



Міністерство освіти і науки України
Національний університет
водного господарства та
природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра автоматизації, електротехнічних
та комп'ютерно-інтегрованих технологій

04-03-108

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни «Основи автоматизації гірничого виробництва»
студентами напряму підготовки 6.050301 «Гірництво»



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Рекомендовано методичною комісією
за напрямом підготовки 6.050301
«Гірництво» Протокол № 9 від
27.03.2014 р.

РІВНЕ -2014

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни
“Основи автоматизації гірничого виробництва” студентами напряму
підготовки 6.050301 “Гірництво” / Р.В. Жомирук – Рівне: НУВГП, 2014 –
46 с.

Упорядник: Р.В. Жомирук, к.т.н., доцент кафедри автоматизації,
електротехнічних та комп’ютерно-інтегрованих технологій

Відповідальний за випуск: В.В. Древецький, д.т.н., професор, завідувач
кафедри автоматизації, електротехнічних та комп’ютерно-інтегрованих
технологій



Національний університет
водного господарства
та природокористування

©Жомирук Р.В., 2014
© НУВГП, 2014



Література	2
1. Дослідження давачів	3
2. Дослідження підсилювачів	13
3. Дослідження перехідних характеристик елементарних ланок	21
4. Дослідження роботи виконавчих механізмів	32

Література:

1. Родионов В.Д., Терехов В.А., Яковлев В.Б. Технические средства АСУ ТП: учеб. пособие для вузов по спец. «Автоматизация и управление в технических системах». М.: Высш. шк., 1989. -263с.
2. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры: Учебное пособие. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. 180 с.
3. Жужжалов В.Е., Солдатов В.В., Маклаков В.В., Жиров М.В. Технические средства автоматизации. Учебно-практическое пособие. – М.: МГУТУ, 2004.
4. Жомирук Р.В., Маланчук Є.З. Основи автоматизації гірничого виробництва: Навч. Посібник. – Рівне: НУВГП, 2009. – 373 с.
5. Клюев А.С., Минаев. Наладка систем контроля и автоматического регулирования. – Л.: Стройиздат, 1980. – 280 с.

РОБОТА 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ДАВАЧІВ

1.1. Мета роботи

Вивчити будову, принципи дії і основні характеристики давачів (перетворювачів), які широко використовуються в системах автоматизації виробничих процесів в гірництві. Навчитись визначати їх похибки.

1.2. Основні теоретичні положення

Давачем (перетворювачем) називається частина вимірювальної системи, що здійснює перетворення вимірювальної величини в уніфікований вихідний сигнал.

За видом вихідної величини первинного вимірювального перетворювача перетворювачі поділяються на генераторні і параметричні.

У генераторних перетворювачах відбувається безпосереднє перетворення вимірюваної величини (температури, світлового потоку, швидкості руху рідини й інших фізичних величин) в електричний або інший сигнал вимірювальної інформації. Найчастіше вихідним сигналом є електрорушійна сила.

У параметричних перетворювачах вимірювана величина (температура, рівень, тиск і ін.) викликає зміну деякого параметра (електричного опору, індуктивності, ємності й ін.), що потім перетворюється в сигнал вимірювальної інформації. Тому параметричні перетворювачі складаються з трьох і більшого числа перетворюючих елементів.

Найбільше широке застосування в автоматичних системах знайшли вимірювальні перетворювачі, у яких вимірювана величина спочатку перетворюється в механічне переміщення, а потім за допомогою декількох елементів в електричний сигнал.

Функціональна залежність вихідної величини від вхідної $y=f(x)$, яка задається аналітичним виразом або графіком, називається статичною характеристикою перетворювача. Для вимірювальних перетворювачів, що застосовуються у системах автоматичного керування, статична характеристика повинна бути лінійною, тобто $y=Sx$, де $S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ - чутливість перетворювача, рівна відношенню

зміни сигналу на виході до зміни вхідної вимірюваної величини.

Реостатний (потенціометричний) перетворювач представляє собою реостат, повзунком якого переміщується під дією вимірюваної величини. Вхідною величиною перетворювача є переміщення повзунка, а вихідною – опір, який перетворюється вимірювальною схемою в напругу. Оскільки в переміщення можуть бути перетворені за допомогою механічних пружних елементів багато неелектричних величини, то реостатні перетворювачі використовують також для вимірювання тиску, рівня, витрати, сили тощо.

Реостатні перетворювачі виготовляють із дроту, намотаного на каркас, і у виді реохорда. Як матеріал дроту використовують манганін, константан і інші матеріали, що мають високий питомий опір. Каркаси виготовляють із ізоляційних матеріалів у виді пластин, циліндрів, кілець тощо. Схема найпростішого перетворювача з рівномірною намоткою дроту наведена на рис.

1.1 а.

При $R_H = \infty$ напруга U_0 розподіляється рівномірно по довжині реостата і вихідний сигнал перетворювача

$$U_{\text{вих}} = \frac{U_0}{l} x = kx, \quad /1.1/$$

де $k = U_0/l$ – коефіцієнт перетворювача; x – переміщення повзунка.

Рівняння /1.1/ показує, що характеристика перетворювача - лінійна функція.

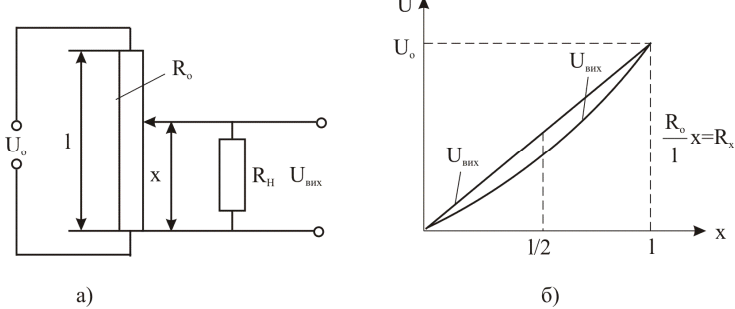


Рис. 1.1. Електрична схема (а) і характеристики (б) реостатного перетворювача.

При підключенні до виходу перетворювача навантаження R_H спад напруги уздовж реостата буде нерівномірним, тому що паралельно опорів $R_x = \frac{R_0}{l} x$ підключається опір R_H . У цьому випадку еквівалентний опір кола

$$R_e = R_0 - R_x + R_x R_H / (R_x + R_H), \quad /1.2/$$

де R_0 — повний опір реостата.

