання певної заданої температури у контрольованому середовищі) чутливим елементом є постійний магніт, що втрачає свої магнітні властивості при настанні певної температури. У таких термосигналізаторах контакти у нормальному стані утримуються під дією магнітного поля постійного магніту. При зростанні температури вимірюваного середовища й досягненні нею певної величини магнітне поле постійного магніту настільки слабшає, що контакти термосигналізатора під дією пружин перемикаються. Промисловість випускає магнітні термосигналізатори типу ТРМ11-01 на температуру +60 °С, +80 °С та вище.

В інварних датчиках температури (як правило, це також релейні сигналізатори про настання певної заданої температури у контрольованому середовищі) чутливий елемент (див. мал. 3.3) складається із латунної трубки 1 та інварних пружин 2. Інвар - це спеціальний сплав із практично рівним нулю коефіцієнтом теплового розширення, внаслідок чого тіла, виготовлені із такого сплаву, при нагріванні практично не розширюються. Внаслідок різниці коефіцієнтів лінійного розширення латуні та інвару, латунна трубка разом із зв'язаною з нею віссю 3 при нагріванні переміщатиметься відносно інварних пружин 2. Виставляючи зазор *a*, можна



Мал. 3.3 - Терморегулятор інварний типу ТР-200

відрегулювати терморегулятор на певну температуру спрацювання. При нагріванні, коли цей зазор буде перекритим за раху-

нок переміщення в осьовому напрямі торця трубки 1 та осі 3, почне переміщатися замок 4, що призведе до розтягу інварних пружин 2 та розмикання контактів 5. При зниженні температури довжина трубки 1 зменшується і контакти 5 знову замикаються. Обертаючи гвинт 7, що встановлений у головці 6 терморегулятора, можна задавати значення температури його спрацювання (від +25 до 200 °С). Контакти терморегулятора допускають навантаження до 100 Вт при напрузі 200 В.

У біметалевих датчиках чутливим елементом є спай двох стрічок металів із різними температурними коефіцієнтами розширення. При нагріванні вимірювальний елемент деформується (прогинається), причому величина деформації пропорційна температурі. Спаяні пластини прогинаються у сторону металу з меншим температурним коефіцієнтом розширення. На мал. 3.4а приведено датчик, у якого деформація біметалевої пластини 1 використовується для звільнення пружини 2, що забезпечує швидке спрацювання контактів 3. Діапазон робочих температур біметалевих датчиків достатньо великий: від – 60 до +350 °С. Чутливість їх, звичайно, становить ±1 °С, але може бути і вищою.

У термометрах опору використовують властивість металічних провідників змінювати свій електричний опір при зміні температури. На практиці використовують платинові термометри опору типу ТСП із номінальним опором 10, 46 та 100 Ом для вимірювання температур від – 200 до + 650 °С, та мідні типу ТСМ на номінальний опір 53 та 100 Ом для вимірювання температур від –50 до +80 °С. У цих термометрах (мал. 3.4б) провід 1, що виготовлений із міді або платини, намотаний на ізоляційний каркас 2 та закритий кожухом 3. Виводи 5 закріплені в ізоляційній колодці 4.

Залежність опору проводу термометра від температури навколишнього середовища:

$$R = R_0 [1 - \alpha(\theta - \theta_0)]$$

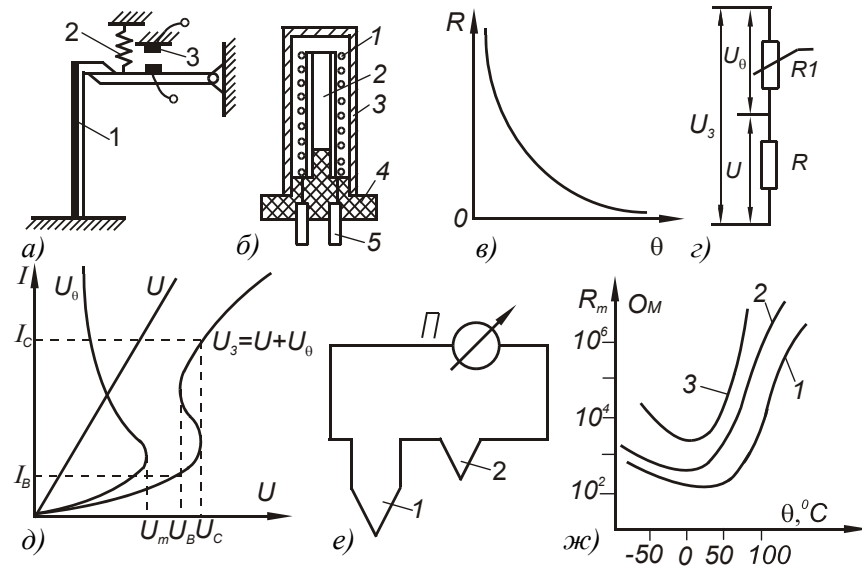
де  $R_0$  - опір, що відповідає температурі  $\theta_0$ ;  $R$  - опір проводу, що відповідає вимірюваній температурі  $\theta$ ;  $\alpha$  - температурний коефіцієнт опору (для міді  $\alpha = 0,00433$ , для платини  $\alpha = 0,00394 \dots 0,0056$  Ом/град).

Чутливість (Ом/град) термометра опору:

$$S = dR_0/d\theta = R_0\alpha.$$

Термометри опору - одні з найточніших вимірювачів температури (вони дозволяють виміряти температуру з точністю до 0,001 °С). Оскільки інтенсивність витрати теплоти залежить від ба-

гатьох факторів (розмір та форма провідника та арматури, до якої кріпиться провідник, склад, густина, теплопровідність навколишнього середовища, швидкість переміщення та ін.), термометри опору можуть застосовуватись і для вимірювання інших величин - швидкості, густини та складу газового або рідинного середовища. Основний їх недолік - порівняно великі розміри, що обмежує їх



Мал. 3.4 - Датчики температури: а) біметалевий; б) термометр опору; в) характеристика термістора; г) схема вмикання термістора; д) вольт-амперні характеристики термістора; е) схема вмикання термопари; ж) температурні характеристики позисторів при одній напрузі: 1 – позистора СТ6-1А; 2 – позистора СТ6-1Б; 3 – позистора СТ6-3Б

застосування при вимірюванні температури у малих об'ємах.

Напівпровідникові термоопори (термістори), температурний коефіцієнт яких у 8...10 разів більший, ніж у металів, знайшли широке застосування в автоматичних системах керування температурою. Залежно від матеріалу, із якого вони виготовлені, термістори поділяються на мідно-марганцеві (ММТ) та кобальто-марганцеві (КМТ). Діапазон вимірюваних та контрольованих температур складає від  $-70$  до  $+180$   $^{\circ}\text{C}$ . Конструктивно вони виготовляються у вигляді кульки, трубки, або диска з металевими виводами.

Залежність опору термістора від температури (мал. 3.4,в) описується рівнянням:

$$R = R_{\infty} e^{\frac{B}{\theta}},$$

де  $R$  - опір при вимірюваній температурі, Ом;  $\theta$  - температура  $^{\circ}\text{K}$ ;  $R_{\infty}$  та  $B$  - постійні для даного термістора коефіцієнти.

Значення коефіцієнтів  $R_{\infty}$  та  $B$  рівні:

$$B = \frac{\theta_1 \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \ln \frac{R_1}{R_2}; \quad R_{\infty} = R_1 e^{-\frac{B}{\theta_1}},$$

де  $R_1$  та  $R_2$  - опір термістора при температурах  $\theta_1$  та  $\theta_2$ , відповідно.

Чутливість (Ом/град) напівпровідникового термістора:

$$S = dR/d\theta = R_0 \alpha.$$

Величину  $\alpha$  називають температурним коефіцієнтом термістора:

$$\alpha = -B/\theta^2.$$

Значення опору термістора і його коефіцієнта досить великі, що забезпечує високу точність вимірювання невеликих відхилень температури.

Характерною особливістю термісторів є можливість отримати релейний ефект у колі (мал. 3.4 з), куди вони під'єднані. Якщо через термістори пропускати струм, то при його зростанні напруга  $U_{\theta}$  на термісторі  $R_1$  росте спочатку пропорційно струму, а потім починає спадати внаслідок зменшення опору, що викликається нагріванням термістора струмом. Подальше збільшення напруги у колі термістора, яке не обмежене іншим опором (провідниковим), до значення  $U_m$  супроводжується стрибкоподібним необмеженим зростанням струму і викликає псування термістора (мал. 3.4д). Для того, щоб обмежити струм, у коло термістора вмикають опір  $R$  із прямолінійною вольт-амперною характеристикою. Загальна вольт-амперна характеристика  $U_3$  визначатиметься як сума характеристик  $U_{\theta}$  та  $U$  і у колі виникатиме релейний ефект. При напрузі  $U_C$  (напруга спрацювання) струм стрибкоподібно зростатиме до значення  $I_C$ , при зниженні напруги до  $U_B$  (напруги повернення) струм стрибкоподібно зменшиться до значення  $I_B$ . Характеристики термісторів відносно стабільні. За механічною міцністю та вібростійкістю термістори не відрізняються від радіотехнічних опорів. Строк їх служби за нормальних умов експлуатації практично необмежений. Максимально можлива потужність розсіювання термісторів знаходиться у межах від 5 до 800 мВт. Значний опір термісторів дозволяє нехтувати опором з'єднувальних проводів, контактів та контактними е. р. с., що дозволяє вимірювати температуру на великих відстанях. Теплова інерційність термісторів приблизно рівна інер-

ційності звичайного ртутного термометра, а для деяких типів термісторів у десятки разів менша, що дозволяє використовувати їх при регулюванні температури мало інерційних об'єктів. Термістори можуть мати опір, відмінний від номінального до  $\pm 20\%$ , що утруднює їх взаємозамінність.

Позистори мають великий позитивний температурний коефіцієнт опору, що сягає  $80\%$  на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , у вузькому діапазоні температур. Їх виготовляють із титанату барію зі спеціально підібраними домішками, що надають їм властивостей напівпровідника, у якого опір сильно залежний від температури. Температурний коефіцієнт позисторів у  $3\dots 4$  рази більший ніж у термісторів. Опір позисторів значною мірою залежить від прикладеної до них напруги (мал. 4ж). Промисловість випускає позистори марки СТ (від СТ-5 до СТ-15) різних модифікацій. Позистори вмонтовуються в обмотки електро-двигунів для контролю їх температури.

Термопару - являють собою різновид термоелектричних перетворювачів генераторного типу, що працюють на термоелектричному ефекті. Якщо спаяти два різних провідники зі спеціально підібраних металів і спай 1 (мал. 3.4e) нагріти, то на вільних (холодних) кінцях провідників з'явиться термо-е. р. с., яка виникає тому, що енергія вільних електронів у різних металах збільшується із зростанням температури неоднаково. Наявність перепаду температури вздовж провідника призводить до того, що енергія та швидкість електронів у кінці провідника з більш високою температурою будуть більшими і електрони почнуть рухатися від гарячого кінця до холодного. Величина термо-е. р. с.  $E$  пропорційна різниці температур нагрітого  $\theta_r$  і вільного  $\theta_x$  кінців і залежить від матеріалу проводу:  $E = \alpha(\theta_r - \theta_x)$ .

При вимірюванні температури вільним кінцям забезпечують постійну температуру, для чого їх подовжують шляхом підбору проводів 2, що мають таку ж термо-е. р. с. і називаються компенсаційними. На практиці використовуються термопару хромель-копелеві (ХК) із межами зміни температури до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хромель-алюмелеві (ХА) - до  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ , мідно-константанові (М) - до  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , залізно-константанові (Ж) - до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  та інші.

#### ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ, АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Ознайомитись з конструкцією та принципом дії термочутливих елементів, що знаходяться на лабораторному стенді.



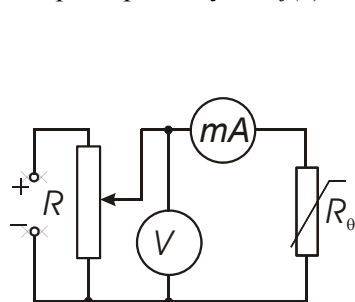
2. Дослідити вольт-амперну характеристику терморезистора. Вольт-амперну характеристику терморезистора можна дослідити при кімнатній температурі  $\theta_k$  або при заданій викладачем температурі  $\theta_1 > \theta_k$ , для чого необхідно зібрати електричну схему мал. 3.5 і, змінюючи потенціометром напругу від 0 до 4 В, записати покази приладів у таблицю 3.1. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(U)$ .

Таблиця 3.1

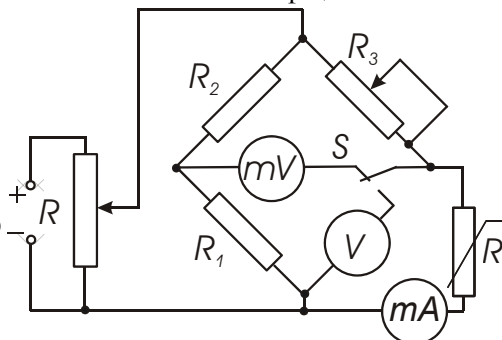
*Параметри терморезистора*

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta$	$^{\circ}\text{K}$										
$U$	В										
$I$	мА										
$R_{\theta}$	Ом										

3. Дослідити температурну характеристику терморезистора, для чого необхідно зібрати електричну схему мал. 3.6, яка являє собою вимірювальний міст, в одне з плечей якого включено терморезистор. Напругу під час досліду підтримувати незмінною, рівною 2 В, за допомогою потенціометра. Терморезистор розміщують у термостат, температура у якому вимірюється ртутним термометром. Поступово збільшуючи температуру, записувати у таблицю 3.2 покази термометра, вольтметра і міліамперметра. За цими даними визначають опір терморезистора. Результати записувати через 2-4 хв. після того як у термостаті встановиться задана температура. За результатами дослідів побудувати температурну характеристику  $R = f(\theta)$ . Визначити постійні коефіцієнти:



Мал. 3.5 - Електрична схема дослідження терморезистора



Мал. 3.6 - Електрична схема дослідження вимірювального моста із терморезистором

$$B = \frac{\theta_1 \theta_2}{\theta_2 - \theta_1} \ln \frac{R_{\theta_1}}{R_{\theta_2}}; \quad R_{\infty} = R_{\theta_1} e^{\frac{B}{\theta_1}},$$

де  $R_1$  та  $R_2$  - опір термістора при температурах  $\theta_1$  та  $\theta_2$  відповідно.

На цьому ж малюнку побудувати теоретичну температурну характеристику  $R'_{\theta} = R_{\infty} e^{\frac{B}{\theta}}$ , і порівняти її з експериментальною.

Таблиця 3.2

*Залежність параметрів терморезистора від температури*

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta$	°К										
$U$	В										
$I$	мА										
$R_{\theta}$	Ом										
$R'_{\theta}$	Ом										

4. Протарувати міст для вимірювання температури за допомогою терморезистора. Для цього під час знімання температурної характеристики у таблицю 3.3 записують покази мілівольметра при його підключенні до схеми за допомогою перемикача S. При початковій температурі міст зрівноважують за допомогою резистора змінного опору. За результатами дослідження побудувати тарувальну криву  $\theta = f(U)$ .

Таблиця 3.3

*Параметри моста для вимірювання температури*

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta$	°К										
$U$	В										

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які існують типи датчиків температури, для вимірювання яких температур і в яких середовищах вони призначені?
2. Як побудовані та працюють рідинні датчики температури і які у них переваги та недоліки?
3. Як побудовані та працюють манометричні датчики температури і які у них переваги та недоліки?
4. Як побудовані та працюють біметалеві датчики температури і які у них переваги та недоліки?
5. Як побудовані та працюють термометри опору і які у них переваги та недоліки?

6. Як побудовані та працюють терморезистори та позистори і які у них переваги та недоліки?
7. Як побудовані та працюють термопари і які у них переваги та недоліки?
8. Як побудовані та працюють вимірювальні мости для вимірювання температури, як і для чого їх тарують?

#### ПОРЯДОК ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити призначення, будову та принцип роботи датчиків температури	1
2	Вивчити способи вимірювання температури у різних середовищах, будову та принцип роботи вимірювальних мостів для вимірювання температури	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> <li>- назву та мету роботи;</li> <li>- короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами;</li> <li>- порядок проведення експерименту;</li> <li>- таблиці 3.1, 3.2, 3.3;</li> <li>- електричні схеми мал. 3.5, 3.6.</li> </ul>	2

#### ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматика и автоматизация производственных процессов/ И. И. Мартиненко, Б. Л. Головинский, Р. Д. Проценко, Т. Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. - 335 с. (С. 118 - 124).
2. Автоматизация сельскохозяйственного производства/ В. В. Коцур, В. М. Писаренко, Ю. Л. Козлов, Е. И. Ласточкин. - К.: Урожай, 1988. – 168 с. (С. 40–44, 130-132).
3. Колесов Л. В. Основы автоматизи. – 2-е изд., доп. и перераб. - М.: Колос, 1984. - 288 с. (С. 54 - 61).

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИЧНИХ СПРИЙМАЮЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

*Мета роботи:* вивчити будову та принцип дії фотодатчиків різних конструкцій та побудованих на їх основі фотореле

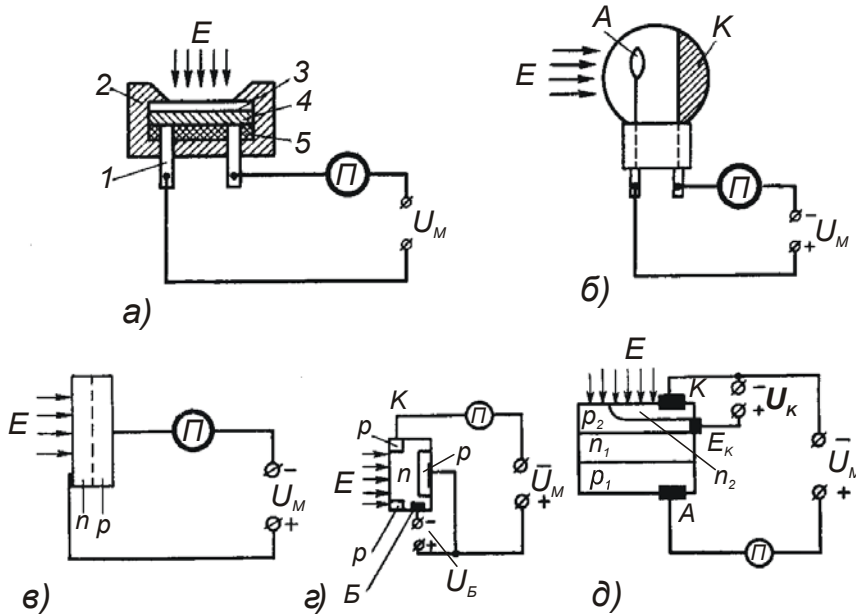
КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У сільськогосподарському виробництві оптичні (світлові) датчики використовуються у пристроях для сортування продукції за кольором (помідорів, яблук, смородини та ін.) та визначення якості за просвічуванням (зерна, яєць), для контролю руху насіння у висівних машинах і регуляторах освітленості та інтенсивності опромінення у теплицях, у тваринництві та птахівництві, у пристроях для керування вуличним освітленням, у вимірювачах задимленості повітря та мутності води, газоаналізаторах, у пристроях для контролю полум'я у пальниках, а також у різних захисних пристроях та ін. Оптичні датчики являють собою фотоелементи, що реагують на зміну світлового потоку. Відомо, що світлова енергія, діючи на деякі матеріали, надає їх електронам деякої енергії, достатньої для того, щоб частина електронів виявилась вільною. Залежно від поведінки електронів, які звільнилися під дією світлового потоку, розрізняють три типи фотоелементів:

- з внутрішнім фотоефектом (фоторезистори);
- із зовнішнім фотоефектом (вакуумні або газонаповнені);
- із шаром, що запирається (вентильні).

У *фоторезисторів* (див. мал. 4.1 а) під дією світла збільшується кількість вільних електронів, а отже, і електропровідність, тому сила струму, що протікає через них, залежить від освітленості світлочутливої поверхні фоторезистора. Збільшення електропровідності напівпровідника під дією світлової енергії називається внутрішнім фотоефектом. Фоторезистор являє собою основу з ізоляційного матеріалу (скляну пластину) 5, на яку нанесено тонкий шар світлочутливого матеріалу (селену або сірчистих галія, вісмуту чи свинцю) 4. До протилежних кінців напівпровідникового шару прикріплені металеві електроди 1, які необхідні для підключення фоторезистора до електричного кола. Пластина з нанесеним на неї напівпровідниковим шаром запресована у пластмасовий корпус 2 з отвором (робочим вікном) для проходження світлових променів.

