

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ**  
**ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

*Кафедра тракторів, автомобілів  
та технічного сервісу машин*

*Ярошенко Л. В.*

***ОСНОВИ АВТОМАТИЗАЦІЇ***  
***Частина 1***

***ДАТЧИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ***

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

*до виконання лабораторних робіт для студентів  
сільськогосподарських вищих навчальних закладів*

*спеціальності: 6.091902 –*

*“Механізація сільського господарства”*

**ВІННИЦЯ – 2003**

## УДК 631.3-52:621.31(075.3)

Ярошенко Л. В. Основи автоматизації. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів сільськогосподарських вищих навчальних закладів спеціальності: 6.091902 – “Механізація сільського господарства”: в 3 ч. – Вінниця: ОЦ ВДАУ, 2003. - Ч. 1.: Датчики систем автоматики. – 55 с.

Рецензенти:

- д. т. н., проф., завідувач кафедри металорізальних верстатів і основи автоматизованого виробництва Р. Д. Іскович-Лотоцький (Вінницький державний технічний університет);
- д. т. н., проф., завідувач кафедри тракторів, автомобілів та технічного сервісу машин В. Ф. Анісімов (Вінницький державний аграрний університет).

Приведено методичні вказівки та короткі теоретичні пояснення до виконання лабораторних робіт із дисципліни “Основи автоматизації” (частина 1 - “Датчики систем автоматики”). Методичні вказівки складено відповідно до базової навчальної програми з даної дисципліни. Розглянуто будову, принцип роботи та правила вибору сприймаючих елементів автоматичних систем сільськогосподарського призначення.

Розраховано на студентів факультету механізації сільського господарства, спеціальність 6.091902 - “Механізація сільського господарства”

Рекомендовано науково-методичною радою  
Вінницького державного аграрного університету  
(протокол № 3 від 26 листопада 2001 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 приведені в даних 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);
- хід проведення експерименту;
- необхідні таблиці та електричні схеми.

Детальніше необхідний обсяг записів у робочий зошит наводиться 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.

Вся 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.

Всі 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 приступити до збирання електричної схеми на стенді, необхідно переконатись, що він не знаходиться під напругою, перевірити, чи вимкнений автоматичний вимикач, встановлений на вертикальній панелі робочого стола. Для цього потрібно натиснути на червону кнопку, а біла або чорна кнопка повинна знаходитись у не зануреному стані, або опустити важіль автоматичного вимикача у нижнє положення, при цьому також не повинні горіти сигнальні лампочки чи світлодіоди, які розміщені поруч із вимикачем.

4. Складаючи електричну схему, слід починати 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. Після складання схеми потрібно прибрати всі зайві провідники, прилади тощо.
5. Забороняється користуватися несправними приладами, апаратами та електричними машинами.
6. Зібрану схему перевіряють усі члени бригади, а потім викладач чи лаборант.
7. 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.
8. 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 параметри, які при роботі змінюються найшвидше. При проведенні дослідів усі дані випробувань та технічні дані обладнання акуратно записуються у спеціальний зошит.
9. 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, перемикати вимикачі і т. д.
10. Забороняється лишати включений лабораторний стенд без нагляду.
11. Якщо в машині є відкриті частини, що обертаються, то необхідно 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.
12. Категорично забороняється вносити будь-які зміни до електричного кола під напругою. При необхідності таких змін необхідно за допомогою автоматичного вимикача вимкнути лабораторний стенд. Після внесення необхідних змін в

- електричну схему стенда його повторне включення можливе тільки з дозволу викладача і при попередженні про це присутніх.
13. У випадку припинення постачання електроенергії, необхідно відключити лабораторний стенд шляхом вимикання автоматичного вимикача, що знаходиться на стенді.
  14. Виконання лабораторної роботи однією людиною забороняється.
  15. Розбирати електричну схему можна тільки при вимкненій напрузі, після перевірки викладачем результатів виконаної роботи. Якщо вони будуть визнані незадовільними, то експеримент слід повторити.
  16. 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.
  17. Після закінчення роботи необхідно розібрати електричну схему, акуратно скласти провідники і прибрати робоче місце.
  18. За псування лабораторного обладнання, що викликано неохайним користуванням або невиконанням правил техніки безпеки, студенти несуть відповідальність і не допускаються до занять.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## 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*

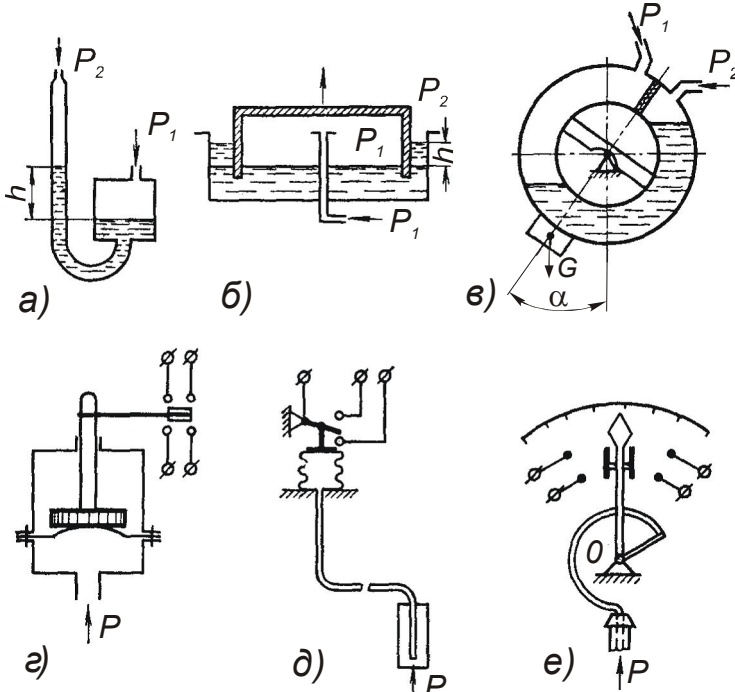
У рідинних датчиках тиск сприймає або поверхня рідини, що налита у посуд, або поверхня жорсткої стінки. Зрівноважувальне зусилля у більшості таких датчиків створюється силою тяжіння. Рідинні датчики тиску поділяють на U-подібні (мал. 1.1а), куполоподібні (мал. 1.1б) та диференційні (гідростатичні) (мал. 1.1в).

В *U-подібних* датчиках різниця у тисках  $\Delta P = P_1 - P_2$  зрівноважується вагою стовпа рідини  $h$ :  $\Delta P = \gamma h$ , 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. 1.1з) еластична пластина (мембрана) під дією контрольованого середовища переміщає шток, який у свою чергу діє на контактну систему. Існують датчики із плоскою, хлопаючою (кулолоподібною) та гофрованою металевою 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 куполу 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



**Мал. 1.1 - Датчики тиску із механічними сприймаючими органами:**  
**а) рідинний з U-подібною трубкою; б) рідинний куполоподібний;**  
**в) гідростатичний (диференційний); з) мембранний; д) сільфонний;**  
**е) із манометричною трубкою**



протидіюче зусилля створюється додатковою пружиною. Простота конструкції, надійність та достатня точність вимірювань зумовили широке розповсюдження датчиків цього типу.