Вихідний сигнал перетворювача з врахуванням шунтуючої дії навантаження

$$U_{\text{вих}}^* = I \frac{R_x R_H}{R_x + R_H} = \frac{U_0}{R_e} \frac{R_x R_H}{R_x + R_H}. \quad /1.3/$$

Підставивши у вираз /1.3/ значення R_e із рівняння /1.2/ і позначивши $R_0 / R_H = a$, одержимо

$$U_{\text{вих}}^* = \frac{U_0 x}{l + ax - \frac{ax^2}{l}}. \quad /1.4/$$

З рівняння /1.4/ випливає, що з врахуванням навантаження характеристика перетворювача нелінійна. Для зручності аналізу рівняння /1.4/ перетворимо до виду

$$U_{\text{вих}}^* = kx(1 - \delta), \quad /1.5/$$

де $\delta = \left(ax - \frac{a}{l} x^2 \right) / \left(l + ax - \frac{a}{l} x^2 \right)$ – похибка, яка зумовлена впливом навантаження.

Щоб визначити при якому значенні вхідного сигналу x похибка δ досягає максимуму, відшукаємо похідну $d\delta/dx$ і прирівняємо її до нуля. У результаті

знайдемо, що δ досягає максимального значення δ_{\max} при $x=l/2$. Підставляючи в вираз для δ $x=l/2$, одержимо

$$\delta_{\max} = \alpha / (4 + \alpha) \quad /1.6/$$

З рівняння /1.6/ випливає, що при $\alpha=0,04$ максимальне відхилення $U_{\text{вих}}^*$ від лінійної залежності /1.1/ не перевищує 1%. Тому характеристику реостатного перетворювача при $\alpha > 0,04$ (або $R_{\mu} > 25 R_0$) можна вважати лінійною і користуватися залежністю /1.1/, тому що основна похибка перетворювача не перевищує 1%. Характеристики реостатного перетворювача, побудовані за рівняннями /1.1/ і /1.4/, наведені на рис. 1.1,б.

Зона нечутливості перетворювача дорівнює діаметрові дроту, тому що мінімальна зміна вихідної напруги не може бути меншою спаду напруги на одному витку реостата.

Основний недолік реостатних перетворювачів — ковзний контакт, перехідний опір якого вносить додаткову похибку і знижує надійність.

Індуктивні перетворювачі. Принцип роботи індуктивних перетворювачів базується на зміні індуктивності або взаєміндуктивності котушки зі сталевим осердям при зміні повітряного проміжку, спричиненого переміщенням рухливої частини магнітопровода під впливом вимірюваної величини.

На рис. 1.2,а показана схема двотактного індуктивного перетворювача, вхідний сигнал якого x — переміщення якоря відносно середнього положення, а вихідний — напруга $U_{\text{вих}}$.

Якщо знехтувати магнітним опором сталевого осердя, який значно менший магнітного опору повітряних проміжків, і активним опором

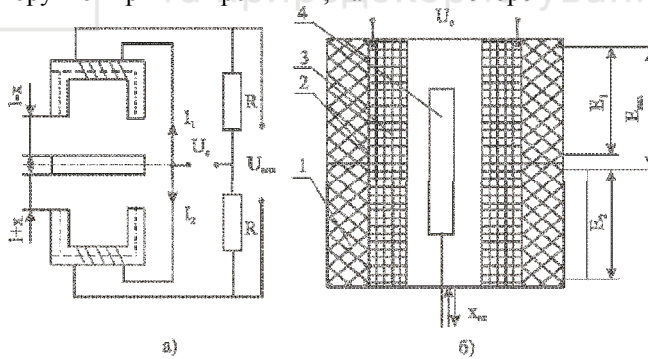


Рис. 1.2. Схеми індуктивних перетворювачів: а — зі змінним повітряним проміжком; б — трансформаторного.

котушки, то струм у котушці можна вважати пропорційним величині повітряного проміжку:

$$I = k\delta, \quad /1.7/$$

де $k = \frac{U \cdot 10^7}{0,2\pi\omega W^2 S}$, δ — величина повітряного зазору; U — напруга, прикладена до

котушки; ω — частота змінного струму; W — число витків котушки; S — площа поперечного перерізу сталевго осердя.

При переміщенні якоря, наприклад, вгору на величину x відносно середнього положення зміняться величини повітряних проміжків і згідно з формулою /1.7/ зміняться і струми в котушках, а саме:

$I_1 = k(l - x)$ і $I_2 = k(l + x)$. Струми I_1 і I_2 зумовлять розбаланс моста і вихідна напруга

$$U_{вих} = I_1 R - I_2 R = 2kRx. \quad /1.8/$$

При переміщенні якоря вниз вихідна напруга також буде визначитися рівнянням /1.8/, але фаза її зміниться на 180° .

Перетворювачі зі змінними повітряними проміжками використовують для вимірювання переміщень від декількох мікронів до декількох міліметрів. Для вимірювання великих переміщень використовують трансформаторні перетворювачі, робота яких побудована на зміні взаємоіндуктивності двох котушок.

На рис.1.2,б показана схема перетворювача, що має одну первинну 3 і дві вторинні (1 і 2) обмотки. Вхідною величиною перетворювача є переміщення осердя, а вихідною - різниця е.р.с. вторинних обмоток.

Якщо осердя знаходиться в середнім положенні, то у вторинних обмотках індукуються е.р.с., рівні за величиною. Оскільки обмотки 1 і 2 з'єднані зустрічно, то $E_{вих} = E_1 - E_2 = 0$. При переміщенні осердя 4 (наприклад, вгору) E_1 збільшується, а E_2 зменшується внаслідок зміни магнітних потоків, які зв'язані з вторинними обмотками, і

$$E_{вих} = E_1 - E_2 = kx, \quad /1.9/$$

де k – коефіцієнт пропорційності.

Рівняння /1.9/ справедливе, якщо напруга живлення вибрана з умови роботи перетворювача на лінійній частині кривої намагнічування для всіх значень x . Позитивною якістю трансформаторного перетворювача є відсутність електричного зв'язку між джерелом живлення і вихідним сигналом.

Крім розглянутих, існує багато інших конструкцій індуктивних перетворювачів. Серед перетворювачів переміщень індуктивні найбільш чутливі, прості за будовою, надійні в роботі і тому їх найчастіше використовують у вимірювальних пристроях. Абсолютна похибка окремих конструкцій перетворювачів складає всього 0,2 мкм.

Термоелектричні перетворювачі. Принцип їх дії оснований на явищі термоелектричного ефекту, що полягає у виникненні термоелектрорушійної сили (термо - е.р.с.) у ланцюзі, що складається з двох різних провідників A і B , якщо температури t_1 і t_2 на їх кінцях різні (рис. 1.3.).