Робоче вікно покривають світлопроникним лаком 3. Фоторезистори мають високу світлочутливість 500...6000 мкА/В·лм, просту конструкцію, малі габаритні розміри, значну розсіювану потужність та практично необмежений строк служби, що зумовлює широку область застосування фоторезисторів. До недоліків фоторезисторів можна віднести деяку залежність їх параметрів від температури та не лінійність залежності сили фотоструму від світлового потоку, а також відносно велику інерційність.



Мал. 4.1 - Електричні схеми вмикання: а) – фото резистора; б) – вакуумного фотоелемента; в) – фотодіода; г) – фототріода (фототранзистора); д) – фототиристора

Фотоелементи із зовнішнім фотоефектом являють собою вакуумну або газонаповнену (аргон під тиском -  $10^4$  Па для підсилення фотоструму за рахунок іонізації газу) лампу (див. мал. 4.1 б), анод *A* якої виготовлений у вигляді кільця або пластини, а катод *K* утворений світлочутливим шаром (цезій або сплав сурми з цезієм), нанесеним на внутрішню поверхню колби. Під дією світла, що падає на катод, він випромінює електрони, які при наявності електричного поля переміщуються до анода, створюючи струм у середині фотоелемента.

На відміну від фоторезисторів, електрони, що з'являються у фотоелементі під дією світлової енергії, не залишаються в освітле-

ному шарі, а віддаляються від нього (зовнішній фотоэффект). Для збільшення чутливості, колбу вакуумного фотоелемента заповнюють інертним газом. Фотоелектрони, що звільнені світлом, співударяючись із атомами газу, іонізують його і під дією електричного поля струм підсилюється. Такі фотоелементи називаються *іонними*.

Вакуумні фотоелементи працюють у режимі насичення, коли значення фотоструму не залежить від значення прикладеної напруги, а залежить тільки від світлового потоку. Інтегральна чутливість вакуумних фотоелементів  $K = dI_{\phi} / d\Phi$  складає 80...100 мкА/лм.

Вакуумні фотоелементи мало інерційні, але сильно піддаються старінню, а отже, нестабільні і їх характеристики з часом погіршуються. Низька чутливість та мала вихідна потужність вакуумних фотоелементів зумовили застосування підсилювачів, які, звичайно, конструктивно об'єднані з фотоелементом і називаються *фотопомножувачами*.

У *фотоелементів із шаром, що запирається*, вільні електрони, під дією світлового потоку, змінюють свій енергетичний стан, лишаючись при цьому у речовині. Найбільш розповсюджені германієві або кремнієві фотодіоди, фототріоди та фототиристри. Під дією світлового потоку у напівпровідниках утворюються пари "електрон-дірка", які під впливом електричного поля збільшують струм, що протікає через *p-n* переходи.

*Фотодіод* - це напівпровідниковий приймач променевої енергії, у якому здійснюється напрямлений рух носіїв струму під дією енергії оптичного випромінювання. Режим роботи фотодіода із зовнішнім джерелом живлення називають *фотоперетворювальним*, а без нього – *фотогенераторним*.

На мал. 4.1*в* приведена схема включення фотодіода у фотоперетворювальному режимі. Напруга на *p-n*-перехід фотодіода подається зворотної полярності. Під дією світлового проміння здійснюється генерування носіїв електричного заряду, які під дією електричного поля розділяються і на межі *p-n*-переходу створюють різницю потенціалів. Фотоперетворювальний режим дозволяє значно підвищити світлочутливість.

*Фототріод* - це напівпровідниковий приймач променевої енергії, у якому здійснюється напрямлений рух носіїв струму та може здійснюватись підсилення фотоструму під дією енергії оптичного випромінювання.

Конструктивно фототріод являє собою напівпровідникову пластинку із трьома зонами *p-n-p*-провідності, що чергуються (див.

мал. 4.1з). Ці зони мають металеві контактні виводи для під'єднання фотодіода до електричних кіл. Базова зона  $B$  типу  $n$ -провідності досяжна для проникнення світла. Під дією світлового потоку у базовій зоні створюються пари "електрон-дірка", які під дією електричного поля рухаються до емітерної  $E$  та колекторної  $K$  частин тріода. У результаті створюється струм, що проходить через емітерно-базовий перехід, при цьому підсилюється струм колектора (як у звичайному напівпровідниковому тріоді - транзисторі). На відміну від фотодіодів, роботою фототріодів можна керувати не тільки за допомогою світлового потоку, але одночасно й електричними сигналами. Окрім того, фототріоди мають вищу чутливість.

Фототиристор - це чотирьохшаровий напівпровідниковий прилад із  $p-n-p-n$ -переходами, що керується світлом (див. мал. 4.1д). Принцип дії фототиристора подібний до принципу дії фототріода. Під дією світлового потоку у напівпровідникових шарах виникають пари електрон-дірка, які під дією електричного поля беруть участь у збільшенні струму, що протікає через фототиристор.

Дія світлового потоку на  $p-n-p-n$ -структуру така ж, як і дія струму керуючого електрода  $E_K$  у тиристорів, але світлове керування фототиристором не має гальванічного зв'язку із силовим колом і дозволяє використовувати керуючий електрод для іншого призначення, наприклад, для встановлення необхідної чутливості або температурної стабілізації.

Властивості фоточутливих елементів визначаються рядом параметрів та характеристик, серед яких головними для автоматичних систем є світлова та вольт-амперна характеристики і чутливість.

*Світловою характеристикою*  $I_\Phi = f(\Phi)$  називають залежність фотоструму від світлового потоку  $\Phi$  (освітленості  $E$ ) при постійній напрузі.

*Вольт-амперною характеристикою*  $I_\Phi = f(U)$  називають залежність фотоструму фоточутливих елементів від напруги при постійній освітленості.

Світлові характеристики фоторезистора, фототріода та фототиристора нелінійні, а фотоелементів - лінійні, що складає їх головну перевагу та зумовлює використання фотоелементів у фотопідсилювачах.

Чутливість оптичних датчиків розділяють на інтегральну, питому та спектральну.

*Інтегральна чутливість* (мкА/лм) чисельно рівна силі фотоструму, що протікає у коротко замкнутому колі фоточутливого

елемента під дією одиниці світлового потоку, що не розкладений на спектр:

$$k_I = I_\phi / \Phi,$$

де  $I_\phi$  та  $\Phi$  – відповідно фотострум та світловий потік.

У паспортних даних фоторезисторів приводять *питому чутливість* (мкА/лм·В), яка являє собою відношення фотоструму до світлового потоку при напрузі 1 В:

$$k_O = I_\phi / \Phi U,$$

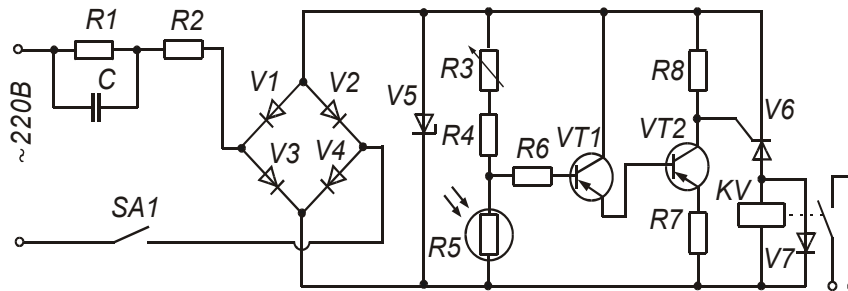
де  $U$  – напруга, що прикладена до елемента.

*Максимальну чутливість* знаходять, перемножуючи питому чутливість на максимальну різницю потенціалів.

Залежність чутливості елемента від довжини хвилі світлового потоку називають *спектральною характеристикою*, а коефіцієнт чутливості, що знайдений для певної довжини хвилі - *спектральною чутливістю*.

Фотореле (див. мал. 4.2) служить для автоматичного керування освітленням. До складу фотореле входять такі елементи: блок живлення, фоторезистор СФК-2, струмовий ключ та виконавче електромагнітне реле  $KV$ . Блок живлення складається з діодного моста  $V1 - V4$ , стабілітрона  $V5$ , конденсатора  $C1$ , що служить для обмеження струму в колі живлення, резисторів  $R2$  та  $R1$ , що служать для обмеження струму в колі стабілітрона  $V5$ , в момент вмикання фотореле та розрядження конденсатора  $C1$  при вимкненні. Струмовий ключ побудований на транзисторах  $VT1$  та  $VT2$ , резисторах  $R3 - R8$  та тиристорі  $V5$ . Для включення фотореле служить тумблер  $SA1$ .

Фотореле працює таким чином. При зменшенні освітленості опір фоторезистора  $R5$  зростає із 1...2 кОм до 3...5 кОм, що призводить до зростання колекторних струмів транзисторів  $VT1$ ,  $VT2$  та відкриття тиристора  $V5$ . При цьому спрацьовує виконавче електро-



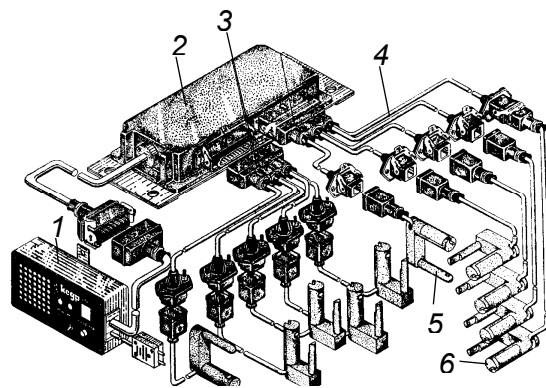
Мал. 4.2 – Електрична схема фотореле



магнітне реле  $KV$ , яке вмикає освітлення. При збільшенні освітленості опір фоторезистора  $R3$  зменшується, зменшується і колекторний струм транзистора  $VT2$ , що призводить до закриття тиристора  $V5$ , та відпускання виконавчого електромагнітного реле  $KV$ , яке вмикає освітлення. Поріг спрацювання фотореле встановлюється резистором змінного опору  $R3$ .

Фотоелектричні датчики, що використовуються у системах контролю руху зерна у робочих органах висівних машин, порівняно з використовуваними раніше електромеханічними датчиками мають ряд переваг: вони безконтактні, мають вищу чутливість, швидкість спрацювання та надійність.

Для контролю роботи нових швидкісних сіялок створена електронна автоматична система “Кедр” (див. мал. 4.3). До складу системи входять фотоелектричні датчики висіву 5, датчик рівня 6, блок підсилювачів 2, пульт 1 та з’єднувальні кабелі 4 із клемми 3. Живлення автоматичної системи здійснюється від тракторного акумулятора при напрузі 10,5...15 В. Автоматична система розрахована на контроль до восьми висівних апаратів або інших робочих органів за такими параметрами: обертання, рівень, переміщення, спрацювання. Корпус датчика виготовлений із пластмаси, має П-подібну форму і кріпиться у спеціальному вирізі насіннепроводу або сошника сівалки. У корпусі датчика розміщений освітлювач, фотоелемент та підсилювач. Для захисту від пилу й вологи елементи датчика герметизовані. Сигнал на цифровому індикаторі пульта у вигляді номера несправного каналу засвічується при порушенні



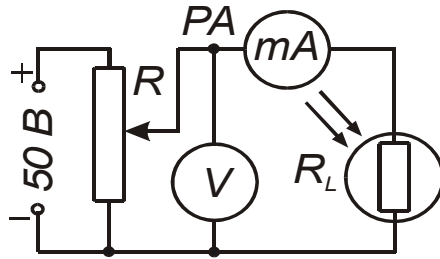
Мал. 4.3 – Автоматична система контролю висіву “Кедр”: 1 - пульт; 2 - підсилювачі; 3 - клемми; 4 - кабелі; 5 - фотоелектричний датчик; 6 - датчик рівня

роботи будь-якого висівного апарату у випадку відсутності зерна, забивання порожнини насіннепроводу насінням, забивання сошника землею зупинки обертання висівного диска, попадання сторонніх тіл у канал сошника. Зниження рівня зерна або туків у бункерах

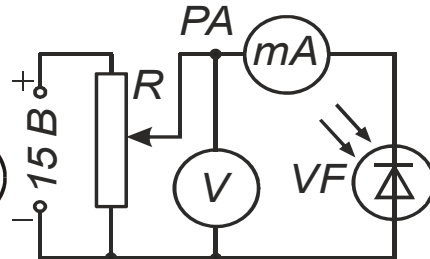
контролюється датчиками рівня і висвітлюється червоним сигналом на пульті. Для підвищення надійності у системі “Кедр” передбачено режим самоконтролю. Перед початком роботи висівного агрегату за допомогою кнопки “Перевірка” на пульті створюється режим мигання лампочок освітлювачів датчиків, що імітує пролітання насіння через фотодатчик. Якщо система справна, то мигтить зелена лампочка. При відмові будь-якої частини системи контролю на пульті висвітлюється номер несправного елемента та подається звуковий сигнал. Система також сигналізує про зниження напруги живлення нижче допустимих меж (10,5 В) висвічуванням на пульті цифри “8”.

### ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ, АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Ознайомитись з будовою та принципом дії світлочутливих елементів, що знаходяться на лабораторному стенді.
2. Дослідити вольт-амперну характеристику фоторезистора ФСК-1 при двох постійних освітленостях  $E_1$   $E_2$ . Для зняття вольт-амперної характеристики фоторезистора необхідно зібрати електричну схему (мал. 4.4). Змінюючи потенціометром напругу від 0 до 60 В, записати покази приладів у таблицю 4.1. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(U)$  для двох значень освітленості.



Мал. 4.4 – Електрична схема дослідження вольт-амперної характеристики фоторезистора



Мал. 4.5 – Електрична схема дослідження вольт-амперної характеристики фотодіода

3. Дослідити вольт-амперну характеристику фотодіода при двох постійних освітленостях  $E_1$   $E_2$ . Для зняття вольт-амперної характеристики фотодіода необхідно зібрати електричну схему (мал. 4.5). При цьому необхідно забезпечити подання на фотодіод напруги зворотної полярності (анод з’єднати із мінусом джерела, а катод із плюсом, як показано на мал. 4.5). Змінюючи потенціометром напругу від 0 до 15 В, записати покази приладів

у таблицю 4.2. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(U)$  для двох значень освітленості.

Таблиця 4.1

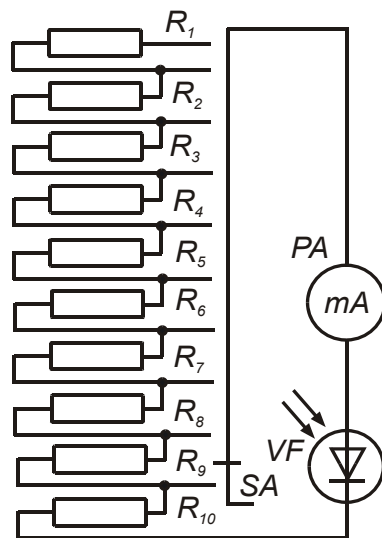
Параметри фоторезистора

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_1$	$U$	В									
	$I$	мкА									
$E_2$	$U$	В									
	$I$	мкА									

Таблиця 4.2

Параметри фотодіода

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_1$	$U$	В									
	$I$	мкА									
$E_2$	$U$	В									
	$I$	мкА									



4. Дослідити навантажувальні характеристики фотодіода у режимі фотогенератора та фотоперетворювача при двох постійних освітленостях  $E_1$   $E_2$ . Для зняття навантажувальної характеристики фотодіода у режимі фотогенератора необхідно зібрати електричну схему мал. 4.6. Змінюючи за допомогою перемикача  $SA$  величину опору навантажувального резистора, записати покази приладів у таблицю 4.3. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(R)$  для двох значень освітленості.

5. Для зняття навантажувальної характеристики фотодіода у режимі

фотоперетворювача необхідно зібрати електричну схему мал. 4.7. При знятті навантажувальної характеристики фотодіода цьому необхідно забезпечити подання на фотодіод напруги зворотної полярності (анод з'єднати з мінусом джерела а катод із плюсом, як показано на мал. 4.7). Встановити потенціометром задану викладачем напругу. Підтримуючи за допомогою потенціометра напругу постійною, дослідити, аналогічно до попереднього досліді, наван-

Таблиця 4.3

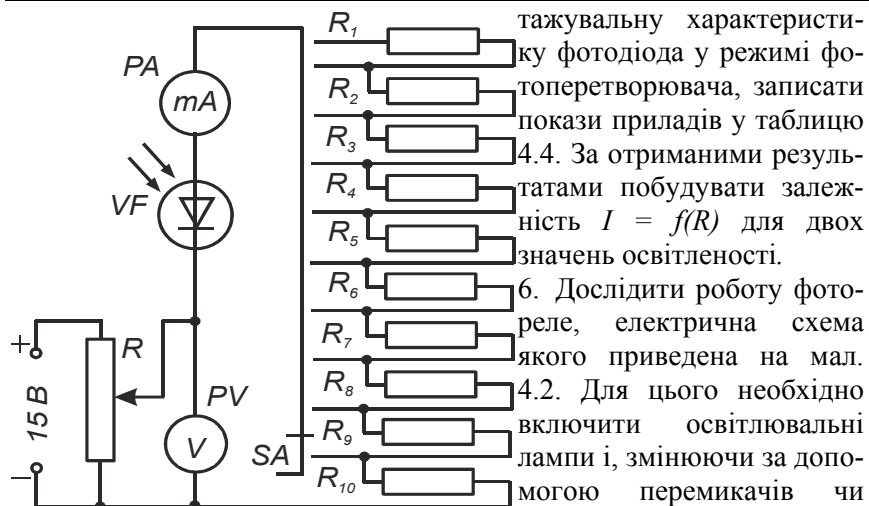
*Протокол дослідження навантажувальної  
характеристики фотодіода у режимі фотогенератора*

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_1$	$R$ кОм										
	$I$ мкА										
$E_2$	$R$ кОм										
	$I$ мкА										

Таблиця 4.4

*Протокол дослідження навантажувальної характеристики  
фотодіода у режимі фотоперетворювача*

№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_1$	$R$ кОм										
	$I$ мкА										
$E_2$	$R$ кОм										
	$I$ мкА										



*Мал. 4.7 - Електрична схема дослідження навантажувальної характеристики фотодіода в режимі фотоперетворювача*

тажувальну характеристику фотодіода у режимі фотоперетворювача, записати покази приладів у таблицю 4.4. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(R)$  для двох значень освітленості. 6. Дослідити роботу фотореле, електрична схема якого приведена на мал. 4.2. Для цього необхідно включити освітлювальні лампи і, змінюючи за допомогою перемикачів чи автотрансформатора їх світловий потік та освітленість фоторезистора, визначити величину освітленості фотодіода, при якій спрацьовує фотореле.

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які існують типи фотоелектричних датчиків, і де вони застосовуються?
2. У чому полягає фізична суть фотоефектів і які вони бувають?
3. Як побудовані та працюють фоторезистори і які у них переваги

- та недоліки?
4. Як побудовані та працюють вакуумні та іонні фотоелементи і які у них переваги та недоліки?
  5. Як побудовані та працюють фотодіоди і які у них переваги та недоліки, та як вони працюють у фотоперетворювальному та фотогенераторному режимах?
  6. Як побудовані та працюють фототріоди та фототиристри і які у них переваги та недоліки?
  8. Як побудовані та працюють фотореле?
  9. Для чого призначені і як побудовані та працюють системи контролю руху зерна у робочих органах висівних машин?

#### ПОРЯДОК ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити призначення, будову та принцип роботи фотоелектричних датчиків	1
2	Вивчити призначення, будову та принцип роботи фотореле та автоматичних систем контролю руху зерна у робочих органах висівних машин	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> <li>- назву та мету роботи;</li> <li>- короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами;</li> <li>- порядок проведення експерименту;</li> <li>- таблиці 4.1, 4.2, 4.3, 4.4;</li> <li>- електричні схеми мал. 4.4, 4.5, 4.6, 4.7.</li> </ul>	2

#### ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колесов Л. В. Основы автоматики. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1984. – 288 с. (С. 50-54).
2. Автоматизация сельскохозяйственного производства/ В. В. Коцур, В. М. Писаренко, Ю. Л. Козлов, Е. И. Ласточкин. - К.: Урожай, 1988. – 168 с. (С. 59-61).
3. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин/ Носов Г. Р., Кондратец В. А., Сакало Л. Г. и др. – К.: Вища школа, 1984. – 248 с. (С. 228-231).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5  
ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ ШВИДКОСТІ

Мета роботи: Вивчити будову, принцип роботи, технічні характеристики та межі застосування датчиків швидкості, а також побудованих на їх основі технічних пристроїв автоматичних систем.