Сильфонні датчики (мал. 1.1д) 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 та рухомих контактів.

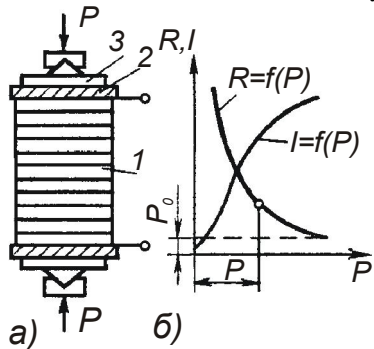
У датчиках тиску з манометричною трубчатого пружиною (мал. 1.1е) використовується вигнута дугою пружна тонкостінна трубка, що має овальний перетин. При збільшенні тиску контрольованого середовища всередині неї, трубчатая пружина старається випрямитись. Переміщення вільного кінця трубки використовується для приведення у дію стрілки та керування контактною системою. Найбільш розповсюдженими є одновиткові пружини еліптичного та плоско-овального перетинів. Використовуються також виті гвинтові, спіральні, S-подібні та інші трубчаті пружини.

***Датчики тиску з електричними сприймаючими органами.***

Датчики цього типу можуть виготовлятися на основі п'єзоопорів, п'єзокристалів, емнісних 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 область їх застосування тільки вимірюванням надвисоких тисків (понад  $10^8$  Н/м<sup>2</sup>).

Найчутливішими є напів-провідникові 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. 1.2а) або стержня діаметром 1 мм із мідними виводами.



Вугільні стовпчики використовують для вимірювання зосереджених зусиль, а стерженькові тензоліти наклеюють на тонкий папір, який у свою чергу, наклеюють на деталь, що досліджується для вимірювання її

Мал. 1.2 - Вугільний датчик (а) та його характеристика (б)

пружної деформації під дією зовнішніх навантажень. При зростанні величини зусилля чи деформації його електричний опір різко зменшується. Про величину тиску або зусилля судять за величиною опору датчика чи струму, що проходить через нього.

Головними недоліками даних датчиків є нелінійність залежності електричного опору від зусилля чи деформації (див. мал. 1.2б), нестабільність опору, його залежність від температури та наявність явища аналогічного гістерезису. Для усунення нелінійності характеристики та впливу зміни температури, тензоліти включають в одне із плечей вимірювального моста.

Робота п'езодатчиків заснована на явищі 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 обкладками:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon F / \delta,$$

де  $\varepsilon_0$  - діелектрична стала;

$\varepsilon$  - відносна діелектрична проникність середовища;

$F$  - активна площа електродів;

$\delta$  - відстань між електродами.

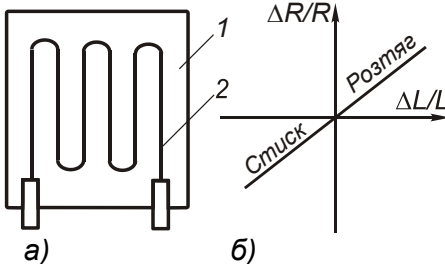
Внаслідок малої чутливості та залежності характеристик від температури такі датчики знаходять обмежене використання.

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  $0,1 \dots 1000 \text{ Н/м}^2$  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  $50 \text{ кГц}$  в умовах високих температури та вологості. Принцип дії цих датчиків заснований на явищі пьезоефекту (залежності електричного опору датчика від величини його деформації). Вони виготовляються у вигляді тонкого (діаметром  $0,02 \dots 0,04 \text{ мм}$ ) ніхромового чи константанового проводу 2, вкладеного зигзагами і обклеєного із обох сторін тонким папером або поліетиленом 1 (див. мал. 1.3а). До кінців проводу приварюють виводи. Існують також тензодатчики що виготовлені шляхом травлення з фольги. Розміри тензодатчиків невеликі: довжина  $2,5 \dots 150 \text{ мм}$ , ширина  $2 \dots 60 \text{ мм}$ , номінальний електричний опір знаходиться у діапазоні  $10 \dots 3000 \text{ Ом}$  (звичайно  $100 \dots 200 \text{ Ом}$ ). гранично допустима розсіювана потужність визначається боковою поверхнею датчика та допустимим струмом, який для константанового проводу діаметром  $0,025 \text{ мм}$  не повинен перевищувати  $20 \text{ мА}$ , а при діаметрі  $0,1 \text{ мм}$  -  $300 \text{ мА}$ . Тензодатчики наклеюють на досліджувану деталь таким чином, щоб напрям очікуваної найбільшої деформації збігався із довгою стороною петель проводу, при цьому використовують клей, що має високу пружність при зсуві, високий електричний опір та не деформується під дією навколишнього середовища (звичайно, БФ-2).



Мал. 1.3 - Тензометричний датчик (а) та його характеристика (б)

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  $k = 2,0$ ).

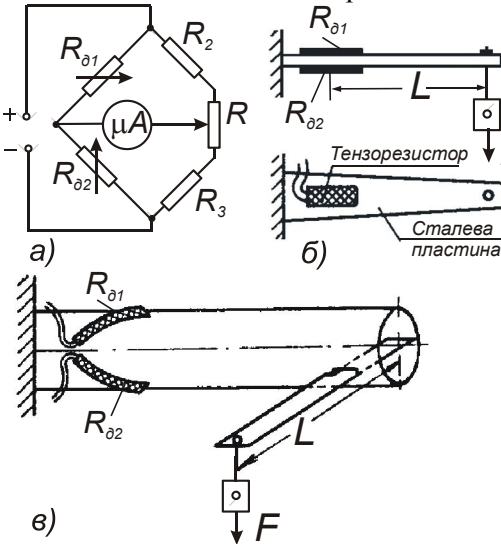
Лінійність та стабільність характеристики тензодатчиків (див. мал. 1.3б) є їх важливою перевагою порівняно із вугільними датчиками, що зумовило їх більш широке використання.

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. 1.4а 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. 1.4 бв) тензорезистори  $R_{\partial 1}$  та  $R_{\partial 2}$  наклеюють 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 (усунення впливу зміни температури на покази датчика) та усунення впливу невимірюваних деформацій (наприклад, поперечних).

Мостові тензометричні схеми можуть працювати при



постійному та змінному струмі. Для того, щоб за допомогою тензодатчика визначити величину зусилля, деформації чи механічної напруги у досліджуваній деталі, необхідно знати залежність від цих величин струму, що проходить через вимірювальний прилад моста. Така залежність називається тарувальною кривою датчика і визначається дослідним шляхом.

Мал.1. 4 - Схеми випробувань датчиків механічних величин

## 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. 1.4а,б). Для цього при відсутності вантажів за допомогою резистора R встановити стрілку мікроамперметра на нуль, після чого кінець сталевієї пластини поступово завантажувати гирями, записувати покази мікроамперметра у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1

### *Протокол дослідження тензовимірювального моста для вимірювання напруги згину сталевієї пластини*

Параметр	Розмірність	Величина	№	$F$		$M_{зг}$	$\sigma_{зг}$	$I$
			з/п	кгс	Н	Нм	Н/м <sup>2</sup>	мкА
$b$	м		1.					
			2.					
$h$	м		3.					
			4.					
			5.					
$l_1$	м		6.					
			7.					
			8.					
$W_{II}$	м <sup>3</sup>		9.					
			10.					