Представлений на рис.1. ланцюг називається термопарою; провідники, що складають термопару, називаються термоелектродами, а місця їх з'єднань - спаями.

Виникаюча термо-е.р.с. являє собою різницю функцій температур спаїв:

$$E_{ab} = f_1(t_1) - f_2(t_2).$$

При сталій температурі одного спаю ($t_2 = const$)

$$E_{ab} = f_1(t_1) - C. \quad /1.10/$$

Залежність /1/ використовують для вимірювання температури. Її знімають

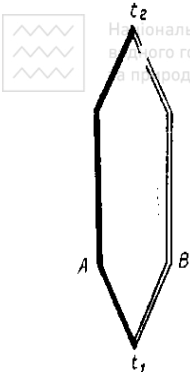


Рис. 2.3. Схема термоелектричного перетворювача.

експериментально і задають у виді градувальної таблиці, складеної для температури холодних кінців термопари $t_2=0^{\circ}\text{C}$.

Щоб отримати великі значення термо-е.р.с. для виготовлення термопар, використовують в основному спеціальні сплави, наприклад, платинородій (10% родію) - платина, хромель - копель (56% міді і 44% нікелю) і ін.

Термопари із благородних металів мають більш високу точність у порівнянні з термопарами з неблагородних металів. Електроди термопар із благородних металів виготовляють із дроту діаметром 0,5 мм, а із неблагородних — діаметром 3,5 мм.

Для захисту від зовнішніх впливів (механічних, хімічних і ін.) електроди, ізольовані порцеляновим намистом, поміщують у захисну арматуру у виді циліндра зі спеціальної сталі. Однак вона створює додаткову інерційність, що обмежує застосування даних термопар для дослідження динаміки теплових процесів.

Для дослідження теплових процесів, що швидко змінюються випускають малоінерційні термопари, у яких ε_{∞} складає 5...20 с.

Терморезисторні перетворювачі. Принцип дії перетворювачів оснований на залежності електричного опору провідників або напівпровідників від температури.

У залежності від ступеня нагрівання терморезистора електричним струмом, що протікає через його, терморезистори поділяються на перегріті і без нагрівання. У перетворювачах без нагрівання струм, що протікає через терморезистор, практично не викликає помітного нагрівання (допускається зміна опору за рахунок нагрівання не більш 0,1% початкового значення). Такі перетворювачі застосовують для вимірювання температури. У перегрітих перетворювачах електричний струм спеціально викликає нагрівання, яке залежить від теплообміну з навколишнім середовищем. У цьому режимі терморезистори використовують для вимірювання швидкості, щільності і складу рідкого або газоподібного середовища.

Для вимірювання температури досить широко застосовують терморезистори, виконані з платинового і мідного дротів, рідше - вольфрамові і нікелеві терморезистори.

Платинові терморезистори використовують для вимірювання температури в межах - 260 ...+1100 $^{\circ}\text{C}$, мідні - 200... + 200 $^{\circ}\text{C}$.

У платинових перетворювачах дріт без ізоляції намотують на каркас зі слюди або кераміки. У мідних терморезисторах застосовують безкаркасну обмотку з ізольованого дроту, зверху покритого фторопластовою плівкою. Для забезпечення необхідної механічної міцності як платинові, так і мідні чутливі елементи вставляють у тонкостінні металеві гільзи, засипають керамічним порошком з високою теплопровідністю і герметизують.

Показник теплової інерції терморезисторів ε_{∞} знаходиться в межах від декількох десятків секунд до декількох хвилин.

Якщо необхідно вимірювати температуру, що швидко змінюється, то застосовують мініатюрні терморезистори, чутливим елементом у яких є платинова плівка, нанесена на керамічну пластинку товщиною 1...2 мм. Такі терморезистори використовують також для вимірювання температурного градієнта і мають чутливість $(1...5) \cdot 10^{-5}$ К/м.

Залежність електричного опору від температури платинового терморезистора нелінійна. Для мідного вона має вигляд прямої лінії (рис. 1.4, пряма 1) і виражається формулою

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad /1.11/$$

де $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$ К/м — температурний коефіцієнт опору; R_0 — опір при 0°C .

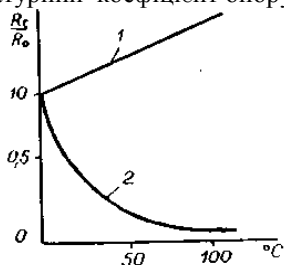


Рис. 1.4. Залежності електричного опору від температури: 1 — мідного провідника; 2 — напівпровідника.

Температуру вимірюють також напівпровідниковими терморезисторами, які у порівнянні з металевими мають менші розміри і великі значення температурного коефіцієнта опору.

Залежність опору напівпровідникового перетворювача від температури (рис. 1.4, крива 2) досить добре описується формулою

$$R_T = R_0 \exp[B(1/T - 1/T_0)], \quad /1.12/$$

де B - стала, яка має розмірність часу і яка визначає температурну чутливість; R_T , R_0 - опори терморезистора, що відповідають температурам T і T_0 .

Коли для даного терморезистора стала B невідома, то її обчислюють за формулою

$$B = T_1 T_2 / (T_1 - T_2) \cdot \ln R_1 R_2, \quad /1.13/$$

де R_1 і R_2 — опори при температурах T_1 і T_2 .

Конструктивно напівпровідникові терморезистори виготовляють у виді стрижнів, покритих емалевою фарбою, таблеток і бусинок, оплавлених склом, капсул з металевою оболонкою і т.п. Вони можуть працювати в діапазоні температур - $60... +120^\circ\text{C}$.

Основним недоліком напівпровідникових перетворювачів, що обмежує область їхнього застосування, є нелінійна характеристика і значний розкид від зразка до зразка як номінального опору, так і сталої B .

Для одержання сигналу виміральної інформації опір терморезистора за допомогою моста перетворюється в напругу. Як вимірвальні прилади при вимірюванні температури за допомогою терморезисторів найчастіше використовують логметри з безпосереднім відліком температури за шкалою.

Крім терморезисторів, для вимірювання температури усе більш широко застосовують термодіоди і термотранзистори, що дозволяє перетворювати температуру не тільки в напругу, але і в частоту змінного струму. Основними їхніми перевагами є малі габарити і можливість взаємозаміни.