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

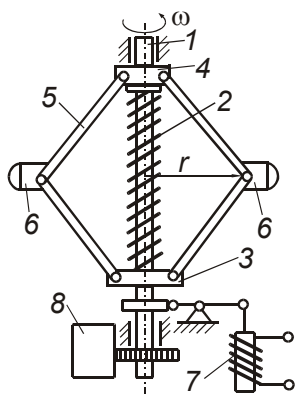
Для вимірювання кутових швидкостей широкого розповсюдження набули відцентрові маятники та тахометричні перетворювачі (тахометри). Схема найпростішого відцентрового маятника приведена на мал. 5.1. Вісь 1 отримує обертовий рух від об'єкта, кутова швидкість  $\omega$  якого вимірюється. Пружина 2 надіта на вісь 1 із деяким попереднім натягом, тому нижній повзунк 3, коли вісь 1 не обертається, максимально віддалений від жорстко закріпленої на осі муфти 4. До повзунка 3 та муфти 4, за допомогою шарнірів та чотирьох важелів 5 закріплені два вантажі 6. При обертанні осі 1 із деякою кутовою швидкістю  $\omega$ , вантажі 6 під дією відцентрової сили відштовхуються від неї, при цьому пружина 2 стискається, а повзунк 3 переміщається вздовж осі 1 до тих пір, поки зусилля, що створює пружина 2 не зрівноважить інерційні відцентрові сили вантажів 6.

Відцентрова сила  $F_B$  пропорційна квадрату кутової швидкості:

$$F_B = k_T \omega^2 r,$$

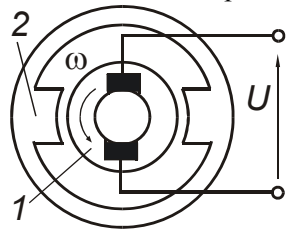
де  $k_T$  - постійний коефіцієнт, що залежить від конструкції датчика та маси вантажів;  
 $r$  - відстань від осі обертання до центра мас вантажів.

Переміщення повзунка 3 за допомогою вилкового важеля передається на спеціальний пристрій, що фіксує це переміщення. Таким пристроєм може бути якір індуктивного датчика 7, рухомий повзунк потенціометричного датчика, рухомий електрод емнісного датчика або рейка паливного насоса високого тиску дизельного двигуна внутрішнього згорання та ін. Обер-



Мал. 5.1 – Принципова схема відцентрового датчика швидкості

тання осі 1 через зубчате колесо може передаватися на лічильний механізм 8, який реєструє кількість обертів.



Мал. 5.2 – Принципова схема тахогенератора постійного струму

Тахогенератори являють собою невеликі генератори змінного або постійного струму з постійними магнітами чи з незалежною обмоткою збудження.

У тахогенераторів постійного струму (див. мал. 5.2.) якорь 1 отримує обертовий рух від об'єкта, кутова швидкість  $\omega$ , якого вимірюється і обертається у магнітному полі постійного магніту 2. Принцип дії таких датчиків заснований на законі електро-магнітної індукції, відповідно до якого електрорушійна сила  $E$ , що індукується у котушці якоря 1, пропорційна швидкості зміни магнітного потоку через неї  $d\Phi/dt$ , а отже, швидкості обертання якоря 1:

$$E = -\varpi \frac{d\Phi}{dt},$$

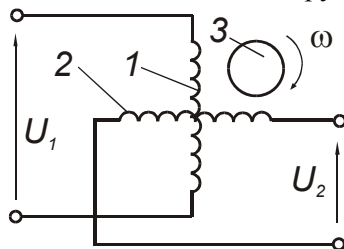
де  $\varpi$  - кількість витків котушки якоря.

Вихідною величиною такого датчика є напруга  $U$ , що знімається з колектора датчика і є пропорційною кутовій швидкості:

$$U = m\omega.$$

Такі тахогенератори мають деякі недоліки: наявність ненадійного щіткового контакту та вплив температури на опір обмоток якоря, а отже, і на величину вихідної напруги  $U$ .

Асинхронні тахогенератори змінного струму не мають рухомих контактів. У їх статорі знаходяться дві обмотки (див. мал. 5.3), що розміщені під кутом  $90^\circ$  одна відносно одної. Обмотка 1 живиться від джерела змінного струму напругою  $U_1$ , а з обмотки 2 знімається вихідна напруга  $U_2$ . Ротор 3 являє собою алюмінієвий



Мал. 5.3 – Принципова схема асинхронного тахогенератора змінного струму

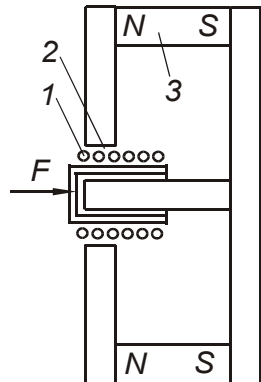
стакан, що обертається між статором та нерухомим циліндричним осердям. Коли ротор нерухомий, вихідна напруга  $U_2$  рівна нулю, оскільки осі обмоток взаємно перпендикулярні. При обертанні ротора в магнітному полі обмотки збудження 1, у ньому індукується струм, який створює магнітний потік, що перетинає витки вихідної обмотки 2. При цьому у ній індукується змінна

електрорушійна сила (ЕРС), що пропорційна кутовій швидкості ротора. Таким чином, при постійній напрузі живлення  $U_1$ , вихідна напруга буде пропорційною кутовій швидкості ротора тахогенератора:

$$U_2 = m_1 \omega U_1.$$

У тахогенераторах змінного струму краще використовувати залежність частоти вихідного струму тахометра від частота обертів його ротора  $f = \psi(n)$  оскільки у цьому випадку усувається вплив непостійності магнітного потоку, що забезпечує вищу точність вимірів.

Для вимірювання частоти обертів використовують також цифрові тахометри з індикацією результатів вимірів на світловому табло у десятковій системі. Такі тахометри (наприклад, цифровий автоматичний тахометр ЦАТ-3М) складається з датчика частоти обертів та частотоміра.



Мал. 5.4 - Принципова схема датчика лінійної швидкості

Для вимірювання швидкості лінійних переміщень, амплітуди коливань та прискорень можна використовувати датчик, схема якого приведена на мал. 5.4. Циліндричний постійний магніт 3 датчика створює у кільцевому зазорі 2 постійне радіальне магнітне поле. Циліндрична котушка 1 під дією механічних зусиль, що передаються від досліджуваного тіла, переміщається у повітряному зазорі, перетинає силові магнітні лінії постійного поля, внаслідок чого у ній індукується ЕРС, що пропорційна швидкості переміщення  $E = \psi(v)$ .

Спідометр - це прилад, що вказує швидкість руху машини й одночасно пройдений машиною шлях. За принципом дії вони можуть бути магнітоіндукційні з механічним приводом від трансмісії машини та електричні з приводом від датчика генераторного типу.

Спідометр із механічним приводом складається із системи привода, покажчика швидкості та лічильника. Незважаючи на відсутність звичайних елементів електричної схеми, робота спідометра з механічним приводом базується на електромеханічних явищах (мал. 5.5). Він складається з обертового магніту 4, що приводиться в рух від валика 3, алюмінієвого диска 2, осі 8, диска із стрілкою 6 та зворотної спіральної пружини 7. Для формування магнітного по-



току навколо диска 2 зовні з певним зазором встановлено магнітний екран 1. Валик 3 приводу магніту 4 за допомогою гнучкого вала з'єднується з вторинним валом коробки передач.

Робота спідометра базується на явищі магнітної індукції. Під час обертання постійного магніту 4 кільцеподібної форми його магнітний потік проходить через алюмінієвий диск 2. Його поверхня - це короткозамкнутий виток провідника, в якому згідно із законом електромагнітної індукції збуджується е.р.с. У диску виникають вихрові струми, які в свою чергу створюють власне магнітне поле. В результаті взаємодії магнітних потоків обертового магніту 4 і алюмінієвого диска 2 виникає момент, який повертає диск в бік обертання магніту. Кут, на який повертається алюмінієвий диск, пропорційний кількості обертів магніту, тобто швидкості руху машини. Для зрівноважування моменту обертання та повернення стрілки 6 у вихідне положення встановлена зворотна спіральна пружина 7. Під час обертання магніту пружина створює протидіючий момент диску 2 і стрілці 6, який пропорційний куту повороту стрілки. При постійній швидкості руху, а отже, і частоті обертання диска 2 момент взаємодії магнітних полів обертового магніту 4 і диска 2 врівноважується протидіючим моментом спіральної пружини 7 і стрілка 6 зупиняється в певному положенні, вказуючи на шкалі 5 швидкість руху. Щоб усунути похибку вимірювання при зміні температури навколишнього середовища, до обертового магніту прикріплений магнітний шунт із залізонікелевого сплаву.

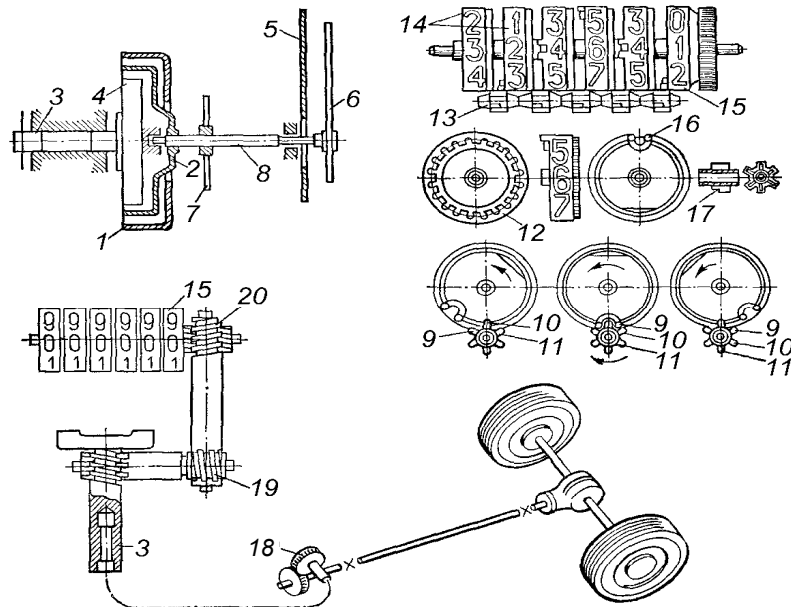
Для визначення пройденого шляху через валики привода 19 і 20 з однозахідними черв'ячними передачами приводиться в дію механізм барабанного типу 14 із необхідними цифровими позначеннями від 0 до 9. На крайньому барабані 15 з боку привода є зубці для зчеплення з черв'ячною передачею. На внутрішньому боці ободу кожного барабана є зубці, які входять в зачеплення з трибками. Триб має шість зубців, які входять у зачеплення з барабаном через двозубову виїмку 16. Барабани й трибки вільно обертаються на своїх осях. При обертанні початкового барабана 15 його двозубка підходить до вкороченого зубця триба і повертає його на 1/3 оберту, після чого продовжує своє обертання. При цьому триб повертає наступний барабан із двома зубцями, тобто на 1/10 оберту. Отже, початковий барабан 15 здійснює повний оберт при нерухомому трибку, оскільки два довгих його зубці вільно проходять по циліндричній частині барабана, де немає виїмок. В подальшому кожен барабан за один оберт повертає наступний лише на 1/10 обер-

ту. Крайній правий барабан має червоні цифри і показує десяті частки кілометра, а наступні - кілометри, десятки, сотні й тисячі. Найбільший показ шестибарабанового лічильника становить 99 999,9 тобто 100 000 км пробігу, після чого всі барабани повертаються у вихідне положення і відлік кілометрів починається з нуля.

Привод спідометра здійснюється через гнучкий вал від вторинного вала коробки передач через редуктор 18. Гнучкий вал складається з троса, вміщеного в оболонку з ніпелями і накидними гайками на кінцях, що має на кінцях квадратні грані торців. Оболонка закріплюється нерухомо до деталей кузова, захищає трос від пошкодження і забезпечує мащення мастилом ЦИАТИМ-201 або ЛЗ-158.

Гнучкий вал складається з кількох гвинтових багатозахідних пружин, навитих одна на одну в кілька шарів з внутрішнім загальним осердям з сталюого дроту. Передавальне число привода спідометра вибирають відповідно до передавального числа головної передачі, діаметра колеса та передавального числа черв'ячних передач в конструкції спідометра, яке становить 624 або 1000 (ВАЗ).

Конструкція спідометра, стан шин та характер руху машини визначають і похибку вимірювання швидкості руху та пройденого шляху. Крім того, на покази спідометра впливає пробуксовування



Мал. 5.5 - Принципова схема спідометра з механічним приводом

коліс, тривалість руху заднім ходом, а також швидкість руху. Незважаючи на те, що за технічними характеристиками спідометра основна похибка становить 2-6%, загальна похибка всієї системи вимірювання швидкості досягає 10-15%, тобто 10-15 км/год при швидкості руху 100 км/год і 5-7,5 км/год при 50 км/год, що необхідно враховувати при дотриманні встановлених меж швидкості руху. Спідометри подібної конструкції (СП-116, СП-201, СП-104 та ін.) встановлюють на більшості вантажних і легкових автомобілів і відрізняються лише зовнішнім виконанням, типом шкали, способами кріплення. Окремі типи спідометрів (СП-125) мають спеціальний привод, який забезпечує облік пройденого шляху переднім і заднім ходом.

Якщо місця встановлення привода і спідометра розміщені на відстані більше як 3,55 м (автобуси, машини з відкидною кабіною, автотягачі) застосовувати гнучкий вал для приводу механізмів не можна, оскільки він надмірно закручується, обертовий момент передається нерівномірно, стрілка показчика швидкості занадто коливається. Крім того, виникає необхідність у визначенні частоти обертання робочих органів технологічних машин, розміщених на значній відстані від кабіни. В таких випадках застосовують спідометри електричної дії. Датчик, вал якого обертається від привода в місці підключення, генерує трифазний електричний струм, частота якого пропорційна частоті обертання вала. У спідометрі, встановленому на щитку приладів і з'єднаному з датчиком електричною проводкою, струм від датчика приводить у дію показчик швидкості та лічильний механізм.

Спідометр з електричним контактним приводом (СП-134, СП-125, СП-119) складається з датчика, який перетворює постійний струм системи живлення машини у трифазний змінний струм і показчика з трифазним синхронним двигуном із збудженням від постійних магнітів. Датчиком є колекторний механізм із контактними пластинами й щітками, розміщеними під кутом  $120^\circ$ . При обертанні колектора з частотою, пропорційною швидкості руху машини, контактні пластини по чергово з'єднуються з негативною і позитивною щітками, в результаті чого виникає пульсуючий струм, який змінює свій напрямок через кожні  $120^\circ$ .

Одержаний від датчика трифазний струм надходить до обмотки статора показчика швидкості і створює обертове магнітне поле, що відповідає частоті обертання колектора і швидкості руху машини. Під дією магнітного поля з такою ж частотою обертається

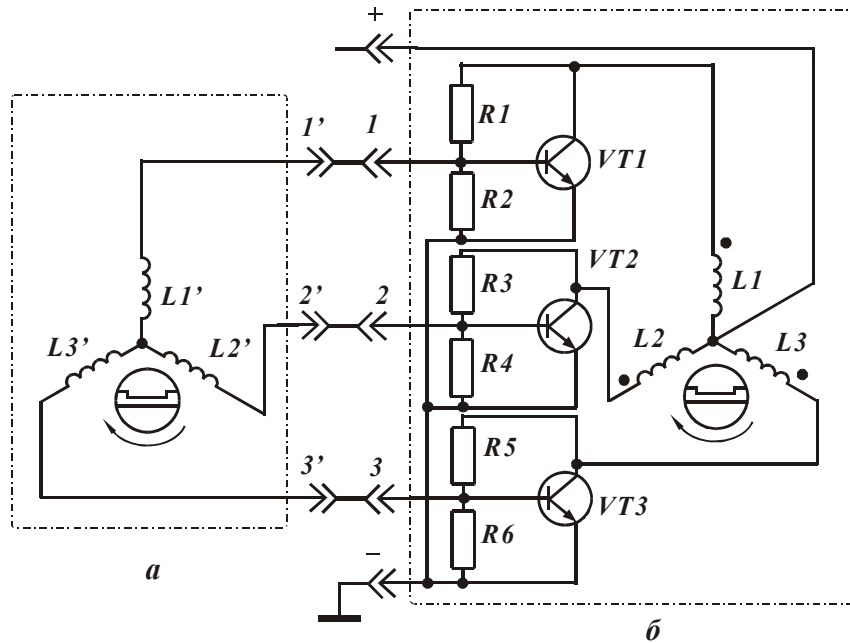
ротор електродвигуна показчика, який приводить у дію стрілку відліку швидкості та лічильний механізм пройденого шляху.

Спідометр з електричним безконтактним приводом складається з датчика МЗ-307 генераторного типу і показчиків СП-155 і 12.3802 і встановлюється на автомобілях КамАЗ, МАЗ, КрАЗ та ін. (мал. 5.6). Датчиком є електричний трифазний генератор із ротором у вигляді чотириполюсного постійного магніту, який обертається від веденого вала коробки зміни передач. В статорі знаходяться три обмотки, розміщені між собою під кутом  $120^\circ$  і з'єднані «зіркою». За такої будови частота струму датчика пропорційна швидкості руху машини. При обертанні ротора датчика його магнітне поле збуджує в обмотках статора ЕРС, частота імпульсів якої пропорційна частоті обертання ротора. Імпульси ЕРС обмоток статора по черзі, тобто через кожні  $120^\circ$  фази обертання ротора, надходять до бази транзисторів VT1, VT2 і VT3. При цьому транзистори відкриваються і на відповідні обмотки статора показчика швидкості і лічильника пройденого шляху надходить електричний струм.

Показчик магнітоіндукційної дії приводиться в дію синхронним електродвигуном, статор якого має трифазну обмотку, кожна котушка якої складається з 2300 витків, а опір становить 220 Ом. При надходженні імпульсу від першої обмотки датчика через контактне з'єднання 1 до бази транзистора VT1 останній відкривається і струм від клеми «+» через обмотку електродвигуна показчика і транзистор VT1 надходить до клеми «-» показчика. Оскільки імпульси надходять із зсувом  $120^\circ$ , в обмотках статора електродвигуна показчика створюється обертове магнітне поле, частота якого відповідає частоті обертання ротора датчика. При цьому приводяться в дію ротор електродвигуна показчика, стрілка показчика швидкості і лічильний механізм пройденого шляху. Резистори R1 - R6 прискорюють закриття транзисторів після проходження чергового імпульсу, оскільки вони працюють у ключовому режимі, а також зменшують дію ЕРС самоіндукції, яка виникає в обмотках електродвигуна при запиранні транзисторів.

*Тахометри* застосовують для вимірювання частоти обертання валів, барабанів, коліс чи інших робочих органів, розміщених на значній відстані. За принципом дії вони бувають механічними і електричними. Датчик електричного тахометра - це трифазний генератор із збудженням від постійних магнітів. Ротор з'єднується з валом двигуна безпосередньо або за допомогою короткого гнучкого вала. Трифазний струм від генератора має частоту, пропор-

ційну частоті обертання робочого органу. Цей струм надходить до показуючого приладу, розміщеного на будь-якій відстані, і приводить у дію вимірювальний пристрій, стрілка якого вказує на вимірювану частоту обертання.

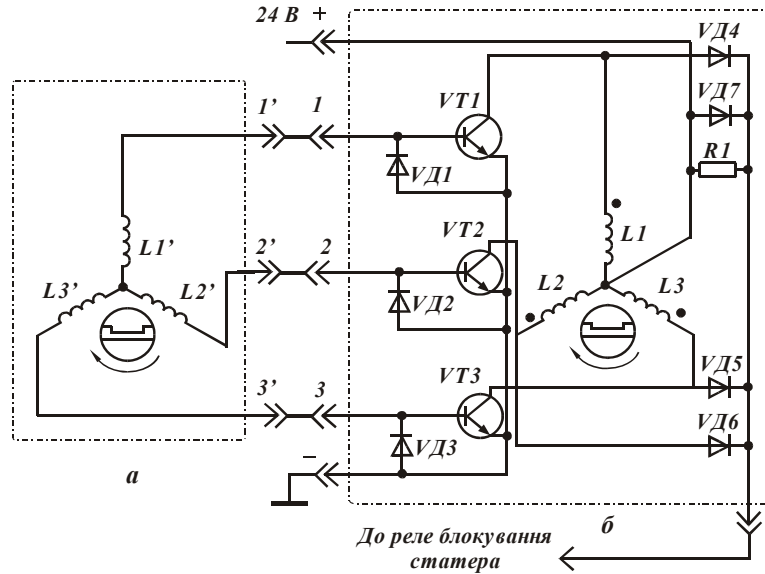


Мал. 5.6 – Принципова схема спідометра з електроприводом:  
а) датчик МЗ-307; б) показчик 12.3802

На потужних та складних агрегованих машинах встановлюють комбіновані прилади. Наприклад, на тракторах К-700А і К-701 встановлюють тахоспідометри ТХ-133 та ТХ-139, які поєднують спідометр, тахометр і лічильник мотогодин. Це прилади індукційної дії з приводом від гнучкого вала. Частота обертання вхідного валика приладу при номінальній частоті обертання колінчастого вала двигуна становить 800 об/хв. Одна мотогодина, вказана лічильником, відповідає роботі двигуна протягом години при номінальній частоті обертання.

