

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

«ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ»

Частина I

Методичні рекомендації

до виконання практичних робіт для студентів

денної та заочної форми навчання спеціальності:

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Затверджено на засіданні кафедри
автоматизації виробничих процесів,
протокол № 10 від 27.05.2026 р.

Кропивницький 2026

Технічні засоби автоматизації. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів денної та заочної форми навчання спеціальності: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка. Частина I /Л.Г. Віхрова, М.С. Мірошніченко, О.П. Голик – Кропивницький: ЦНТУ. -2026. - 63 с.

Укладачі: Віхрова Л.Г., кандидат технічних наук, професор
Мірошніченко М.С., кандидат технічних наук, доцент
Голик О.П., кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Плєшков П.Г., кандидат технічних наук, професор.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Практична робота №1 Дослідження роботи датчиків параметричного типу	4
Практична робота №2 Дослідження ємнісного датчика типу ДЕ-1	11
Практична робота №3 Дослідження оптичних датчиків	15
Практична робота №4 Дослідження роботи магнітних підсилювачів	20
Практична робота №5 Дослідження магнітного підсилювача з зовнішніми зворотними зв'язками	28
Практична робота №6 Дослідження електромагніта постійного струму	32
Література.....	41

Вступ

Метою викладення дисципліни "Технічні засоби автоматики" є вивчення студентами принципів дії, конструкції та основ розрахунку елементів автоматики, які входять до систем автоматизації виробничих процесів. В подальшому це дозволить освоїти способи проектування засобів автоматизації та телемеханіки, інженерні методи розрахунку їх, необхідні в практичній діяльності бакалавра з автоматизації та інтегрованих технологій.

Завдання вивчення дисципліни:

- вивчення загальних властивостей елементів автоматики: статичні та динамічні характеристики, стабільність та надійність роботи елементів автоматики;
- вивчення принципу дії, фізичних основ, конструктивних особливостей та основ розрахунку елементів автоматики;
- отримання навичків у знятті характеристик елементів автоматики, їх надійності та можливості застосування у конкретних схемах;
- вивчення елементів та пристроїв автоматики як окремо, так й роботи їх в системах автоматики.

Практична робота №1

Дослідження роботи датчиків параметричного типу.

Мета роботи: 1. Ознайомлення з конструкцією і принципом дії індуктивних датчиків.
2. Дослідження простого і диференціального індуктивних соленоїдних датчиків лінійного переміщення. 3. Ознайомлення з конструкцією і принципом дії потенціометричних датчиків. 4. Дослідження потенціометричних датчиків.

Теоретичні відомості.

Одним із основних елементів будь-якої системи автоматики і телемеханіки є електричні датчики.

Датчик-пристрій, який призначений для перетворення контрольованої величини в величину іншого виду, зручну для подальшого використання. У більшості випадків датчики перетворюють неелектричну величину в електричну.

По характеру електричних величин, що отримуємо на виході, електричні датчики поділяються на параметричні або пасивні і генераторні, або активні. До параметричних датчиків відносяться такі датчики, у яких зміна величини, що контролюється, викликає відповідну зміну параметра електричного ланцюга (активного опору, індуктивності або ємності).

Датчики отримують електричну енергію від додаткового джерела енергії. Параметричні датчики діляться на датчики активного опору (контактні, реостатні, потенціометричні, тензодатчики, терморезистори) і реактивного опору (індуктивні, ємкісні).

До генераторних відносяться такі датчики, що самі є джерелами електричної енергії, яка у генераторних датчиків проходить безпосереднє перетворення контролююмого параметра в вихідну величину. Вони самі являються джерелами електричної енергії, яка на виході пропорційна контрольованій величині.

Індуктивні датчики

Індуктивні датчики служать для перетворення лінійного механічного переміщення в змінний електричний струм.

Індуктивні датчики відносяться до класу параметричних.

Механічне переміщення, що вимірюються на виході датчика, викликає зміну параметрів магнітного і електричного ланцюгів, що в свою чергу викликає зміну вихідної величини - електричного струму.

За допомогою індуктивних датчиків можна контролювати механічні переміщення, деформації, механічні сили, розміри деталей, управляти слідкуючими пристроями.

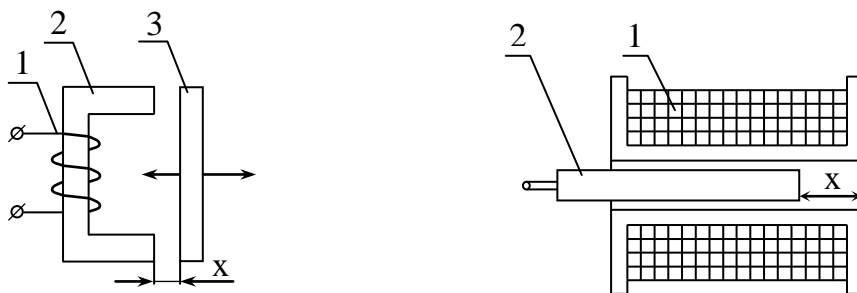
Індуктивні датчики мають ряд переваг:

- простота і міцність конструкцій, надійність у роботі;
- можливість підключення до джерел промислової частоти;
- відносно велика потужність на виході перетворювача (до кількох десятків ватів), що дає можливість підключати контрольний прилад безпосередньо до перетворювача;
- значна чутливість і великий коефіцієнт підсилення.

До недоліків індуктивних датчиків слід віднести:

- вплив коливань частоти напруги на точність роботи;
- можливість роботи лише на змінному струмі.

Існує багато конструктивних різновидів індуктивних датчиків. Найпростіший індуктивний датчик з рухомими якорем (рисунок 1а), являє собою котушку 1, розміщену на осерді 2 з феромагнітного матеріалу і ввімкнену в ланцюг змінного струму.



а)

б)

Рисунок 1. Найпростіші індуктивні датчики

Якір датчика 3 з'єднаний з джерелом вимірювального переміщення і може поступально переміщуватись відносно осердя 2. Такі перетворювачі застосовуються для вимірювання переміщень порядку долей і десятих долей міліметра.

Для вимірювання, значних переміщень застосовують соленоїдний датчик. Конструктивно він представляє собою котушку 1 (рисунок 1 б) всередині якої переміщується плунжер 2.

Схема дослідження простого соленоїдного індуктивного датчика приведена на рисунку 2. Вимірюване механічне переміщення викликає переміщення плунжера 2 відносно котушки 1 на величину x , внаслідок чого змінюється величина магнітного опору магнітного ланцюга датчика, а отже індуктивність, реактивний і повний опір котушки Z . Відповідно (при даній постійній напрузі живлення $U_{\sim} = 24 \text{ В}$) змінюється величина струму I_{\sim} , що вимірюється амперметром (рисунок 2).

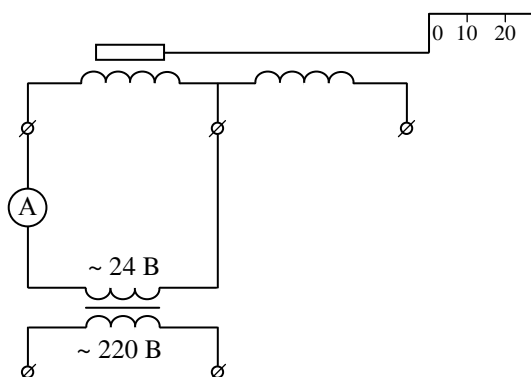


Рисунок 2. Схема дослідження найпростішого соленоїдного датчика

Вихідна величина - струм I_{\sim} залежить від вхідної величини – переміщення плунжера x , тобто $I = f(x)$. Ця залежність називається вихідною характеристикою датчика.

Якщо позначити зусилля, що діє з боку контрольованого об'єкту, через F , то в індуктивному датчику будемо мати такий ланцюг перетворень:

$$F \rightarrow x \rightarrow R_M \rightarrow L \rightarrow X_L \rightarrow Z \rightarrow I,$$

де x - переміщення плунжера; R_M - магнітний опір ланцюга; L - індуктивність котушки датчика; X_L - індуктивний опір котушки датчика.

Знайдемо вираз, що визначає залежність струму в обмотці датчика (показання амперметра) від переміщення плунжера x .

За законом Ома величина струму в навантаженні (в амперметрі):

$$I = \frac{U}{Z} \quad (1)$$

де Z - повний опір ланцюга, Ом.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (2)$$

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad (3)$$

де ω - кутова частота напруги живлення, рад/с; R - активний опір котушки і навантаження (опір амперметра), Ом; f - частота напруги живлення, Гц.

Індуктивність котушки датчика (без урахування потоку розсіювання) з кількістю витків w .

$$L = \frac{w\Phi}{I_w} \quad (4)$$

де Φ - магнітний потік, Вб; I_w - струм, що протікає в котушці, А.

Магнітний потік :

$$\Phi = \frac{I_w w}{R_{\text{мл}}} \quad (5)$$

тоді:

$$L = \frac{w^2}{R_{\text{мл}}} \quad (6)$$

де $R_{\text{мл}} = R_{\text{мст}} + R_{\text{мп}}$ тобто магнітний опір ланцюга складається з магнітного опору сталі $R_{\text{мст}}$ (плунжера) і магнітного опору повітря $R_{\text{мп}}$. Через те, що $R_{\text{мст}} \ll R_{\text{мп}}$ маємо $L = \frac{w^2}{R_{\text{мп}}}$.

Оскільки

$$R_{\text{мп}} = \frac{l - (l_k - x)}{\mu_0 S} \quad (7)$$

$$L = \frac{w^2}{l - (l_k - x)} \mu_0 S, \quad (8)$$

де μ_0 - абсолютна магнітна проникність повітря; S - площа магнітного потоку; l - довжина середньої магнітної силової лінії; l_k - довжина котушки; x - величина переміщення плунжера.

Підставляючи (8) у (2), а потім (2) у (1), одержимо значення величини струму, що тече в котушці під дією прикладеної змінної напруги U_{\sim}

$$I_{\sim} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 \left(\frac{w^2}{l - (l_k - x)} \mu_0 S \right)^2}} \quad (9)$$

З (9) очевидно, що величина струму в котушці датчика залежить від переміщення плунжера x , частоти напруги джерела живлення і величини активного опору R при незмінних конструктивних параметрах датчика.

На рисунку 3 показана характеристика $I_{\sim} = f(x)$ найпростішого датчика. Ця залежність вихідної величини від вхідної в сталому режимі являє собою статичну характеристику датчика і є в загальному випадку нелінійною функцією. Відрізок А-В на рисунку 3 є робочим відрізком статичної характеристики датчика. При $x = 0$ індуктивність котушки хоч і буде найбільшою, але вона не дорівнює нескінченності, а тому і вихідний струм I_{\sim} , як слідує з виразу (9) не дорівнює нулю.

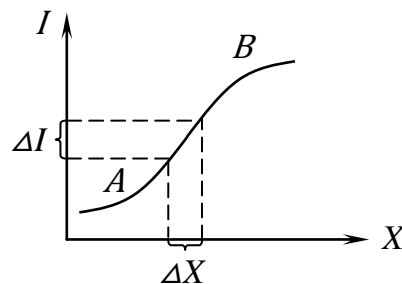


Рисунок 3. Статична характеристика найпростішого датчика

Розглянутий датчик найпростішого типу має ряд вагомих недоліків:

1. Фаза струму на виході датчика не змінюється на протилежну при зміні напрямку переміщення якоря, тобто є однокітними, що часто перешкоджає їх застосуванню в автоматичних системах.

2. Струм в напрузі (приладі) залежить від амплітуди, частоти напруги, що живить, і температури навколишнього середовища, а також від впливу зовнішніх магнітних полів.

Вказані недоліки обмежують область використання найпростішого індуктивного датчика.

Найбільше розповсюдження отримали диференціальні індуктивні датчики (рисунок 4), що являють собою сукупність двох найпростіших датчиків і виконані у вигляді системи, що складається з двох однакових котушок індуктивності, які розміщені на одній вісі. Всередині них переміщується циліндричний феромагнітний сердечник (плунжер), який зв'язаний з первинним вимірювачем.

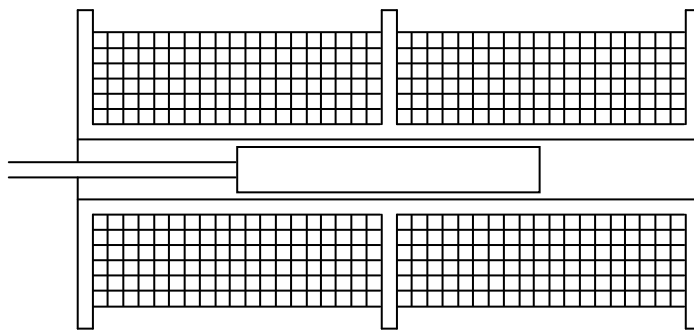


Рисунок 4. Диференційний індуктивний соленоїдний датчик

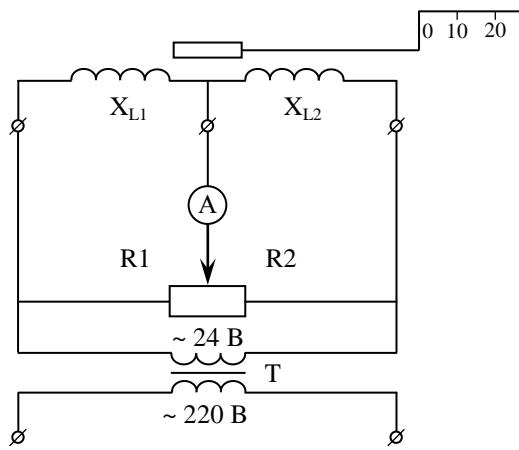


Рисунок 5. Схема дослідження диференційного соленоїдного датчика

На рисунку 5 представлена схема дослідження диференціального індуктивного соленоїдного датчика. Котушки з однаковим числом витків утворюють разом з двома половинами реостата R мостову схему. На одну діагональ моста з понижуючого трансформатора T подається напруга $U_{\sim} = 24\text{В}$, а в другу діагональ включені опір навантаження (міліамперметр). При середньому положенні якоря відносно котушок, міст збалансований, тобто $X_{L1} \frac{R}{2} = X_{L2} \frac{R}{2}$ або $X_{L1} = X_{L2}$ і вихідний струм датчика $I_{\sim} = 0$. Це положення плунжера датчика приймається за нуль відліку величини переміщення, що вимірюється. При відхиленні плунжера від середнього положення рівновага мосту порушується, тому що в протилежних напрямках змінюються реактивні опори X_{L1} і X_{L2} ($X_{L1} \neq X_{L2}$). Через вимірювальний прилад буде протікати струм, який пропорційний величині переміщення плунжера, а фаза струму залежить від напрямку переміщення плунжера. На рисунку 6 показана статична характеристика плунжерного датчика, яка практично нелінійна.

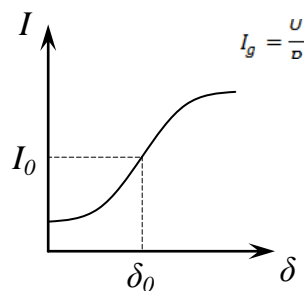


Рисунок 6. Статична характеристика диференційного датчика

Диференційні індуктивні датчики в порівнянні з найпростішими мають ряд переваг:

1. В залежності від напрямку переміщення плунжера (від нульового) змінюється на 180 градусів фаза вихідного струму, тобто є двотактними. Тому застосовуючи фазочутливі вимірювальні схеми можна контролювати напрям переміщення плунжера;

2. Відсутність початкового струму;

3. Похибка від коливань напруги, що живить і температури зовнішнього середовища в значній мірі взаємно компенсуються в усьому робочому діапазоні переміщення;

4. Чутливість схеми у два рази більша.

По статичним характеристикам може бути визначена чутливість датчика: $S_1 = \frac{dI}{dx} = \frac{\Delta I}{\Delta x}$, що дорівнює тангенсу кута між дотичною і кривою $I = f(x)$ і віссю x .

Потенціометричні датчики

Потенціометричні датчики (ПД) у найпростішому виді являють собою резистор, який включений за схемою дільника напруги. Він застосовується для перетворення лінійного чи кутового переміщення у вихідну напругу. У пристроях автоматики найбільш широко використовують дротяний потенціометричний датчик безперервного намотування. Він являє собою пристрій, що складається з каркаса, на який намотано в один ряд ізольований провід з високим питомим опором, і рухливого контакту (повзунка), що ковзає по витках проводу. Каркас виконують з діелектричного матеріалу (текстоліту, ебоніту й ін.) чи металу (оксидованого алюмінію).