Ємнісні перетворювачі. Вони являють собою електричні конденсатори, ємність яких змінюється під дією вимірюваної величини (відстані між обкладками або діелектричної проникності середовища, що знаходиться між ними). Ємність перетворювача

$$C = \varepsilon S / \delta, \quad /1.14/$$

де ε — діелектрична проникність середовища, що знаходиться між обкладками конденсатора; S, δ - відповідно площа обкладок і відстань між ними.

З /1.14/ випливає, що вхідними величинами можуть бути переміщення або діелектрична проникність речовини, а вихідною - ємність. Тому ємнісні перетворювачі застосовують для вимірювання механічних переміщень і зв'язаних з ними величин (тиску, прискорення, сили, вібрації тощо), а також для вимірювання складу середовищ з різними значеннями ε (наприклад, рівня рідини, вологості ґрунту тощо).

Конструктивно ємнісні перетворювачі виготовляють плоско-паралельними і коаксіальними. На рис. 1.5,а зображена конструктивна схема перетворювача для вимірювання малих (0,001 ... 1,0 мм) переміщень. Обкладка 1 закріплена на пружинах 2 і може переміщуватися поступально під дією вимірюваної величини $x_{\text{вх}}$. Обкладка 3 нерухома. Коаксіальний перетворювач для вимірювання рівня діелектричних рідин (рис. 1.5,б) являє собою циліндричний конденсатор, обкладками якого є стрижень 1 і циліндр 2. Тому що діелектрична проникність рідини значно більша діелектричної проникності повітря, то при зміні рівня змінюється сумарна ємність перетворювача.

Якщо між обкладками конденсатора помістити вологий матеріал, наприклад, ґрунт, то ємність конденсатора буде залежати від вологості. Цю залежність використовують для вимірювання вологості.

Ємнісні перетворювачі практично безінерційні і їх широко застосовують для вимірювання швидкозмінних величин, наприклад, для вимірювання рівня води.

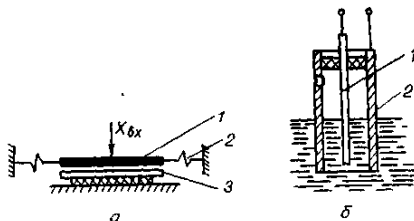


Рис. 1.5. Схеми ємнісних перетворювачів: а — плоского; б — коаксіального.

Для вимірювання ємності цих перетворювачів найчастіше використовують мости змінного струму.

Тензорезисторні перетворювачі. Принцип роботи цих перетворювачів оснований на зміні електричного опору провідників і напівпровідників при їх механічній деформації.

Провідникові тензорезистори поділяються на дротові і фольгові. Дротовий тензорезистор (рис. 1.6, а) являє собою покладений петлеподібно між двома електроізоляційними гнучкими підкладками 1 дріт 2 з константану діаметром 0,01...0,05 мм. До кінців дроту припаяні вихідні кінці 3. Фольгові тензорезистори (рис. 1.6,б) мають вид ґрат зі стрічки товщиною 0,04—0,012 мм, що закріплюється між плівками з лаку.

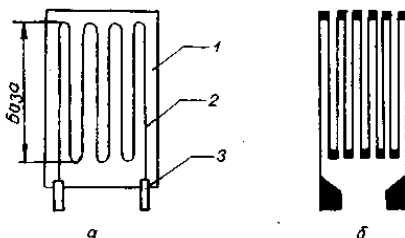


Рис. 1.6. Принципові схеми тензорезисторних перетворювачів: а — дротового; б — фольгового.

Напівпровідникові тензорезистори являють собою тонку (до 0,01 мм) пластинку з германія або кремнію, до кінців якої спеціальним методом кріпляться вивідні провідники.

Тензорезистори спеціальним клеєм наклеюються на поверхню випробовуваної деталі або арматури так, щоб напрямок їхньої бази збігався з напрямком очікуваної деформації. Сприймані тензорезистором деформації змінюють розміри чутливого елемента і його питомий опір.

Основною характеристикою перетворювача є коефіцієнт відносної чутливості, який дорівнює відношенню відносної зміни опору до відносної зміни довжини провідника:

$$S = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} \quad /1.15/$$

Тому що деформація тензорезистора і досліджуваної деталі однакова, то /1.15/ можна звести до виду

$$\frac{\Delta R}{R} = S \frac{\Delta l}{l} = S \frac{\sigma}{E}, \quad /1.15/$$

де σ — механічна напруга в місці наклейки тензорезистора; E — модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі.

Для перетворення опору тензорезистора в електричний сигнал використовують схему незрівноваженого моста з вихідним сигналом у виді електричного струму.

Тензорезистори застосовують також для вимірювання механічних величин, які можна претворити у деформацію пружного елемента. У цьому випадку перетворювачі градуують у вимірюваній величині і похибка вимірювання складає 0,5...0,05%.

1.3. Програма роботи

1. Вивчити конструкцію і принцип дії потенціометричного, індуктивного і трансформаторного перетворювачів.

2. Зняти характеристики потенціометричного давача без навантаження ($R_H = \infty$) і при навантаженні ($R_H = 10 \cdot R_0$). Порівнюючи одержані характеристики, визначити максимальну похибку, що спричинена впливом навантаження.

3. Зняти характеристику двотактного індуктивного давача і вирахувати коефіцієнт пропорційності між вхідною і вихідною величинами.

4. Зняти характеристику трансформаторного давача. Вивчити вплив напруги живлення на спотворення форми кривої вихідної напруги.

5. Вивчити методику двійкового кодування.

1.4. Опис лабораторної установки

Установка представляє собою стенд, на якому змонтовані джерела живлення, досліджувані давачі з пристроями зміни вхідних сигналів і вимірювальні прилади.

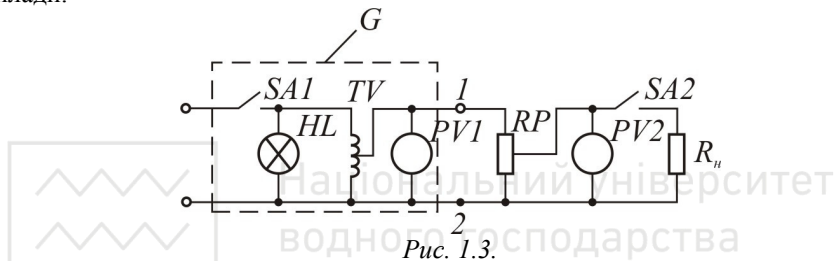


Рис. 1.3.

Як регульоване джерело живлення G використовується автотрансформатор, вихідну напругу якого вимірюють за допомогою вольтметра $PV1$. Вмикання G у мережу контролюється неонову лампочкою HL . На рис. 1.3, показано, що до джерела G підключено круговий потенціометричний давач RP , вхідною величиною якого є кут повороту повзуна. Вольтметр $PV2$ і навантажувальний опір R_H підключені до виходу потенціометра.