Момент згину  $M_{зг}$  визначити за формулою:

$$M_{зг} = Fl_1,$$

де  $F$  - вага вантажу;

$l_1$  - 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, рівний:

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

де  $b$  – ширина пластини;

$h$  - висота пластини.

За отриманими даними побудувати криву  $I = f(\sigma_{3Г})$ .

- Побудувати тарувальну криву для визначення напруги кручення у сталевій трубі за допомогою тензовимірювального моста. Для цього при відсутності вантажів за допомогою резистора R (мал. 1.4а, в) встановити стрілку мікроамперметра на нуль, після чого кінець сталевого важеля завантажити вантажами, які створюють момент кручення  $M_{KP} = Fl_2$ , що є причиною створення напруги кручення у тілі труби:

$$\tau_{KP} = M_{KP} / W_T,$$

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 1.2.

Таблиця 1.2

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

Параметр	Розмірність	Величина	№ з/п	$F$		$M_{KP}$	$\tau_{KP}$	$I$
				кгс	Н	Нм	Н/м <sup>2</sup>	мкА
$d_1$	м		1.					
			2.					
			3.					
$d_2$	м		4.					
			5.					
			6.					
$l_2$	м		7.					
			8.					
			9.					
$W_T$	м <sup>3</sup>		10.					

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

**КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

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

3. Як побудовані та працюють поршневі, мембранні та сільфонні 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 1.1, 1.2;</li> <li>- електричні схеми мал. 1.4.</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.: Агропром-издат, 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).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

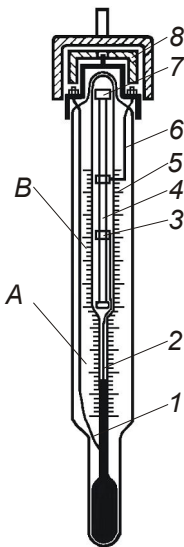
### ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ

**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 термоопори, термопари, терморезистори.

Контактні термометри - працюють на принципі теплового розширення рідин та газів. Рідинний (ртутний) датчик (див. мал. 2.1) являє собою скляну трубку 5, всередині якої розміщена скляна



Мал. 2.1. Контактний термометр

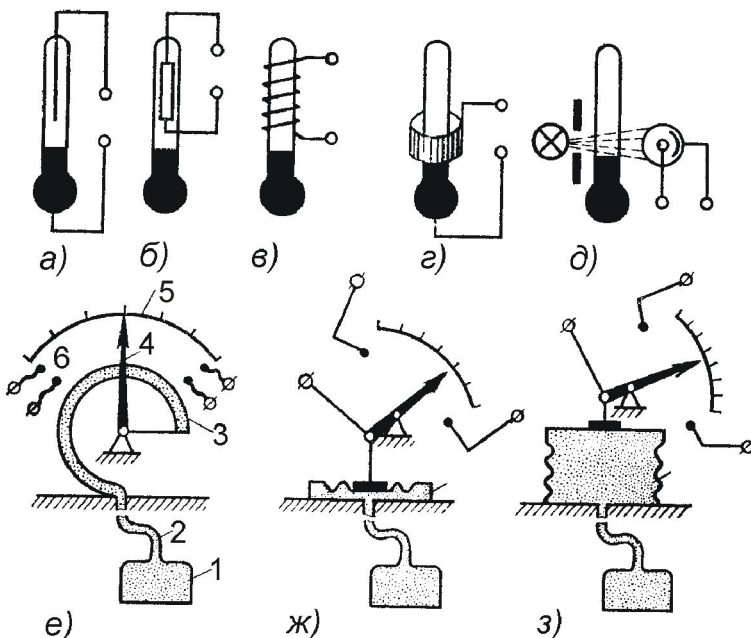
ампула із капіляром, де знаходиться ртуть. В ампулі розміщено два контакти: один впаяний знизу 1 і з'єднаний із стовпиком ртуті, а другий 2 (рухомий) розміщений зверху і може переміщатись у капілярі за допомогою магнітної голівки 8 що розміщена над термометром. При провертанні магнітної голівки 8, починає провертатись сталеве осердя 7 та ходовий гвинт 4, по якому переміщується муфта 3, що з'єднана з рухомих контактом 2. Про положення рухомих контакту на вимірювальній шкалі А судять за положенням муфти 3 на допоміжній шкалі В. Оскільки висота стовпчика ртуті залежить від температури середовища, то кожному положенню рухомих контакту відповідатиме певне значення температури при якій спрацьовуватиме 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  $+100$   $^{\circ}\text{C}$  (та вище). У схемах автоматики такі термометри 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. 2.2б), індуктивності котушки (мал. 2.2в), ємності (мал. 2.2г), інтенсивності світлового потоку (мал. 2.2д).

Манометричні датчики використовують залежність тиску газу або насиченої пари низько кипучої рідини, що знаходиться у замкнутій системі, від температури. Замкнута система (мал. 2.2е, 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),



Мал. 2.2 - Датчики температури: а, б, в, г, д – рідинні;  
е, ж, з – манометричні

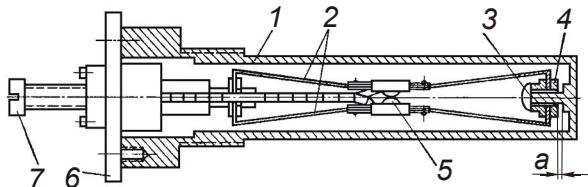
сильфонів (з). При досягненні граничних значень температури стрілка викликає спрацювання контактної системи б, у результаті чого виникає керуючий сигнал. Датчики манометричного типу дозволяють вести візуальний контроль температури, причому шкала датчика може бути віддаленою на значну відстань від контрольованого об'єкта (довжина капіляру до 40 м). Рідинні манометричні датчики заповнюють 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, який 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. 2.3) 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 переміститиметься відносно інварних пружин 2. Виставляючи зазор **a**, можна відрегулювати терморегулятор на певну температуру спрацювання.