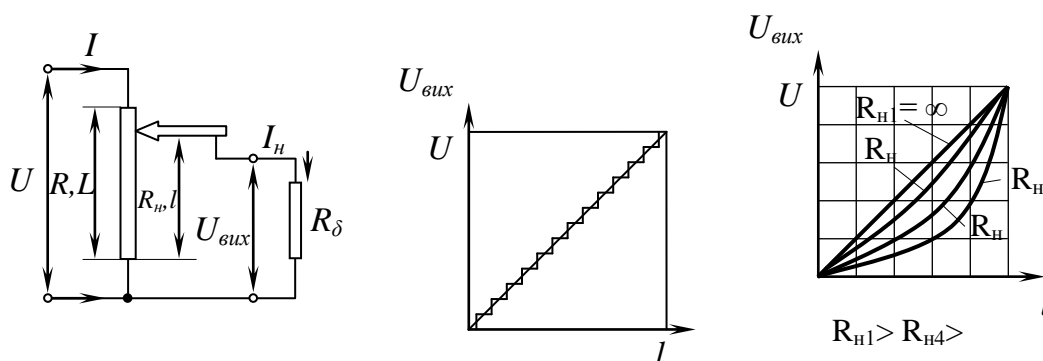


Рисунок 7. Потенціометричний датчик. Статична характеристика

Для обмотки використовують тонкий провід з константану, манганіну, ніхрому, а також сплави з благородних металів на основі платини, срібла та ін. Діаметр проводу вибирають у межах 0,03 - 0,1 мм для прецизійних датчиків і 0,3-0,4 мм для датчиків низького класу точності. Рухомий контакт виконують у вигляді двох - трьох дротинок або пластинок, які укріплені у щіткотримачах.

По конструктивному виконанню каркаса розрізняють плоскі і циліндричні ПД із прямолінійним переміщенням рухомого контакту, а також кільцеві і спіральні.

В одноконтантного ПД із прямолінійним переміщенням рухомого контакту (Рисунок 7, а) вхідною величиною є переміщення l рухливого контакту, а вихідною - напруга $U_{\text{вих}}$ на опір навантаження $R_{\text{н}}$. Залежність $U_{\text{вих}} = f(l)$ є статистичною характеристикою ПД.

При холостому ході (х.х.) ($R_{\text{н}} = \infty, I_{\text{н}} = 0$) напруга на виході датчика $U_{\text{вих}}$ дорівнює спаду напруги на введений ділянці ПД опором R_x , $U_{\text{вих}} = I$

$$R_x = \left(\frac{U}{R}\right)R_x \quad (10)$$

де I - струм у колі потенціометру; R - загальний опір потенціометра

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_{\text{rx}}}{R} = \frac{U l}{L} = S_u l \quad (11)$$

де $S_u = \frac{U}{L}$ чутливість датчика за напругою; L - повна довжина потенціометра.

При х.х. і плавній зміні опору вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ є лінійною функцією вхідного переміщення l . Однак у багатовиткових чутливих ПД необхідно враховувати ступінчастість зміни напруги при переміщенні контакту з витка на виток. Тому реальна залежність $U_{\text{вих}} = f(l)$ для цих датчиків являє собою ступінчасту характеристику (Рис. 7, б), а штрихова пряма, що проходить через середини сходинок, - розрахункову залежність (12) Абсолютні і відносні виткові похибки відповідно

$$R_{\omega} = 0.5R\omega = \frac{R}{2\omega}; \quad \delta\omega = \pm \frac{\Delta R_{\omega}}{R} = \pm \frac{1}{2\omega}, \quad (12)$$

де R_{ω} опір одного витка; R - загальний опір потенціометра; ω - число витків.

Для одержання аналітичного виразу статичної характеристики $U_{\text{вих}} = f(l)$ при підключенні навантаження $R_{\text{н}}$ використовують метод еквівалентного генератора. При цьому струм навантаження (рисунок 4, а)

$$I_{\text{н}} = \frac{U_x}{R_{\text{н}} R_i} \quad (13)$$

де U_x - напруга на виході ПД при даному положенні повзунка в режимі х.х.

$$R_i = \frac{[R_x(R-R_x)]}{[R_x+(k-R_x)]} = \left(\frac{iR}{L}\right) \left(1 - \frac{l}{L}\right) \quad (14)$$

внутрішній опір еквівалентного генератора - опір між вихідними затискачами ПД при замкнених накоротко вхідних.

Відповідно до (13)

$$I_M = \left(\frac{U_l}{L}\right) / [R_M + \left(\frac{iR}{L}\right) \left(1 - \frac{l}{L}\right)] \quad (15)$$

Отже, вихідна напруга

$$U_{\text{вих}} = I_M R_H = U \left(\frac{l}{L}\right) R_M / [R_H + \left(\frac{iR}{L}\right) R \left(1 - \frac{l}{L}\right)] \quad (16)$$

Підставивши (16) величину $a = R_H/R$, одержимо

$$U = U \left(\frac{l}{L}\right) a / \left\{ a + \left[\frac{l}{L} - \left(\frac{l}{L}\right)^2 \right] \right\} \quad (17)$$

З (17) випливає, підключення навантаження приводить до нелінійності статичних характеристик $U_{\text{вих}} = f(l)$ (Рисунок 7, в). Для зменшення нелінійності характеристик опір навантаження R_H повинен бути в багато разів більший опору потенціометричного датчика R ($a = \frac{R_H}{R} > 10 \dots 100$).

Потенціометричний датчик як ланка системи автоматичного регулювання (САР) розглядається разом з опором навантаження. При активному навантаженні ПД є безінерційною ланкою САР, так як його індуктивність дуже мала. Тому нею можна знехтувати до частот, що досягли десятків кілогерц. При активно – реактивному навантаженні починає проявлятися інерційність пристрою. Тип ланки в цьому випадку визначається характером навантажень.

Такі переваги ПД, як простота конструкції, малі габаритні розміри, достатня потужність, робота на постійному та змінному струмі, забезпечили їх широке поширення в АСР. До недоліків ПД відносяться наявність ковзного контакту, що знижує їх надійність і вимагає зусиль для його переміщення, ступінчастість статичних характеристик і їхня нелінійність при великих навантаженнях за струмом і потужністю.

Використовуючи потенціометричний датчик можливо дослідити кутові переміщення. Для цього потрібно:

1. Зняти статичні характеристики потенціометричних датчиків різноманітних типів.
2. Визначити статичний і динамічний коефіцієнт передачі.
3. Дослідити вплив навантаження на статичні характеристики датчиків.

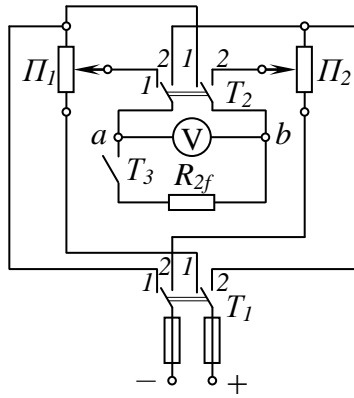


Рисунок 8. Принципова схема установки

Опис практичної установки

Установка виконана на двох дротяних реостатах (лінійному R_1 , і круговому R_2) що виконують роль потенціометричних датчиків і встановлені у окремому корпусі. У якості потенціометра R_1 можна використаний потенціометр марки ПД. Ручки для пересування движків реостата розміщені на лицевій панелі установки і мають відповідні шкали. Крім того, на лицевій панелі розміщено три перемикача-тумблера, один з яких T_1 , служить для підключення живлення, другий T_2 - для відповідного підключення до датчиків вольтметра V і навантаження R_n , а третій T_3 дає змогу відключити навантажувальний резистор і зняти характеристики холостого ходу датчика. Шкала вольтметра також розміщується на лицевій панелі установки. Сам вольтметр і навантажувальний резистор встановлюються у середині корпуса. Установка забезпечується затискачами для підключення живлення і плавкими запобіжниками. Для вимірювання вихідного опору датчиків використовується омметр або комбінований прилад Ц-435.

Порядок виконання роботи

Досліджений індуктивного датчика

- 1.Вилку живлення-установки включити в мережу 220 В.
- 2.Тумблер "220 В" на щиті керування встановити в положенні "ВКЛ."
- 3.Тумблер "РІД РОБОТИ" перемкнути вліво в положення"ПРОСТИЙ". При цьому вмикається схема для дослідження простого соленоїдного датчика (див. рисунок 2).
- 4.Шляхом зміни положення плунжера відносно котушки добитись мінімального показання амперметру.

5.Переміщуючи плунжер з кроком $\Delta x=5$ мм вгору від нульового положення зняти залежність $I_{\sim} = f(x)$. Дані вимірювань і обчислень занести в Таблицю № 1. Нижче вказані величини обчислюються за формулами (1), (2), (3).

Таблиця № 1

$U_{ж=const}$	В										
x	мм										
I_{\sim}	А										
Z	Ом										
X_L	Ом										
L	Гн										
R=const	Ом										

За результатами вимірів і обчислень побудувати характеристики датчиків $I_{\sim} = f(x)$ і $X_L = f(x)$. Виділити на статичній характеристиці робочу (лінійну) частину і визначити чутливість датчика для точки, що лежить на середині прямолінійного відрізка.

6. Тумблер "РІД РОБОТИ" перемкнути вправо в положення "ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ". При цьому включається схема для дослідження диференційного соленоїдного датчика (Рис.5).

7.Переміщуючи плунжер відносно котушок добитись його положення, при якому струм, що протікає через міліамперметр, буде дорівнювати 0, що відповідає балансу моста ($x = 0$).

8. Переміщуючи плунжер з кроком $\Delta x = 5$ мм вгору, а потім вниз, зняти залежність $I = f(x)$. Дані вимірювань занести в Таблицю № 2.

Таблиця № 2

x, мм	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
$I_{вих}, mA$											

По результатам вимірювань побудувати статичну характеристику для диференційного датчика і визначити чутливість датчика (див. п. 5).

Дослідження потенціометричного датчика

1. Зняти статичні характеристики лінійного потенціометричного датчика R_1 без навантаження $r_x = f(l_x)$ і з навантаженням $R_x = f(l_x)$, де r_x - вихідний опір навантаження датчика; R_x - вихідний опір навантажувального датчика; l_x - переміщення движка датчика. Вихідний опір датчика змінюється на затискачах а-б. Результати вимірювань заносяться у таблицю №3.

По отриманим даним побудувати графік (на спільних вісях координат). Визначити статичний і динамічний коефіцієнт передачі.

Таблиця №3

l_x , см										
r_x , Ом										
R_x , Ом										

Примітка. Максимальне переміщення движка залежить від розмірів датчика.

2. Зняти статичні характеристики кругового потенціометричного датчика R_2 без навантаження $r_x = f(\alpha_x)$ і з навантаженням $R_x = f(\alpha_x)$, де α_x - кут повороту движка датчика. Результати вимірювань заносяться у таблицю № 4.

По отриманим даним побудувати графік (на спільних осях координат). Визначити статичний динамічний коефіцієнт передачі.

Таблиця №4

α_x , град	15	30	45	60	75	90			
r_x , Ом									
R_x , Ом									

Примітка. Максимальний кут повороту залежить від конструкції датчика і може бути різноманітним.

3. Визначити максимальну абсолютну похибку розрахунком і порівняти з експериментальною. У критичних виводах про виконану роботу вказати причини виникнення похибки і перерахувати способи її зменшення.

4. Подати живлення на потенціометр R_1 і маніпулюючи движком R_1 і тумблером T_3 зняти

характеристики $U_{вихх.х.} = f(l_x)$ і $U_{вих} = f(l_x)$, де $U_{вихх.х.}$ - напруга навантажувального

датчика і $U_{вих}$ - напруга датчика, навантаженого резистором R_H . Результати вимірювань заносяться у таблицю №5.

Таблиця №5

α_x , град							
$U_{вих.х.х}$, В							
$U_{вих}$, В							

По отриманим даним побудувати графік (на спільних вісях координат). Визначити статичний і динамічний коефіцієнт передачі.

Зміст звіту.

1. Мета практичної роботи.
2. Короткі теоретичні відомості про принцип дії індуктивних та потенціометричних датчиків.
3. Схеми і результати досліджень і розрахунків.
4. Статичні характеристики.

Контрольні питання.

1. Дати визначення датчика.
2. Як поділяються датчики по характеру електричних величин, що отримуються на виході?
3. Призначення індуктивних датчиків.
4. Призначення потенціометричних датчиків.
5. Які переваги і недоліки індуктивних та потенціометричних датчиків?
6. Пояснити принцип дії найпростішого соленоїдного датчика.
7. На чому базується принцип дії індуктивних датчиків?
8. Які недоліки датчиків найпростішого типу?
9. Пояснити принцип дії диференційного датчика.
10. Пояснити принцип дії потенціометричного датчика.
11. Переваги диференційного індуктивного датчика в порівнянні з простим.
12. Як визначається чутливість датчика?

Практична робота № 2

Дослідження ємнісного датчика типу ДЕ-1

Мета роботи: Вивчення будови та принципу дії ємнісних первинних перетворювачів та датчиків.

Теоретичні відомості

Ємнісні первинні перетворювачі являють собою конденсатори, у яких під дією вхідних величин змінюється або відстань між обкладками, або площа обкладок, або діелектрична проникність простору між обкладками.

Ємнісні первинні перетворювачі використовуються для побудови широкого кола датчиків : переміщення (лінійних і кутових), тиску, рівня рідини та сипучих матеріалів, вологості, тощо. Найпростіший ємнісний датчик являє собою плоский конденсатор, принцип його дії оснований на зміні ємності конденсатора. На рисунку 1 схематично зображенні різновиди ємнісних перетворювачів і датчиків.

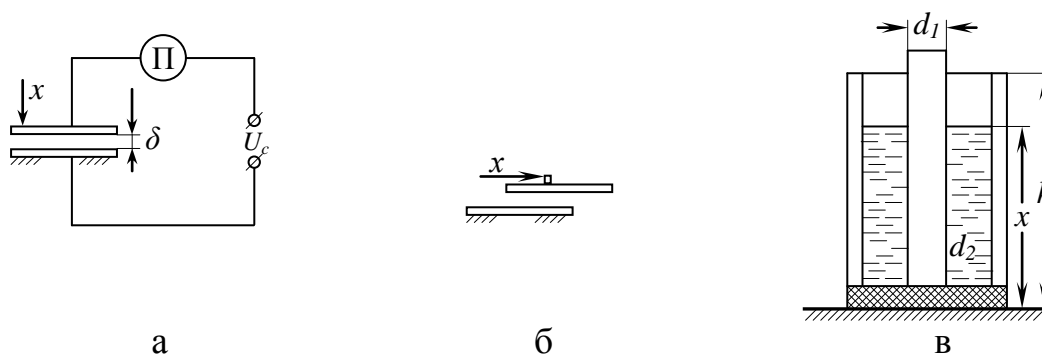


Рисунок 1. Ємнісні перетворювачі та датчики

- із зміною зазору δ .
- із зміною площі обкладок.
- із зміною діелектричної проникності простору між обкладками.

Ємність площинного датчика (рис 1 а і б)

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{\delta}, \quad (1)$$

де $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - діелектрична проникність вакууму; ϵ - відносна діелектрична проникність; S - площа пластин, δ - відстань між пластинами.

Із формули - видно, що ємність конденсатора може бути змінена за рахунок зміни відстані між пластинами δ або площі пластин S , або діелектричної проникності ϵ .

Відносна зміна ємності

$$\frac{\Delta C}{C} = \left| \frac{\Delta E}{E} \right| + \left| \frac{\Delta S}{S} \right| + \left| \frac{\Delta \delta}{\delta} \right| \quad (2)$$

Знаючи зміну будь-якого параметру датчика, наприклад $\Delta \delta$ (при $\Delta S = 0$ і $\Delta E = 0$), що виникає в результаті дії вхідної величини, можливо визначити коефіцієнт чутливості площинного датчика :

$$K_D = \frac{dC}{d\delta} = E_0 ES / \delta \quad (3)$$

Переваги таких датчиків:

- достатньо велика чутливість;
- простота конструкції;
- відсутність рухомих деталей, які труться;
- мала інерційність.

Недоліки таких датчиків:

- великий внутрішній опір;
- необхідність джерел напруги високої частоти;
- великий вплив зміни температури і вологості оточуючого середовища.