Індуктивний давач (рис. 1.4), вихідну напругу якого можна міряти вольтметром $PV2$ і спостерігати на екрані осцилографа EO , живиться від джерела G . Переміщення якоря здійснюють за допомогою двох гвинтів з показчиками.

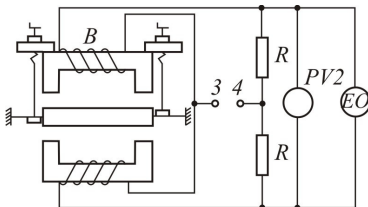


Рис. 1.4.

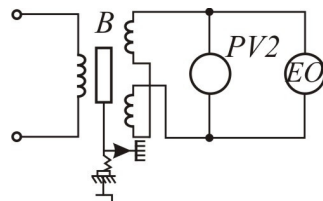


Рис. 1.5.

Електрична схема трансформаторного давача B з підключеними вимірювальними приладами показана на рис. 1.5. Переміщення залізного осердя здійснюють за допомогою гвинта з показчиком.

1.5. Порядок виконання роботи

1. Вивчаючи конструкції давачів, необхідно уточнити принцип їх дії, сферу використання і випробувати способи зміни вхідних впливів.

2. Щоб зняти характеристику потенціометричного давача $U = f(\alpha)$, збирають електричну схему (рис. 1.3). Потім ручку автотрансформатора TV переводять в нульове положення і при $a = 0$ вмикачем $SA1$ вмикають живлення. Повертаючи ручку автотрансформатора TV , встановлюють на потенціометрі RP напругу, яка вказана на потенціометрі. Через кожні десять градусів кута повороту давача записують покази вольметра $PV2$ при вимкненому і включеному опорі R_n . Під час досліду необхідно слідкувати, щоб вольметр $PV1$ весь час показував напругу, щоб була встановлена на початку досліду.

На підставі одержаних даних будують характеристики $U = f(\alpha)$ і визначають при якому α має місце максимальна похибка. За формулою (1.7) вираховують δ_{\max} і порівнюють результати розрахунку і експерименту

Характеристику індуктивного давача знімають у такій послідовності. До виходу давача підмикають вольметр $PV2$ і електронний осцилограф EO (рис. 1.4). На клемі 3-4 подають вказане на стенді значення напруги від джерела G . Якір давача переводять у нижнє положення. Переміщуючи якір вгору, через кожні півоберта гвинтів записують значення вихідної напруги. За вказаною на стенді величиною кроку гвинта перераховують оберти у лінійне переміщення. При знятті характеристики на екрані осцилографа спостерігають форму кривої напруги: вона не повинна змінюватись тому що давач повинен працювати на лінійній частині кривої намагнічування. За характеристикою $U_{\text{вд}} = f(x)$ визначають коефіцієнт пропорційності.

3. Характеристики трансформаторного давача (рис. 1.5) знімають у тій же послідовності, що і характеристики індуктивного. Описаними вище способом досліджують вплив кривої намагнічування на форму вихідного сигналу.

1.6. Контрольні запитання

1. Які пристрої автоматики називаються давачами?
2. Як впливає на характеристику потенціометричного давача зовнішній опір?
3. Де використовуються тензодавачі?
4. У чому відміна температурних характеристик металевих терморезисторів від напівпровідникових?
5. Які основні недоліки напівпровідникових терморезисторів?
6. Поясніть принцип дії індуктивного перетворювача?
7. Яка роль осердя в трансформаторному давачі?
8. З якою метою використовують ємнісні давачі? Обґрунтуйте.
9. Яка відмінність в конструкції ємнісних перетворювачів при вимірюванні рівня електропровідних і неелектропровідних середовищ?

РОБОТА 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧІВ

2.1. Мета роботи

Вивчити будову і принцип дії напівпровідникових і релейних підсилювачів. Навчитись знімати їх характеристики і досліджувати вплив зворотного зв'язку на роботу підсилювачів.

2.2. Основні теоретичні положення

Потужність сигналів, які формують задаючі пристрої або елементи порівняння, часто недостатня для керування виконавчими механізмами. Для їх підсилення використовують *підсилювачі*, що здійснюють кількісне перетворення вхідного сигналу. В будь-якому підсилювачі вхідна і вихідна величини мають однакову фізичну природу і підсилення відбувається за рахунок того, що вхідний сигнал керує передачею енергії від джерела живлення до виходу підсилювача.

Основними показниками, що характеризують роботу підсилювачів, є коефіцієнт підсилення, межі зміни вхідного і вихідного сигналів, к.к.д. і спотворення. Коефіцієнтом підсилення називається відношення величини вихідного сигналу до вхідного. Спотворення підсилювача являє собою зміну форми вихідного сигналу у порівнянні з формою вхідного сигналу і може бути зумовлене нелінійністю статичної характеристики підсилювача і його інерційністю.

В системах автоматизації технологічних процесів в гідромеліорації найбільше широко застосовують напівпровідникові, релейні і гідравлічні підсилювачі.

Напівпровідникові підсилювачі. Дані підсилювачі відрізняються високим коефіцієнтом підсилення ($10^3 \dots 10^6$), великим терміном служби (більш 100000 год), малою інерційністю (стала часу $10^{-3} \dots 10^{-6}$ с), економічністю, невеликими розмірами і масою, високою чутливістю (пороги чутливості за струмом $10^{-12} \dots 10^{-13}$ А і за напругою $10^{-5} \dots 10^{-6}$ В) і іншими якостями. Потужність напівпровідникових підсилювачів складає від долей вата до десятків кіловат.

Як підсилюючі елементи використовують біполярні і польові транзистори. У підсилювачах на біполярних транзисторах застосовують транзистори *p-n-p* і *n-p-n* типів. На рис. 2.1 представлені три схеми включення транзистора типу *p-n-p*. Якщо в них поміняти знаки напруг і напрямки струмів на зворотні, то одержимо схеми включення транзистора типу *n-p-n*.