При нагріванні, коли цей зазор буде перекритим за рахунок 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 зада-



Мал. 2.3 - Терморегулятор інварний типу TP-200

вати 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. 2.4а 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. 2.4б) 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:

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

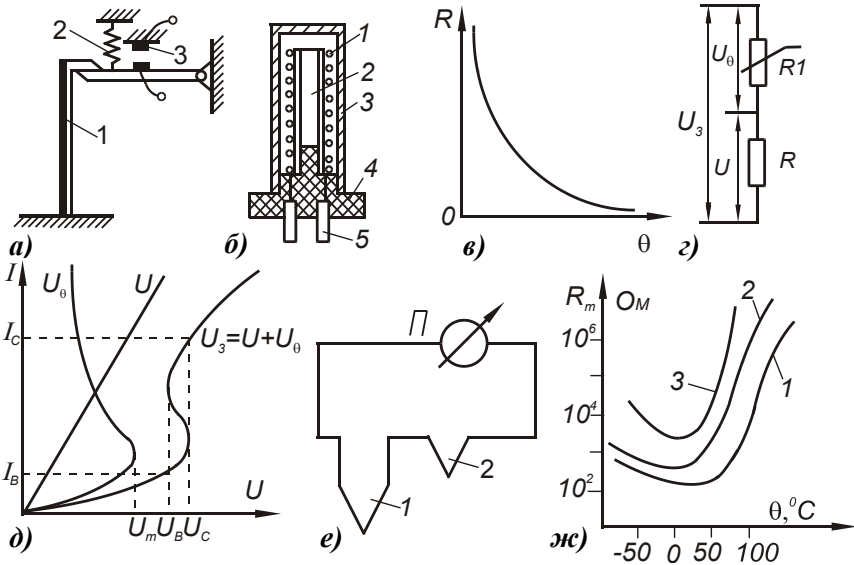
де  $R_0$  – опір, що відповідає температурі  $\theta_0$ ;

$R$  – 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:

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



**Мал. 2.4 - Датчики температури: а) біметалевий; б) термометр опору; в) характеристика термістора; г) схема вмикання термістора; д) вольт-амперні характеристики термістора; е) схема вмикання терморпарі; ж) температурні характеристики позисторів при одній напрузі: 1 – позистора СТ6-1А; 2 – позистора СТ6-1Б; 3 – позистора СТ6-3Б**

Термометри опору - одні з найточніших вимірювачів температури (вони дозволяють виміряти температуру з точністю до  $0,001$  °C). Оскільки інтенсивність витрати теплоти залежить від багатьох 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 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. 2.4,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. 2.4 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. 2.4д). 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 інерційності звичайного ртутного термометра, а для деяких типів термісторів у десятки разів менша, що дозволяє використовувати їх при регулюванні температури мало інерційних об'єктів. Термістори, які випускає промисловість, можуть мати опір, відмінний від номінального до  $\pm 20\%$ , що утруднює їх взаємозамінність.

Позистори мають великий позитивний температурний коефіцієнт опору, що сягає 80% на  $1^\circ\text{C}$ , 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...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 електродвигунів для контролю їх температури.

Термонари - 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. 2.4е) 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 термопари 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. 2.5 і, змінюючи потенціометром напругу від 0 до 4 В, записати покази приладів у таблицю 2.1. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(U)$ .
3. Дослідити температурну характеристику терморезистора, для чого необхідно зібрати електричну схему мал. 2.6, яка являє собою вимірювальний міст, в одне з плеч 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 2.2 покази термометра, вольтметра і міліамперметра. За цими даними визначають опір терморезистора. Результати слід

записувати через 2-4 хв після того як встановиться задана температура у термостаті. За результатами дослідів побудувати температурну характеристику  $R = f(\theta)$ .

Визначити постійні коефіцієнти:

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

де  $R_{\theta_1}$  та  $R_{\theta_2}$  – опір терморезистора при температурах  $\theta_1$  і  $\theta_2$  відповідно;

- а також температурний коефіцієнт терморезистора:  $\alpha = -B/\theta_1^2$ .

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

Таблиця 2.1

**Параметри терморезистора**

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

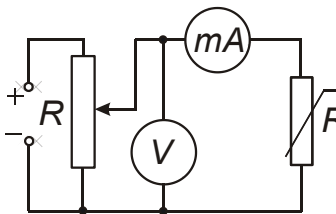
Таблиця 2.2

**Залежність параметрів терморезистора від температури**

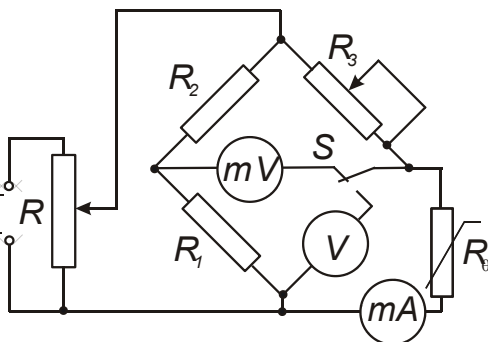
№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta$	°K										
$U$	В										
$I$	мА										
$R_{\theta}$	Ом										
$R'_{\theta}$	Ом										

4. Протарувати міст для вимірювання температури за допомогою терморезистора. Для цього під час знімання температурної характеристики у таблицю 2.3 записують покази мілівольметра при його підключенні до схеми за допомогою перемикача S. При початковій температурі міст зрівноважують за допомогою резистора змінного опору. За результатами досліду побудувати тарувальну криву  $\theta = f(U)$ .





*Мал. 2.5 - Електрична схема дослідження терморезистора*



*Мал. 2.6 - Електрична схема дослідження вимірювального моста із терморезистором*

Таблиця 2.3

*Параметри моста для вимірювання температури*

№ з/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\theta$	°K									
$U$	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 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 2.1, 2.2, 2.3;</li><li>- електричні схеми мал. 2.5, 2.6.</li></ul>	2

### ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Колесов Л. В. Основы автоматики. – 2-е изд., доп. и перераб. - М.: Колос, 1984. - 288 с. (С. 54 - 61).
2. 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).
3. 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).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ОПТИЧНІ СПРИЙМАЮЧІ ЕЛЕМЕНТИ У СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ

*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. 3.1 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.

Фотоелементи із зовнішнім фото ефектом являють собою вакуумну або газонаповнену (аргон під тиском -  $10^4$  Па для підсилення фотоструму за рахунок іонізації газу) лампу (див. мал. 3.1 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 освітленому шарі, а віддаляються від нього (зовнішній фото ефект). Для збільшення чутливості, колбу вакуумного фотоелемента заповнюють інертним газом. Фотоелектрони, що звільнені світлом, співудаляються 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*.

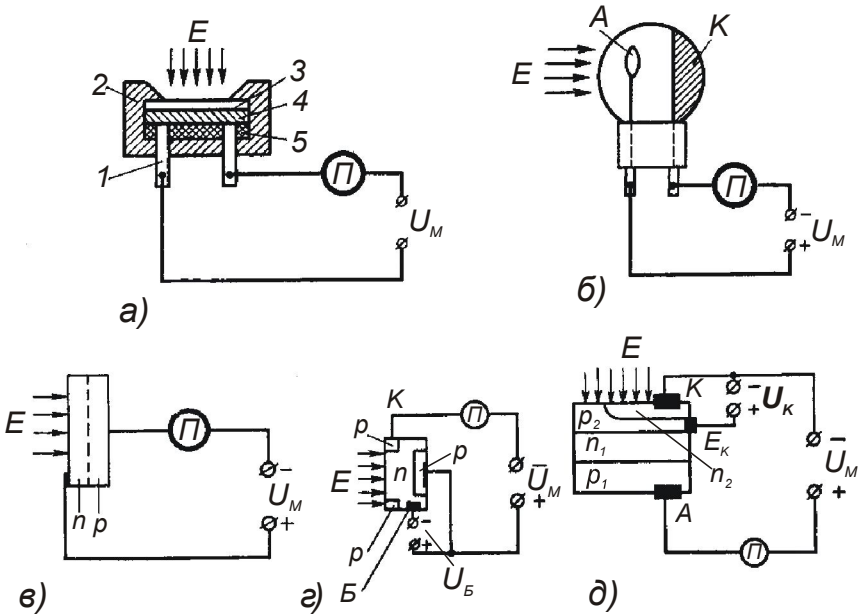
На мал. 3.16 приведена схема включення фотодіода у фотоперетворювальному режимі. Напруга на  $p-n$ -перехід фотодіода подається зворотної полярності. Під дією світлового проміння здійснюється генерування носіїв електричного заряду, які під дією електричного поля розділяються і на межі  $p-n$ -переходу 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. 3.17). 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 чотиришаровий напівпровідниковий прилад із  $p-n-p-n$ -переходами, що керується світлом (див. мал. 3.18). 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.