Тахометр з електроприводом складається з датчика МЗ-307 і показчика 121.3813 і встановлюється на автомобілях КамАЗ, ЗИЛ-133ГЯ (мал. 5.7). Датчик тахометра приводиться в дію від вала паливного насоса і генерує трифазний струм, частота якого пропорційна частоті обертання вала. При обертанні ротора датчика керуючі імпульси надходять до бази транзисторів VT1, VT2 і VT3 з

зсувом по фазі  $120^\circ$ , транзистори по черзі відкриваються і струм живлення від акумуляторної батареї через клему 5 надходить до обмоток показчика і через відповідний транзистор до клемі «-» батареї. При цьому в обмотках збуджується змінне магнітне поле, яке приводить у дію ротор і стрілку показчика частоти обертання. Діоди VD1-VD6, стабілітрон VD7 і резистор R1 прискорюють запирання транзисторів і зменшують дію ЕРС самоіндукції, що виникає в фазних обмотках. Оскільки тахометр працює лише при роботі двигуна, то з клемі 4 знімається струм керування реле блокування системи вмикання стартера, що виключає можливість вмикання стартера навіть при команді «Пуск». Крім того, ця ж схема автоматично відключає стартер відразу ж після пуску двигуна.



Мал. 5.7 – Принципова схема тахометра з електроприводом:

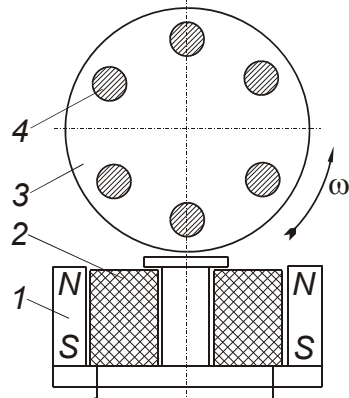
а) датчик МЭ-307; б) показчик 121.3813

Електричний тахометр ТХ-193 (ВА3-2103, -2106) має показчик магнітоелектричної дії, робота якого базується на використанні імпульсів струму, що виникають у первинному колі системи запалювання при розмиканні контактів. Для підвищення точності вимірювання одержані керуючі сигнали за допомогою спеціальної електронної схеми перетворюються в імпульси потрібної форми, які подаються до вимірювального приладу.

Тахографи і роботоміри вимірюють і реєструють пройдений машиною шлях, швидкість руху і її перевищення на окремих ділянках маршруту, час руху і простоїв за графіком та для виконання ре-

монтних робіт, глибину оранки, кількість витраченого палива та ін.

Датчик безконтактного контролю обертання БКВ призначений для отримання інформації про швидкість стрічки стрічкового конвеєра у пристроях УКПС та УКС. Датчик складається з постійного магніту 1, виготовленого у формі кільця, всередині якого знаходиться котушка 2, та встановленого на підшипниках циліндричного ролика 3 із шістьма стержнями 4 (див. мал. 5.8). Постійний магніт 1 та котушка 2 можуть виготовлятися окремо у вигляді магнітоіндуктивного датчика ДМ-2. Циліндричний ролик контактує зі стрічкою конвеєра і при її русі обертається із певною кутовою швидкістю  $\omega$ . При цьому, через активну зону магнітоіндуктивного датчика по чергові стержні 4 ролика 3, що призводить до коливань силових ліній постійного магніту 1 та перетину ними витків котушки 2. У котушці індукується ЕРС, частота якої пропорційна швидкості руху стрічки конвеєра.



Мал. 5.8 – Принципова схема датчика безконтактного контролю обертання БКВ

Реле швидкості РС-67 разом із тахогенераторним датчиком УПС або магнітоіндуктивним датчиком ДМ-2 призначене для контролю швидкості, пробуксовування та поперечного обриву стрічки стрічкового конвеєра, а також контролю руху чи обриву ланцюга одно ланцюгового скребкового транспортера при швидкостях руху стрічки у межах від 0,6 до 3,5 м/с та ланцюга від 0,4 до 1,6 м/с. Реле РС-67 може застосовуватись для контролю роботи як одиночного конвеєра, так і конвеєрів, що входять до потоково-транспортних ліній, а також механізмів, що мають рухомі металеві вузли з повітряними зазорами.

Реле швидкості РС-67 забезпечує виконання таких режимів:

- затримка часу на вмикання;
- контроль швидкості, пробуксовування та поперечного обриву стрічки стрічкового конвеєра;
- контроль руху, зупинки чи обриву ланцюга одноланцюгового скребкового транспортера;
- автоматичне вимикання приводу конвеєра при аварійних режимах, пов'язаних із пробуксовуванням та зниженням

швидкості стрічки понад 25%, поперечним обривом стрічки чи обривом скребкового ланцюга;

- затримка часу на вимкнення після зникнення сигналу від датчика.

При контролі швидкості, пробуксовування та поперечного обриву стрічки тумблер В встановлюють у положення Л (стрічковий), а при контролі руху, зупинки чи обриву ланцюга одноланцюгового скребкового транспортера тумблер В встановлюють у положення С (скребковий).

При вмиканні конвеєра, після досягнення нормальної швидкості стрічки, від датчика швидкості надходить сигнал, який призводить до спрацювання вихідного проміжного реле та перемикання його контактів. При обриві стрічки та зникненні сигналу від датчика, через проміжок часу у межах 2-5 с, що регулюється резистором, проміжне реле відпускається і зупиняє конвеєр. Якщо у період роботи стрічкового конвеєра внаслідок пробуксовування стрічки проходить зниження вхідного сигналу від датчика швидкості на 25 % та більше, то внаслідок не лінійності підсилювача, вихідне проміжне реле також відпускається і конвеєр зупиняється.

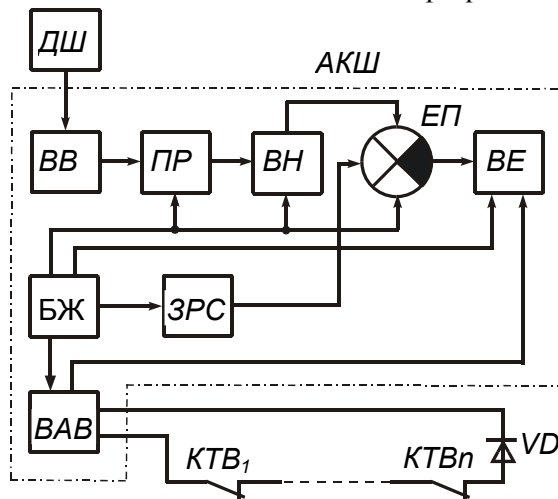
Пристрій контролю швидкості УКС разом із датчиком безконтактного контролю обертання БКВ або магнітоіндуктивним датчиком ДМ-2 призначений для контролю швидкості стрічки стрічкового конвеєра або для контролю руху чи обриву ланцюга одноланцюгового скребкового транспортера при швидкостях руху стрічки у межах від 0,6 до 5,0 м/с та ланцюга від 0,4 до 1,6 м/с, а також механізмів, що мають рухомі металеві вузли з повітряними зазорами.

Пристрій УКС (див. мал. 5.9) складається із датчика швидкості ДШ та апарату контролю швидкості АКШ. Апарат АКШ, у свою чергу, складається із джерела живлення БЖ, вхідного вузла ВВ, перетворювача ПР, вузла налаштування ВН, задавача рівнів порівняння ЗРС, елемента порівняння ЕП, виконавчого елемента ВЕ та вузла аварійного вимикання ВАВ.

Сигнал змінного струму від датчика *ДШ*, частота якого пропорційна швидкості контрольованого механізму, подається у вхідний вузол ВВ, у якому проходить подвоєння частоти та розділ іскробезпечного кола датчика від іскробезпечних кіл апарату *АКШ*. Після чого у перетворювачі *ПР* частотний сигнал датчика *ДШ* перетворюється в аналоговий і через вузол налаштування *ВН* подається до елемента порівняння *ЕП*. Сюди надходить також еталонний сигнал із задавача рівнів порівняння *ЗРС*. Якщо рівень сигна-



лу фактичної швидкості з вузла налаштування *ВН* відповідає еталонному рівню *ЗРС*, то сигнал із елемента порівняння *ЕП* надто- дить далі до виконавчого елемента *ВЕ*, у якому вмикається виконавче реле. У протилежному випадку вихідний сигнал із еле- мента порівняння *ЕП* відсутній і виконавче реле у виконавчому елементі *ВЕ* вимкнене. Аварійне вимикання конвеєра із будь-якої його точки забезпечується вузлом аварійного вимикання *ВАВ* при дії на кінцевий вимикач *КТВ*. При роботі пристрою УКС у режимі



Мал. 5.9. – Функціональна електрична схема пристрою контролю швидкості

контролю швидкості руху стрічки стрічко- вого конвеєра переми- кач 9 (пелюстка прово- ду 9 див. мал. 5.11) по- винен знаходитись у положенні 1...5 а тумб- лер 4 - у положенні Л (стрічковий). При ро- боті пристрою УКС у режимі контролю руху скребкового ланцюга конвеєра перемикач 9 повинен знаходитись у положенні 6, а тумблер 4 - у положенні С (скребковий).

#### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ, АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Ознайомитись із будовою та принципом дії датчиків швидкості, що знаходяться на стенді.
2. Під'єднати до вольтметра виводи трифазного датчика генераторного типу МЗ-307 та дослідити залежність його вихідної лінійної напруги від частоти обертання. Результати записати у таблицю 5.1. За отриманими результатами побудувати залежність  $U=f(n)$ .

Таблиця 5.1

Результати досліджень трифазного датчика МЗ-307

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>n</i>	об/с									
<i>U</i>	В									

3. Під'єднати до вольтметра виводи безконтактного датчика конт-

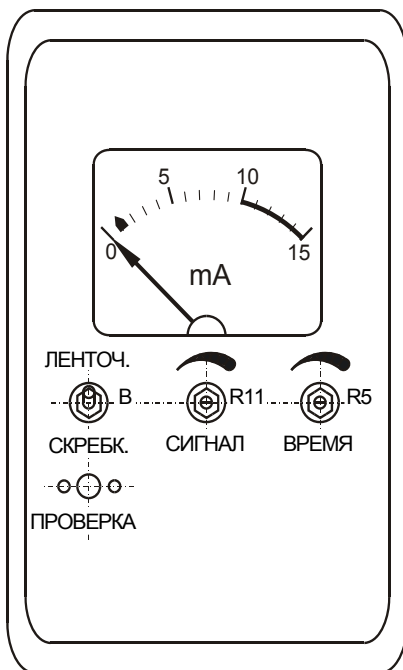
ролю обертання БКВ та дослідити залежність його вихідної напруги від частоти обертання. Результати записати у таблицю 5.2. За отриманими результатами побудувати залежність  $U=f(n)$ .

Таблиця 5.2

Результати досліджень безконтактного датчика контролю обертання БКВ

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	об/с									
$U$	В									

4. Перевірити працездатність реле швидкості РС-67 при контролі швидкості руху пробуксовування та обриву стрічки конвеєра. Для чого тумблер В (див. мал. 5.10) встановити у положення “ленточный”, а осі резисторів змінного опору R5 та R11, які виведені на пульт його керування, повернути за годинниковою стрілкою до упору, що відповідає максимальній витримці часу на вимикання та максимальному сигналу від датчика швидкості. Подати тумблером, який знаходиться біля реле, напругу на реле. За допомогою встановленого на стенді двигуна привести в рух

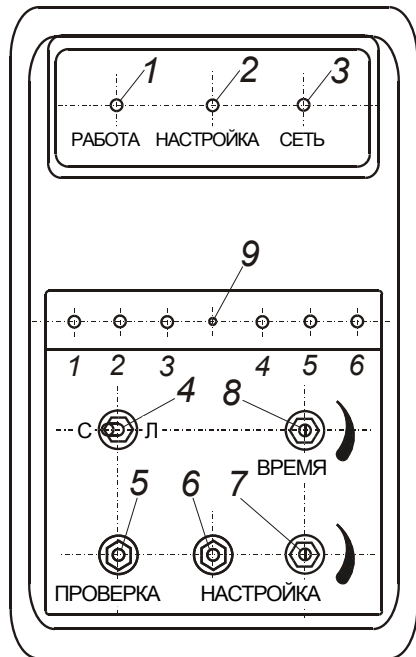


Мал. 5.10 – Загальний вигляд реле швидкості РС-67

циліндричний ролик індуктивного датчика ДМ-2 і встановити його кутову швидкість такою, щоб стрілка приладу знаходилась у зоні 10-15 мА. При цьому повинен загорітись сигнальний світлодіод та спрацювати магнітний пускач, який знаходяться біля реле та сигналізують про роботу конвеєра. Натиснути кнопку “Проверка” й обертанням осі резистора змінного опору R11 проти ходу годинникової стрілки встановити покази приладу у зоні 0,75-1,5 мА. При цьому повинен погаснути сигнальний світлодіод та відключитись магнітний пускач, що знаходяться біля реле та сигналізують про зупинку конвеєра. Відпустити кнопку “Проверка”, при цьому стрілка приладу повинна встановитись у зоні 10-

14 мА, сигнальний світлодіод - загорітись, а магнітний пускач – спрацювати. Натиснути кнопку “Проверка”, при цьому магнітний пускач повинен відпуститись з витримкою часу, величина якої повинна знаходитись у межах 2-5 с. і встановлюється за допомогою резистора R5.

Перевірити працездатність пристрою контролю швидкості УКС при контролі швидкості руху пробуксовування та обриву стрічки конвеєра. Для чого тумблер 4 (див. мал. 5.11) встановити у положення Л “Ленточный”. Вісь резистора змінного опору 7 “Настройка” повернути за годинниковою стрілкою до упору. Вісь резистора змінного опору 8 “Время” повернути проти годинникової стрілки до упору, що відповідає мінімальній витримці часу на вимикання. Пелюстку проводу 9 встановити в одне з положень, залежно від діапазону швидкості конвеєра, згідно з таблицею 5.3. Подати тумблером, який знаходиться біля пристрою, напругу на нього, при цьому загориться світло-діод “Сеть”. За допомогою встановленого на стенді двигуна привести в рух циліндричний ролик індуктивного датчика ДМ-2 і встановити його куту швидкість такою, щоб вона відповідала діапазону, на який встановлена



Мал. 5.11 – Загальний вигляд пристрою контролю швидкості УКС

пелюстка проводу 9, при цьому загориться світлодіод “настройка”, а також спрацює магнітний пускач та загориться світлодіод, що знаходяться біля пристрою і сигналізують про роботу конвеєра. Налаштувати пристрій УКС на задану швидкість стрічки конвеєра. Натиснути кнопку 6 “Настройка” і плавно повертати вісь резистора змінного опору 7 “Настройка” за годинниковою стрілкою до тих пір, поки не зменшиться яскравість горіння світлодіода “Настройка” і не почне світитись світлодіод “робота”. Якщо при налаштуванні замість зменшення яскравості світлодіода “Настройка”, він взагалі гасне, то необхідно плавно повертати вісь

резистора 7 “Настройка” проти годинникової стрілки і домогтись одночасного горіння світлодіодів “Настройка” та “Робота”. Відпустити кнопку “Настройка”. Плавним поворотом осі резистора 8 “Время” за годинниковою стрілкою встановити необхідну витримку часу. Натиском кнопки 5 “Проверка” перевірити працездатність пристрою при контролі зменшення швидкості стрічки конвеєра. Конвеєр повинен зупинитись (вимкнеться магнітний пускач та погасне світлодіод, що сигналізують про його роботу), при цьому гасне також світлодіод “Настройка” та з витримкою часу на відключення, гасне світлодіод “Робота” і вимикається магнітний пускач із сигнальним світлодіодом. Таким же чином пристрій повинен спрацювати тоді, коли за допомогою змонтованого на стенді двигуна, встановити кутову швидкість циліндричного ролика індуктивного датчика ДМ-2 такою, щоб вона була меншою від мінімальної швидкості діапазону, на який встановлена пелюстка проводу 9.

Таблиця 5.3

*Діапазони швидкості стрічкового конвеєра*

Положення пелюстки проводу (№ діапазону)	Діапазон швидкості стрічки конвеєра, м/с	Діапазон кутової швидкості ролика, об/с
1	3,5-5,5	7,4-11,7
2	2,2-3,5	4,7-7,4
3	1,4-2,2	3,0-4,7
4	0,85-1,4	1,8-3,0
5	0,55-0,85	1,2-1,8

Перевірити чи забезпечує пристрій УКС аварійне відключення конвеєра при розмиканні кінцевого вимикача КТВ, що сигналізує про обрив стрічки конвеєра. При розмиканні контактів кінцевого вимикача світлодіод “настройка” повинен гаснути і вимикатись магнітний пускач із сигнальним світлодіодом, а при замиканні контактів КТВ - усі вони повинні повернутись у вихідний стан.

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для чого призначені датчики швидкості?
2. У чому полягає принцип роботи тахогенераторів змінного та постійного струму?
3. Як побудований та працює відцентровий датчик швидкості?
4. Як побудований та працює тахогенератор постійного струму?
5. Як побудований та працює тахогенератор змінного струму?
6. Як побудований та працює датчик швидкості лінійних переміщень?

7. Як побудований та працює автомобільний тахометр?
8. Як побудований та працює магнітоіндуктивний датчик ДМ-2?
9. Як побудований та працює датчик безконтактного контролю обертання БКВ?
10. Як побудоване та працює реле швидкості РС-67?
11. Як побудований та працює пристрій контролю швидкості УКС?

#### ПРОГРАМА ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити принцип роботи датчиків кутових та лінійних швидкостей, переміщень і прискорень, відцентрових маятників, тахометрів змінного та постійного струму, вияснити їх переваги та недоліки	1
2	Вивчити призначення, будову та принцип роботи спідо-метрів, тахометрів з електроприводом та автоматичних систем контролю руху робочих органів машин	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> <li>- назву та мету роботи;</li> <li>- короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами;</li> <li>- порядок проведення експерименту;</li> <li>- таблиці 5.1, 5.2;</li> <li>- електричну схему мал. 5.9.</li> </ul>	2

#### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Колесов Л. В. Основы автоматизации. – М.: Колос, 1984. – 288 с. (С. 63 - 65);
2. Автоматика и автоматизация производственных процессов/ И. И. Мартыненко, Б. Л. Головинский, Р. Д. Проценко, Т. Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с. (С. 114 - 116);
3. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин. Носов Г. Р., Кондратец В. А., Сакало Л. Г., Середя Л. И. – К.: Вища школа, 1984. – 48 с. – (С. 60 - 64).
4. Павленко В. А. Электрообладнання тракторів, комбайнів, автомобілів і землерийних машин. – К.: Урожай, 1991. – 448 с. – (С. 290 – 299).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6  
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ РЕЛЕ  
І КРОКОВИХ ШУКАЧІВ

Мета роботи: вивчити будову і принцип дії електромагнітних реле і крокових шукачів та дослідити їх технічні характеристики

КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

У сільськогосподарській автоматичній широкій застосування набули електричні і механічні реле. Реле це пристрій, у якому при плавній зміні вхідної величини і досягненні нею певного значення, вихідна величина змінюється стрибкоподібно. У будові таких реле можна виділити три основних функціональних елементи: сприймаючий, проміжний і виконавчий.

*Сприймаючий елемент* безпосередньо реагує на зовнішній контрольований параметр і перетворює його у фізичну величину, необхідну для подальшої роботи реле (у контактних реле, як правило, у механічну силу). Отже, сприймаючий елемент є рушійним органом, що в електричних реле може бути виконаний на електромагнітному, індукційному, електродинамічному, магнітоелектричному, резонансному й інших принципах.

*Проміжний елемент* (у контактних реле - пружина), одержавши від сприймаючого елемента перетворений сигнал, порівнює його з заданим і у випадку відхилення від нього формує команду на спрацьовування реле, тобто передає дію виконавчому елементу.

*Виконавчий елемент* (у контактних реле - контактна система), прийнявши команду від проміжного, впливає на кероване коло, змінюючи його параметри. При цьому розрізняють *реле прямої дії*, коли виконавчий елемент безпосередньо діє на контрольоване коло, і *реле непрямої дії*, коли виконавчий елемент діє на контрольоване коло через інші апарати.