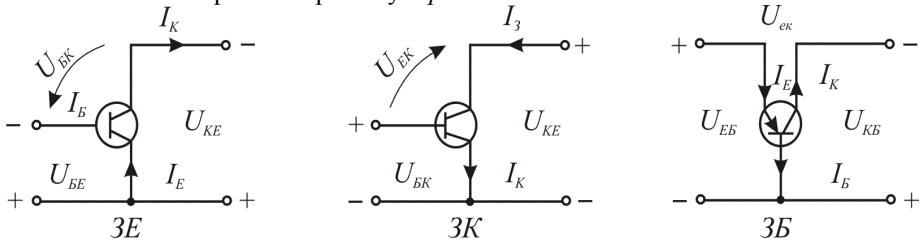


Рис. 2.1. Схеми включення транзисторів типу *p-n-p*: 3Е – із загальним емітером; 3К – з загальним колектором; 3Б – із загальною базою.

Напруги і струми транзистора зв'язані співвідношеннями

$$U_{ке} = U_{ке} + U_{ке}; I_e = I_{к} + I_{б}. \quad /2.1/$$

Відношення $\alpha_{cm} = I_{к} / I_e$ називається статичним коефіцієнтом передачі струму від емітера до колектора. Воно складає 0,95... 0,99 і більш. Відношення $\beta_{cm} = I_{к} / I_{б} = \alpha_{cm} / (1 - \alpha_{cm})$ називається статичним коефіцієнтом передачі струму від бази до колектора. У схемі з загальним емітером β_{cm} знаходиться в межах 20...100. Чим вище α_{cm} і β_{cm} тим якісніший транзистор з погляду його підсилюючих властивостей.

Напруга $U_{бе}$ значно менша напруг $U_{кб}$ і $U_{ке}$, тому що $U_{бе}$ прикладається до відкритого $p-n$ -переходу. Для германія вона складає 0,2...0,5 В, а для кремнію – 0,8...1,0 В. Напруги $U_{ке}$ і $U_{бк}$ прикладається до закритого $p-n$ -переходу і тому можуть досягати десятків і сотень вольт.

З представлених на рис. 2.1 схем із загальним емітером (ЗЕ), загальним колектором (ЗК) і загальною базою (ЗБ) найчастіше використовується схема з ЗЕ, тому що вона забезпечує найбільше підсилення за потужністю. Коефіцієнти підсилення за струмом і напругою в ній більше одиниці. Для схеми з ЗБ коефіцієнти підсилення за струмом менше, а за напругою більше одиниці. Тому дану схему використовують для підсилення напруги. Схема з ЗК має коефіцієнт підсилення за напругою, близький до одиниці, а за струмом - значно більше одиниці. Цю схему називають емітерним повторювачем і вона застосовується для підсилення потужності.

Роботу напівпровідникового підсилювача на біполярних транзисторах розглянемо на прикладі одного каскаду підсилення (рис. 2.2,а)

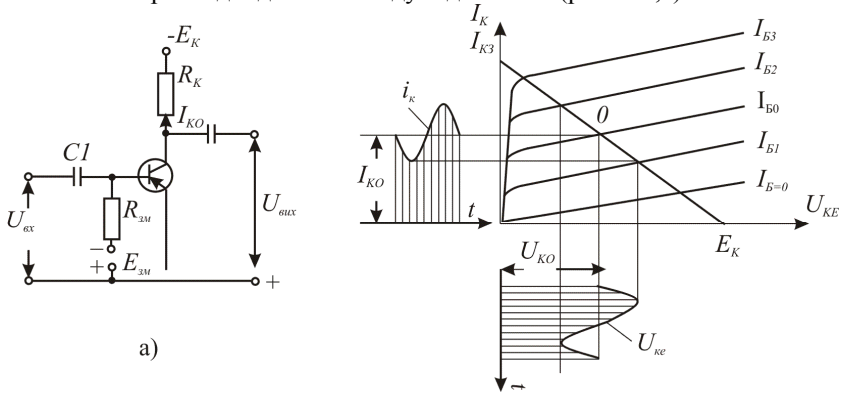


Рис. 2.2. Схема вхідного каскаду напівпровідникового підсилювача на біполярному транзисторі (а) і його характеристики (б).

У вхідному колі транзистора включена напруга постійного зміщення $U_{эм}$ і вхідний сигнал. При $U_{вх} = 0$ в колі бази протікає струм $I_{б0}$, що викликає

часткове відкриття транзистора і протікання в колі колектора струму $I_{к0}$. Струми $I_{б0}$ і $I_{к0}$ називаються початковими і їх значення задається опором зміщення $R_{зм}$.

На рис. 2.2,б наведені залежності $I_{к} = f(U_{ке})$ для декількох значень струму $I_{б}$, навантажувальна характеристика і часові діаграми, які пояснюють роботу каскаду підсилення. При подачі на вхід змінної напруги $U_{вх}$ струм бази змінюється. У додатний напівперіод струм бази зменшується від $I_{б0}$ до $I_{б1}$, струм колектора також зменшується, що призводить до росту напруги $U_{ке} = E_{к} - I_{к}R_{к}$, де $R_{к}$ - опір у колі колектора. В відємний напівперіод струм $I_{б}$ змінюється від $I_{б0}$ до $I_{б2}$ і $U_{ке}$ знижується. У результаті напруга $U_{ке}$ має сталу і змінну складові. Змінна складова $U_{вих}$, через ємність C_2 поступає на вихід. Відношення амплітуди $U_{вих}$ до амплітуди $U_{вх}$ дорівнює коефіцієнтові підсилення за напругою. Фаза $U_{вих}$ зміщується щодо фази $U_{вх}$ на 180° .

Ємність C_1 на вході підсилювача служить для того, щоб стала складова струму від джерела живлення $E_{к}$ не протікала через джерело вхідного сигналу.

Якщо початкову точку 0 змістити або збільшити амплітуду вхідного сигналу, то через нелінійність характеристик транзистора форма вихідної напруги спотворюється і порушується пропорційність між $U_{вх}$ і $U_{вих}$.

Підсилюючі каскади на біполярних транзисторах керуються струмом і мають низький вхідний опір, що ускладнює узгодження їх роботи з високоомними джерелами вхідних сигналів. Високий вхідний опір мають польові транзистори, керовані електричним полем, яке створює вхідна напруга. Дія вхідного сигналу $U_{вх}$, прикладеного до затвора, полягає в зміні електричного опору струмопровідного каналу, а отже, і струму в колі стоку. При $U_{вх} = 0$ опір струмопровідного каналу найменший.

Як і біполярні, польові транзистори можуть вмикатися трьома способами: за схемою з загальним витоком, з загальним стоком, і з загальним затвором. Найбільш часто застосовують схему з загальним витоком (рис. 2.3).