Мал. 3.1 - Електричні схеми вмикання: а) – фото резистора; б) – вакуумного фотоелемента; в) – фотодіода; г) – фото-тріода (фототранзистора); д) – фототиристора

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 фото-підсилювачах.

Чутливість оптичних датчиків розділяють на інтегральну, питому та спектральну.

*Інтегральна чутливість* (мкА/лм) чисельно рівна силі фотоструму, що протікає у короткозамкнутому 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.

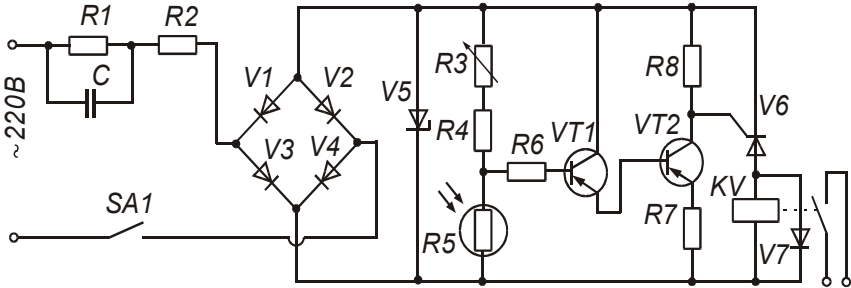
*Максимальну чутливість* знаходять, перемножуючи питому чутливість на максимальну різницю потенціалів.

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. 3.2) 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 розряджання 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

електромагнітне 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*.



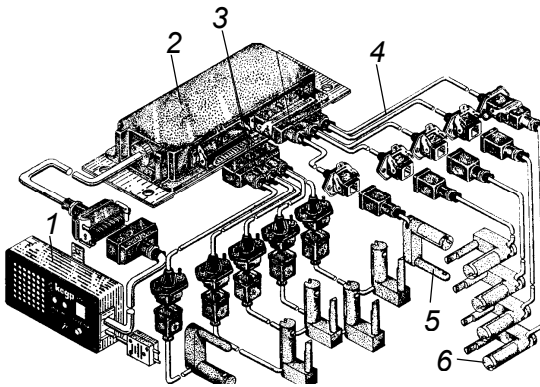
Мал. 3.2 – Електрична схема фотореле

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. 3.3). 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 насіннеспроводу 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 роботи будь-якого висівного апарату у випадку відсутності зерна, забивання порожнини насіннеспроводу 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.



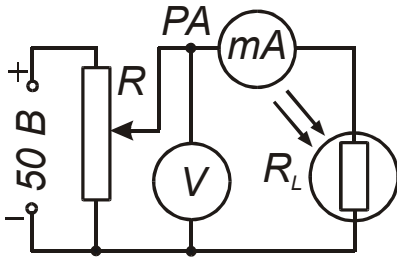
*Мал. 3.3 – Автоматична система контролю висіву “Кедр”: 1 – пульт; 2 – підсилювачі; 3 – клеми; 4 – кабелі; 5 - фотоелектричний датчик; 6 – датчик рівня*

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

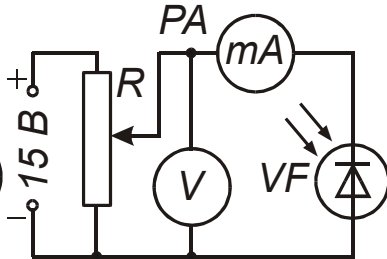
система справна, то мигтить зелена лампочка. При відмові будь-якої частини системи контролю на пульті висвітлюється номер несправного елемента та подається звуковий сигнал. Система також сигналізує про зниження напруги живлення нижче допустимих меж (10,5 В) висвічуванням на пульті цифри “8”.

## ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ, АНАЛІЗ ТА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Ознайомитись з будовою та принципом дії світлочувливих елементів, що знаходяться на 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. 3.4). Змінюючи потенціометром напругу від 0 до 60 В, записати покази приладів у таблицю 3.1. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(U)$  для двох значень освітленості.
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. 3.4 – Електрична схема дослідження вольт-амперної характеристики



Мал. 3.5 – Електрична схема дослідження вольт-амперної характеристики фотодіода

(мал. 3.5). При цьому необхідно забезпечити подання на фотодіод напруги зворотної полярності (анод з'єднати із мінусом джерела, а катод із плюсом, як показано на мал. 3.5). Змінюючи потенціометром напругу від 0 до 15 В, записати покази приладів у таблицю 3.2. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(U)$  для двох значень освітленості.

Таблиця 3.1

**Параметри фоторезистора**

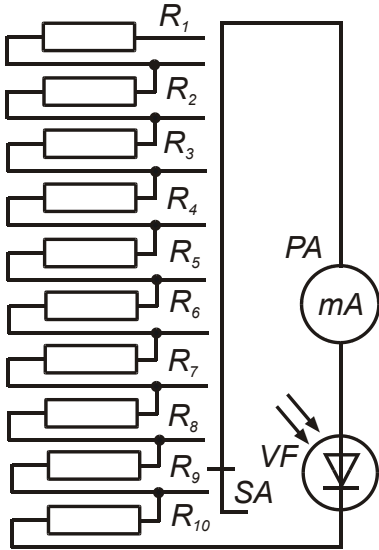
№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_1$	$U$ В										
	$I$ мкА										
$E_2$	$U$ В										
	$I$ мкА										

Таблиця 3.2

**Параметри фотодіода**

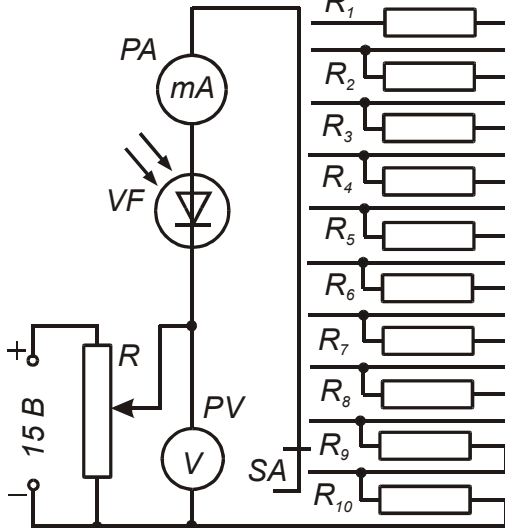
№ з/п		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_1$	$U$ В										
	$I$ мкА										
$E_2$	$U$ В										
	$I$ мкА										

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. 3.6. Змінюючи за допомогою перемикача SA величину опору навантажувального резистора, записати покази приладів у таблицю 3.3. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(R)$  для двох значень освітленості.