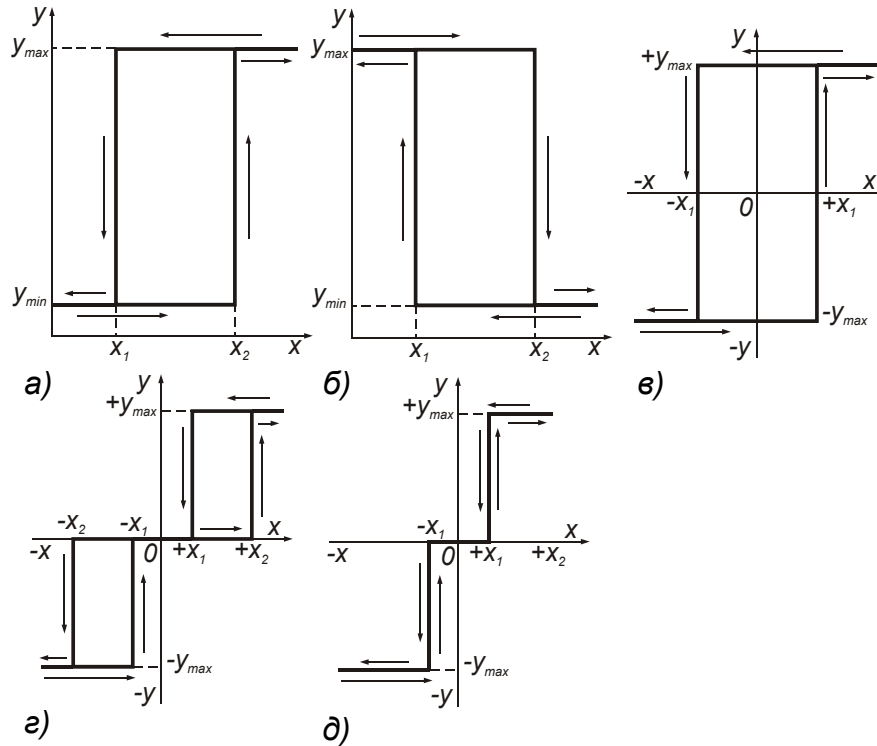
Електричні реле реагують на напругу, струм, потужність, полярність, фазу, частоту, тривалість імпульсу, а механічні - на тиск, переміщення, швидкість, обертовий момент, рівень контрольованого середовища, температуру і т.п.

Основною характеристикою реле є *статична характеристика (характеристика керування)*, тобто залежність вихідної величини у від вхідної  $X$ , для більшості реле вона має гістерезисну петлю.

Види статичних характеристик реле приведені на малюнку 6.1. Характеристики (мал. 6.1, **а, б**) властиві двохпозиційним нейт-

ральним реле, що не реагують на знак вхідного сигналу. При зміні вхідного сигналу від  $0$  до  $x_2$  (мал. 6.1,а) реле не змінює свого стану. Вихідний сигнал  $y$  стрибкоподібно змінюється від  $y_{min}$  до  $y_{max}$  при досягненні вхідним сигналом значення  $x_2$  і залишається незмінним, тобто  $y = y_{max} = const$  при подальшому збільшенні  $x$ . При зменшенні  $x$  від значення  $x > x_2$  до  $x = x_1$   $y$  не змінюється, тобто  $y = y_{max}$  і при досягненні вхідним сигналом значення  $x_1$  вихідна величина стрибкоподібно зміниться від  $y_{max}$  до  $y_{min}$ .

Пристрої з характеристикою (мал. 6.1,б) відрізняються від пристроїв з розглянутих на малюнку 6.1,а інвертуванням сигналу. Якщо вхідний сигнал  $x = 0$ , то вихідний сигнал  $y = y_{max}$ , якщо  $x = x_2$ , то  $y = 0$  чи має мінімальне значення  $y = y_{min}$ . На малюнку 6.1,в приведена характеристика двохпозиційних релейних пристроїв із двома стійкими станами. При знятті вхідного сигналу  $x = 0$  реле



Мал. 6.1 - Види статичних характеристик релейних елементів:  
 а і б - двох позиційного нейтрального реле; в - двохпозиційного реле  
 з двома стійкими станами; г і д - трьохпозиційного реле

залишитися в стані, що знаходилося до цього. Зміна знака вхідного сигналу змінює знак вихідного сигналу.

Характеристики трьохпозиційних релейних елементів зображені на малюнку 6.1, *в, д*. На малюнку 6.1, *в* із зоною нечутливості і з неоднозначною залежністю сигналу на виході від вхідного, а на малюнку 6.1, *д* із зоною нечутливості.

До основних параметрів, що характеризують роботу реле, також відносяться наступні.

*Параметр спрацювання* - мінімальне значення вхідного сигналу, при якому реле діє (спрацьовує). Цей параметр характеризує чутливість реле. Наприклад, у струмових реле параметр спрацювання складає від десятків мікроамперів до десятків амперів.

*Параметр відпускання* - максимальне значення вхідного сигналу, при якому реле повертається у вихідне положення.

*Коефіцієнт повернення* являє собою відношення параметрів відпускання і спрацювання. В електричних реле він завжди менше одиниці (від 0,4 в електромагнітних до 0,99 в електронних).

$$k_{\Pi} = \frac{x_{\text{відп}}}{x_{\text{спр}}} < 1.$$

*Робочий параметр* - найбільше значення вхідної величини, при якому реле тривалий час знаходиться у включеному стані і працює нормально (сприймаючий елемент не перегрівается).

*Коефіцієнт запасу при спрацюванні* (він завжди більший одиниці) - це відношення робочого параметра до параметра спрацювання

$$k_{\text{ЗСП}} = \frac{x_{\text{р}}}{x_{\text{спр}}} > 1.$$

*Коефіцієнт запасу при відпусканні (поверненні)* (він завжди менший одиниці) - це відношення параметра відпускання до робочого параметра

$$k_{\text{ЗВП}} = \frac{x_{\text{відп}}}{x_{\text{р}}} < 1.$$

*Час спрацювання  $t_{\text{СПР}}$*  - період від моменту надходження сигналу на сприймаючий елемент до моменту появи сигналу в керованому колі. Залежно від значення цього параметра розрізняють реле: без інерційні ( $t_{\text{СПР}} < 0,001$  с), швидкодіючі ( $t_{\text{СПР}} < 0,05$  с), нор-



мальні ( $t_{СПР} = 0,05 \dots 0,25$  с), уповільненого дії ( $t_{СПР} = 0,25 \dots 1,0$  с), витримки часу ( $t_{СПР} > 1,0$  с).

*Час відпускання  $t_{ВП}$*  - період від моменту зняття сигналу, що діє на сприймаючий елемент до моменту припинення впливу виконавчого елемента на кероване коло.

*Термін служби* - допустиме число спрацювань реле (для різних реле число спрацювань може складати від декількох тисяч до декількох десятків мільйонів).

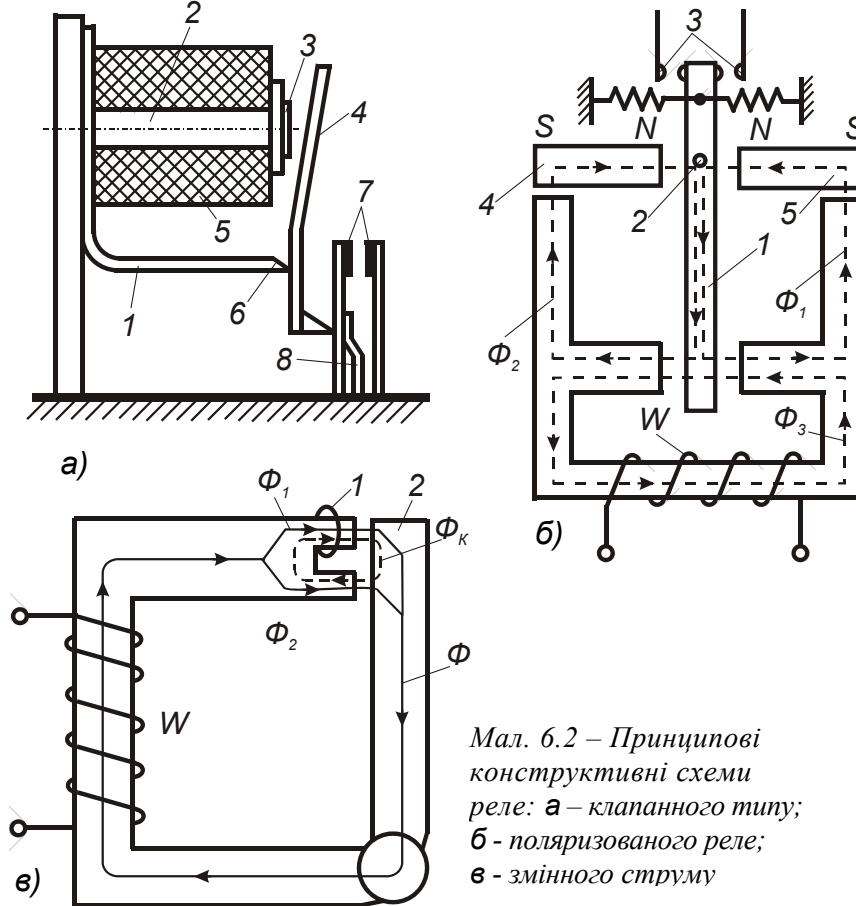
*Електромагнітне реле* - типовий і найбільш розповсюджений вид електричних реле. На малюнку 6.2,а як приклад показана будова реле клапанного типу. В електромагнітну систему реле входять скоба 1, осердя 2, полюсний наконечник 3, якір 4 і котушка 5. Якір і осердя виготовлені з магнітом'якого матеріалу. Коли по обмотці реле протікає струм, якір притягається до осердя, повертається відносно призми 6 і діє на замикання контактів 7. При зникненні струму якір і контакти повертаються у вихідне положення зусиллям пружини 8. Наконечник 3 зроблений з немагнітного матеріалу (латунь чи мідь), щоб під впливом залишкового магнітного потоку якір після відключення струму не залишався притягнутим до осердя.

Електромагнітні реле можуть бути постійного і змінного струму промислової і високої частоти.

*Реле постійного струму* поділяються на нейтральні і поляризовані. У нейтральних реле сприймаючий орган однаково реагує на постійний струм незалежно від його полярності, а в *поляризованих* полярність сигналу впливає на напрямок зусилля, що діє на якір. Принцип дії поляризованих реле ілюструється малюнком 6.2,б. Якщо струму в робочій обмотці нема, то якір 1 знаходиться в нейтральному положенні, тому що магнітні потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ , створювані постійними магнітами, рівні і протилежні. Контактна група 3 буде знаходитися в розімкнутому стані. При подачі в робочу обмотку струму тієї чи іншої полярності виникає потік  $\Phi_3$ , що накладається на потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$  (з одним сумується, а від іншого віднімається). Рівновага порушується, якір 1 притягається до магніту 4 чи 5 і, повертаючись на осі 2, замикає ліву чи праву пару контактів 3. Для створення потоків  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$  можуть бути використані електромагніти.

В *електромагнітних реле змінного струму* осердя набирається з листової трансформаторної сталі з метою зменшення втрат на вихрові струми. Для усунення вібрації контактів, що викликається

періодичною зміною значення і напрямку синусоїдального струму, а отже, і зусилля, створюваного його магнітним полем, на торець електромагніта насаджується мідний коротко замкнутий виток (мал. 6.2,в). Магнітний потік  $\Phi$  поділяється на два складових потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ . Потік  $\Phi_1$  наводить у коротко замкнутому витку струм, магнітний потік  $\Phi_K$  якого сумується з потоком  $\Phi_1$  і віднімається від потоку  $\Phi_2$ . У результаті виходять потоки  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ , зсунуті один відносно іншого на деякий кут. Кожний з потоків створює тягове зусилля, а їхнє результуюче зусилля буде мати тим менше пульсацій, чим більший кут взаємного зсуву потоків  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ .



Реле з магнітокеруваними контактами, називані також герконами (герметизовані контакти), являють собою скляну ампулу, з якої викачане повітря - вакуумні геркони, чи заповнену інертним

газом (азотом, аргоном) - *газонаповнені геркони*. В ампулу упаяні тонкі пружні феромагнітні пластинки (електроди), що виконують одночасно роль контактів, пружних елементів і частини магнітопровода. На пластини герконів наносять покриття з добре провідних матеріалів (срібла, золота, родію). Струм, що протікає по котушці, при подачі сигналу на вхід реле, створює магнітний потік, що замикається усередині котушки по пластинках, що намагнічуються і здобувають протилежну полярність. Між пластинками виникають сили притягання, вони замикаються, і на виході з'являється сигнал. При знятті вхідного сигналу пластини повертаються у вихідне положення. Промисловість випускає ряд типів герконів (КЭМ-1, КЭМ-2, КЭМ-3, МК4, МКВ, МКП, МУП, МКО й ін.) з розмірами ампули: довжиною 20...50 мм і діаметром кілька міліметрів. Сила, що намагнічує, коливається від 25 А (для МКО) до 250 А - (для МКП), час спрацювання 50...2500 мкс, струм, що комутується до 1,0 А і більше при напрузі до 50...60 В, число спрацювань  $10^6...10^9$ , опір контактного переходу 0,05...0,2 Ом.

Випускаються різні типи реле з герконами: РЭС42 - з одним контактом КЭМ-2; РЭС43 - із двома контактами КЭМ-2; РЭС44 - із трьома контактами КЭМ-2 і ін.

За призначенням розрізняють *головні реле* - струмові, напруги й ін., що реагують на зміну струму, напруги і т.д.; *допоміжні реле* - проміжні, що служать для розмноження числа контактів, передачі дії від одного реле до інших і підвищення комутаційної здатності контактів; *реле часу*, призначені для створення витримки часу; *сигнальні реле* - що фіксують дії основних реле і керують світловими і звуковими сигналами. Залежно від області застосування використовуються додаткові ознаки в класифікації реле.

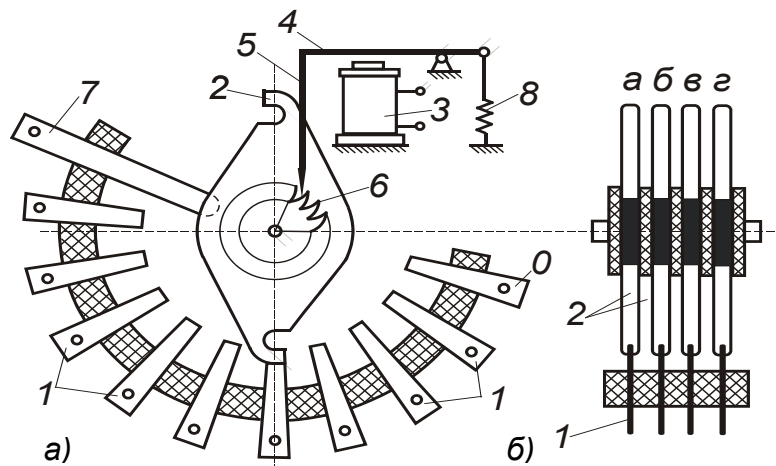
Для уповільнення реле постійного струму на відпускання паралельно до обмотки реле включають конденсатори, напівпровідникові діоди і резистори чи на магнітопровід укладають короткозамкнутий виток. Ці ж прийоми зменшують іскріння контактів при розриві ними електричних кіл з індуктивним навантаженням. Для зниження іскріння контактів паралельно їм підключають також конденсатори чи високоомні резистори.

*Електромагнітні крокові шукачі*, що називаються також *кроковими розподільниками*, служать для почергового підключення ряду вихідних електричних кіл до одного входу, тобто вони мають один вхід і декілька виходів і можуть здійснювати з'єднання цього входу з кожним з виходів. Шукач складається з трьох основних

частин: контактної щітки, ротора і привода.

Крокові шукачі є електромагнітними імпульсними перемикачами, що пересувають контактні щітки при кожному імпульсі з одного нерухомого контакту (ламель) на іншій. Переключення може відбуватися на початку імпульсу - шукачі прямої дії і після закінчення імпульсу - шукачі зворотної дії.

У кроковому шукачі прямої дії (мал. 6.3, а) ламелі 1 розташовують по дузі. Вони займають  $1/3$  чи  $1/2$  кола, і тому кожна щітка 2 складається з трьох чи двох променів, зсунутих на  $120^\circ$  чи  $180^\circ$  одна відносно іншої (у даному випадку - із двох). Коли один промінь щітки виходить з контактної ряду, іншої входить у нього, роблячи комутацію безупинною. Розташовуючись по дузі кола в кілька контактних рядів, ламелі утворюють контактне поле. Кожен контактний ряд має свою щітку, з'єднану через ковзкий контакт із виводом 7. Крім робочих ламелей, на кожен ряд передбачена одна нульова ламель 0, що відповідає нульовому (вихідному) положенню щітки. У розглянутому шукачі контактне поле з чотирьох рядів і чотирьох щіток а, б, в, г (мал. 6.3, б), що складаються з двох паралельних пружин і охоплюють ламелі з двох сторін. При подачі імпульсу якір 4 (мал. 6.3, а) притягається до осердя електромагніта 3 і собачка 5 штовхає зуб храпового колеса 6, жорстко з'єднаного з ротором та зі щітками. Ротор повертається і переводить щітки по ламелях у наступне контактне положення. Після зникнення імпульсу пружина 8 повертає якір у вихідне положення.



Мал. 6.3 - Кроковий шукач прямої дії з двохпроменевими щітками: а - конструкція шукача; б - схема з'єднання ламелей

У шукачах зворотної дії зуби храпового колеса спрямовані по-іншому, і собачка орієнтована відповідним чином. При подачі імпульсу якір притягається і собачка займає вихідне положення, а при його закінченні собачка під дією пружини повертається у вихідне положення, повертаючи ротор із щітками.

Застосовувані в практичних схемах шукачі ШИ-11, ШИ-17 (прямої дії) і ШИ-25, ШИ-50 (зворотної дії) мають у кожному контактному ряді відповідно по 11, 17, 25 і 50 робочих ламелей. Допустиме значення струму, що розривається контактами, складає 0,2 А, споживана електромагнітна потужність 50...70 Вт, час спрацьовування 0,007...0,01 с, а відпускання - 0,04...0,007 с.

В основу найменування шукачів покладені деякі конструктивні ознаки; так, наприклад, у найбільш розповсюдженому кроковому шукачі при спрацьовуванні привода щітки ротора переходять з одних ламелей на сусідні - ротор робить «крок», звідси і назва - *кроковий*. Крокові шукачі поділяють на *обертальні ШИ* і *підйомно-обертальні* (декадні) ДШИ. Обертальні крокові шукачі відрізняються один від одного ємністю контактної області: числом пластин у ряді і числом рядів, а також типом привода, що може бути прямої і зворотної дії. Привод прямої дії здійснює рух ротора при притяганні електромагнітного якоря, а зворотної дії - при відпусканні якоря в результаті зусилля поворотних пружин. Залежно від числа пластин у ряді шукачам ШИ привласнюється той чи інший номер, наприклад, ШИ-17 означає, що кроковий шукач має 17 пластин у ряді.

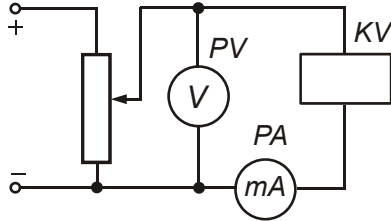
Контактне поле шукача ДШИ складається із секцій, у кожній з яких розташовано 10 горизонтальних рядів по 10 пластин у кожному. За числом пластин у горизонтальних рядах підйомно-обертальний шукач названий *декадно-кроковим*. Шукач ДШИ обладнаний двома приводами: один для підйому (поступального руху), інший для обертального. Робота ДШИ поділяється на два етапи: спочатку механізмом підйому щітки піднімаються до необхідного ряду, а потім механізмом обертання щітки повертаються в ряді до потрібної пластини. Шукач ДШИ має дві шкали для вказівки місця положення щіток.

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ, АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом дії реле, що встановлені на стенді.

2. Заміряти в кожнім реле струми і напруги спрацювання і відпускання. Для визначення струмів і напруг спрацьовування і відпускання реле, що випробовується, включити у схему, зображену на мал. 6.4. Струм і напругу спрацьовування визначати у момент загорання сигнальної лампи при плавному збільшенні напруги. Кожен вимір для реле, представлених на стенді, робити тричі визначити середнє значення і записати у табл. 6.1.

Визначити коефіцієнти повернення і запасу реле, ампер-витки спрацювання і відпускання. Для розрахунку коефіцієнта повернення  $k_{\Pi} = I_{ВД} / I_{СП}$ , коефіцієнтів запасу спрацювання  $k_{ЗСП} = I_{Н} / I_{СП}$  і відпускання  $k_{ЗВД} = I_{ВД} / I_{Н}$ , ампер-витків спрацювання  $Iw_{СП}$  і відпускання  $Iw_{ВД}$  необхідно при дослідженні реле записати до табл. 6.1 паспортні дані кожної обмотки.