Ємнісний опір датчика

$$X_c = 1/2\pi fC \quad (4)$$

де f - частота живлення.

Із формули видно, що із зміною частоти змінюється і ємнісний опір, що приводить до зміни параметра контролю.

Останнім часом знайшли широке застосування ємнісні датчики, які ввімкнені у ланцюг автогенератора. При зміні ємності датчика змінюються параметри автогенератора. По зміні параметра автогенератора судять про вплив середовища, що контролюється, на ємнісний датчик.

Одним із представників такого типу датчиків є датчик ДЕ -1. Датчик ДЕ -1 призначений для дистанційного контролю наявності матеріалів або готових виробів без безпосереднього контакту з ними - на конвеєрах та інших транспортних пристроях. Він може бути застосований для контролю рівня сипучих і рідких середовищ в якості кінцевого вимикача у силових пристроях і т.д.

Технічні дані датчика ДЕ -1

1. Живлення датчика відбувається від мережі змінного струму 220 В, 50 Гц.
2. Допустимі коливання напруги мережі +10% -15%.
3. Допустимі коливання частоти напруги живлення $\pm 2\%$.
4. Потужність, що споживається не більше 50 ВА.
5. Чутливість датчика - 40 см. Зауваження: чутливість датчика визначається тою максимальною відстанню між його сприймаючим елементом і предметом, що наближається до нього, при якому реле датчика спрацьовує і виражається в сантиметрах.
6. Конструктивне виконання датчика пилебризгонепроникне.

Принцип роботи датчика

Схема датчика (Рисунку 2) складається із генератора, зібраного на лампі Л1 (ліва половина лампи Л1) і релейного підсилювача зібраного на правій половині лампи Л2.

Живлення анодних і розжарювальних ланцюгів відбувається із допомогою трансформатора Тр, який одночасно служить і ферорезонансним стабілізатором напруги.

Контур генератора складається із індуктивності L і її міжвиткової ємності.

Зв'язок керуючої сітки лампи із контуром відбувається через паралельно ввімкнені конденсатори С3; С4; зв'язок із сприймаючим елементом (верхньою пластиною конденсатора над конвеєрною стрічкою) - через конденсатор С2.

Резистор R1 - опір утрати сітки. Постійна складова анодного струму генераторної лампи протікає через резистор R2 високочастотна складова - через конденсатор С5. Конденсатор С1 служить для компенсації температурної нестабільності, чутливості датчика.

Підсилювач (права половина лампи Л1) вміщує в анодному ланцюзі реле МКУ-48, обмотка якого є його навантаженням. Обмотка шунтується конденсатором С6 для усунення деренчання контакту.

При наближенні будь-якого предмету до сприймаючого елемента (пластин) відбувається зрив генерації, що призводить до резонансного струму генераторної лампи.

Напруга на опорі R2 зростає до +75 В і більше відбувається компенсація запираючої напруги на сітці лампи підсилувача - лампа відкривається, і реле спрацьовує.

В даній роботі датчик ДЕ-і служить для визначення кількості готових деталей безпосередньо на конвеєрній стрічці.

Пристрій працює наступним чином :

При попаданні виробу в зону сприймаючого елемента спрацьовує датчик і за допомогою контактів реле замикає коло живлення лічильника СБ-1М/100, який фіксує проходження виробу в полі пластин. Таким чином відбувається підрахунок готових виробів.

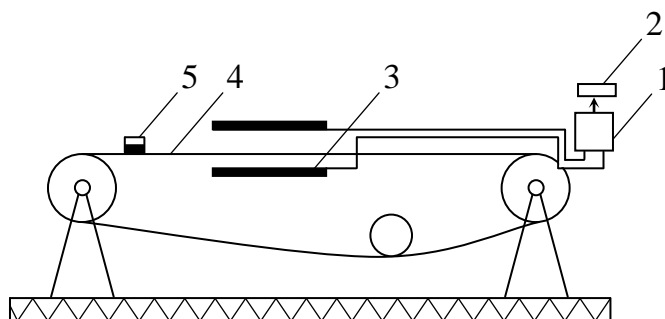


Рисунок 3. Схема пристрою

1 – датчик ДЕ-1; 2 – лічильник електромагнітний СБ-1М/100; 3 – сприймаючі пластини датчика; 4 – стрічка конвеєра; 5 – готові вироби.

Порядок виконання роботи:

1. Ввімкнути тумблер блока живлення.
2. На вказані мітки на конвеєрну стрічку встановлювати вироби. Якщо лічильник не спрацьовує при проходженні виробу у полі сприймаючого елемента провести настройку датчика за допомогою конденсатора С4 (через отвір у верхній кришці датчика).
3. Зробити розрахунок чутливості датчика при заданій викладачем частоті живлення.

Звіт повинен вміщувати

- 1.Рисунки 1 – 3.
- 2.Короткі теоретичні відомості.
- 3.Короткий опис роботи схеми.
- 4.Розрахунки ємності та чутливості датчика.

Контрольні питання

- 1.Що покладено в основу роботи ємнісних датчиків?
- 2.Переваги і недоліки ємнісних датчиків.
- 3.Від яких параметрів залежить ємність датчиків?
- 4.Визначення чутливості датчика.
- 5.Область застосування ємнісних датчиків.

Практична робота №3

Дослідження оптичних датчиків

Мета роботи: Вивчення первинного перетворювача в оптичному датчику на прикладі фоторезистора. Випробувати схеми фотореле.

Теоретичні відомості

Оптичні (світлові) датчики застосовують як елемент автоматики, що реагують на появу або зникнення світлового променя, на зміну освітленості, світлового потоку або на кількість світлових імпульсів. Оптичні датчики використовують в установках сортування продуктів по кольору та зрілості, в приладах, що визначають їх якість, в пристроях автоматичного відключення та включення вуличного освітлення в залежності від зміни дня та ночі, в регуляторах освітленості та інтенсивності опромінення в теплицях, в вимірювачах димності повітря та мутності води, газоаналізаторах, в пристроях контролю полум'я в топках, що працюють на рідкому паливі, в різноманітних захисних пристроях, в системах дистанційного керування і т.п.

В якості первинних перетворювачів оптичних датчиках використовуються фоторезистори, електровакуумні фотоелементи, фотодіоди, фототриоди, фототиристори та інші.

Фоторезистором називають прилад, електричний опір якого змінюється під дією променевої енергії. У фоторезистора під дією світла збільшується кількість вільних електронів, а відповідно і електропровідність. Підвищення електропровідності напівпровідника під дією світлової енергії носить назву внутрішнього фотоефекту. Фоторезистор (Рисунок 1) представляє собою тонкий шар 4 напівпровідникової речовини, що нанесена на скляну пластинку 5. До протилежних сторін напівпровідникового шару прикріплені металеві електроди 1, що призначені для включення фоторезистора в електричний ланцюг. Пластинки з нанесеним на них напівпровідниковим шаром запресовані в пластмасову оправу 2 з отвором (робочим вікном), крізь яке проходять світлові промені. Робоче вікно покривають шаром світлонепроникаючого лаку. В якості напівпровідникової речовини використовують сірчані сполучення кадмію, свинцю, та вісмуту з електронною або дірчастою провідністю. Фоторезистор вмикають до джерела живлення будь-якою полярністю.

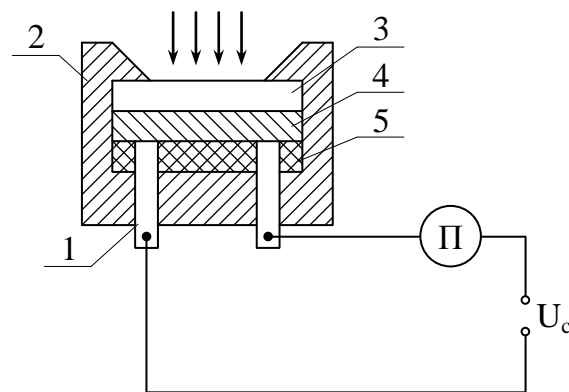


Рисунок 1. Зовнішній вигляд фоторезистора

При затемненому фоторезисторі по колу протікає струм, що прийнято називати темновим (Рисунок 2).

$$I_t = E / (R_t + R_n) \quad (1)$$

де R_t - опір затемненого фоторезистора.

Враховуючи його велике значення, темновий струм малий. При освітленні фоторезистора по колу протікає світловий струм.

$$I_c = E / (R_c + R_n) \quad (2)$$

де R_c - освітленого фоторезистора.

Різниця між цими струмами являє собою фотострум: $I_\Phi = I_c - I_t$, тоді інтегральна чутливість:

$$K_\Phi = \frac{I_\Phi}{\Phi} \quad (\text{показує, як змінюється фотострум при зміні світлового потоку: цю}$$

чутливість знаходять при визначеному джерелі променевої енергії з постійним спектральним складом. В ролі джерела в цьому випадку використовують лампу розжарювання з вольфрамовою ниткою при $T = 2854 \text{ }^\circ\text{K}$).

Важливим параметром фоторезистора є кратність змін його опору:

$$\frac{\Delta R}{R_t} = (R_t - R_c)R_t \quad (3)$$

Якість фоторезистора тим більша, чим більше це відношення.

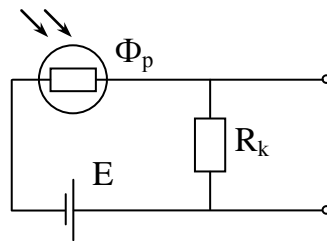


Рисунок 2. Схема включення фото резистора

Основними характеристиками фоторезистора є:

1. Світлова. Встановлює залежність між інтенсивністю світлового потоку та фотострумом при незмінному його спектральному складі та постійній напрузі між електродами: $I_\Phi = f(\Phi)$ при $U_a = const$ (Рисунок 3).

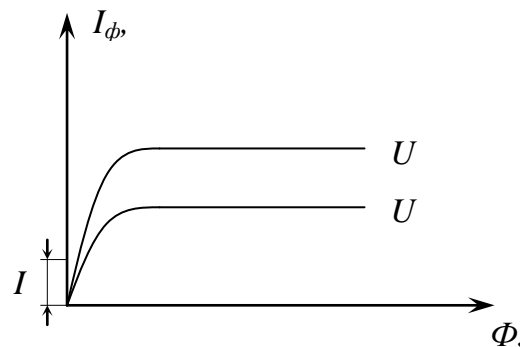


Рисунок 3. Світлова характеристика фоторезистора

Світлова характеристика більшості фоторезисторів може бути виражена аналітичною залежністю:

$$I_\Phi = K_0 U S E^\alpha \quad (4),$$

де I_Φ – фотострум, мкА; K_0 - питома світлочутливість, мкА (лм В); S - площа освітленого фоточутливого шару м^2 ; E - освітленість, лк; α - постійний коефіцієнт ($\alpha < 1$).

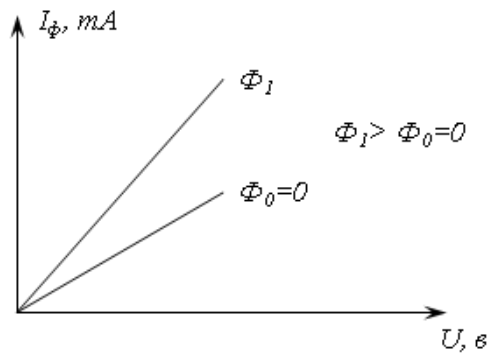


Рисунок 4. Вольтамперна характеристика фоторезистора

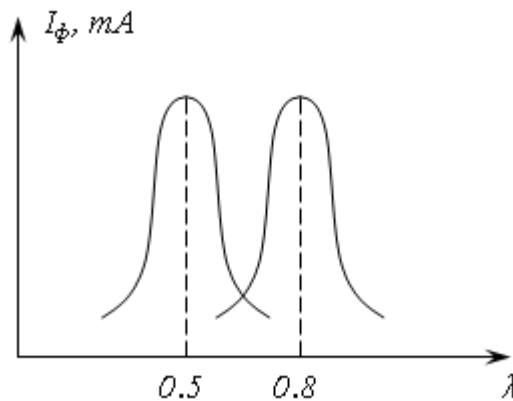


Рисунок 5. Спектральна характеристика фото резистора

Ці характеристики нелінійні їх важко використовувати в якості інформаційного параметру без спеціальних перетворень.

2. Вольтамперна характеристика встановлює зв'язок між величиною фотоструму та напругою між електродами U_a при постійному світловому потоці. $I_a = f(U_a)$ при $\Phi = \text{const}$ (Рисунок 4). Ці характеристики завдяки лінійності використовуються в різних пристроях автоматики та вимірювальній техніці (люксметри, фотоекспонетри);

3. Спектральні характеристики фоторезистора встановлюють зв'язок між величиною фотоструму I_Φ при постійній величині світлового потоку, та напрузі на електродах: $I_\Phi = f(\lambda), U_a = \text{const}, \Phi = \text{const}$ (Рисунок 5) та довжиною хвилі, яка променем падає на пристрій. Ці характеристики нелінійні і в залежності від матеріалу шару максимум знаходиться в інфрачервоній 0.8 або у видимій 0.5 мкм спектру. Наявність максимуму в інфрачервоному діапазоні спектру дає можли-

вість використовувати фоторезистори в пірометрах для дистанційного вимірювання температури ;

Динамічні властивості фоторезистора визначаються його частотною та перехідною характеристиками.

4. Частотна характеристика встановлює зв'язок між відносною чутливістю в X та частотою зміни інтенсивності світлового потоку при постійній його величині та напрузі на електродах (Рисунок 6).

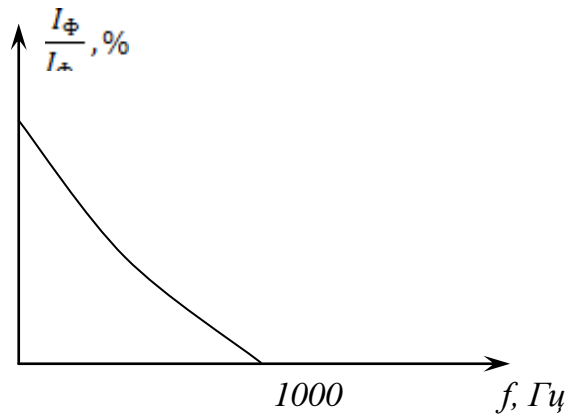


Рисунок 6. Частотна характеристика фоторезистора

Частотна характеристика показує, що зі зростанням частоти модуляції світлового потоку фотострум фото резистора зменшується, тобто динамічні властивості низькі, завдяки великій інерційності пристрою, що підтверджується його перехідною характеристикою (Рисунок 7)(постійна часу у фото резисторів: $\tau = 3 \cdot 10^{-3} \dots 3 \cdot 10^{-5}$ при світловому потоці 10^{-5} лм).

5. Температурна характеристика, показує залежність параметрів та характеристик фото резисторів від температури. У фото резистора ця залежність дуже виражена, що є його недоліком.



Рисунок 7. Перехідна характеристика пристрою

Зростання температури на 10°C змінює опір фоторезистора на 3%, зростання вологості навколишнього середовища до 98% виводить фоторезистор з ладу. Тому це повинно бути враховано при їх використанні в ролі датчиків.

6. Характеристика втомленості показує зміни чутливості пристрою від часу його роботи. Більшість фотопристроїв після деякого часу бездіяльності відновлюють свої параметри.

Іншими параметрами фоторезистора є:

1. Спектральна чутливість, яка показує зміни фотоструму при зміні променевого потоку з визначеною довжиною хвилі:

$$K_{\lambda} = dI_{\Phi} / d\Phi_{\lambda} \quad (5)$$

2. Внутрішній опір фото резистора – відношення приросту анодної напруги (напруга між виводами) до приросту фотоструму:

$$K = \frac{dU_{\alpha}}{dI_{\Phi}} \quad (6)$$

3. Опір постійному струмові:

$$K_0 = U_{\alpha} / I_{\Phi} \quad (7)$$

Для визначення якості фото резисторів використовують також відносну інтегральну чутливість, яка враховує, що I_{Φ} залежить від U_{α} , тому:

$$K_{\alpha} = I_{\Phi} / (\Phi \cdot U_{\alpha}), \text{ мкА/(лм}\cdot\text{В)} \quad (8)$$

де U_{α} - напруга, яка прикладена до елемента В.