Мал. 3.6 – Електрична схема дослідження навантажувальної характеристики фотодіода в режимі фотогенератора

5. Для зняття навантажувальної характеристики фотодіода у режимі фотоперетворювача необхідно зібрати електричну схему мал. 3.7. При цьому необхідно забезпечити подання на фотодіод напруги зворотної полярності (анод з'єднати з мінусом джерела, а катод із плюсом, як показано на мал. 3.7). Встановити потенціометром задану викладачем напругу. Підтримуючи за допомогою потенціометра напругу постійною, дослідити, аналогічно до попереднього дослідження, навантажувальну характеристику фотодіода у режимі фотоперетворювача, записати покази приладів у таблицю 3.4. За отриманими результатами побудувати залежність  $I = f(R)$  для двох значень освітленості.



Мал. 3.7 - Електрична схема дослідження навантажувальної характеристики фотодіода в режимі фотоперетворювача

6. Дослідити роботу фотореле, електрична схема якого приведена на мал. 3.2. 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.

Таблиця 3.3

**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 3.4

**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										

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які існують типи фотоелектричних датчиків, і де вони застосовуються?
2. У чому полягає фізична суть зовнішнього та внутрішнього фотоефектів?
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, а також як вони працюють у фотоперетворювальному та фотогенераторному режимах?
6. Як побудовані та працюють фототріоди і які у них переваги та недоліки?
7. Як побудовані та працюють фототиристоры і які у них переваги та недоліки?
8. Як побудовані та працюють фотореле і які у них переваги та недоліки?
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 3.1, 3.2, 3.3, 3.4;</li> <li>- електричні схеми мал. 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.</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 № 4

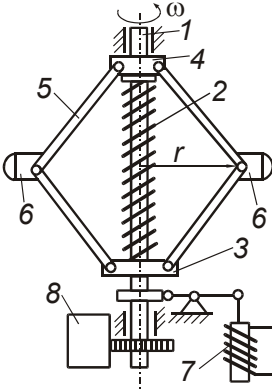
### ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ ШВИДКОСТІ

**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. 4.1. 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 повзунок 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 повзунок 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:

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

**Мал. 4.1 – Принципова схема відцентрового датчика швидкості**

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

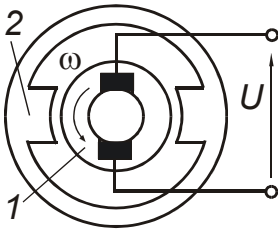
Переміщення повзунка 3 за допомогою вилкового важеля передається на спеціальний пристрій, що фіксує це переміщення. Таким пристроєм може бути якір індуктивного датчика 7, рухомий повзунок потенціометричного датчика, рухомий електрод

емнісного датчика або рейка паливного насосу високого тиску дизельного двигуна внутрішнього згоряння та ін. Обертання осі 1 через зубчате колесо може передаватися на лічильний механізм 8, який реєструє кількість обертів.

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

У тахогенераторів постійного струму (див. мал. 4.2.) якір 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 електромагнітної індукції, відповідно до якого електрорушійна сила  $E$ , що індукується у котушці якоря 1, пропорційна швидкості зміни магнітного

потoku через неї  $\frac{d\Phi}{dt}$ , а отже, швидкості



обертання якоря 1:

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

де  $\varpi$  - кількість витків котушки якоря.

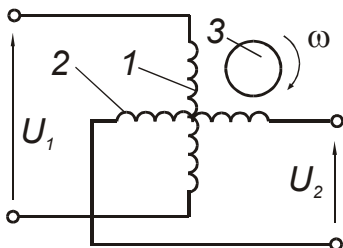
**Мал. 4.2 – Принципова схема тахогенератора постійного струму**

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. 4.3), 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 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:

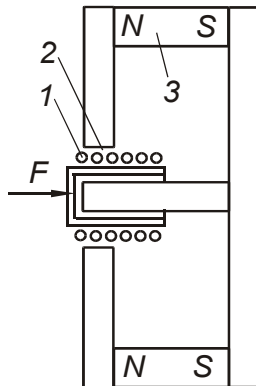
$$U_2 = m_1 \omega U_1.$$

**Мал. 4.3 – Принципова схема асинхронного тахогенератора змінного струму**

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 підвищення точності 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



**Мал. 4.4 Принципова схема датчика лінійної швидкості**

обертів та частотоміра.

Для вимірювання швидкості лінійних переміщень, амплітуди коливань та прискорень можна використовувати датчик, схема якого приведена на мал. 4.4. 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 індукуються 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.

У тахометрах стрілка показує безпосередньо частоту обертання. У разі необхідності встановлюють додатковий передавальний механізм і ще одну стрілку. Одна стрілка, наприклад, показує частоту обертання в десятках і сотнях, друга - в тисячах обертів за



хвилину.

Спідометр із механічним приводом складається із системи привода, показчика швидкості та лічильника. Незважаючи на відсутність звичайних елементів електричної схеми, робота спідометра з механічним приводом базується на електромеханічних явищах (мал. 4.5). Він складається з обертового магніту 4, що приводиться в рух від валика 1, алюмінієвого диска 2, осі 8, диска із стрілкою 6 та зворотної спіральної пружини 7. Для формування магнітного потоку 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.

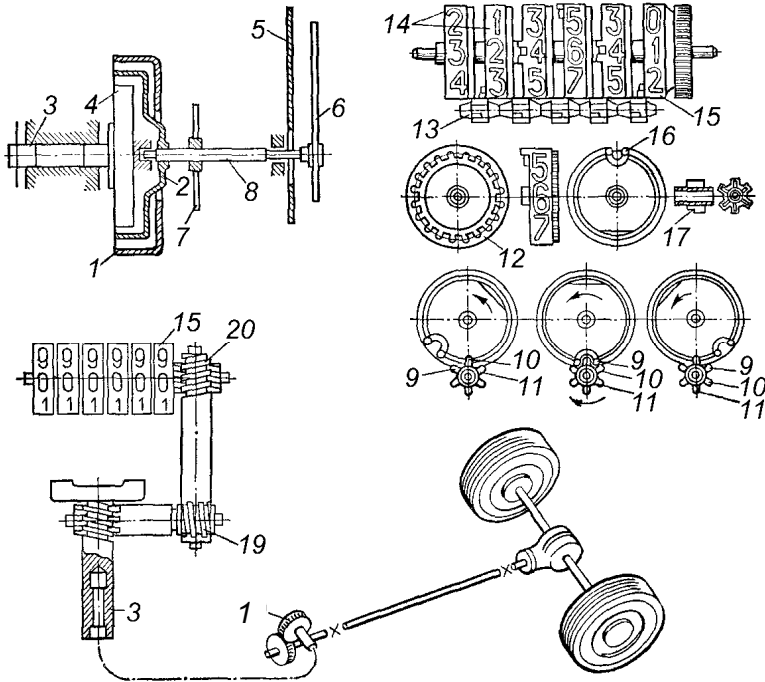
Для визначення пройденого шляху через валики привода 19 і 20 з однозахідними черв'ячними передачами приводиться в дію механізм барабанного типу 14 із необхідними цифровими позначеннями від 0 до 9. На крайньому барабані 15 з боку привода є зубці для зчеплення з черв'ячною передачею. На внутрішньому боці 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  $1/10$  оберту. 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 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.