Мал. 6.4 – Електрична схема випробування реле

Таблиця 6.1

Протокол

випробувань

електромагнітних реле та крокового шукача

ТИП РЕЛЕ	Дослідні і розрахункові параметри реле												
	$I_{СП}$	$U_{СП}$	$I_{ВД}$	$U_{ВД}$	$U_{Н}$	$I_{Н}$	$w$	$R_{об}$	$k_{\Pi}$	$k_{ЗСП}$	$k_{ЗВД}$	$Iw_{СП}$	$Iw_{ВД}$
	А	В	А	В	В	А	Вит.	Ом				А·вит.	А·вит.
ПЭ-37-22													
РП-5 (пряма полярн.)													
РП-5 (зворот. полярн.)													
Кроковий шукач													

3. Для вказаного викладачем реле дослідити вольт-амперну характеристику. Для чого зібрати електричну схему (мал. 6.4) і плавно збільшувати напругу на котушці електромагнітного реле до номінальної. Записати у таблицю 6.2 покази приладів, відмітивши напругу спрацювання реле. Плавно зменшувати напругу на котушці електромагнітного реле записати у цю ж таблицю покази приладів, відмітивши напругу відпускання реле. Побудувати на одному малюнку залежності  $U = f(I)$  при зростанні та зменшенні напруги.

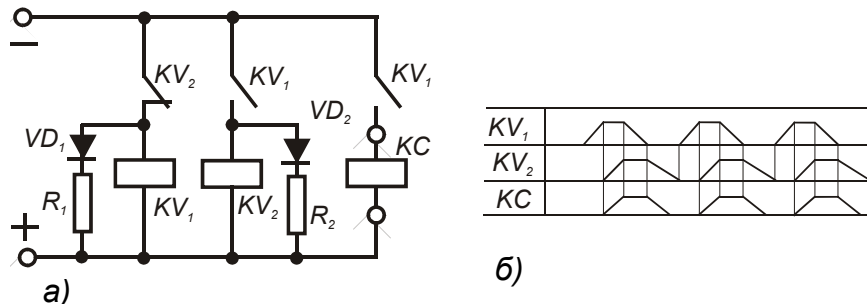
## Протокол дослідження магнітної системи пускача

Зростання напруги	$U$	В	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
	$I$	А																
Зменшення напруги	$U$	В	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
	$I$	А																

4. Підключити схему двохрелейного генератора імпульсів до джерела живлення і випробувати роботу крокового шукача. Двохрелейний генератор імпульсів (пульс-пари чи пульс-схема) складений із двох реле -  $KV_1$  і  $KV_2$  (див. мал. 6.5, а) підключити до затискачів джерела живлення. При подачі напруги живлення спрацьовує реле  $KV_1$  і утворює коло реле  $KV_2$ . Реле  $KV_2$  розмикає коло реле  $KV_1$ , що, у свою чергу, розриває коло реле  $KV_2$ . Останнє, розмикаючи свої контакти, замкне коло реле  $KV_1$ . Таким чином, у результаті багаторазового повторення описаного процесу формуються імпульси напруги. Почасова діаграма роботи двохрелейного генератора імпульсів показана на малюнку 6.5,б. Підключити до двохрелейного генератора імпульсів кроковий шукач, подати напругу живлення на схему і стежити за рухом ротора крокового шукача та загорянням сигнальних лампочок.

5. Дослідити роботу електромеханічного лічильника імпульсів РСИ-2 до складу якого входять два крокових шукачі. Для чого встановити за допомогою рукояток задану викладачем кількість імпульсів і подаючи за допомогою кнопки імпульси на лічильник перевірити його спрацювання.

6. Розрахувати для одного з реле значення струмообмежувального опору в колі само утримування. Струмообмежувальний



Мал. 6.5 – Двохрелейний генератор імпульсів: а – електрична схема; б – почасова діаграма роботи

опір служить для зменшення струму, що викликає нагрівання обмотки реле в робочому стані. Його значення  $R_{CT}$  визначають за мінімальним струмом утримування  $I_{UT}$ , тобто за струмом при якому реле надійно утримує свої контакти за умови, що напруга живлення має найменше припустиме значення. За струмом відпускання (див. пункт 2) знаходять струм утримання реле

$$I_{UT} = k_H I_{ВД}$$

де  $k_H = 1,4 \dots 3$  - коефіцієнт надійності.

Знаючи мінімальну напругу живлення  $U_{min}$  (задається викладачем) і опір обмотки реле  $R_{OB}$  (визначається з досліду), знаходимо

$$R_{CT} = \frac{U_{min}}{I_{UT}} - R_{OB}.$$

#### ПОРЯДОК ПОЗААУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити призначення, будову та принцип електромагнітних реле та крокових шукачів	1
2	Вивчити технічні характеристики електромагнітних реле та способи підключення крокових шукачів за допомогою двохрелейних генераторів імпульсів	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> <li>- назву та мету роботи;</li> <li>- короткі теоретичні пояснення (конспективно) із необхідними для розрахунків формулами;</li> <li>- порядок проведення експерименту;</li> <li>- таблиці 6.1, 6.2;</li> <li>- електричні схеми мал. 6.4, 6.5.</li> </ul>	2

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

1. Перерахуйте й охарактеризуйте параметри реле автоматики.
2. Як побудовані та працюють реле і крокові шукачі?
3. Чим відрізняється поляризоване реле від нейтрального?
4. У чому полягає призначення крокових шукачів?
5. За якими ознаками розділяються реле на різні типи?
6. Як побудований та працює двохрелейний генератор імпульсів?
7. Для чого потрібний струмообмежувальний опір у колі самоутримання реле?



## МОДУЛЬ № 2

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

#### ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ КЕРУВАННЯ

Мета роботи: вивчити призначення, будову, принцип роботи та правила вибору апаратів ручного та електромагнітного керування, дослідити електромагнітну систему магнітного пускача та роботу простих схем керування асинхронними коротко-замкнутими електродвигунами.

#### КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Електричними апаратами керування та захисту називають електротехнічні пристрої та механізми, що призначені для ручного або автоматизованого вмикання та вимикання електричних кіл та їх автоматичного захисту при різних аномальних режимах.

За призначенням апарати керування поділяються на:

- комутуючі – призначені для розмикання електричних кіл без навантаження (рубильники, перемикачі, пакетні вимикачі та ін.);

- захисні – здійснюють захист електроспоживачів від коротких замикань та перевантажень (автоматичні вимикачі, запобіжники, теплові реле, реле максимального струму та реле мінімальної напруги);

- керуючі – що служать для запуску і зупинки двигунів, зміни напрямку та частоти їх обертання (пускачі, контактори, контролери, регулювальні та гальмівні резистори, реле керування).

За принципом дії виділяють такі типи апаратів:

- *апарати ручного керування* – вступають у дію тільки в результаті безпосередньої дії людини (рубильники, вимикачі, реостати);

- *апарати дистанційного та автоматичного керування*, можуть бути приведені в дію людиною дистанційно або їх робота може бути поставлена в автоматичну залежність від раніше заданих умов (контролери, контактори, пускачі, реле керування).

За характером комутації електричних кіл існують апарати:

- контактні - з'єднують та роз'єднують електричні кола із видимим розривом, за допомогою рухомих та нерухомих елементів (контактів);

- безконтактні - з'єднують та роз'єднують електричні кола без фізичного розриву, за рахунок різкої зміни їх внутрішнього

опору (практично від 0 до  $\infty$ ).

Усі електротехнічні пристрої поділяють за кліматичним виконанням, категорією розміщення та ступенем захисту від дотику людини до струмоведучих частин та попадання всередину їх забруднень та вологи, які вказують у паспорті цих пристроїв.

За кліматичним виконанням електротехнічні пристрої бувають таких класів (див. табл. 7.1):

Таблиця 7.1

*Позначення кліматичних виконань електротехнічних виробів*

Для мікрокліматичних районів	Позначення	Температура повітря, °С	
		Верхні межі	Нижні межі
З помірним кліматом	У	+ 40	- 45
З холодним кліматом	ХЛ	+ 40	- 60
З помірним і холодним кліматом	УХЛ	+ 40	- 60
З тропічним вологим кліматом	ТВ	+ 45	+ 1
З тропічним сухим кліматом	ТС	+ 45	- 10
З тропічним (сухим або вологим) кліматом	Т	+ 45	- 10
Загальнокліматичного виконання	О	+ 45	- 60

*За категорією розміщення електричні пристрої бувають таких видів:*

- 1.- для експлуатації просто неба;
- 2.- для експлуатації у відкритих приміщеннях (під навісом);
- 3.- для експлуатації у закритих приміщеннях без штучного регулювання мікроклімату;
- 4.- для експлуатації у закритих приміщеннях, де штучно регулюється мікроклімат (опалювані приміщення);
- 5.- для експлуатації у приміщеннях із підвищеною вологістю.

Для позначення ступеня захисту електротехнічних пристроїв використовують букви ІР, за якими є дві цифри, перша з яких вказує на ступінь захисту обслуговуючого персоналу від дотику до струмоведучих та обертових частин цих пристроїв та попадання всередину них твердих тіл, а саме:

- 0 - спеціальний захист відсутній;
- 1 - захист від дотику великими частинами тіла та проникнення твердих тіл розміром понад 50 мм;
- 2 - захист від дотику пальців людини та проникнення у їх середину твердих тіл розміром понад 12 мм;

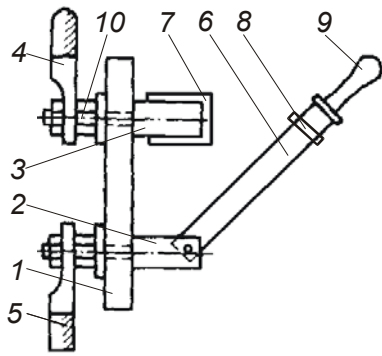
- 3 - захист від проникнення інструменту та проводу розміром понад 2,5 мм;
- 4 - захист від проникнення твердих тіл розміром понад 1 мм;
- 5 - захист від проникнення твердих тіл, але не повний захист від проникнення пилу;
- 6 - повністю виключене проникнення пилу.

Друга цифра вказує на ступінь захисту електромеханічних пристроїв від проникнення води, а саме:

- 0 - захист відсутній;
- 1 - захист від крапель води, що падають вертикально;
- 2 - захист від крапель води, що падають під кутом, не більшим 15-ти градусів до вертикалі;
- 3 - захист від дощу, що падає під кутом, не більшим 60-ти градусів до вертикалі;
- 4 - захист від крапель води, що падають під довільним кутом;
- 5 - захист від водяних струменів;
- 6 - захист від водяних хвиль;
- 7 - захист при короткочасному зануренні у воду;
- 8 - захист при тривалому зануренні у воду.

*До апаратів ручного керування відносяться:*

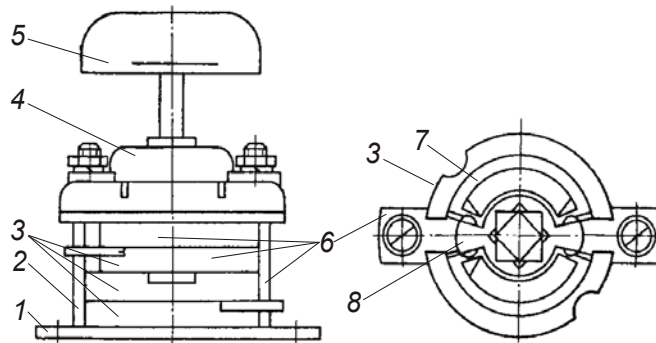
*Рубильники* призначені для ручної комутації електричних кіл номінальною напругою до 660 В змінного і до 440 В постійного струму. Перевага рубильників над іншими апаратами в тому, що вони дешеві і створюють видимий розрив електричного кола. В електроприводі рубильники найчастіше використовують як ввідні апарати розподільчих та низьковольтних комплектних пристроїв. *Рубильники* – найпростіші апарати, що призначені для роботи при номінальних струмах до 1500 А, бувають одно-, дво-, та трьох-полюсними. Рубильник (див. мал. 7.1) має рухомі 6 та нерухомі 7 контакти, одні з яких виготовлені у вигляді ножів, інші – у вигляді підпружинених губок. Рухомі контакти з'єднуються ізольованою траверсою 8 із важелем 9, який може розміщуватись збоку або посередині рубильника. Контакти 6 та 7 встановлюються на контактній 3 і шарнірній 2 стійці, відповідно. Стійки 2 та 3 кріпляться до ізоляційної панелі 1 за допомогою болтів 10, які можуть виконувати роль клемного з'єднання, і до них приєднуються вхідні 4 та вихідні 5 проводи. У процесі вмикання рухомі контакти (ножі) 6 “врубуються” у нерухомі контакти (губки) 7. Інколи рубильники комплектуються дугогасними камерами, призначення яких – розтягувати і таким чином швидко гасити електричну дугу, що виникає



Мал. 7.1 - Рубильник

у момент розмикання контактів. Дугогасна камера – це набір мідних (або сталевих, покритих міддю) пластин, що закріплені між фібровими боковинами. При виникненні електричної дуги у момент розмикання контактів вона починає горіти між окремими пластинами. Навколо електродні явища, що виникають при цьому, віддача теплоти пластинам та виділення хлору із фібри сприяють швидкому гасінню дуги. При відсутності дугогасних камер контакти рубильника можна розмикати при струмі, що становить не більше 30 % номінального. Рубильники виготовляються на номінальні струми від 100 до 1500 А і вибираються за номінальним струмом, напругою, кількістю полюсів, розміщенням рукоятки (центральне, бокове), кліматичним виконанням, катюгорією розміщення та ступенем захищеності.

Пакетні вимикачі та перемикачі – (див. мал. 7.2) бувають одно- та багатопольовими (від 1 до 7) на номінальний струм 10, 25, 60, 100, 250, 400А при напрузі 220 В. При напрузі 380В номінальний струм потрібно зменшувати на 40 %. Конструктивно вони нагадують рубильник і складаються із окремих ізольованих контактних секцій (пакетів), та пристрою 4, який миттєво перемикає контакти при повороті рукоятки 5 на 90°, його швидкодія



Мал. 7.2 - Пакетний вимикач

забезпечується застосуванням пружини. Кожна контактна секція складається з ізоляційного кільця 3, у пазах якого розміщені нерухомі контакти 6, що мають форму клиноподібного ножа, а в середній частині - пружні рухомі контакти 8 (губки), та

забезпечується застосуванням пружини. Кожна контактна секція складається з ізоляційного кільця 3, у пазах якого розміщені нерухомі контакти 6, що мають форму клиноподібного

фіброві шайби 7, які сприяють гасінню електричної дуги. Контактні секції встановлені одна над одною на скобі 1 і закріплені стяжними шпильками 2. Паке́тні перемикачі можуть бути одно- та багато полюсними, мати декілька робочих та нульових положень. Вибирають паке́тні перемикачі за номінальними струмом і напругою, не обхідною кількістю полюсів з урахуванням кліматичного виконання, категорії розміщення та ступеня захищеності.

Перевага паке́тних апаратів над рубильниками полягає в їх невеликих габаритах. Суттєвими недоліками є мала стійкість проти спрацювання (не більше 20 тисяч перемикачів) і невисока надійність приводного механізму.

*Паке́тно-кулачкові вимикачі і перемикачі* типів ПКВ, ПКП, ПКУ, ПВП та інші мають досконалішу конструкцію, завдяки чому їх стійкість проти електричного спрацювання досягає 200-400 тисяч циклів вмикання-вимикання, а стійкість проти механічного спрацювання - від 1 до 6 млн. циклів. Їх застосовують як комутаційні апарати в електроустановках змінного струму напругою до 380 В, для перемикачів керування і автоматики, а також для керування асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором.

Перемикач складається з одного або кількох комутуючих паке́тів, механізму фіксації і рукоятки, складених на квадратному валу. Комутуючі паке́ти і механізм фіксації стягнені шпильками. Вал від поздовжніх переміщень утримується упорною шайбою. При повороті рукоятки перемикача повертається квадратний вал, а разом з ним і кулачки комутуючих паке́тів, що спричиняє розмикання і замикання контактів. Потрібна діаграма комутаційних положень реалізується кулачками з різним профілем. Механізм фіксації забезпечує високу швидкість руху контактів при перемикачній і чітко фіксує вал через кожних 45° повороту рукоятки.

Паке́тно-кулачкові вимикачі і перемикачі вибираються за робочим струмом керованого кола, крім того, вибирають номер діаграми комутаційних положень, категорію застосування, конструктивне виконання і ступінь захищеності апарата від впливу навколишнього середовища.

*Кнопкові вимикачі* – виготовляються із самоповерненням контактів (під дією пружини) у вихідне положення, або без нього (коли для повернення контактів у вихідне положення необхідно натиснути на іншу кнопку). Контакти можуть бути замикаючими або розмикаючими. Кнопки випускають із циліндричними або

грибоподібними штовхачами із сигнальними лампочками. Інколи кнопки групуються у кнопкові пости. Усі кнопки мають уніфікований контактний елемент, що здійснює комутацію електричних кіл напругою до 500 В, при силі струму до 10 А і обираються за необхідною схемою перемикачів з урахуванням умов навколишнього середовища.

*Шляхові вимикачі і перемикачі* призначені для перемикачів в колах керування залежно від просторового положення робочого органу машини або керованого чи захищеного механізму. Якщо такі апарати використовуються для перемикачів електричних кіл при крайніх положеннях контрольованих механізмів, то їх називають кінцевими вимикачами.

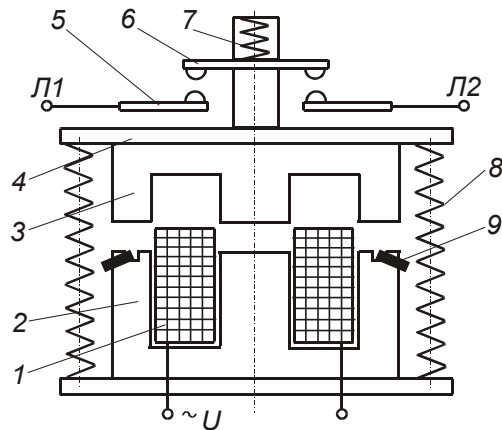
За принципом дії шляхові вимикачі поділяються на контактні і безконтактні. Контактні вимикачі складаються з групи контактів у різних комбінаціях і приводу, змонтованих у металевому корпусі. Залежно від виду приводу вимикачі поділяються на натискні (кнопкові), важільні, шпindelьні й обертові.

У контактних шляхових вимикачах перемикачів контактів відбувається внаслідок механічної дії контрольованого робочого органу на привод вимикача, що зумовлює недостатню точність їх роботи, складність настройки і порівняно невисоку надійність й довговічність. Ці показники кращі у шляхових вимикачів з герметичними магнітокерованими контактами - герконами, на основі яких розроблена серія вимикачів ВСГ. Основними вузлами вимикачів цієї серії є геркон, постійний магніт і пластинка з магнітом'якої сталі, жорстко з'єднана з контрольованим робочим органом.

*Натискні вібростійкі пускачі* – серії ПНВ – призначені для ручного керування трифазним асинхронним двигуном малої потужності при нарузі до 500 В. Вони складаються із прямої контактної системи і кнопкового приводу із фіксуючим приводом, що фіксує положення “включено” та “виключено”. Рухомі частини контактів змонтовані на пластмасовій рейці, а нерухомі – на пластмасовій основі. Захист пускача від дії навколишнього середовища здійснюється пластмасовим кожухом. Для керування однофазними двигунами використовуються пускачі серії ПНВС, будова яких аналогічна будові пускачів ПНВ, але положення “включено” для середнього контакту не фіксується і після відпускання кнопки “Пуск” він розмикається.

*До апаратів автоматичного (дистанційного) керування відносяться:*

*Магнітні пускачі.* Головною складовою частиною електромагнітного пускача є контактор, крім якого пускач може мати теплове реле, кнопки "Пуск", "Стоп", "Реле" та контактну приставку. Контакттор, у свою чергу, складається (див. мал. 7.3) із електромагніту, трьох головних (силових) контактів, за допомогою яких електроспоживач під'єднується до мережі та одного або декількох (залежно від типу магнітного пускача) допоміжних (блокуючих) контактів. Електромагніт складається із котушки 1 та нерухомої 2 і рухомої 3 (якір) частин осердя. Для зменшення втрат на перемагнічування та вихрові струми, осердя виготовлене із тонких (товщиною 0,3...0,5 мм) листів електротехнічної сталі, які ізолюють один від одного шаром лаку або окалини. До якоря 3 кріпиться ізолююча траверса 4 із рухомими головними контактами 6 та контактними пружинами 7. Нерухомі контакти 5, до яких приєднуються електричні проводи Л1 та Л2, встановлені на корпусі контактора. Якір 3



Мал. 7.3 - Магнітний пускач (контактор)

за допомогою віджимних пружин 8 утримується на певній відстані від нерухомої частини осердя 2.