Фоторезистори мають високу світлочутливість, просту конструкцію, невеликі габарити, значну потужність, розсіювання, практично необмежений термін служби, можливість застосування в колах постійного або змінного струму. Ці якості й обумовили широке застосування фото резисторів.

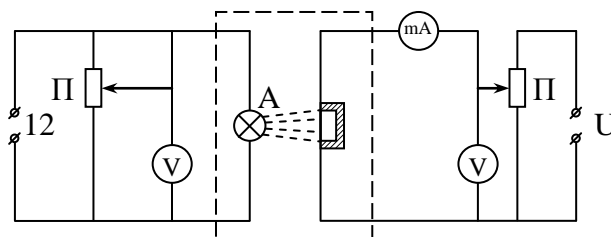


Рисунок 8. Електричні схеми випробування фото резисторів

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з принципом дії та конструкцією фото резисторів, які представлені на стенді.

2. Зняти ВАХ фото резистора при постійній заданій освітленості. Електрична схема дослідження фото резистора показана на Рисунку 8. Освітлювальна лампа ввімкнена через потенціометр П2, до якого подається напруга 12 В. Лампа Л та фоторезистор ФР (ФС-А або ФСК та інш.) розміщені в світло непроникаючому ящику. Величину освітленості E фото резистора встановлюють шляхом зміни напруги U_2 на лампі Л та включають з раніше знятої люксометром кривої $E = f(U_2)$.

Напруга на фоторезисторі змінюється за допомогою потенціометра П1 ті вимірюється вольтметром V1.

Відповідне значення струму вимірюється міліамперметром, mA.

Дані вимірів занести в таблиці, по них побудувати ВАХ та визначити залежність опору фото резистора від напруги $R_{\Phi} = f(U_1)$ при $E = \text{const}$.

3. Світлову характеристику фото резистора $I = f(E)$ знімають при незмінній напрузі U_1 , величина якої задається викладачем та підтримується постійною за допомогою потенціометру П1 (схема дослідження та ж, що й в попередньому досліді. Рисунок 8). Задаючись різними значеннями освітленості E , яка регулюється потенціометром П2, визначають по міліамперметру відповідні їм значення струму I . Результати вимірів записують в протокол і по ним будують графік світлової характеристики фоторезистора та залежності $R_{\Phi} = f(E)$ при $U_1 = \text{const}$.

4. Фоторезистор вводять в схему (Рисунок 9). Та змінюючи напругу на освітлювальній й лампі, слідує за спрацюванням та поверненням високоомного реле Р. Спочатку загоряється газорозрядна лампа МТХ-90, потім спрацьовує реле Р та, замикаючи свої контакти, включає сигнальну лампу ЛС. Принцип роботи фотореле заключається в тому, що при збільшенні освітленості величина опору фото резистора ФР спадає, внаслідок чого збільшується струм в колі катод-сітка (к-с) лампи, який викликає запалювання ламп по колу катод-анод(к-а) і спрацьовування реле Р.

Оскільки газорозрядна лампа МТХ-90 володіє випрямляючими властивостями, тобто пропускає тільки одну напівхвилю напруги живлення, то для надійного замикання контактів та усунення їх вібрації високоомне реле Р шунтується

діодом Д. При спрацюванні та поверненні фотореле потрібно записати відповідні напруги $U_{\text{спр}}$ та $U_{\text{пов}}$, по яким за допомогою кривої $E = f(U_2)$ знаходять освітленість спрацювання $E_{\text{спр}}$ та повернення $U_{\text{пов}}$ фотореле.

Світлова характеристика фоторезистора $I = f(E)$ може бути представлена рівнянням: $I_{\Phi} = K_0 U S E^{\alpha}$.

Постійні коефіцієнти з цього рівнянні визначаються розрахунком по відомим точкам експериментальної світлової характеристики:

$$\alpha = \lg\left(\frac{I_1}{I_2}\right) / \lg(E_1/E_2) \quad (9)$$

$$K_0 = I_1 / (S U E^{\alpha}) \quad (10)$$

де I_1 і I_2 - фотоструми при освітленостях E_1 і E_2 відповідно. Користуючись рівнянням світлової характеристики, визначаємо величину інтегральної чутливості фоторезистора при $E=200$ лк та $U_1 = \text{const}$ по формулі

$$K_{\Phi} = \frac{I_{\Phi}}{\Phi} = \frac{K_0 U S E^{\alpha}}{S E} = K_0 U E^{\alpha-1} \quad (11)$$

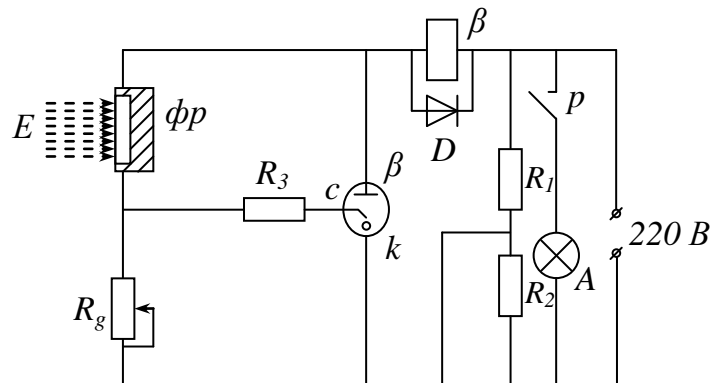


Рисунок 9. Електрична схема фотореле

Результати вимірів та розрахунків необхідно занести в таблицю:

Протокол досліджень фото резистора...

Вольтамперна характеристика $I=f(U_1)$			Світлова характеристика $I=f(E)$			
$U_1, \text{В}$	I, mA	$R_{\Phi}, \text{кОм}$	$U_2, \text{В}$	$E, \text{лк}$	I, mA	$R_{\Phi}, \text{кОм}$

Величини спрацювання та повернення фотореле:

$$U_{2\text{спр}} = \dots В; U_{2\text{пов}} = \dots В; E_{\text{спр}} = \dots \text{ЛК}; E_{\text{пов}} = \dots \text{ЛК}$$

Зміст звіту

Звіт повинен містити короткий опис принципу роботи фоторезистора та його конструкцію, електричну схему дослідження, схему фотореле, протокол досліджень, розрахунки та графіки знятих характеристик.

Контрольні запитання

1. Назвіть типи фоторезисторів.
2. Поясніть фізичну суть роботи фоторезисторів.
3. Назвіть переваги та недоліки фоторезисторів.
4. Як визначається інтегральна, спектральна та відносна чутливість фоторезистора ?
5. Для яких цілей використовуються фоторезистори в схемах автоматики ?
6. Що розуміють під темновим опором фоторезистора ?
7. Чому загорається лампа МТХ-90 в схемі фотореле (Рисунок 9) при збільшенні освітленості ?
8. Яке призначення діода Д в схемах фотореле ?

Практична робота №4

Дослідження роботи магнітних підсилювачів

Мета роботи: Вивчення принципу дії магнітного підсилювача, ознайомлення зі схемами магнітних підсилювачів і дослідження характеристик магнітного підсилювача.

Теоретичні відомості.

В сучасних системах автоматики для управління виконуючими механізмами потрібна потужність яка в багато разів перевищує вихідну потужність сигналу датчиків і других перетворюючих пристроїв. Дія підвищення потужності сигналів застосовують різного роду підсилювачі. В системах промислової та сільськогоспо-

дарської автоматики для підсилення сигналів постійного та змінного струмів використовуються магнітні підсилювачі. Вони також використовуються для управління двигунами постійного та змінного струмів, в слідкуючих системах, в системах релейного захисту і сигналізації, сортувальних автоматах, обчислювальних машинах та інших пристроях.

Основні переваги магнітних підсилювачів (МП):

- відсутність рухомих частин і зв'язана з цим висока надійність;
- великий термін служби та простота в експлуатації;
- стабільність параметрів і стійкість роботи при коливаннях напруги та частоти живлення;
- пожежо- та вибухо- безпечність, постійна готовність до роботи, нечутливість до вібрацій;
- великий коефіцієнт корисної дії, відносно малі габарити, економічність.

Недоліком МП є їх значна інерційність.

Магнітні підсилювачі називаються так тому, що їх дія основана на використанні властивостей феромагнітних матеріалів: нелінійній залежності магнітної індукції B від напруженості магнітного поля H і явища гістерезису, яке заключається в тому, що магнітний стан матеріалу залежить не тільки від діючого в даний момент намагнічуючого поля, але й від його попереднього стану.

Найпростішим типом магнітного підсилювача являється дросель з підмагнічуванням.

Дросель з підмагнічуванням складається з феромагнітного осердя і двох обмоток, одна з яких вмикається на постійний струм, а друга - на змінний з послідовно ввімкненим навантаженням.

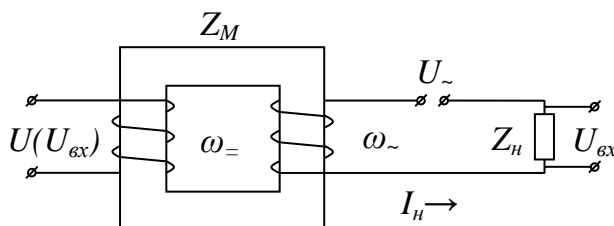


Рисунок 1 Дросель з підмагнічуванням

При подачі в обмотку змінного струму синусоїдальної напруги (обмотка постійного струму вимкнена) в дроселі виникає магнітний потік Φ і індукція B , що змінюється по синусоїдальному закону. Зміна індукції магнітного поля дроселя B (від $-B_{max}$ до $+B_{max}$) приводять до зміни напруженості магнітного поля в осерді магнітного дроселя H_1 , величину якої легко визначити за допомогою кривої намагнічування (Рисунок 2).

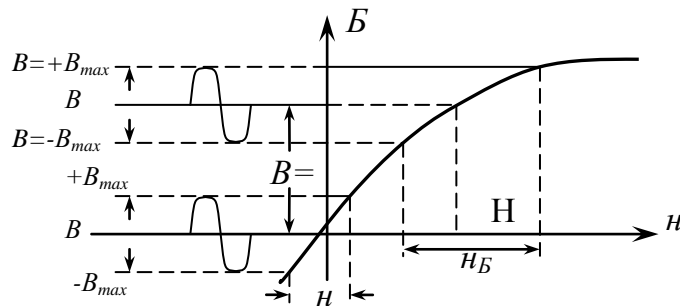


Рисунок 2. Залежність магнітної індукції в дроселі від напруженості поля.

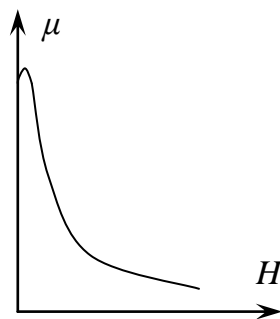


Рисунок 3 Залежність магнітної проникності заліза дроселя від підмагнічування

Якщо ввімкнути обмотку постійного струму, то осердя дроселя підмагнітиться, внаслідок того, що крім змінного потоку в ньому з'являться ще постійний струм та постійна складова індукції B_0 . Загальна індукція в осерді стане при цьому рівною

$$B + B_0.$$

Тепер зміна індукції магнітного кола дроселя ΔB (від $B_0 - B_{max}$ до $B_0 + B_{max}$) приведе, внаслідок нелінійності кривої намагнічування, до значно більшої зміни напруженості поля ΔH_2 . Неважко впевнитися, що чим більше підмагнічування осердя дроселя постійним струмом, тим значніша зміна напруженості поля.

Звісно, що з підвищенням підмагнічування залізо осердя дроселя починає насичуватися і його магнітна проникність $\mu = \frac{B}{H}$ різко падає (Рисунок 3).

Зменшення магнітної проникності приводить також до зміни індуктивності обмотки змінного струму, так як $L = \mu \left(\frac{\omega_{\sim}^2 S}{l} \right)$, а звідси й до зменшення її індуктивного опору $X_L = \omega L_{\sim}$.

Тут S - переріз осердя дроселя; l - середня довжина магнітопроводу.

Таким чином, збільшуючи підмагнічення дроселя обмоткою постійного струму, можна добитися зменшення індуктивного опору обмотки змінного струму.

Якщо тепер послідовно з обмоткою змінного струму ввімкнути опір навантаження Z_H (яким в автоматичній системі є наступний за підсилювачем елемент), то струм навантаження

$$I_H = U / \sqrt{(R_H + R_{\sim})^2 + (\omega L_H + \omega L_{\sim})^2} \quad (1)$$

де R_H та ωL_H ; R_{\sim} та ωL_{\sim} - відповідно активний та індуктивний опір навантаження, активний та індуктивний опір обмотки змінного струму, можна регулювати за рахунок зміни індуктивного опору обмотки змінного струму ωL_{\sim} .

Для цього необхідно змінювати струм в обмотці постійного струму, тобто змінювати ступінь підмагнічування дроселя. Зміна струму I_H приводить до зміни падіння напруги на опорі навантаження Z_H . Це падіння напруги ($I_H Z_H$) можна розглядати, як вихідну напругу підсилювача $U_{\text{вих}}$.

Внаслідок нелінійності кривої намагнічування потужність, яка виділяється на опорі навантаження, значно вище, ніж потужність, яка витрачається в обмотці підмагнічення постійного струму. Тому дросель з підмагніченням можна розглядати, як найпростіший підсилювач, входом якого - є обмотка підмагнічування, а виходом опір навантаження. Підсилення потужності при цьому відбувається за рахунок потужності джерела змінного струму.

Ступінь підсилювання в розглянутому підсилювачі може бути визначена за допомогою коефіцієнта підсилення за потужністю $K_P = \frac{\Delta P_{\text{вих}}}{\Delta P_{\text{вх}}}$ або за допомогою коефіцієнта підсилення за струмом $K_I = \Delta I_H / \Delta I_{\sim}$, або за напругою $K_U = \frac{\Delta U_H}{\Delta U_{\sim}}$, де $\Delta P_{\text{вих}}$, ΔI_H , ΔI_{\sim} , $\Delta P_{\text{вх}}$, ΔU_{\sim} - зміна потужності, струму та напруги в відповідних обмотках.

Розглянутий дросель з підмагнічуванням зручний для пояснення принципу дії МП, але працювати в якості МП не може, так як пульсуючий магнітний потік обмотки змінного струму, з'являючись на навантаженні, перетинає витки обмотки постійного струму, індукує в них змінну ЕРС, яка накладаючись на вхідний сигнал (постійна напруга), змінює його або часто зовсім знищує. Тому реальні МП реалізують по іншим схемам.

Однотактні магнітні підсилювачі

Для знищення впливу обмотки змінного струму на обмотку постійного струму, або, як її називають обмотку управління, складається схема, яка має два дроселі підмагнічення (Рисунок 4). В цьому випадку обмотка змінного струму ω та обмотка управління ω_y складаються з двох секцій, кожна з яких міститься на окремих магнітопроводах. Секції обмоток з'єднані послідовно, причому в обмотці управління - зустрічно. Тому ЕРС, індуковані обмоткою навантаження в кожній секції обмотки управління, мають весь час протилежний знак і сумарна ЕРС в обмотці управління є рівною нулю.

Так як потоки обмоток управління в сусідніх стержнях двох дроселів направлені в одну сторону, а потоки обмоток навантаження - в різні сторони, то стержні можна зблизити і обмотку управління намотати так, щоб вона охоплювала обидва стержня.

В цьому випадку отримуємо схему, яка приведена на рисунку 5. Від попередньої схеми вона відрізняється ще паралельним включенням обмоток навантаження.

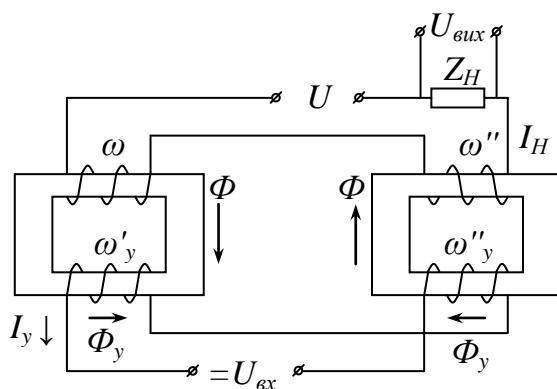


Рисунок 4. Схема однотактного підсилювача, який складається з двох дроселів підмагнічування.