**Мал. 4.5 - Принципова схема спідометра з механічним приводом**

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 покажчика 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 покажчик 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 покажчика 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 чергову 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 покажчика 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 покажчика, який приводить у дію стрілку відліку швидкості та лічильний механізм пройденого шляху.

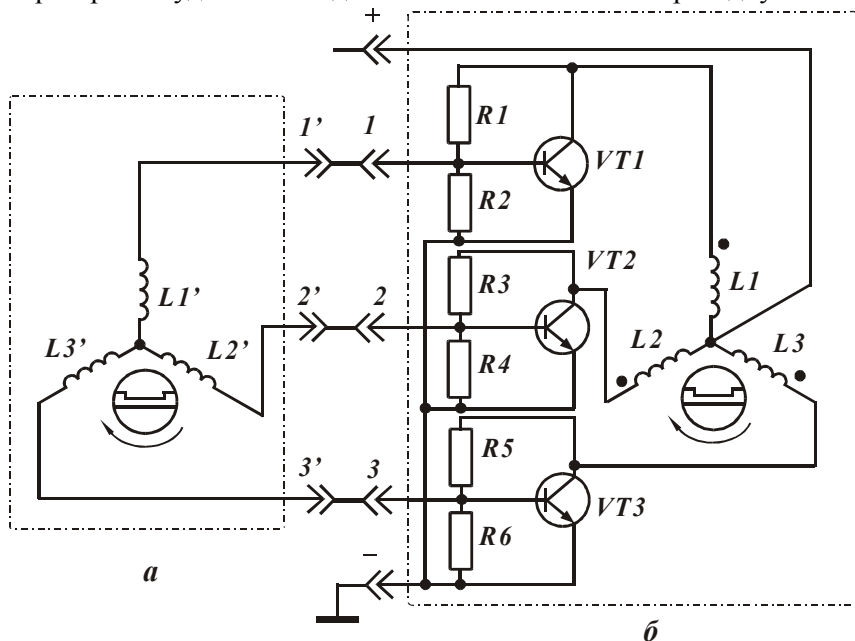
Спідометр з електричним безконтактним приводом складається з датчика МЗ-307 генераторного типу і покажчиків СП-155 і 12.3802 і встановлюється на автомобілях КамАЗ, МАЗ, КрАЗ та ін. (мал. 4.6). Датчиком є електричний трифазний генератор із ротором у вигляді чотириполюсного постійного магніту, який обертається від веденого вала коробки зміни передач. В статорі знаходяться три обмотки, розміщені між собою під кутом  $120^\circ$  і з'єднані за схемою «зірка». 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. Позитивні 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 покажчика швидкості і лічильника пройденого шляху надходить електричний струм.

Покажчик магнітоіндукційної дії приводиться в дію синхронним електродвигуном, статор якого має трифазну обмотку, кожна котушка якої складається з 2 300 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 клем «+» через обмотку електродвигуна показчика і транзистор VT1 надходить до клем «-» 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

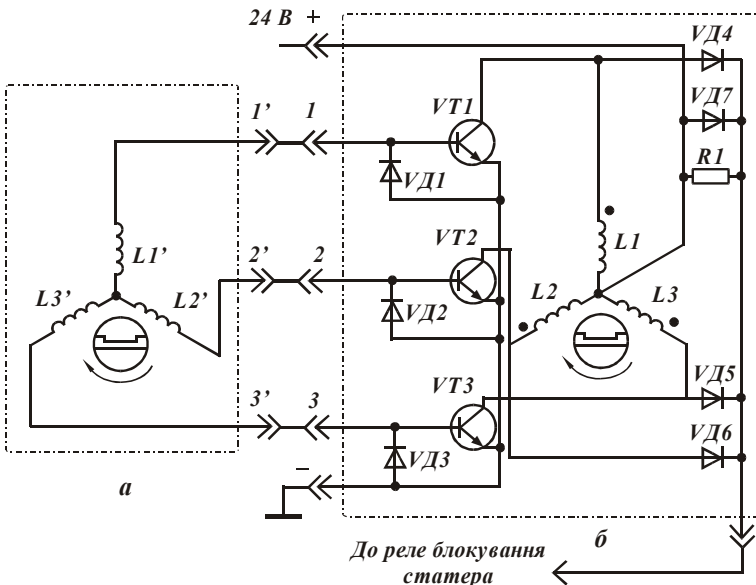


Мал. 4.6 – Принципова схема спідометра з електроприводом:  
а) датчик МЭ-307; б) показчик 12.3802

валом двигуна безпосередньо або за допомогою короткого гнучкого вала. Трифазний струм від генератора має частоту, пропорційну 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.

На потужних та складних агрегатованих 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. 4.7). Датчик тахометра приводиться в дію від вала паливного насоса і генерує трифазний струм, частота якого



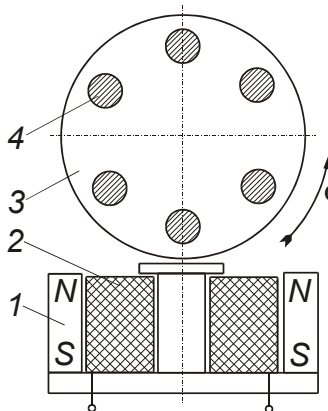
Мал. 4.7 – Принципова схема тахометра з електроприводом: а) датчик МЗ-307; б) показчик 121.3813

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 обмотки показчика і через відповідний транзистор до клем «-» батареї. При цьому в обмотках збуджується змінне магнітне поле, яке приводить у дію ротор і стрілку показчика частоти обертання. Діоди VD1-VД6, 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 клем 4 знімається струм керування реле блокування системи вмикання стартера, що виключає можливість вмикання стартера навіть при команді «Пуск». Крім того, ця ж схема авто-матично відключає стартер відразу ж після пуску двигуна.

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 ремонтних 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. 4.8). 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 чергово проходять стержні 4 ролика 3, що призводить до коливань силових ліній постійного магніту 1 та перетину ними



**Мал. 4.8 – Принципова схема датчика безконтактно-**

**го контролю обертання БКВ** 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 вимкання 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

витків котушки 2. У котушці індукується ЕРС, частота якої пропорційна швидкості руху стрічки конвеєра.