Особливістю підсилюючого каскаду на базі польового транзистора є те, що початкове від'ємне зміщення на затворі щодо витоку створюється опором R_g . Ємність C_g , через яку протікає змінна складова струму витоку, стабілізує зміщення при $U_{вх} = 0$. Опір R_s у колі затвора, приблизно рівний 1 МОм, забезпечує гальванічний зв'язок із джерелом живлення і стабілізує вхідний опір транзистора. Зі стокового резистора R_c через розділюючу ємність знімається вихідна напруга $U_{вих}$.

З ростом на затворі від'ємного потенціалу збільшується опір струмопровідного каналу і струм витоку I_g зменшується. Тому при від'ємному напівперіоді $U_{вх}$ струм I_g зменшується і $U_{вих}$ збільшується. При додатному напівперіоді струм I_g зростає, а $U_{вих}$ зменшується. При цьому напруга $U_{вих}$ зміщується відносно $U_{вх}$ на кут 180° .

Параметри польових і біполярних транзисторів залежать від температури. Щоб зменшити вплив температури на роботу напівпровідникових підсилювачів,

використовують від'ємні зворотні зв'язки і вводять температурну компенсацію за допомогою терморезисторів.

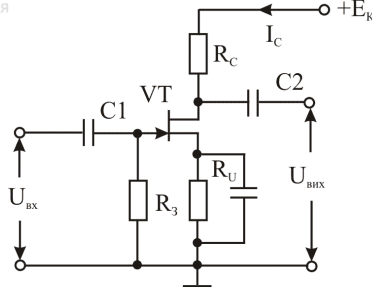
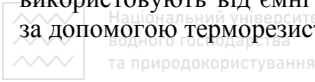


Рис. 2.3. Схема одного каскаду напівпровідникового підсилювача на польовому транзисторі.

Поєднання каскадів, виконаних на польових і біполярних транзисторах, дозволяє створювати підсилювачі з високим входним опором і високою вихідною потужністю, що розширює застосування напівпровідникових підсилювачів в різних пристроях автоматики і вимірювальної техніки.

У більшості випадків схема підсилювача складається з декількох каскадів (рис. 2.4). Перший каскад здійснює узгодження роботи підсилювача з джерелом вхідного сигналу. Найбільший ефект підсилення досягається при рівності внутрішнього опору джерела вхідного сигналу і вхідного опору першого каскаду. Проміжні каскади підсилюють $U_{вих}$ до значення, необхідного для роботи вихідного каскаду, у якому відбувається підсилення потужності до заданого значення.

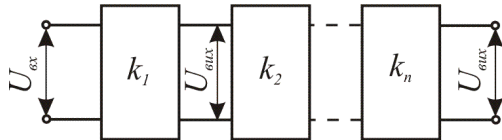


Рис. 2.4. Структурна схема підсилювача.

У підсилювачах постійного струму з'єднання каскадів здійснюється за допомогою резисторів, у підсилювачах змінного струму – за допомогою розділяючих елементів – конденсаторів або трансформаторів. При послідовному з'єднанні каскадів коефіцієнт підсилення підсилювача $k = k_1 \cdot k_2 \dots k_n$, де k_1, k_2, \dots, k_n – коефіцієнти підсилення каскадів.

Релейні підсилювачі. В позиційних системах керування для перетворення безперервних сигналів у дискретні застосовуються релейні підсилювачі. Для них характерним є те, що при досягненні вхідним сигналом заданого значення вихідний сигнал змінюється стрибком. Як релейні елементи переважно використовують електромагнітні реле, герметизовані контакти (геркони) і перемикаючі напівпровідникові схеми.

Електромагнітне реле з поворотним якорем (рис. 2.5, а) працює у такий спосіб. При протіканні в обмотці I струму керування I_k виникає магнітний потік,

що замикається через осердя 2, магнітопровід 3, якір 4 і повітряний проміжок між якорем і осердям. Утворена магнітним потоком електромагнітна сила притягання зумовлює спрацювання реле і його розмикаючий контакт 6 розмикається, а замикаючий контакт 7 замикається. Відпускання реле відбувається під дією пружини 5.

Із статичної характеристики (рис. 2.5, б) випливає, що при $I_k = I_{сп}$ відбувається замикання контактів 7 і вихідний сигнал стрибком досягає граничного значення. Подальше зростання струму I_k не викликає зміни вихідного сигналу. При зменшенні струму I_k розмикання відбувається при $I_k = I_{відпр} < I_{сп}$. Це зумовлене тим, що відпусканню якоря перешкоджає залишковий магнітний потік.

Основний недолік реле – швидкий знос контактів в умовах підвищеної вологості. Щоб підвищити час безвідмовної роботи, контакти герметизують.

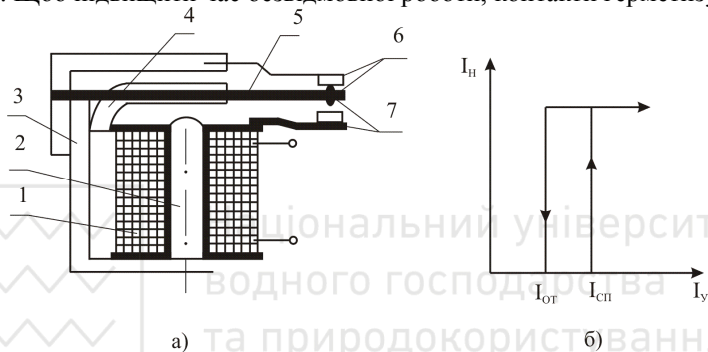


Рис. 2.5. Конструктивна схема електромагнітного реле (а) і його характеристика (б).

Геркон являє собою скляну колбочку 1, у яку впаяні контактні пружини 2 з магнітного матеріалу (рис. 2.6). Пружини виконують роль магнітопровода. Замикання контактів відбувається під дією магнітного поля, створеного струмом у котушці 3, або постійним магнітом. Геркони випускаються з замикаючим, розмикаючим і пермикаючим контактами. Число спрацювань герконів досягає $1 \cdot 10^9$, що на два порядки вище, ніж число спрацювань реле.

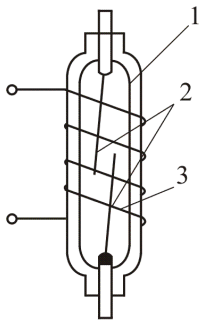


Рис. 2.6. Схема магнітокерowanego геркона

Крім контактних, усе більш широко застосовують безконтактні релейні підсилювачі, виконані на основі транзисторних, тиристорних і інших елементів.

Схема релейного підсилювача на основі транзистора р-п-р типу наведена на рис. 2.7, а. У вихідному стані транзистор закритий напругою $U_{зм}$ і через опір навантаження R_n протікає невеликий струм $I_{к0} = -I_{о0}$.