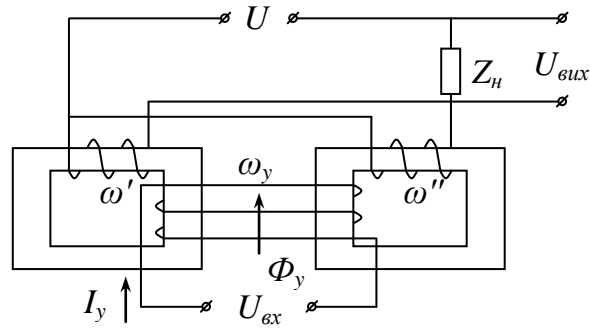


Рисунок 5. Однофазний магнітний підсилювач

Для обох схем залежність струму навантаження I_H від струму управління I_y , яка називається навантажувальною характеристикою (або характеристикою управління), приведена на Рисунку 6. З характеристики витікає, що при відсутності струму підмагнічування, а отже при максимальній магнітній проникності осердя і максимальному індуктивному опорі обмотки змінного струму по опору навантаження протікає деякий мінімальний струм I_{min} .

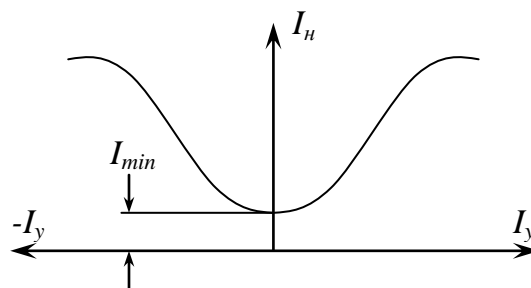


Рисунок 6. Навантажувальна характеристика магнітного підсилювача

При появі сигналу на вході підсилювача (тобто при подачі постійної напруги на обмотку управління), незалежно від його знаку, починається підмагнічування заліза підсилювача і струм в опорі навантаження починає зростати.

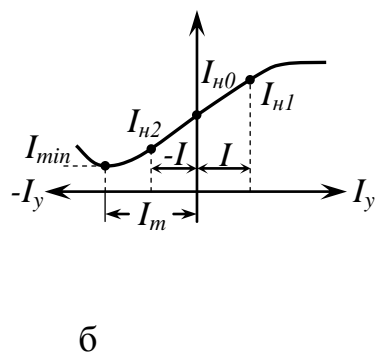
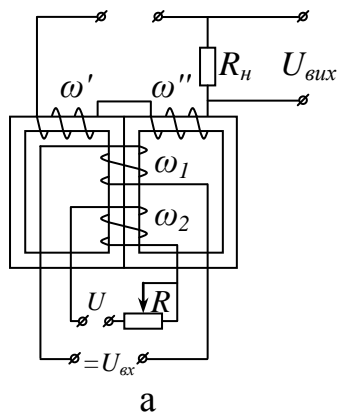


Рисунок 7. Магнітний підсилювач з початковим підмагнічуванням:

- а) - схема електрична принципова;
- б) - характеристика управління.

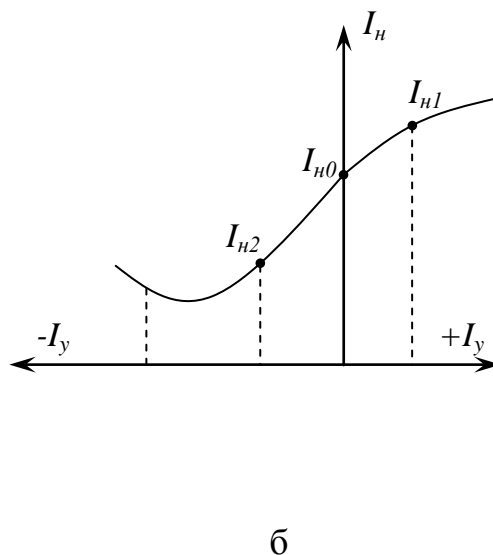
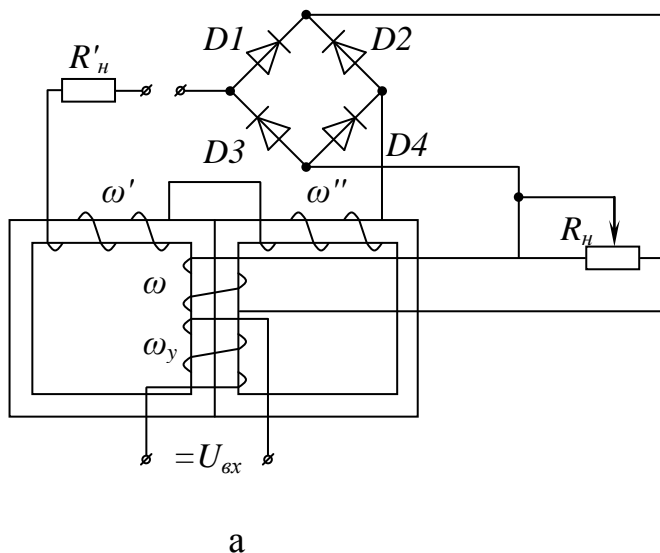


Рисунок 8. Магнітний підсилювач з зовнішнім зворотнім зв'язком:

- а) - схема електрична принципова;
- б) - характеристика.

Таким чином, розглянуті схеми МП не чутливі до знак сигналу на вході. Для більшості систем автоматики ця властивість МП є важливим недоліком. Для того щоб його уникнути, застосовують схему МП з початковим підмагнічуванням (Рисунок 7, а).

На відміну від попередніх схем в МП з початковим підмагнічуванням виконуються дві обмотки постійного струму, на одну з яких (обмотка управління ω_y) подається сигнал підсилювання, а на іншу (обмотка підмагнічування ω_{zm}) - постійна по величині напруга зміщення U_{zm} . Якщо при відсутності сигналу, коли по опору навантаження повинен був би протікати мінімальний струм I_{min} , обмотка підмагнічування створює деяку початкову напруженість магнітного поля в осерді, внаслідок чого змінний струм збільшується до значення I_{H0} , а характеристика управління зміщується вправо або вліво в залежності від знаку зміщення (Рисунок 7, б). Якщо тепер подати на вхід сигнал I_{nx} , то при його позитивному знаку струм навантаження зросте від I_{H0} до I_{H1} , а при від'ємному зменшиться від I_{H0} до I_{H2} ; таким чином підсилювач є чутливим до знаку сигналу.

Для збільшення коефіцієнта підсилення в МП широке застосування отримали магнітні підсилювачі з зовнішнім зворотнім зв'язком. Схема МП з зворотнім зв'язком показана на Рисунку 8, а. Для її здійснення послідовно з опором навантаження вмикається міст з напівпровідникових випрямлячів; випрямлений струм з діагоналі моста живить обмотку зворотного зв'язку ω_{zz} . При подачі сигналу на вхід і збільшення струму в навантажувальному ланцюзі, пропорційне струму навантаження збільшується також і струм в обмотці зворотного зв'язку. Обмотка зворотного зв'язку утворює потік, який при збігові по знаку з потоком обмотки управління підмагнічує МП (позитивний зворотній зв'язок), що призводить ще до більшого збільшення струму навантаження, а значить до більшого підсилення. При незбігові знаків потоків має місце негативний зворотній зв'язок і МП розмагнічується.

В МП застосовують тільки позитивні зворотні зв'язки, так як характеристики підсилювачів відрізняються високою стабільністю, а від'ємні зворотні зв'язки часто застосовують для збільшення стабільності. Для регулювання ступеня зворотного зв'язку обмотка зворотного зв'язку шунтується регулюючим опором $R_{ш}$.

Наявність зворотного зв'язку надає навантажувальній характеристиці МП нові особливості Рисунок 8, б. Права вітка

характеристики має більшу крутизну, ніж у характеристики підсилювача без зворотного зв'язку. Це пояснюється тим, що на цій ділянці характеристики напруженість постійного магнітного потоку складається з двох складових $H_y + H_{zz}$.

Тому для утворення одного й того ж струму навантаження при наявності зворотного зв'язку необхідна менша напруженість H_y (а значить і I_y). Ліва вітка характеристики значно більш полого, ніж у характеристики МП без зворотного зв'язку, так як управляюча обмотка не тільки утворює необхідне підмагнічування, а і компенсує напруженість поля обмотки зворотного зв'язку. Тому для утворення струму навантаження, рівного струму навантаження в характеристиці без зворотного зв'язку, потрібно значно більший струм обмотки управління.

В розглянутій схемі для утворення зворотного зв'язку використовують спеціальну додаткову обмотку. Такі МП називають підсилювачами з зовнішнім зворотнім зв'язком. Однак зворотній зв'язок можна отримати без виконання спеціальних обмоток, використовуючи в якості обмоток зворотного зв'язку самі навантажувальні обмотки змінного струму і живлячи їх через напівпровідникові випрямлячі. Ці схеми на даний час отримали найбільш широке застосування, так як дають можливість зменшити габарити МП та збільшити їх ККД. Зібрані по таким схемам МП називають підсилювачами з внутрішнім зворотнім зв'язком або підсилювачами самозбудження. На Рисунку 9 (а) показана схема МП з внутрішнім зворотнім зв'язком для навантаження змінного струму. Навантажувальний струм в цій схемі одну половину періоду протікає по ланцюгу $L_1 - Z_H - B_2 - \omega'' - L_2$, а другу половину періоду по ланцюгу $L_2 - \omega' - B_1 - Z_H - L_1$. Таким чином, якщо по самому навантажувальному опору Z_H протікає змінний струм, то по навантажувальній обмотці протікає випрямлений струм існуючий в кожній з них одну половину періоду, створюючи в підсилювачі постійний потік, пропорціональний величині струму навантаження, тобто потік зворотного зв'язку. Випрямлячі поставлені таким чином, що постійний магнітний потік, що утворений навантажувальними обмотками, співпадає за знаком з потоком обмотки управління, що приводить до здійснення позитивного зворотного зв'язку.

Всі приведені вище схеми володіють наступною особливістю: при відсутності сигналу на вході (тобто на обмотці управління) по навантажувальним обмоткам та навантажувальному опору протікає початковий струм, а значить, на виході підсилювача існує деяка потужність. Такі МП називаються одноктактними.

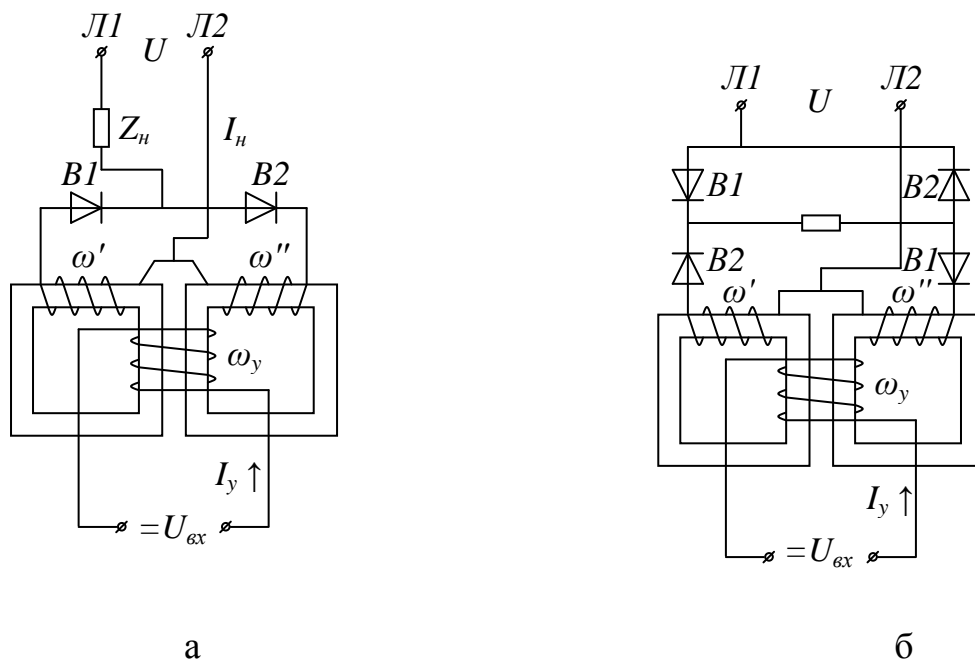


Рисунок 9. Схема магнітного підсилювача з внутрішнім зворотнім зв'язком для:

- а) - навантаження змінного струму;
- б) - навантаження, постійного струму.

Проте наявність вихідної потужності, при відсутності управляючого сигналу, для багатьох автоматичних схем недопустима. Тому в тих випадках, коли при нульовому сигналі управління потужність на виході також повинна бути рівна нулю, застосовують так звані двотактні МП.

Двотактні магнітні підсилювачі

Існує декілька різновидів схем двотактних МП. Диференціальний МП складається з двох одноктних підсилювачів, які працюють на загальне навантаження. Навантажувальні обмотки підсилювачів ω' та ω'' отримуючи живлення від вторинної обмотки трансформатора з виведеною середньою точкою, вмикаються між собою послідовно, а навантаження підключається на середню точку трансформатора і загальний зажим обмоток ω' та ω'' . Обмотка заміщення обох підсилювачів вмикається послідовно, але з таким розрахунком, що зміщують характеристику управління кожного з підсилювачів в протилежні сторони. При такому ввімкненні навантаження та обмоток заміщення струму, що протікає по навантаженню дорівнює різниці струмів кожної з навантажувальних обмоток:

$I_H = I_1 - I_2$, і при відсутності сигналу на обмоткам управління виявляється рівним нулю.

Обмотки управління підсилювачем також включені послідовно, але так, що в одному підсилювачі її МРС співпадає з МРС обмотки заміщення (на рисунку це лівий підсилювач), а в іншому - діє зустрічно (правий підсилювач). Тому при подачі позитивного сигналу на вхід підсилювачів лівий підсилювач підмагнічується, правий розмагнічується, що приводить зростання струму I_1 , і зменшує струм I_2 , а значить приводить до виникнення струму навантаження. Цей процес легко прослідкувати за навантажувальною характеристикою підсилювача (Рисунок 11,б), яка є алгебраїчною сумою характеристик першого й другого підсилювачів. Він проходить через початок координат і має більшу крутизну, ніж у кожного з однокітних підсилювачів.

Всім диференціальним МП властивий загальний недолік, який заключається в необхідності мати трансформатор живлення, що підвищує ціну підсилювача і збільшує його габарити. Тому значне більш широке застосування знаходять мостові схеми. Схема двокітного мостового підсилювача показана на Рисунку 10.

Він складається з двох однокітних підсилювачів, навантажувальних обмоток яких утворюють схему моста з плечима ac (I обмотка), cb (III обмотка), bd (II обмотка), da (IV обмотка). На одну діагональ моста cd подається змінна напруга, в другу діагональ ab вмикається навантаження. Крім навантажувальний обмоток, на кожному підсилювачі мають місце обмотки підмагнічування $\omega_{ст}$ і управління ω_y , до того ж в одному підсилювачі ампер-витки обмоток підмагнічування та управління складаються, а в другому віднімаються. Тому, поки нема управляючого сигналу і ступінь підмагнічування однакова, міст знаходиться в рівновазі і по навантаженню струм не йде. При подачі сигналу один з підсилювачів намагнічується, а другий розмагнічується, індуктивність двох протилежних плеч моста збільшується, в той час як індуктивність двох других зменшується, і в діагоналі моста (в навантаженні) з'являється струм. Характеристика управління мостового підсилювача подібна характеристиці диференціального МП (Рисунок 11, б.)

Макет виконаний на магнітному підсилювачі ТУН-А5-А1 по схемі, яка приведена на рисунку(12) і дає можливість провести дослідження статичних характеристик

магнітного підсилювача, залежність $I_H = f(I_k)$ без обмотки зміщення і з обмоткою зміщення на різних полярностях.

Перемикач P1 призначений для підключення схеми до джерела живлення змінного струму. Перемикач P2 призначений для підключення обмоток керування до джерела живлення постійного струму. Перемикач P3 призначений для підключення обмотки зміщення до джерела живлення постійного струму.

R_H – опір навантаження.