Реле швидкості РС-67 разом із тахогенераторним датчиком УПДС або магнітоіндуктивним датчиком ДМ-2 призначене для контролю швидкості, пробуксовування та поперечного обриву стрічки стрічкового конвеєра, а також контролю руху чи обриву ланцюга одноланцюгового 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,

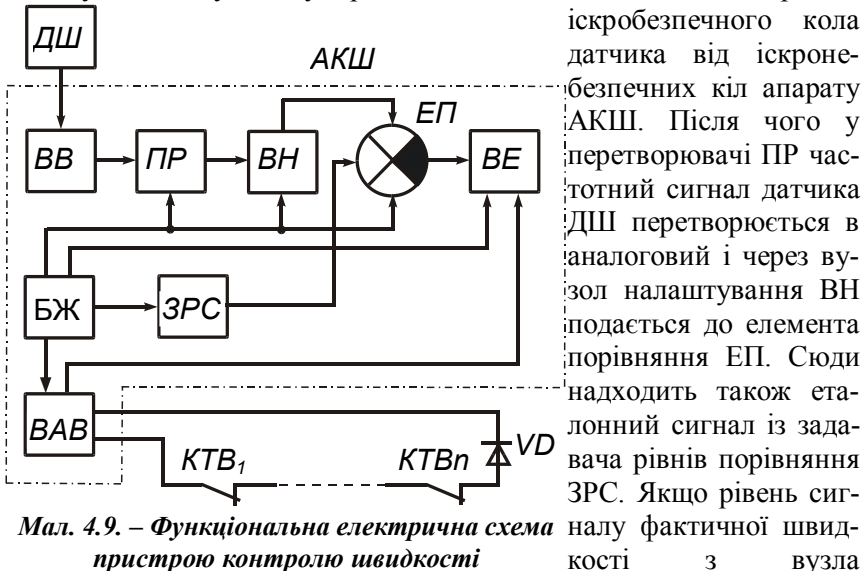


датчика, через проміжок часу у межах 2-5 с, що регулюється резистором, проміжне реле відпускається і зупиняє конвеєр. Якщо у період роботи стрічкового конвеєра внаслідок пробуксовування стрічки проходить зниження вхідного сигналу від датчика швидкості на 25 % та більше, то внаслідок нелінійності підсилювача, 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. 4.9) 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



Мал. 4.9. – Функціональна електрична схема пристрою контролю швидкості

налаштування ВН відповідає еталонному рівню ЗРС, то сигнал із елемента порівняння ЕП надходить далі до виконавчого елемента ВЕ, у якому вмикається виконавче реле. У протилежному випадку вихідний сигнал із елемента 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 контролю швидкості руху стрічки стрічкового конвеєра перемикач 9 (пелюстка проводу 9 див. мал. 4.11) повинен знаходитись у положенні 1...5 а тумблер 4 - у положенні Л (стрічковий). При роботі 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 4.1. За отриманими результатами побудувати залежність  $U = f(n)$ .

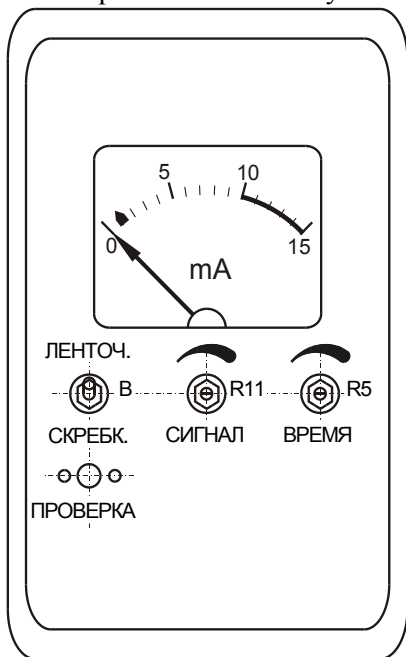
Таблиця 4.1

*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 контролю обертання БКВ та дослідити залежність його вихідної напруги від частоти обертання. Результати записати у таблицю 4.2. За отриманими результатами побудувати залежність  $U = f(n)$ .
4. Перевірити працездатність реле швидкості РС-67 при контролі швидкості руху пробуксовування та обриву стрічки конвеєра. Для чого тумблер В (див. мал. 4.10) встановити у положення

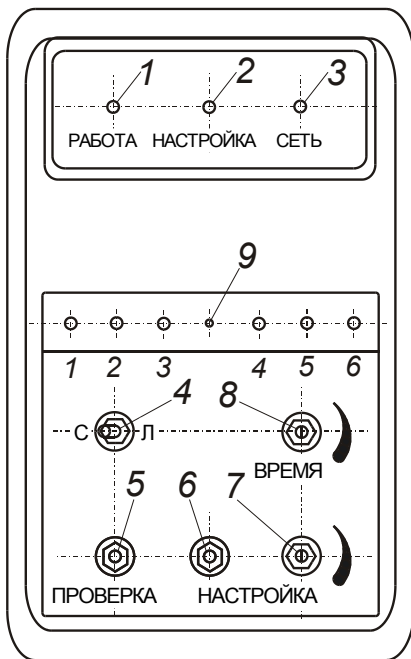
“ленточный”, а осі резисторів змінного опору R5 та R11, які виведені на пульт його керування, повернути за годинниковою стрілкою до упору, що відповідає максимальній витримці часу на вимикання та максимальному сигналу від датчика швидкості. Подати тумблером, який знаходиться біля реле, напругу на реле. За допомогою встановленого на стенді двигуна привести в рух 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.



**Мал. 4.10 – Загальний вигляд реле швидкості РС-67**

Перевірити працездатність пристрою контролю швидкості УКС при контролі швидкості руху пробуксовування та обриву стрічки конвеєра. Для чого тумблер 4 (див. мал. 4.11) 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 4.3. Подати тумблером, який знаходиться біля пристрою, напругу на нього, при цьому загориться світлодіод “Сеть”. За допомогою встановленого на стенді двигуна привести в рух циліндричний ролик індуктивного датчика ДМ-2 і встановити його кутову швидкість такою, щоб вона відповідала діапазону, на який встановлена 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



Мал. 4.11 – Загальний вигляд пристрою контролю швидкості УКС

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 “Работа”. 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 3

витримкою часу на відключення, гасне світлодіод “Работа” 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.

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.

Таблиця 4.2

**Результати досліджень безконтактного датчика контролю обертання БКВ**

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

Таблиця 4.3

**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

**КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Для чого використовуються датчики швидкості та в яких технологічних процесах сільськогосподарського виробництва вони використовуються?
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, виявити 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 4.1, 4.2;</li> <li>- електричну схему мал. 4.9.</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., Серода 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.

## ЗМІСТ

1. Порядок виконання лабораторних робіт .....	3
2. Правила техніки безпеки при роботі в лабораторії .....	4
3. Лабораторна робота № 1. Дослідження датчиків тиску та зусиль .....	7
4. Лабораторна робота № 2. Дослідження датчиків температури .....	16
5. Лабораторна робота № 3. Оптичні сприймаючі елементи у системах автоматики .....	27
6. Лабораторна робота № 4. Дослідження датчиків швидкості .....	38

Навчальне видання

Ярошенко Леонід Вікторович

Основи автоматизації. Методичні вказівки та завдання до виконання лабораторних робіт для студентів сільсько-господарських вищих навчальних закладів спеціальності: 6.091902 – “механізація сільського господарства”

Коректор Дунаєва І. В.

Підписано до друку

Умовн. друк. арк. Формат А5 (148,5 x 210 мм).

Наклад 200 прим.

Зам. №

Обчислювальний центр  
Вінницького державного аграрного університету  
Вінницький р-н, с. Агрономічне, вул. Сонячна, 3