Працює магнітний пускач таким чином. При проходженні струму по його котушці 1 утворюється магнітне поле, під дією якого якір 3, переважаючи опір пружини 8, притягується до нерухомої частини осердя 2, при цьому замикаються головні 5, 6 та допоміжні (на малюнку не зображено) контакти. Коли

струм по котушці 1 не протікає, магнітне поле зникає і під дією пружини 8, якір 3 із рухомими частинами контактів 6 повертається у вихідне положення. Струм у котушці зумовлюється величиною прикладеної напруги та опором котушки. При притягуванні якоря 3 до осердя 2 та зменшенні повітряного зазору між ними, індуктивний опір котушки 1 різко зростає і тому сила струму у котушці різко зменшується і виявляється у 5-10 разів меншою від сили струму, що протікає по котушці, коли якір не притягнутий до осердя. При проходженні змінного струму у котушці 1 через нуль,

якір 3 під дією пружини 8, відштовхується від осердя 2, а при зростанні струму – знову притягується до осердя. Таким чином, змінний струм у котушці створює умови для вібрування якоря і при недостатньо точному виготовленні магнітопроводу контактор при роботі гудітиме. Для того, щоб під час роботи не було гудіння, у магнітопровід (осердя) впресовують коротко-замкнутий виток (із міді або алюмінію) 9, призначення якого - утримувати якір притягнутим до осердя у ті моменти, коли значення сили струму у котушці при зміні напрямку його протікання рівне нулю або близьке до нього. Це здійснюється за рахунок магнітного поля струму, який індукується у коротко замкнутому витку 9 при зникненні магнітного поля котушки. Контактні пружини 7 забезпечують необхідне притискання контактів у замкненому стані. Допоміжні контакти (їх може бути від 1 до 4) встановлюються, як правило, з боків контактора і приводяться у дію від якоря. Контактори змінного струму виготовляють на номінальні сили струму 25, 40, 75, 130, 150, 600 А.

Електромагнітний пускач, що призначений для керування асинхронним двигуном, необхідно підбирати так, щоб номінальний струм його головних контактів  $I_{ПН}$  був не меншим номінального струму електродвигуна  $I_{ДН}$ :

$$I_{ПН} \geq I_{ДН}.$$

Номінальна напруга головних контактів пускача  $U_H$  повинна бути не меншою напруги мережі  $U_M$ , у яку вона включається:

$$U_H \geq U_M.$$

Напруга котушки електромагнітного пускача  $U_{КОТ}$  повинна бути рівною напрузі мережі, у яку вона включатиметься:

$$U_{КОТ} = U_M.$$

Підбираючи пускач, необхідно брати до уваги характер та режим роботи електродвигуна (необхідність реверсу, теплового захисту та ін.), кліматичне виконання, категорію розміщення та ступінь захищеності.

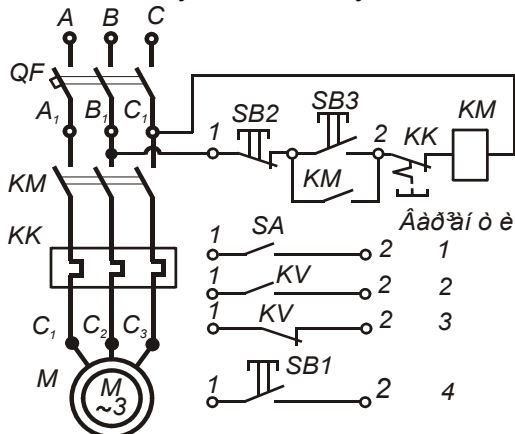
Окрім функцій керування, електромагнітні пускачі здійснюють нульове блокування, яке запобігає самовільному вмиканню двигуна при відновленні напруги після її зникнення або надмірного зниження. Пускачі із тепловим реле здійснюють також захист двигуна від перевантажень та неповно фазного режиму роботи (при обриві фази). Асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором невеликої потужності (до 5,5 кВт) , як правило, запус-



каються безпосереднім вмиканням в електричну мережу на номінальну напругу (прямий пуск).

Схему керування асинхронним електродвигуном за допомогою нереверсивного електромагнітного пускача наведено на мал. 7.4. Якщо до затискачів 1 та 2 під'єднати вимикач SA із фіксованими положеннями (варіант 1), то отримаємо найпростішу схему керування, що дозволяє дистанційно керувати двигуном без нульового блокування. При автоматичному керуванні до тих самих затискачів 1 та 2 необхідно під'єднати контакт деякого реле керування KV (варіант 2 та 3). При варіанті 2 двигун вмикатиметься при спрацюванні реле, а при варіанті 3 двигун вимикатиметься при спрацюванні реле. Якщо необхідно вмикати двигун короткочасно (“поштоухом”) для випробувань, наладки робочої машини або необхідно за безпечити роботу приводу тільки під наглядом персоналу, то живлення на котушку пускача подається через замикаючий контакт кнопки SB1, що під'єднується до затискачів 1 та 2 згідно з варіантом 4.

Для вмикання двигуна за варіантом, що зображений на малюнку, необхідно натиснути на кнопку SB3 – “Пуск”. При цьому по котушці електромагнітного пускача KM протікатиме струм, пускач спрацює і своїми головними контактами під'єднає двигун до мережі, а допоміжними контактами зашунтує кнопку SB3. Після пуску кнопку можна відпустити, живлення котушки здійснюватиметься через допоміжний контакт KM. Для зупинки двигуна необхідно натиснути на кнопку SB2 – “Стоп”, при цьому струм по котушці не протікатиме і пускач вимкне двигун.



Якщо напруга у мережі зникне або знизиться більше допустимих меж, то контакти електромагнітного пускача під дією пружин розімкнуться і двигун зупиниться. При відновленні попередньої величини напруги пускач не спрацює, тому що коло його котушки розімкнуте (розімкнуті контакти кнопки “Пуск” і допоміжний контакт KM),

Мал. 7.4 - Схема керування асинхронним двигуном за допомогою нереверсивного електромагнітного пускача

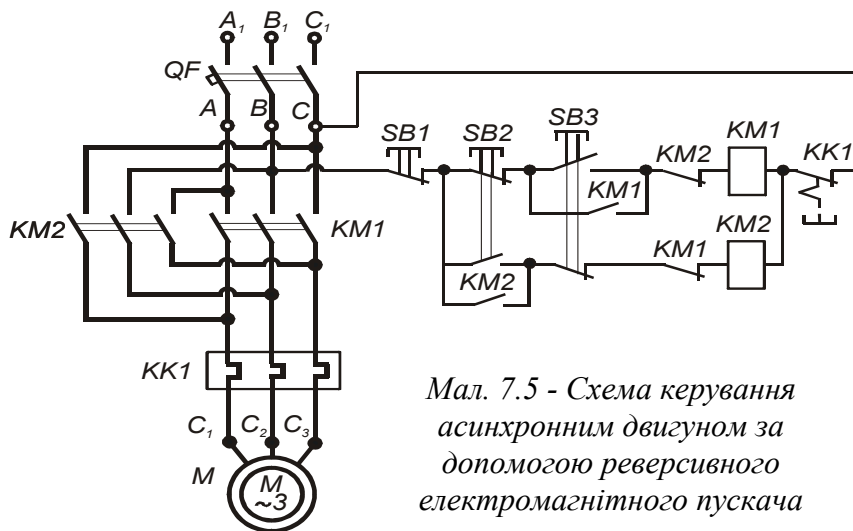
таким чином здійснюється нульове блокування. Для перевірки дії нульового блокування необхідно при увімкненому пускачі вимкнути короткочасно автоматичний вимикач на лабораторному стенді. При повторному вмиканні автоматичного вимикача пускач спрацьовує не відразу, а тільки після повторного натиску на кнопку “Пуск”.

Як відомо, для зміни напрямку обертання (реверсу) двигуна необхідно поміняти місцями два лінійних провідники, що з’єднані з затискачами двигуна. Це здійснюється за допомогою реверсивних магнітних пускачів, що являють собою сукупність двох неревверсивних контакторів та системи блокування від одночасного їх спрацювання. Одночасне спрацювання двох контакторів реверсивного пускача призведе до двофазного короткого замикання. Блокування може бути механічним та електричним. Механічне блокування здійснюється за допомогою двохплечого важеля, з кінцями якого зв’язані рухомі частини двох контакторів. При замиканні головних контактів одного контактора, контакти другого відтягуються і їх включити неможливо, доки буде включений перший контактор. Окрім того, механічне блокування здійснюється у кнопковій станції. При вмиканні замикаючого контакту кнопки у колі котушки одного контактора розмикається її розмикаючий контакт, що включений у коло котушки другого контактора, тому одночасне вмикання двох контакторів неможливе. Електричне блокування здійснюється допоміжними розмикаючими контактами контакторів, які включають послідовно у коло “чужих” котушок. Якщо застосовується механічне блокування у самому реверсивному магнітному пускачі, то електричне блокування можна не застосовувати.

Схему реверсивного керування асинхронним електродвигуном наведено на мал. 7.5. Для запуску двигуна “Вперед” натискають на кнопку SB3 при цьому спрацьовує контактор KM1. Зупинку двигуна здійснюють натиском на кнопку SB1 – “Стоп”. Для пуску двигуна “Назад” натиском на кнопку SB2 вмикають контактор KM2.

Можливо також здійснювати реверс двигуна ”з ходу”. У цьому разі при обертанні двигуна, наприклад, “назад”, натискають на кнопку SB3. При цьому вмикається контактор KM2 і вмикається контактор KM1. Двигун загальмовується методом гальмування проти вмиканням, а потім починає обертатись у зворотному напрямі.

Схемою реверсивного керування обов’язково передбачають блокування, що виключають одночасне вмикання обох контакторів KM1 і KM2 (для запобігання короткому замиканню на головних контактах). Для цього керування контакторами здійснюється кноп-

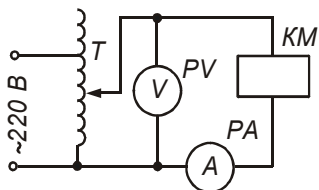


Мал. 7.5 - Схема керування асинхронним двигуном за допомогою реверсивного електромагнітного пускача

ками  $SB2$  і  $SB3$ , що мають як замикаючі, так і розмикаючі контакти. За відсутності механічного блокування у коло живлення котушок пускачів вмикають «чужі» розмикаючі допоміжні контакти. Коли спрацює один контактор, то своїм розмикаючим допоміжним контактом розірве коло живлення котушки іншого контактора.

Якщо при роботі двигуна «приварились» головні контакти одного із контакторів, то вмикання іншого контактора неможливе, оскільки розмикаючий контакт першого контактора у колі котушки другого залишився розімкнутим.

#### ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ



Мал. 7.6 – Схема вмикання котушки електромагнітного пускача при дослідженні його магнітної системи

1. Ознайомитись із будовою та принципом роботи апаратів керування, що знаходяться на лабораторному стенді, записати їх основні паспортні дані.
2. Зібрати електричну схему (мал. 7.6) для дослідження магнітної системи пускача. Плавню збільшувати напругу на котушці електромагнітного пускача до номінальної. Записати у таблицю 7.2 покази приладів, відзначивши напругу спрацювання магнітного пускача.
3. Плавню зменшувати напругу на котушці електромагнітного пускача, записати у таблицю 7.3 показники приладів, відзначивши напругу відпускання магнітного пускача.

Таблиця 7.2

*Протокол дослідження магнітної системи пускача*

<i>U</i>	<i>B</i>	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
<i>I</i>	<i>A</i>										

*Продовження таблиці 7.2*

<i>U</i>	<i>B</i>	160	170	180	190	200	210	220	230	240
<i>I</i>	<i>A</i>									

Таблиця 7.3

*Протокол дослідження магнітної системи пускача*

<i>U</i>	<i>B</i>	240	230	220	210	200	190	180	170	160	150
<i>I</i>	<i>A</i>										

*Продовження таблиці 7.3*

<i>U</i>	<i>B</i>	140	130	120	110	100	90	80	70	60
<i>I</i>	<i>A</i>									

4. Побудувати на одному малюнку залежності  $U = f(I)$  за даними дослідів п. 2 та п. 3.
5. Зібрати електричну схему керування асинхронним двигуном за допомогою нереверсивного магнітного пускача за мал. 7.4. Запустити та зупинити двигун. Перевірити дію нульового блокування, як вказано вище.
6. Зібрати електричну схему керування асинхронним двигуном за допомогою реверсивного магнітного пускача (мал. 7.5). Здійснити пуск, реверс та зупинку двигуна.

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ:

1. Як класифікуються апарати керування?
2. Які бувають електротехнічні пристрої за кліматичним виконанням, категорією розміщення та ступенем захисту і як вони позначаються?
3. Призначення, будова, принцип роботи та правила вибору рубильників пакетних перемикачів, кнопкових вимикачів та натискних пускачів.
4. Призначення, будова, принцип роботи та правила вибору магнітних пускачів.
5. Як працює схема керування асинхронним електродвигуном з допомогою нереверсивного магнітного пускача та як здійснюється нульовий захист?
6. Як працює схема керування асинхронним електродвигуном з допомогою реверсивного магнітного пускача?

ПРОГРАМА ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ:

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити призначення та класифікацію апаратів керування і захисту.	1
2	Вивчити призначення, будову, принцип роботи та правила вибору апаратів ручного та дистанційного керування трифазного споживача.	1
3	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у якій записати: - назву та мету роботи; - короткі теоретичні пояснення із необхідними для розрахунків формулами; - вказівки щодо виконання роботи; - таблиці 7.2, 7.3; - електричні схеми (мал. 7.4, 7.5, 7.6).	2

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Практикум з електропривода/ В.С. Олійник, О.С. Марченко, Е.Л. Жулай та ін.). - К.: "Урожай", 1995. – 192 с. – (С. 7 - 15).
2. Електропривод/ О. С. Марченко, Ю. М. Лавриненко, П. І. Савченко, Е. Л. Жулай. - К.: "Урожай", 1995. – 208 с.
3. Довідник сільського електрика/ За ред. В. С. Олійника. -К.: "Урожай", 1982. – С. 100-147.
4. Нугер Б. К. Електрообладнання сільськогосподарських підприємств. К.: "Урожай", 1988. – С. 101-116.
5. Филаткин П. А. Электрооборудование животноводческих ферм. - М.: "Агромаш", 1987. – С. 133 - 149;
6. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: "Высшая школа", 1985. - С. 17-54.
7. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Под ред. И. Ф. Кудрявцева. – М.: "Агропромиздат", 1988. – С. 84-102.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

### ДОСЛІДЖЕННЯ АПАРАТІВ ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАЧІВ

*Мета роботи:* вивчити призначення, будову, принцип роботи та правила вибору апаратів захисту електроспоживачів, дослідити захисні характеристики теплових реле та автоматичних вимикачів.

#### КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЯСНЕННЯ

Для запобігання аварій електрообладнання при виникненні в електропристроях аномальних режимів (короткого замикання, перевантажень, надмірного зниження напруги, перенапруги та ін.) використовують захисні пристрої. Їх дія спрямована на те, щоб відключити пошкоджену або перевантажену ділянку від мережі.

Захист від струмів короткого замикання, які у десятки разів перевищують струми при номінальних режимах, здійснюють такі апарати: запобіжники, автоматичні вимикачі електромагнітні струмові та безконтактні реле. Ці апарати повинні відключати пошкоджену ділянку мережі миттєво.

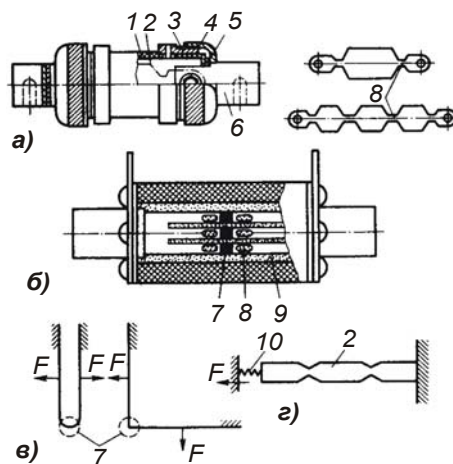
Захист від струмів перевантажень (тривалих), які у декілька разів перевищують струми при номінальних режимах, здійснюється за допомогою теплових та температурних реле і тепловими розчеплювачами автоматичних вимикачів, що діють із витримкою часу, величина якої обернено пропорційна струму перевантаження.

Для захисту від надмірного зниження або зникнення напруги використовують розчеплювачі мінімальної напруги автоматичних вимикачів, а також з'єднання за спеціальними схемами контакторів та електромагнітних пускачів.

*Запобіжники* – найдешевший та найпростіший захист електричних кіл від коротких замикань та різких великих перевантажень. Вони можуть бути розбірними (мал. 8.1 а) або нерозбірними (мал. 8.1 б), вставляються у контактні стояки або загвинчуються у патрон. Для електродвигунів малої та середньої потужності застосовують пробчаті, а для великих потужностей – трубчаті запобіжники. Пробчаті запобіжники складаються із фарфорового корпусу із гвинтовим патроном та частини у вигляді пробки із різьбою. Вони бувають чотирьох габаритів – ПРС6, ПРС20, ПРС63, ПРС100 із номінальними струмами 6, 20, 63, 100 А відповідно.

Трубчаті запобіжники складаються із патрона, контактних стояків та ізоляційної основи. Усередині корпусу 1 розміщена плавка вставка 2 із міді, срібла, цинку або константану. Вона характеризується номінальним струмом – таким струмом, який може протікати тривалий час не руйнуючи її. Коли струм перевищить номінальний на 30-40%, вставка перегоріє і струм у колі зникає. Чим більший струм, тим швидше вставка перегорить. Бажано, щоб при аварійному режимі вставка перегоріла чимшвидше. Для цього використовують різні способи:

- 1) застосовують металургійний ефект, який полягає у тому, що на мідну вставку наносять олов'яну кульку 7. При короткому замиканні олово розплавляється розчиняючи у собі мідь. Утворюється сплав, що має меншу температуру плавлення і більший питомий опір, що сприяє ще більшому нагріванню та перегорянню вставки;
- 2) роблять вставку фігурною, вона має звуження (шийку) 8 та широкі частини, шийка розрахована на номінальний струм. Її перетин дещо менший перетину стрічкової вставки на цей же струм. Це не викликає перегорання шийки, так як теплота із неї добре поглинається широкими частинами і від них розсіюється у навколишнє середовище. При короткому замиканні нагрівання настільки інтенсивне, що шийка не встигає віддавати теплоту широким частинам і перегоріє. Причому це відбувається швидше, ніж у стрічкової вставці, так як кількості теплоти для розплавлення тонкої шийки потрібно менше. Часто використовують обидва



Мал. 8.1 – Конструктивні схеми запобіжників

способи, розміщують олов'яну кульку у вузькому місці мідної вставки. Інколи вставку розтягують пружиною 10 (мал. 8.1 г), що також прискорює процес розмикання кола, або вставці надають вигнутої форми (мал. 8.1 в) і при протіканні великого струму її розтягують електромагнітні сили.

Для захисту напівпровідникових пристроїв використовують швидкодіючі запобіжники зі срібною плавкою вставкою типу ПП-57.

При перегоранні плавкої

вставки загоряється електрична дуга, яку необхідно швидко погасити. Для цього використовують різні конструкції запобіжників:

- 1) цинкова вставка під дією дуги розплавляється і виділяє іони цинку;
- 2) корпус із фібри виділяє хлор, іони цинку та хлору сприяють деіонізації дугового проміжку, дуга гасне при переході струму через нуль і знову не загоряється;
- 3) у фігурній вставці із двома або більше звуженнями дуга загоряється у декількох звуженнях, після чого широка частина вставки провалюється вниз, створюючи одразу великий проміжок. У цьому випадку не треба випаровувати всю вставку, на що необхідна більша кількість тепла і, відповідно, більше часу;
- 4) нерозбірні запобіжники (див. мал. 8.1 б) часто заповнюють кварцовим піском, який перед тим обробляють соляною кислотою, промивають та просушують. Дуга, що виникає, починає горіти між окремими піщинками, а отже розбивається на багато маленьких дуг, теплота віддається піску, дуга охолоджується та гасне.

Чим більшу напругу має мережа, тим більшою повинна бути відстань між контактами всередині запобіжника, що необхідно для надійного гасіння дуги. Тому на запобіжнику вказують не лише номінальний струм, але й номінальну напругу. Це означає, що у мережу із напругою, більшою за його номінальну напругу, запобіжник включати не можна, тому що навіть, якщо дуга погасне при проходженні через нуль, малий дуговий проміжок може бути пробитим знову у момент зростання наступної напівхвилі напруги.

*Для електродвигунів із реостатним пуском* при повному навантаженні плавкі вставки запобіжників вибирають на номінальний струм, що рівний номінальному струму електродвигуна. Якщо за стандартною шкалою потрібної плавкої вставки немає, то беруть найближчу, яка розрахована на більшу силу струму.

*Для електродвигунів із контактними кільцями*, пуск яких здійснюється при 50-ти відсотковому навантаженні, а також для коротко замкнутих, що запускаються з допомогою апаратів, що шунтують запобіжники на період пуску, можна рекомендувати плавкі вставки запобіжників на силу струму  $0,8 I_H$ .