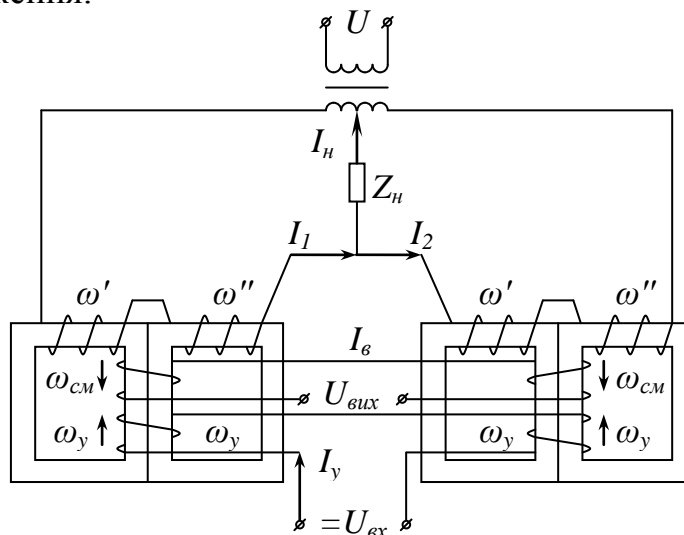


Рисунок 10. Мостовий двотактний підсилювач

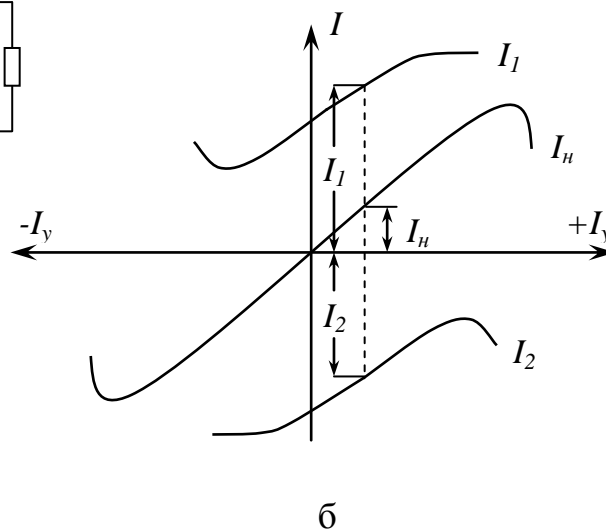
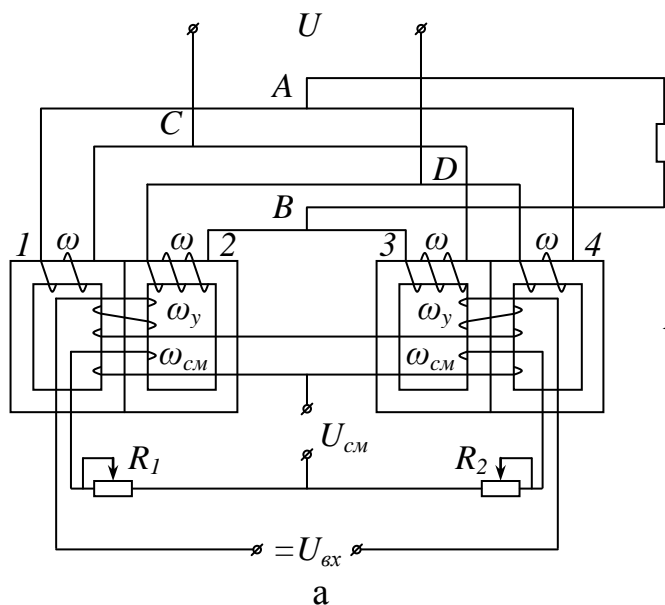


Рисунок 11. Диференційний двотактний магнітний підсилювач:

- а) - схема;
- б) - характеристика.

Опис установки і методичні вказівки

Реостати R1 і R2 призначені для регулювання струму в обмотках керування та зміщення.

Міліамперметри mA1 та mA2 призначені для контролю величини струму в обмотках керування і навантаження.

A1; x1; A2; x2; B1; y1; B2; y2 - затискувачі обмоток змінного струму.

1н; 1к; 2н; 3н; 3к; 4н; 4к; 5н; 6н; 6к; 7н; 7к- затискувачі обмоток керування.

Перевірити з'єднання обмоток змінного струму (A1;x1; A2; x2;B1; y1; B2; y2).

Сумарний магнітний потік буде індукувати в обмотках керування зміну ЕРС.

Міліамперметр –показує присутність струму керування також при підключених вимикачах P2 та P3. В цьому випадку потрібно затискувачі x2 з'єднати з y2, а до затискувача B2 під'єднати міліамперметр.

Порядок виконання роботи

1. Вилку живлення 220 В і трансформатор ввімкнути в мережу 220 В.
2. Тумблери 220 В, 60 В встановити в положення "Включено". Тумблер "Струм керування " встановити в положення "+".
3. Шляхом зміни положення движка реостату керування зняти залежність $I_H = f(I_k)$. Струм керування змінювати від нуля до 150 mA ($I_k = 15 mA$).
4. Тумблер "Струм керування " встановити в положення "-". Повторити п3.
5. Тумблер "Струм зміщення" встановити в положення "+". Движком реостату зміщення встановити $I_{зм}=30 mA$. Повторити п3-4.
6. Тумблер "Струм зміщення" встановити в положення "-". Повторити п3-4.

Контрольні запитання

1. Які функції виконують підсилювачі в системах автоматики?
2. Якими параметрами характеризується підсилювач?
3. Пояснити принцип дії МП.
4. Переваги і недоліки МП, в порівнянні з іншими електричними підсилювачами.
5. Для чого необхідні і як діють обмотки зміщення і зворотного зв'язку МП?
6. Чим відрізняються розміщення обмоток постійного струму МП на магнітопроводі від обмоток змінного струму?

7. Як впливає на коефіцієнт підсилення МП зміна частоти і напруги змінного струму?
8. При яких умовах МП переходить в релейний режим і для якої мети він служить?
9. Як визначити коефіцієнт підсилення МП?

Практична робота №5

Дослідження магнітного підсилювача з зовнішніми зворотними зв'язками

Мета роботи: Вивчення принципу дії та дослідження характеристик магнітного підсилювача з зворотними зв'язками.

Теоретичні відомості

Ефективним засобом зростання коефіцієнта підсилення і швидкодії магнітних підсилювачів (МП) є введення додаткового зворотного зв'язку. Це не порушує стійкості роботи МП завдяки високій стабільності його статичних характеристик.

Зворотній зв'язок (ЗЗ) передбачає подачу на вхід МП допоміжного сигналу МП (Рисунок 1).

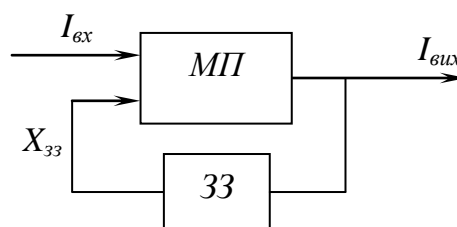


Рисунок 1. Структурна схема

Якщо сигнал ЗЗ діє згідно вхідним сигналам МП, то має місце додатній зворотній зв'язок, в іншому випадку - від'ємний.

Зовнішній ЗЗ здійснюється в МП за допомогою окремої обмотки зворотного зв'язку $W_{зз}$ і може бути виконаний як по струму, так і за напругою (Рисунок 2).

Коефіцієнт зворотного зв'язку визначається відношенням числа витків обкладинок W_{33} і W_p :

$$k_{33} = W_{33} / W_p \quad (1)$$

Внутрішній ЗЗ в МП виконується за рахунок постійної складової струму навантаження I_H , який протікає по робочим обкладинкам і забезпечується спеціальним включенням діодів в ланцюг змінного струму k_{33} в цьому випадку залежить від зворотного опору напівпровідникових діодів в робочому ланцюзі. Такі підсилювачі потребують окремої обкладинки зворотного зв'язку і називаються магнітними підсилювачами з самонасиченням (МПС) або самопідмагнічуванням.

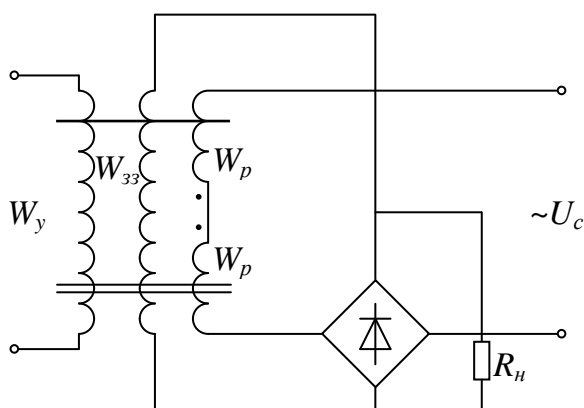


Рисунок 2. Схеми МП з зовнішнім ЗЗ.

Можливе одночасне використання зовнішнього та внутрішнього ЗЗ. Такі підсилювачі називаються МП зі змішаним зворотнім зв'язком.

В ідеальному МП з зовнішнім зворотнім зв'язком напруженість постійного магнітного поля H_- створюється струмом управління I_y і струмом навантаження I_H який протікає по обкладинкам зворотного зв'язку W_{33} :

$$H_- = H_y + H_{33} \quad (2)$$

Знак "+" відповідає додатному ЗЗ, "-" - від'ємному.

Основне рівняння МП ($H_+ = H_-$) в цьому випадку має вигляд:

$$I_H W_p = I_y W_y \pm I_{33} W_{33} \quad (3)$$

Якщо знехтувати коефіцієнтом випрямлення діодного мосту ($I_H = I_{об}$), то отримаємо вираз для визначення коефіцієнта підсилення по струму МП з ЗЗ:

$$k_{i33} = \frac{I_H}{I_y} = k_i / (1 \pm k_{33}) \quad (4)$$

де k_{33} - коефіцієнт зворотного зв'язку МП.

Тут знак "-" відповідає додатному зворотному зв'язку, а "+" - від'ємному.

Аналогічно можна визначити інші коефіцієнти МП з зовнішнім 33:

$$k_{m33} = k_m / (1 \pm k_{33}) \quad (5)$$

$$k_{p33} = k_p / (1 \pm k_{33}) \quad (6)$$

Вплив 33 на статичну характеристику МП можна дослідити графічно (Рисунок 3). Згідно рівнянню (2) при додатному 33 частина напруженості постійного поля МП створюється напруженістю H_{33} (відрізок АВ на Рисунку 3а), а частина - напруженістю H_y на відрізку ВС. Таким чином при введенні додатного 33, струм, необхідний для створення напруженості H_0 та відповідній точці С на статичній характеристиці, зменшується порівняно з підсилювачем без 33 на величину I_{33} . Пряма ОВ, проведена з початку координат під кутом $\gamma = \arctg(k_{33})$, є лінією зворотнього зв'язку. Користуючись лінією 33 можна по статичній характеристиці 1 МП без 33 побудувати статичну характеристику 2 МП з 33. Для цього необхідно з кожної точки статичної характеристики 1 провести пряму, паралельну лінії 33 до перетину з віссю абсцис. Точка перетину з віссю абсцис визначає струм управління I_{y33} при наявності 33.

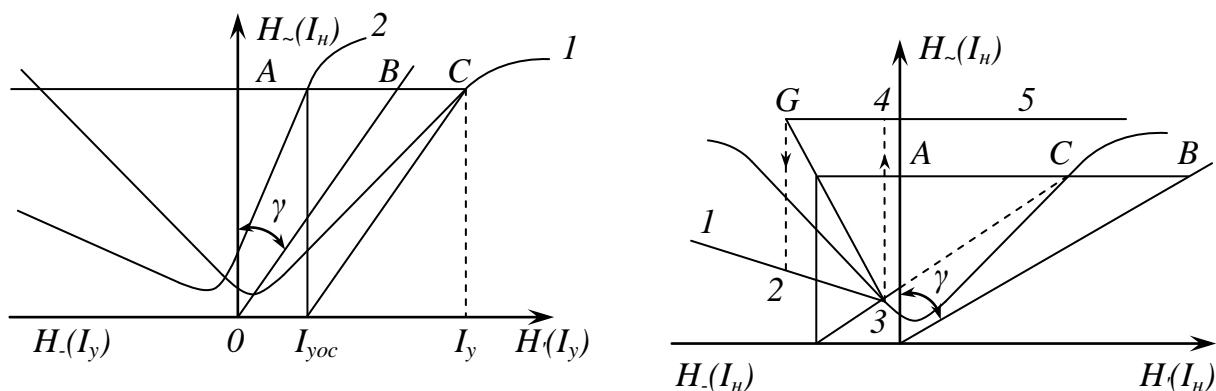


Рисунок 3. Статична характеристика МП.

При достатньо великому коефіцієнті 33 ($k_{33} \geq 1$) коефіцієнт підсилення МП встановлюється теоретично безмежно великим, що слідує з рівняння (4). МП переходить в релейний режим. Статична характеристика МП в релейному режимі представлена на Рисунку 3б. Фактично при постійному зростанні струму управління навантаження змінюється повільно до точки статичної характеристики. Подальше

зростання струму управління приводить до стрибкоподібної зміни струму навантаження до точки 4 і навіть по верхній гілці спостерігається стрибкоподібне зменшення струму навантаження на ділянці 6-2 статичної характеристики. Робота МП нагадує роботу поляризованого реле. МП в релейному режимі називається безконтактним магнітним реле (БМР).

Основні переваги БМР:

- Висока надійність, внаслідок відсутності контактів і рухомих частин;
- стабільність параметрів спрацювання і відпускання;
- простота експлуатації;
- ККД (60-70%);

Недоліки:

- наявність тільки одного ланцюга, який комутується;
- неповне розмикання ланцюга, обумовлене $I_{ок}$;
- великі габарити при частоті живлення 50 ГЦ.

Опис макета лабораторної роботи

Макет виконаний на магнітному підсилювачі ТУМ-А4-11У3 по схемі, що приведена на Рисунку 4 і дозволяє моделювати наступні режими роботи МП:

- МП без ЗЗ
- МП з зовнішнім ЗЗ
- МП в релейному режимі
- МП з внутрішнім ЗЗ (МПС).

У всіх режимах роботи можливе зміщення статичних характеристик МП за допомогою обмотки зміщення. Вимикачі В4, В5 призначені для підключення макету до мережі змінного струму. Вимикачі В2, В3, В1 дозволяють подавати живлення в обмотки управління, зміщення і робочу обмотку. За допомогою перемикачів В6, В7 змінюється полярність струмів управління і зміщення у відповідних обмотках. Вимикач В8 служить для підключення ланцюга зовнішнього ЗЗ. Реостати $R_{ш}$ змінюють струм в обмотках управління і зміщення і шунтує обмотку зворотного зв'язку для зміни коефіцієнта зовнішнього ЗЗ.

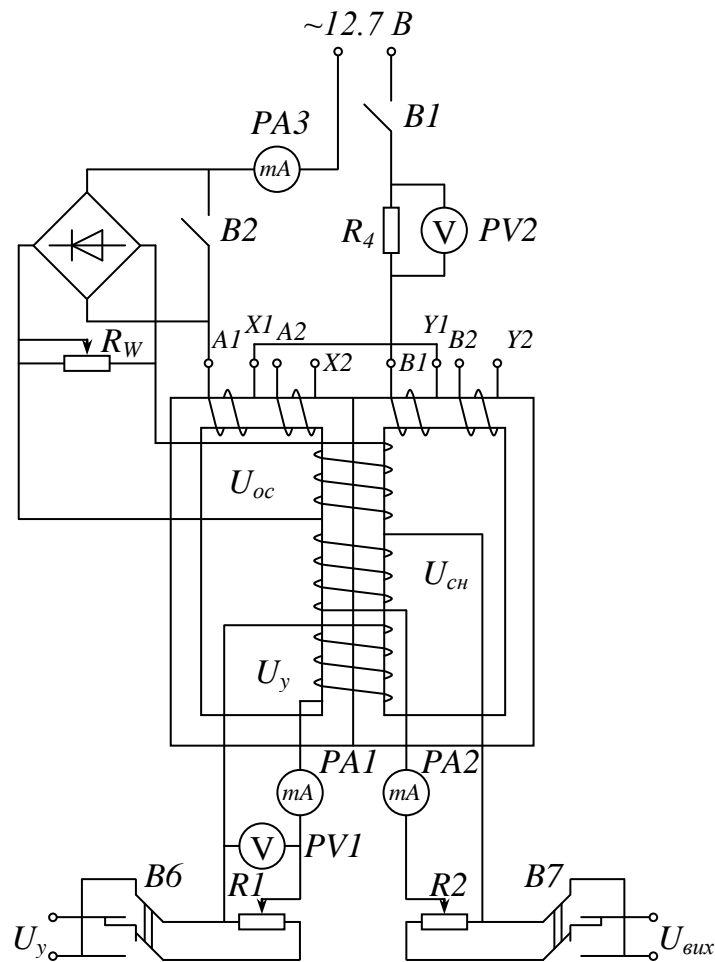


Рисунок 4. Схема стенду

Струми управління, зміщення і струм навантаження контролюються міліамперметрами PA1, PA2, PA3, а напруги на обмотці управління і на навантаженні - вольтметрами PV1, PV2. Обмотки A1-X1, A2-X2, B1-Y1, B2-Y2 використовуються в якості робочих. Обмотки 1Н-1К, 2Н-2К, 3Н-3К, 4Н-4К, 5Н-5К, 6Н-6К, 7Н-7К можуть бути використані в якості обмоток управління, зміщення і зворотного зв'язку.

В схемі на Рисунку 4 в якості робочих обмоток використовують A1-X1 і B1-Y1, а в якості обмотки управління обмотки 6 і 7, обмотки зміщення - 4 і 5, зворотного зв'язку - 2 і 3.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему на Рисунку 4 вимикачі B1, B2. B3, B4, B5 повинні бути розімкненні, а B8 - замкнений. Без перевірки викладачем схему не вмикати !
2. Ввімкнути вимикачі B4, B5, B1 і переконатися у відсутності струму в ланцюгах управління і зміщення.

3. Зняти характеристики МП без ЗЗ і зміщення. Для цього замкнути вимикач В2. Визначити по 6-7 точкам статичної характеристики МП для обох полярностей струму управління I_y . Зміни вхідного струму повинні забезпечувати зміни струму навантаження в межах від $I_{н.ох}$ до $I_{н.мах}$.
4. Зняти характеристики МП з зовнішнім ЗЗ. Для цього розімкнути вимикач В8. Встановити реостат R1 струму управління збільшення струму в навантаженні на 50% (струм навантаження біля 60 мА) за рахунок додатнього ЗЗ. Встановити $I_y = 0$. Зняти статичну характеристику згідно п.5.
5. Зняти характеристику МП в релейному режимі. Встановити $I_y = 0$. Встановити повзунком шунт $R_{ш}$ в крайнє верхнє положення. Зняти статичну характеристику МП при зростанні та зменшенні струму управління. При цьому слід повільно змінювати струм управління з дискретністю не більше 5 мА і слідкувати за зміною струму навантаження.
6. Зняти характеристику МП в релейному режимі зі зміщенням. Встановити струм зміщення $I_{зм}$ в межах 0...30 і зняти характеристику МП аналогічно п.5. При цьому вимикач В3 слід замкнути. Визначити коефіцієнти підсилення k_I, k_U, k_P у всіх режимах роботи МП, що досліджуються. Всі дані звести в таблицю. По результатам дослідження побудувати графіки отриманих залежностей.

Зміст звіту

Звіт повинен містити мету роботи, схему дослідження, таблиці результатів спостережень, графіки отриманих залежностей, результати розрахунків і короткі висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Для чого потрібні зворотні зв'язки в МП ?
2. Види ЗЗ в МП та способи їх дослідження.
3. Як змінити $k_{ЗЗ}$ в МП з ЗЗ ?
4. Як впливає на статичні характеристики МП додатній та від'ємний ЗЗ ?
5. При яких умовах МП переходить в релейний режим?
6. Чим відрізняються режими роботи МП з $k_{ЗЗ} < 1$ і $k_{ЗЗ} > 1$?

7. Чим відрізняються статичні характеристики МП з $k_{33} = 0.8; 1; 1.2; 1.5$?
8. Як визначити коефіцієнти підсилення МП з 33 ?

Практична робота № 6

Дослідження електромагніта постійного струму

Мета роботи: Вивчення конструкції, принципу дії і дослідження статичної і динамічної характеристики електромагніта постійного струму.

Теоретичні відомості

Електромагніти, призначені для перетворення електричного сигналу в механічний рух. Електромагніти набули застосування в якості приводного чи керуючого пристрою в ряді механізмів, електричних апаратів і реле, наприклад, у піднімальних і гальмових електромагнітах, приводах для ввімкнення або вимикання комутаційних апаратів, в автоматичних регуляторах, у приводах для вмикання і відключення пневматичних, гідравлічних і механічних ланцюгів, для зчеплення обертових валів, у приводах клапанів, вентилів, заслінок як виконавчі елементи.

Класифікація електромагнітів.

По призначенню електромагніти поділяються на:

- утримуючі, які служать для фіксації положення феромагнітних тіл.
- приводні, які служать для переміщення виконавчих пристроїв. Ці електромагніти здійснюють роботу і розраховані на певні сили і переміщення.

По роду струму в обмотці розрізняють електромагніти постійного і змінного струму. Електромагніти постійного струму поділяють: на нейтральні і поляризовані.

По конструктивному виконанню розрізняють електромагніти:

Клапанні - із зовнішнім якорем, що притягається (Рисунок 1 а, б, в, г), при цьому магнітні системи мають різні форми;

- а) з П-подібним магнітопроводом - осердя має круглий переріз;
- б) з П-подібним магнітопроводом, але з плоским якорем-ярмом;
- в) із Ш-подібним магнітопроводом - осердя має круглий переріз;

г) з циліндричним магнітопроводом.

Клапанні електромагніти мають невелике переміщення якоря (одиниці міліметра), завдяки чому вони розвивають велике зусилля і мають високу чутливість.

Прямохідні - з поступальним рухом якоря (соленоїдні).

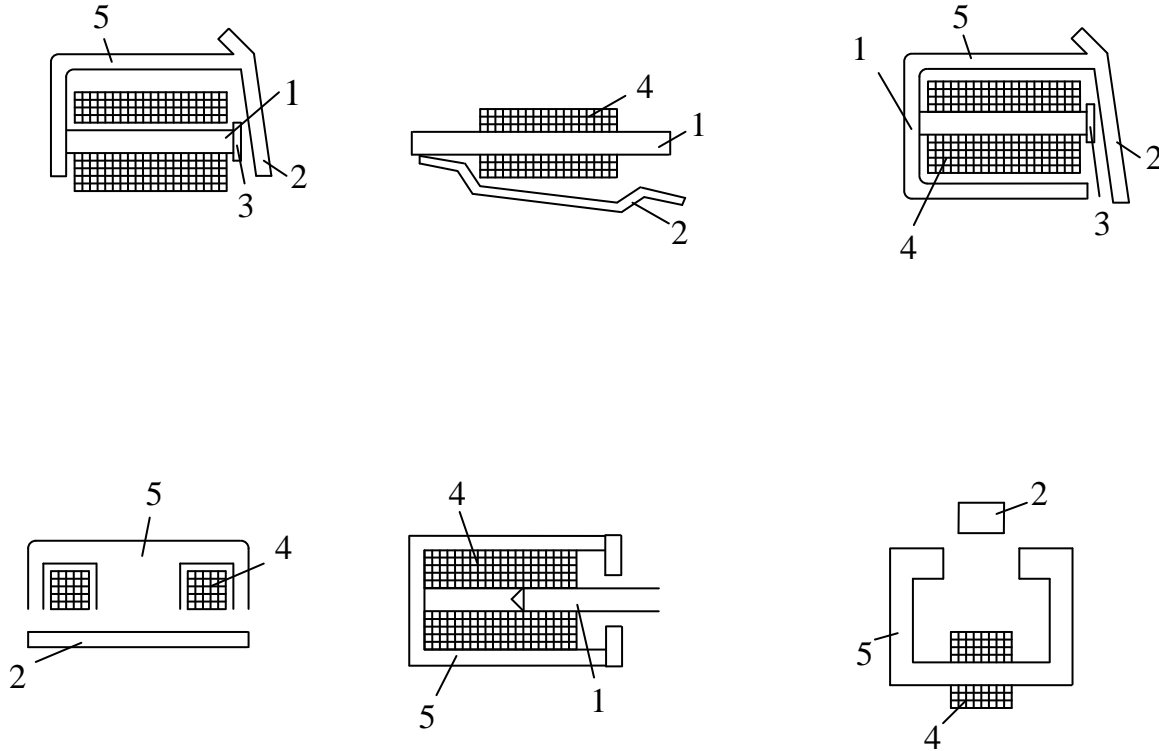


Рисунок 1. Нейтральні електромагніти різних конструкцій:

1 - осердя; 2 - якір; 3 - полюсний наконечник; 4 - котушка; 5 - ярмо.

Прямохідні електромагніти (Рисунок. 1, д) мають великий хід якоря, менші, чим клапанні, розміри і більшу швидкодію, однак меншу чутливість. По своєму призначенню прямохідні електромагніти можуть бути з нерухомим осердям - «стопом» чи без осердя з наскрізним отвором по осі котушки.

З поперечним рухом - якір рухається в поперечному напрямку до середньої лінії між полюсами (Рисунок 1, е).

У даній роботі вивчається електромагніт постійного струму від електромагнітного пульсатора, розробленого на кафедрі АПП КДТУ.

Пульсатор складається з корпусу електромагніта 4, кришки 1, якоря 6, фіксуючої шайби 3, фіксуючої прокладки 2, сердечника 10, котушки 5, підстави 9, штуцера 8 (Рисунок 2).

Корпус електромагніта виконаний з магнітом'якої сталі марки 20 у вигляді полого циліндра з фланцями на обох кінцях. В фланцях виконані шість різьбових отворів, які використовуються при складанні пульсатора.

Корпус електромагніта встановлюється на нижню кришку, що разом з підставою 9 утворює камеру змінного вакууму 2. Герметизація камери змінного вакууму забезпечується гумовою прокладкою 7.

У камеру змінного вакууму через нижній штуцер подається вакуум, а через отвір 12 надходить атмосферне повітря.

Принцип дії пульсатора слідує наступний. Коли котушка електромагніту знеструмлена, якор знаходиться в нижньому положенні, перекриваючи подачу вакууму. Через отвір 12 у камеру змінного вакууму надходить атмосферний тиск, що через штуцер 8 подається в міжстінний простір доїльних верстатів. При подачі напруги на котушку електромагніту якор притягується, перекриває отвір 12 і в камеру змінного вакууму й у міжстінний простір доїльних верстатів подається вакуум.

Розроблений електромагнітний пульсатор забезпечує задану частоту і співвідношення тактів завдяки невеликому ходу якоря і параметрам виконавчого електромагнітного елемента. Хід якоря складає 0,5 мм. Живлення пульсатора - постійною напругою 24 В. Індуктивність обмотки складає 0,4 Гн, а активний опір обмотки - 166 Ом.

Характеристика електромагніту

Статична характеристика електромагніта являє собою статичну характеристику електромагнітного реле (Рисунок 3).

При безперервному зростанні вхідної величини X до значення спрацьовування $X_{спр}$ значення параметра U залишається незмінним і рівним U_1 . При досягненні параметром X значення $X_{спр}$, електромагніт стрибкоподібно змінює значення вихідного параметра U від U_1 до U_2 .

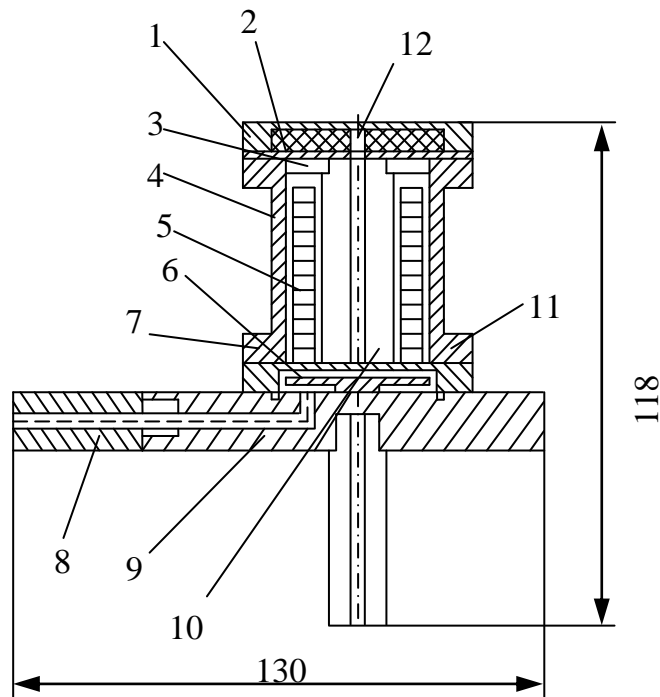


Рисунок 2. Електромагнітний пульсатор

При зменшенні параметра X значення U залишається незмінним, поки параметр X не досягне значення $X_{\text{відп}}$, при якому знову стрибкоподібно змінюється значення U від U_2 до U_1 .

Відношення величини відпускання до величини спрацьовування є коефіцієнтом повернення:

$$K_{\text{пов}} = X_{\text{від}}/X_{\text{спр}} \quad (1)$$

Іншим важливим параметром електромагнітних пристроїв, що визначають надійність їхньої роботи, є коефіцієнт запасу, що розраховується за формулою:

$$K_z = I_{\text{ном}}/I_{\text{спр}} \quad (2)$$

Величина тягових зусиль в електромагнітному механізмі постійного струму є функцією зазору $F_T = f(\delta)$. Ця залежність називається статичною тяговою (електромеханічною) характеристикою електромагнітного механізму.

З закону Ома для магнітного ланцюга:

$$\Phi_\delta = F_\lambda = (A\omega)_\delta \lambda \quad (3)$$

Впливає

$$A = (A\omega)_\delta^2 \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}, [\text{Дж}] \quad (4)$$

де Φ_δ - магнітний потік; $(A\omega)$ - повні ампер-витки; F - магніторушійна сила, м.р.с;
 λ_2, λ_1 - магнітні провідності зазору при притягнутому і відпущеному якорі.

Індекс δ показує, що усі величини відносяться до повітряного зазору.

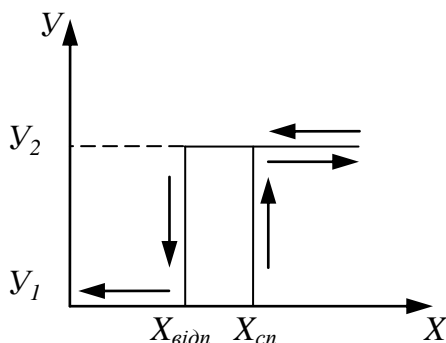


Рисунок 3. Статична характеристика реле

Механічна робота, яка виконується на елементарній ділянці шляху $d\delta$, буде $Q_{в.л}d\delta$.
 Ця робота чисельно дорівнює частині енергії, що перейшла в механічну роботу dA .
 Сума їх, очевидно, буде дорівнювати нулю, тобто

$$Q_{в.л}d\delta + dA = 0; Q_{в.л}d\delta = -dA \quad (5)$$

З(4)знаходимо d і, підставляючи у формулу (5) одержимо:

$$Q_3 d\delta = -\frac{1}{2}(A\omega)_\delta^2 \frac{d\lambda}{d\delta} \quad (6)$$

звідкіля основне рівняння для стискального зусилля:

$$Q_3 = -\frac{1}{2}(A\omega)_\delta^2 \frac{d\lambda}{d\delta} \quad [H] \quad (7)$$

Розглянемо тепер окремий випадок для плоскопаралельних полюсів. Зневажаючи крайовим ефектом, можна вважати:

$$\lambda = \frac{S}{\delta} \cdot \mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \cdot \frac{S}{\delta}$$

де S - площа сердечника

звідси:

$$\frac{d\lambda}{d\delta} = -\frac{4\pi S}{\delta^2 10^7}$$

Підставляючи отриманий вираз в основне рівняння, остаточно маємо:

$$Q_3 = 6.3 \cdot 10^{-7} (A\omega)_\delta^2 \cdot \frac{S}{\delta^2} \quad (8)$$

або

$$Q_3 = f\left(\frac{1}{\delta^2}\right)$$

Залежність цього виду представлена на рисунку 4. З неї видно, що тягова характеристика при плоско-паралельних полюсах має круто падаючий характер. Отже, для одержання значних тягових зусиль треба прагнути до зменшення повітряного зазору.