*Для двигунів із короткозамкнутим ротором:*

- при нормальних умовах пуску (рідкі пуски, невелика тривалість розгону) необхідно дотримуватись умов:

$$I_B = I_H / 2,5,$$

де  $I_B$  - номінальний струм плавкої вставки запобіжника;

$I_H$  - пусковий струм електродвигуна;



- у пристроях із важкими умовами пуску (часті пуски при великій тривалості пуску):

$$I_B = I_{II} / (1,6 \dots 2,0).$$

При використанні декількох послідовно включених запобіжників необхідно також використовувати *селективний підбір* запобіжників. Селективність полягає у тому, що при короткому замиканні в електроспоживачі повинен перегоряти найближчий до нього запобіжник, а решта споживачів лишатиметься під напругою, і тільки у крайньому разі повинен перегоряти груповий запобіжник.

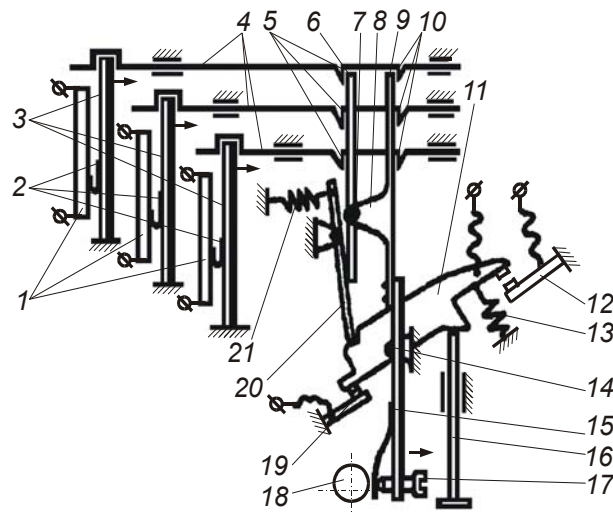
*Теплові реле* служать для захисту електродвигунів від тривалих перевантажень та неповнофазних режимів роботи (обриву фаз). Основним робочим елементом теплового реле є біметалева пластина, що є сплавом двох різноманітних металевих стрічок. Одна стрічка виготовлена із металу з високим коефіцієнтом теплового розширення, наприклад, латунь, нікель, а інша – із металу (сплаву) із меншим коефіцієнтом теплового розширення, наприклад, інвару. При нагріванні такої пластини, одна з її сторін розширюється більше, ніж інша, і пластина при цьому прогинається, діючи на механізм розщеплення, який розмикає контакт, що вмикається послідовно до котушки магнітного пускача. За способом нагрівання біметалевої пластини розрізняють реле із прямим, непрямим та комбінованим нагріванням. При прямому нагріванні струм навантаження проходить безпосередньо через біметалеву пластинку, при непрямому – через нагрівальний елемент, що розміщений поблизу біметалевої пластини, при комбінованому – одна частина струму проходить через нагрівний елемент, друга – через біметалеву пластинку.

Найбільшого застосування у сільськогосподарських пристроях набули двохполюсні теплові реле типу ТРП та ТРН. Перші з них монтуються у магнітних пускачах типу ПМЕ (ТРН-10, ТРН-10А та ТРН-25 і ПАЕ 3-го габариту (ТРН-40), другі – у пускачі типу ПАЕ 4-го (ТРН-60), 5-го та 6-го габаритів (ТРП-150). Однак двополюсні теплові реле мають низку недоліків, головним із яких є низька чутливість при обриві фази. Тому розроблені та випускаються триполюсні теплові реле серій РТЛ та РТТ. Перші – монтуються у електромагнітні пускачі типу ПМЛ, другі – у ПМА. Ці реле мають *температурну компенсацію*, що зменшує вплив коливань температури навколишнього середовища на час спрацювання реле.

Триполюсні теплові реле РТТ складаються із пластмасового корпусу, що розділений на чотири відсіки. У трьох відсіках розмі-

щени теплові елементи 1 (див. мал. 8.2) та біметалеві пластини 3. Гнучкі мідні стрічки 2 покращують теплопередачу між ними. У четвертому відсіку змонтовано контактну групу з механізмом розщеплення та регулятором струму неспрацювання. Контактна група складається з нерухомих розмикаючого 19 та замикаючого 12 контактів, і рухомого контакту 11, який обертається навколо осі 14. Механізм розщеплення складається із штовхачів 4, збірної важелі 8, заціпки 20 і пружин 13 та 21. Регулювання струму неспрацювання здійснюється з допомогою гвинта 17 та ексцентрика 18. Для повернення реле у вихідний стан передбачено кнопку 16.

Реле працює наступним чином. При проходженні через нагрівні елементи 1 електричного струму, більшого за струм неспрацювання реле, проходить їх інтенсивне нагрівання та передача теплоти до біметалевих пластин 3. Останні, вигинаючись у напрямку, вказаному стрілками, лівими упорами 5 штовхачів 4 діють на збірний важіль 8. Пластина 9 важеля згинається праворуч. Коли її механічний опір вирівнюється з опором пружини 21, починає провертатись важіль 6, навколо осі 7. Важіль 6, діючи на заціпку 20, звільняє рухомий контакт 11, який зусиллями пружини 13 провертається і перемикає контакти 12 та 19. Повернення контактів у вихідний стан проводиться від руки шляхом натиску на кнопку 16 після того, як охолонуть та вирівняються біметалеві пластини 3.



Мал. 8.2 – Конструктивна схема електротеплового реле серії РТТ

Регулювання на заданий струм неспрацювання у межах 0,85-1,15 номінального струму реле виконується поворотом ексцентрика 18 за шкалою з ціною поділки 3%. Гвинт 17 необхідний для регулювання реле на спеціальному стенді.

Термокомпенсатор, що зменшує вплив коли-

вань температури навколишнього середовища на час спрацювання реле, являє собою біметалеву пластину 15, що є частиною збірного важеля 8. При збільшенні температури навколишнього середовища головні біметалеві пластинки 3 прогинаються праворуч. У той самий бік прогинається пластинка 15, зберігаючи таким чином постійну відстань між важелями та защіпкою 20. При обриві однієї із фаз струм навантаження проходить тільки через два нагрівних елементи, викликаючи прогин двох біметалевих пластин, які через штовхачі 4 повертатимуть важіль 6 навколо осі 7. Третя пластина залишатиметься на місці та гальмуватиме штовхач, що зв'язаний із нею. У цьому випадку пластина 9 збірного важеля 8 впирається у правий упор 10 цього штовхача, що запобігатиме її прогину. При цьому важіль 6 повертатиме защіпку 20 при меншому прогині біметалевих пластин, зменшуючи таким чином час спрацювання реле. Теплові реле мають певну інерційність, тому вони не встигають спрацювати при короткочасних перевантаженнях, наприклад, при запуску трифазного асинхронного електродвигуна із короткозамкнутим ротором.

Теплові реле вибирають за умовою:

$$I_{НР} \geq I_H.$$

де,  $I_{НР}$  – номінальний струм неспрацювання теплового реле, А;

$I_H$  – номінальний струм електродвигуна, А;

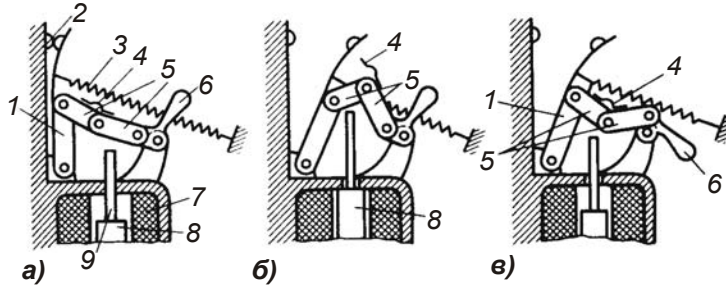
Правильно відрегульовані теплові реле не повинні спрацювати при номінальному навантаженні, а при навантаженні 150% від номінального вони повинні спрацювати через 2 хв.

*Автоматичні вимикачі* – слугують для нечастого вмикання і вимикання електричних кіл від руки й автоматичного відключення у випадку короткого замикання, тривалих перевантажень, перенапруги, надмірно зниженої напруги та ін. Автоматичний вимикач складається із корпусу, струмопровідного кола, дугогасної системи, приводу автомата, механізму вільного розчеплення та елементів захисту - розчеплювачів, які вимірюють відповідний параметр електричного кола і дають сигнали на відключення у тому разі, коли величина, що вимірюється ними, досягне заданого значення.

Дугогасна система необхідна для швидкого гасіння електричної дуги, щоб запобігти підгорянню контактів. У низьковольтних апаратах застосовуються два види дугогасних камер: із магнітним гасінням дуги та із деіонним. При магнітному гасінні дуги контакти розміщені у середині дугогасної камери, що виготовлена із термостійкого ізолюючого матеріалу. З обох сторін камера охоп-

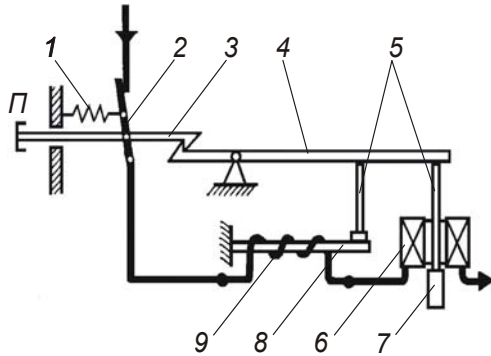
лена сталевим осердям дугогасного електромагніту, магнітне поле якого виштовхує дугу вверх камери, де вона розтягується і швидко гасне. При деіонному гасінні дуги над контактами, що розміщені у середині дугогасної камери, розміщені ґратки із сталевих або мідних пластин, які прикріплені до фібрових боковин. При розмиканні контактів, дуга що утворюється між ними, потоком повітря видувається вверх і попадає у зону металевих ґраток, де вона розтягується між окремими пластинами і, віддаючи їм тепло, швидко гасне. Швидкому гасінню дуги сприяють і фіброві боковини, які при нагріванні виділяють іони хлору.

Механізм вільного розчеплення забезпечує вмикання і миттєве розмикання контактів, а також запобігає утриманню контактів рукою в момент вмикання, якщо у колі є аварійний режим. Механізм вільного розчеплення (мал. 8.3 а) складається із системи важелів, що ламається 5, які з'єднуються шарніром пружини 3, упора 4, важеля 1, до якого кріпиться рухомий контакт 2 рукоятки 6. Коли контакти замкнуті, то важелі 1 знаходяться на одній лінії, а пружина 3 розтягнута. Вимірювальний орган, що реагує на струм короткого замикання, називається електромагнітним розчеплювачем. Він складається із котушки 7, яка включається послідовно до навантаження, магнітопроводу, підпружиненого осердя 8 та штоку 9. При нормальному режимі магнітний потік, що створюється котушкою, недостатній для втягування осердя. При виникненні струму короткого замикання, магнітний потік різко зростає й осердя 8, пересилуючи пружину, втягується у котушку, при цьому шток 9 діє на механізм вільного розчеплення, штовхаючи систему важелів 5, які під дією пружини 3 складаються, а контакти 2 розмикаються (див. мал. 8.3 б). Для того, щоб знову включити автоматичний вимикач, необхідно відвести рукоятку 6 праворуч (див. мал. 8.3 в) і випрямити систему важелів 5. Подаючи після цього рукоятку 6 ліворуч, можна знову замкнути контакти.



Мал. 8.3 – Конструктивна схема механізму вільного

Для захисту від тривалих перевантажень в автоматах передбачено теплові розчеплювачі. Вимірвальним елементом теплового розчеплювача є біметалева пластина, яка нагрівається струмом навантаження. При появі струмів перевантаження біметалева пластина деформується і діє на механізм вільного розчеплення. При одночасному використанні електромагнітного та теплового захисту розчеплювач називається комбінованим. Принципова схема комбінованого розчеплювача автоматичного вимикача зображена на мал. 8.4. Контакт головного струму 2 замикається при натиску на кнопку П – “Пуск”. При цьому пружина 1 розтягується. Защіпка 3 спрацьовує і контакт 2 утримується у замкнутому стані. При тривалих перевантаженнях, струм у колі і в нагрівному елементі 9 перевищує встановлене значення, біметалева пластина 8 починає прогинатись доверху, при цьому шток 5 повертає важіль 4, защіпка 3 виходить із зачеплення із ним і контакти 2, під дією пружини 1, розмикаються. При коротких замиканнях, різко зростає струм у котушці 6, її магнітне поле втягує якорь 7, який через шток 5 діє на важіль 4 і контакти 2 розмикаються.

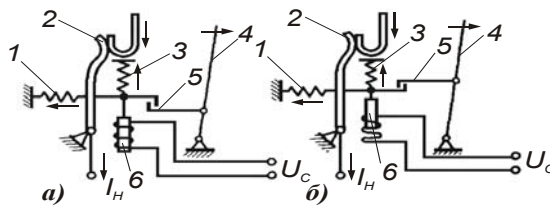


Мал. 8.4 – Принципова схема комбінованого розчеплювача автоматичного вимикача

Розчеплювачі мінімальної напруги служать для відключення споживачів при неприпустимому зниженні напруги. Котушка розчеплювача (див. мал. 8.5 а) вмикається через розмикаючий допоміжний контакт на напругу мережі  $U_C$ . У цьому розчеплювачі защіпка 5 утримується у зачепленні за допомогою зусилля створюваного магнітним полем котушки. При зниженні напруги  $U_C$  нижче допустимого значення, пружина 3 відтягує якорь 6, звільняючи від зачеплення защіпку 5 і рухомий контакт 2, повертається під дією пружини 1 і розмикає коло. Важіль 4 схематично зображує механізм вільного розчеплення, за його допомогою відновлюється зачеплення защіпки 5 і замикаються контакти 2. У розчеплювачі максимальної напруги (див. мал. 8.5 б) защіпка 5 виходить із зачеплення при збільшенні напруги понад встановлені норми.

Струм проходить через автоматичний вимикач у такій послідов-

ності: ввідні затискачі, контакти, тепловий розчеплювач, вивідні затискачі. Головними параметрами автоматичних вимикачів є: номінальний струм апарата, номінальний струм розчеплювача, кратність струму відтинку електромагнітних розчеплювачів, номінальна напруга котушки розчеплювача мінімальної напруги, час спрацювання.

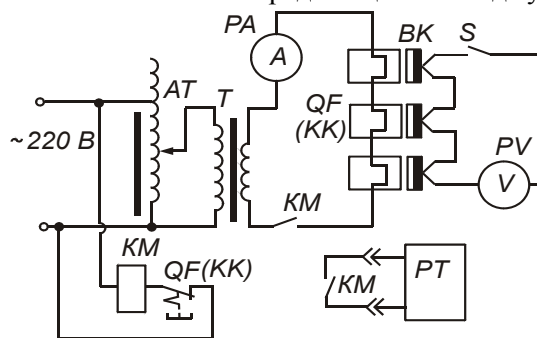


Мал. 8.5 – Схеми дії розчеплювачів

Для застосування у сільськогосподарських пристроях рекомендовані автоматичні вимикачі серії АЕ-1000, АЕ-2000, А63, А3700, АП50Е, ВА50.

### ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Ознайомитись із будовою та принципом роботи апаратів захисту електроспоживачів, що знаходяться на лабораторному стенді. Записати їх паспортні дані;
2. Зібрати електричну схему (мал. 8.6) для дослідження захисних характеристик теплових реле. Задля цього до схеми необхідно під'єднати елементи із позначенням *КК*. Щоб отримати рівнозначні результати у процесі досліджень, початкова температура усіх біметалевих пластин повинна бути однаковою. Для вимірювання температури біметалевих пластин до них припаяні термопари *ВК*, вільні кінці яких через перемикач *S* з'єднують з мілівольтметром *PV*. Покази мілівольтметра пропорційні перевищенню температури біметалевої пластини над температурою навколишнього середовища. Охолоджують біметалеві пластини



Мал. 8.6 - Електрична схема стенду для дослідження захисних характеристик теплових реле та автоматичних вимикачів

потокком повітря від вентилятора. Перед кожним заміром перевіряють температуру біметалевих пластин (покази мілівольтметра *PV* повинні дорівнювати 0). Підключити стенд до мережі і автотрансформатором швидко встановити необхідну силу струму. Після спрацювання

теплового реле включити вентилятор для охолодження біметалевих пластин. Коли вони охолонуть, необхідно вимкнути вентилятор, встановити покази електросекундоміра на позначку "нуль" увімкнути теплове реле, таким же чином проводять наступний замір. Дані експерименту записати у таблицю 8.1. Дослід повторити три рази і визначити середній час спрацювання  $T_{cp}$ . За отриманими результатами будують залежність:  $T_{cp} = f(I/I_{HA})$ , де  $I_{HA}$  номінальний струм апарата.

Таблиця 8.1.

*Протокол випробування теплового реле (автоматичного вимикача)*

$I/I_{HA}$		1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$I$	А								
$T_1$	сек.								
$T_2$	сек.								
$T_3$	сек.								
$T_{cp}$	сек.								

- Зібрати електричну схему (мал. 8.6) для дослідження захисних характеристик автоматичних вимикачів, для чого до схеми необхідно під'єднати елементи із позначеннями  $QF$ , а перемикач  $S$  поставити у положення  $QF$ . Дослідження проводити аналогічно п. 2 із заповненням такої самої таблиці і побудовою такої самої залежності.

#### ПРОГРАМА ПОЗА АУДИТОРНОЇ САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

№ з/п	Вид підготовки	Час, год
1	За рекомендованою літературою вивчити призначення, будову, принцип роботи та правила вибору апаратів захисту електроспоживачів.	2
2	Підготувати робочий зошит для виконання лабораторної роботи, у який записати: <ul style="list-style-type: none"> <li>- назву та мету роботи;</li> <li>- короткі теоретичні пояснення із необхідними для розрахунків формулами;</li> <li>- вказівки щодо виконання роботи;</li> <li>- таблицю 8.1-1 шт.;</li> <li>- електричну схему стенду (мал. 8.6).</li> </ul>	2

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які апарати застосовують для захисту електроспоживачів від коротких замикань, від тривалих перевантажень та від роботи при обриві фаз?
2. Як побудовані та працюють запобіжники, теплові реле та автоматичні вимикачі?
3. За якими параметрами вибирають запобіжники, теплові реле та автоматичні вимикачі?
4. Як працює пристрій для прискорення спрацювання теплового реле при обриві фази?
5. Що таке термокомпенсатор, як він побудований і працює?
6. Які бувають розчеплювачі автоматичних вимикачів, як вони побудовані і працюють?

## ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Практикум з електропривода/ В. С. Олійник, О. С. Марченко, Е. Л. Жулай та ін. – К.: Урожай, 1995. – 192 с.
2. Електропривод/ О. С. Марченко, Ю. М. Лавриненко, П. І. Савченко, Е. Л. Жулай. – К.: Урожай, 1995. - 208 с.
3. Довідник сільського електрика/ За ред. В. С. Олійника. - К.: Урожай, 1989. -С.100-147.
4. Цейтлин Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. – М.: “Высшая школа”, 1985. – С. 17 - 54.
5. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок/ Под редакцией И. Ф. Кудрявцева. – М.: Агропромиздат, 1988. – С. 84 - 102.
6. Колесов Л. В. Основы автоматизации. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос, 1984. – 288 с. (С. 112-125).
7. Автоматика и автоматизация производственных процессов/ И. И. Мартиненко, Р. Д. Проценко, Т. Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с. (С. 145-150).
8. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин/ Носов Г. Р., Кондратец В. А., Сакало Л. Г., Серета Л. И. - К.: Вища школа, 1984. – 248 с. (С. 86 – 90).



## ЗМІСТ

Порядок виконання лабораторних робіт .....	3
Правила техніки безпеки при роботі в лабораторії .....	4
Правила зображення схем автоматизованого електроприводу	6
МОДУЛЬ № 1 .....	13
1. Лабораторна робота № 1 Дослідження реле часу та програмних пристроїв .....	13
2. Лабораторна робота № 2. Дослідження датчиків тиску та зусиль .....	24
3. Лабораторна робота № 3. Дослідження датчиків температури .....	35
4. Лабораторна робота № 4. Дослідження оптичних сприймаючих елементів .....	56
5. Лабораторна робота № 5. Дослідження датчиків швидкості	77
Лабораторна робота № 6. Дослідження електромагнітних реле і крокових шукачів .....	87
МОДУЛЬ № 2 .....	
Лабораторна робота № 7. Електричні апарати керування .....	101
Лабораторна робота № 8. Дослідження апаратів захисту електроспоживачів .....	101
.....	

Навчальний посібник

Ярошенко Леонід Вікторович

*ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ  
З АВТОМАТИКИ І АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА*

Технічний редактор  
Коректор

Підписано до друку  
Формат 60 x 84/16. Умовн. друк. арк. 12.  
Наклад 200 прим.  
Зам. №

Редакційно-видавничий відділ  
Вінницького національного аграрного університету  
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна  
Тел.: 097-35-097-49