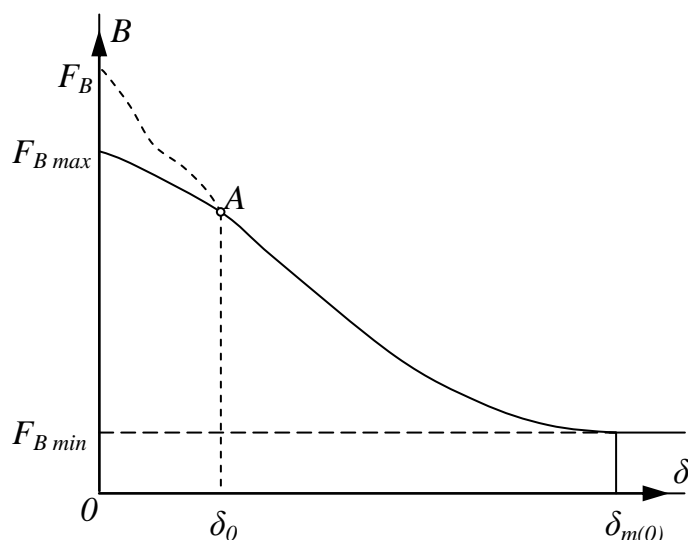


Рисунок 4. Схема визначення тягової характеристики реле

Вираз для тягового зусилля електромагніту можна одержати другим шляхом. Для цього розглянемо схему заміщення магнітного ланцюга електромагніта, яка показана на Рисунку 5. Позначення на схемі: R_c - магнітний опір в осерді,

R_m - магнітний опір магнітопроводу, R_{z1}, R_{z2} - магнітні опори повітряних зазорів відповідно між магнітопроводом і якорем. R_{B1}, R_{B2} - магнітні опори, що враховують ефект випинання магнітного поля в повітряному зазорі відповідно між магнітопроводом і якорем, осердям і якорем, R_j - магнітний опір якоря, I_w - сила обмотки, що намагнічує.

Розрахунок зробимо методом енергетичного балансу. Суть його в тім, що тягове зусилля, що діє на рухомі частини ненасичених магнітних систем визначається через сумарну зміну всіх повітряних зазорів при зміні положення рухомих частин системи. При розрахунку не будемо враховувати випинання магнітного поля в повітряних зазорах ($R_{B1} = R_{B2} = \infty$), магнітного опору магнітопроводу, осердя і якоря, припускаючи, що вони працюють у ненасиченому режимі ($R_c = R_m = R_j = 0$). При прийнятих допущеннях схема заміщення магнітного ланцюга здобуває вид, показаний на Рисунку 5в.

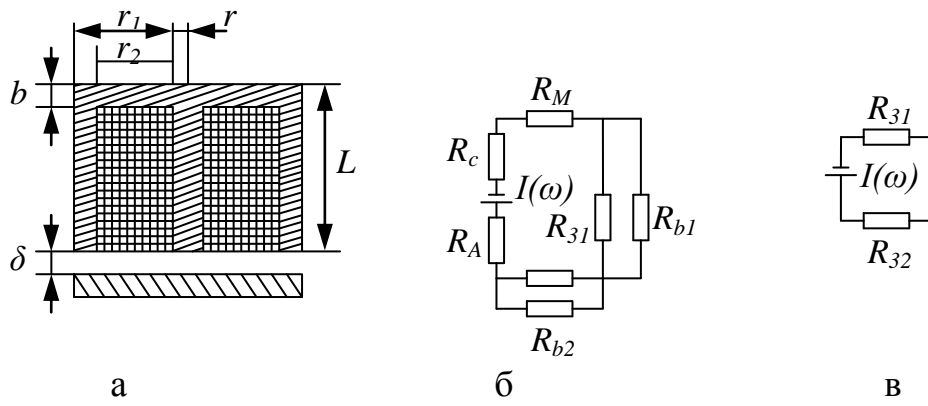


Рисунок 5. Електромагніт пульсатора. Схема заміщення електромагнітного пульсатора

Визначимо магнітний опір зазорів:

$$R_{31} = \frac{\delta - X_{\text{ВНХ}}}{\mu_0 S_1} \quad (9)$$

де S_1 - площа перекриття магнітопроводу і якоря;

$$R_{32} = \frac{\delta - X_{\text{ВНХ}}}{\mu_0 S_2} \quad (10)$$

де S_2 - площа перекриття осердя і якоря.

У розглянутій магнітній системі два повітряних зазори, тому загальна енергія складається із суми енергій:

$$A_{\Sigma} = A_{31} + A_{32}$$

$$A_{31} = \frac{1}{2} \cdot \Phi_{31}^2 \cdot R_{31} \quad (11)$$

$$A_{32} = \frac{1}{2} \cdot \Phi_{32}^2 \cdot R_{32}$$

де Φ_{31} - магнітний потік у зазорі між магнітопроводом і якорем; Φ_{32} - магнітний потік у зазорі між осердям і якорем.

Магнітні потоки в повітряних зазорах будуть рівні:

$$\Phi_{31} = \frac{I\omega}{R_{31}} \quad (12)$$

$$\Phi_{32} = \frac{I\omega}{R_{32}}$$

З урахуванням виразів (12) енергії повітряних зазорів рівні:

$$A_{31} = \frac{(I\omega)^2}{2R_{31}} \quad (13)$$

$$A_{32} = \frac{(I\omega)^2}{2R_{32}}$$

і повітряна сумарна енергія:

$$A_{\Sigma} = \frac{(I\omega)^2}{2} \cdot \frac{R_{31} + R_{32}}{R_{31}R_{32}} \quad (14)$$

Враховуючи (9), (10), і те що $S_1 = \pi(r_1^2 - r_2^2)$, $S_2 = \pi r^2$ останній вираз можна записати:

$$A_{\Sigma} = \frac{(I\omega)^2}{2} \cdot \frac{\mu_0 \pi (r^2 + r_1^2 - r_2^2)}{\delta - X_{вих}} \quad (15)$$

По визначенню тягове електромагнітне зусилля дорівнює:

$$A_{\Sigma} = \frac{\partial A_{\Sigma}}{\partial x_{вих}} = \frac{\mu_0 \pi (I\omega)^2 (r^2 + r_1^2 - r_2^2)}{2(\delta - X_{вих})^2}$$

Електромагніт повинний бути працездатним при мінімальному тяговому зусиллі, тобто при: $X_{вих} = 0$

$$F_{\Sigma} = \frac{\mu_0 \pi (I\omega)^2 (r^2 + r_1^2 - r_2^2)}{2\delta^2} \quad (16)$$

Таким чином, ми знову одержали залежність виду:

$$F_{\Sigma} = f\left(\frac{1}{\delta^2}\right)$$

При включенні електромагніту, а також при його відключенні в ланцюзі обмотки відбувається перехідний процес. Розглянемо перехідний процес при включенні електромагніту.

Ланцюг його можна зобразити в схемі як послідовне з'єднання індуктивності обмотки L і активного опору обмотки R (Рисунок 6). Перехідний процес у даному ланцюзі можна визначити по формулі:

$$U = iR + L\left(\frac{di}{dt}\right) \quad (17)$$

Вирішуючи рівняння щодо струму, одержуємо:

$$i_{cp} = I_{вст} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (18)$$

$I_{вст}$ - значення струму в обмотці яке встановлюється:

$$I_{вст} = \frac{U}{R}; \tau - \text{постійна часу ланцюга}; \tau = L/R$$

L - індуктивність обмотки; $L = \omega^2(R_{ст} + R_{\delta})$

Графічна залежність $i = f(t)$ являє собою експоненту (пунктирна крива 1 на малюнку). Формула (18) вирішена в припущенні, що індуктивність ланцюга незмінна. У дійсності, у процесі притягання якоря, магнітна провідність повітряного зазору змінюється, отже, змінюється й індуктивність L . Тому залежність $i = f(t)$ у реальних умовах приймає вид кривої 2 (Рисунок 6).

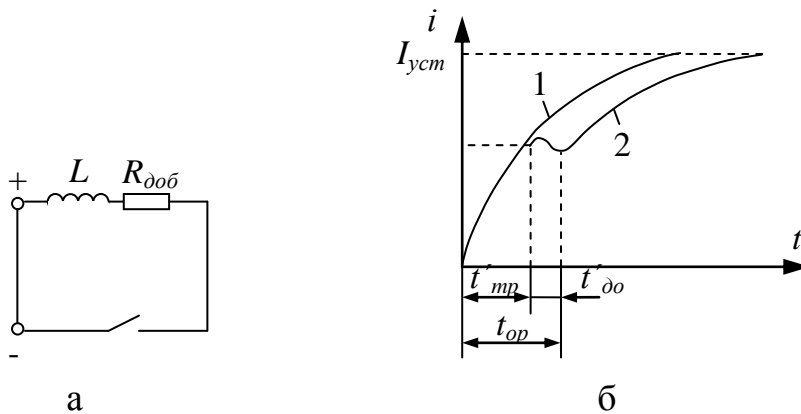


Рис. 6. Схема включення ланцюгу, що містить L або R (а), перехідна характеристика при вмиканні реле (б)

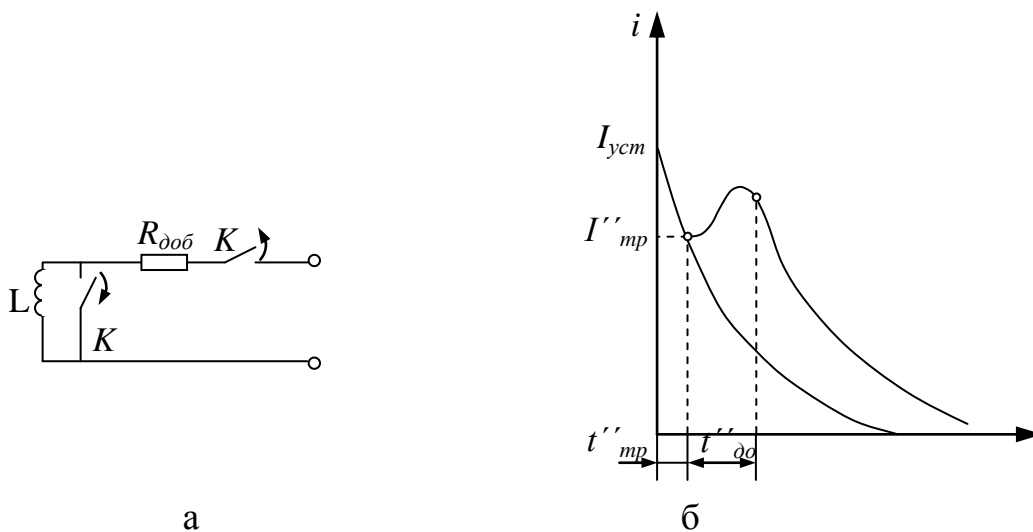


Рис. 7. Схема визначення часу відпускання реле (а) і характеристика перехідного процесу (б).

Розглянемо перехідний процес при відключенні електромагніту відпускання якоря реле може бути здійснено або відключенням напруги живлення U від обмотки за допомогою вимикача $K1$, або замиканням обмотки реле накоротко за допомогою вимикача $K2$. В другому випадку щоб уникнути короткого замикання джерела живлення в схему включають послідовно з обмоткою резистор $R_{\text{дод}}$. У першому випадку, тобто яри відключенні напруги живлення, струм в обмотці миттєво зменшується від сталого значення до нуля (Рисунок 7).

Можна вважати, що час зрушення і відпускання приблизно дорівнює нулю $t_{\text{тр}} \approx 0$. Пояснюється це тим, що тривалість перехідного процесу дуже мала в порівнянні з часом руху якоря $t_{\text{рух}}$. При замиканні обмотки накоротко струм перехідного процесу:

$$i_{\text{від}} = I_{\text{вст}} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (19)$$

Графічно залежність $i_{\text{від}} = f(t)$ представлена на мал. 7б у виді експоненти (пунктирна крива 1). Крива 2 показує зміну струму до кінця перехідного процесу. Як видно, у кривої 2 з'являється сплеск, як і при спрацьовуванні реле. Пояснюється це тим, що в процесі руху якоря індуктивність обмотки змінюється.

Порядок виконання роботи

ЕТАП 1. Зняття статичної характеристики електромагнітного пульсатора.

1. Ручку змінного резистора установити в крайнє ліве положення, при якому напруга, прикладена до пульсатора дорівнює нулю (Рисунок 8).
2. Переключити тумблер в положення "живлення".
3. Регулюємим резистором плавно збільшувати напругу, яка прикладена до Y_1 , від нуля до моменту притягання сердечника електромагніту. По міліамперметру в момент спрацьовування Y_1 зафіксувати струм $I_{\text{спр}}$. Плавно зменшити напругу, прикладену до Y_1 , до моменту відпускання сердечника. Зафіксувати струм $I_{\text{від}}$.
4. Визначити коефіцієнт повернення. Номінальний робочий струм визначається виміром знаючи номінальну напругу.

Для цього установити по вольтметру номінальну напругу і записати значення номінального струму по міліамперметру. Визначити коефіцієнт запасу електромагніта.

Побудувати статичну характеристику електромагніта

ЕТАП 2. Зняття тягової електромеханічної характеристики електромагніта.

1. Підключити електромагніт до джерела живлення при $U_1 = 10 \dots 20 \text{ В}$.
2. Між сердечником електромагніта і якорем прокласти одну прокладку з мідної фольги.
3. Обертаючи гайку, закріплену на направляючої зафіксувати за допомогою стрілки значення тягової сили, по вимірювальній лінійці в момент відпускання сердечника.
4. Аналогічним образом, прокладаючи дві, три і т.д. прокладки, зафіксувати значення стискальних зусиль. Зняти показання для десяти точок. Виміри повторити три рази.

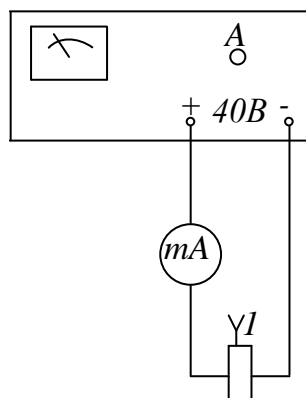


Рисунок 8. Схема макету для дослідження характеристики електромагніту

Побудувати таблицю даних і тягову характеристику електромагніта, користуючись номограмою.

$\delta, \text{ мм}$										
$Q_3, \text{ мм}$										
$Q_3, \text{ кг}$										

ЕТАП 3. Побудова кривих перехідного процесу.

Визначити значення $I_{\text{вст}}$, постійної часу $\tau = \frac{L}{R}$.

Підставивши отримані значення у формулу (18), визначити вираз для струму спрацьовування. Представляючи різні значення t у вираженні, одержати точки для побудови кривої перехідного процесу при включенні. $0 < t < 10 \text{ мс}$.

Аналогічним образом одержати точки, представляючи різні значення t у формулу (19) і побудувати криву перехідного процесу при відключенні електромагніта.

Дані розрахунків звести в таблицю і побудувати два перехідних процеси.

t, мс										
I _{від}										
I _{спр}										

Звіт повинний містити: основні формули, що використовуються при розрахунках, схему лабораторної установки, таблиці, графіки, побудовані на міліметровому папері, висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Призначення електромагнітів.
2. Класифікація електромагнітів.
3. Область застосування електромагнітів.
4. Пристрій і принцип дії електромагнітного пульсатора.
5. Як визначається коефіцієнт повернення і коефіцієнт запасу електромагніту?
6. Що називається тяговою характеристикою електромагніту?
7. Якими напругами визначається перехідний процес в електромагніті?
8. Виведення виразу для тягового зусилля.
9. Чим пояснюються сплески на кривих перехідного процесу?

Література

1. Віхрова Л.Г. Виконавчі пристрої систем автоматики. Навчальний посібник.- Кіровоград: КНТУ, 2004.-145с.
2. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації : навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
3. Кондратець В.О., Віхрова Л.Г. та ін. Дискретні пристрої автоматики. Навчальний посібник- Кіровоград:КНТУ, 2004.-216с
4. Мащенко Т.Г. Елементи і пристрої автоматики і систем керування. Учбовий посібник.- Х.: НТУ ХПІ, 2006.-192 с.
5. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 366 с.
6. Промислові засоби автоматизації. Ч.1. Вимірювальні пристрої: навчальний посібник/ А.К.Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін.; Х.: НТУ«ХПІ», 2001. - 470с.
7. Промислові засоби автоматизації. Ч.2. Регулюючі і виконавчі пристрої: навчальний посібник/ А.К.Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін.; Х.: НТУ«ХПІ», 2001. - 658с.

Навчально-методичне видання

Технічні засоби автоматики

Частина I

Методичні рекомендації

до виконання практичних робіт для студентів

денної та заочної форми навчання спеціальності:

**174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робото-
техніка**

Укладачі: *Л.Г. Віхрова*

М. С. Мірошніченко

О. П. Голик