При подачі на вхід від'ємної напруги $-U_{вх}$ транзистор повністю відкривається, його опір зменшується майже до нуля і струм колектора зростає до значення, обумовленого опором R_n . Для зменшення часу відкриття

опір R_1 шунтують ємністю C_1 . При знятті вхідного сигналу транзистор закривається і струм колектора зменшується до значення $I_{к0}$.

та природокористування

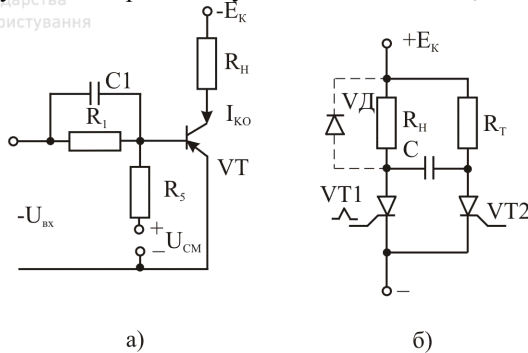


Рис. 2.7. Схеми релейних підсилювачів: а - на основі транзистора типу p-n-p; б - на основі тиристора

Коли необхідно керувати релейним підсилювачем за допомогою імпульсів, то як підсилюючі елементи використовують тиристри, що можуть знаходитися в двох стійких електричних станах: у відкритому (велика провідність) і у закритому (мала провідність). Схема тиристорного підсилювача складається з двох тиристорів (рис. 2.7,б). У вихідному стані обидва тиристри закриті і напруга на ємності C дорівнює нулю. При подачі на керуючий електрод імпульсу тривалістю від однієї до десятків мікросекунд відбувається відмикання тиристора $VT1$ і струм у зовнішньому колі практично миттєво зростає від струму витоку $I_{вит}$, що не перевищує декількох мікроампер, до значення, обумовленого опором навантаження R_n . Одночасно через резистор R_m заряджається конденсатор C до напруги, близької до E_k . У цьому стані схема може знаходитися як завгодно довго.

Щоб закрити тиристор $VT1$, на тиристор $VT2$ подають керуючий імпульс і тиристор $VT2$ відкривається. При відкритому тиристорі $VT2$ конденсатор C розряджається на тиристор $VT1$, струм навантаження переривається і $VT1$ закривається. Після цього конденсатор C знову заряджається через опір R_n і схема підготовлюється для повторного включення.

Тому що заряд і розряд комутуючої ємності C через тиристор $VT2$ триває короткочасно, то його вибирають значно меншої потужності. Шунтуючий діод VD застосовують при індуктивному навантаженні.

Перемикаючі схеми на тиристорах характеризуються високою надійністю, великим терміном служби і високим к.к.д. Сучасні тиристри дозволяють комутувати струми до сотень кілоампер при напрузі до декількох тисяч вольт.

Для комутації напруги в колах змінного струму застосовують двопровідні тиристри (семістри).

2.3. Програма роботи

1. Вивчити будову і принцип дії напівпровідникових і релейних підсилювачів.

2. Зняти характеристику підсилювача на біполярному транзисторі, визначити коефіцієнт підсилення. Змінюючи положення початкової точки, вивчити її вплив на форму вихідної напруги.

3. Зняти характеристику реле і дослідити принцип роботи геркона.

2.4. Опис лабораторної установки

Установка представляє собою стенд, де змонтовані регульовані джерела струму $G1$ і постійного струму $G2$, напівпровідникові, релейні підсилювачі, а також вимірювальні прилади (рис. 2.8).

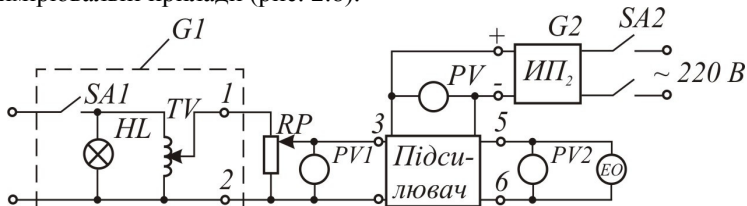


Рис. 2.8.

Як джерело живлення $G1$ використовується автотрансформатор TV , який підключається до мережі 220 В вимикачем $SA1$. Включення $G1$ контролюється сигнальною лампочкою HL . Джерело постійного струму $G2$ має стабілізовану вихідну напругу і підключається до мережі вимикачем $SA2$.

Для джерела живлення $G1$ (рис. 2.8) підключений потенціометр RP , який виконує роль подільника напруги для плавного регулювання $U_{\text{вх}}$, яке подається на вхід підсилювача. Вихідна напруга підсилювача вимірюється вольтметром $PV2$ і контролюється за допомогою електронного осцилографа EO .

На рис. 2.9 показані схеми для зняття характеристик електромагнітного реле і геркона. Замикання контактів геркона контролюється сигнальною лампочкою HL .

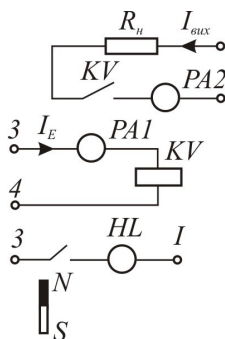


Рис. 2.9.

2.5. Порядок виконання роботи

1. Вивчаючи підсилювачі, необхідно детально розглянути їх будову, конструктивне виконання, принципи дії, а також способи зміни вхідних сигналів.

2. Щоби зняти характеристику підсилювача на біполярному транзисторі, складають схему, представлену на (рис. 2.7, а і рис. 2.8). Потім за вольтметром

PV встановлюють вказану на стенді напругу на колекторі E_k . При $U_{\hat{a}\hat{o}} = 0$ вмикають в коло бази джерело зміщення $\hat{A}_{\zeta,i}$ і, змінюючи $R_{\zeta,i}$, встановлюють за вольтметром $PV2$ задане значення U_{KEO} . Далі збільшуючи $U_{\hat{a}\hat{o}}$ від нуля до $U_{\hat{a}\hat{o} \max}$, записують показання вольтметрів $PV1$ і $PV2$. За одержаними даними будують характеристику $U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} = f(U_{\hat{a}\hat{o}})$.

З метою вивчення впливу положення початкової точки на форму кривої напруги $U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}$ при $U_{\hat{a}\hat{o}} = U_{\hat{a}\hat{o} \max}$ опором $R_{\zeta,i}$ поступово змінюють струм фази від мінімального до максимального значення і спостерігають на екрані осцилографа зміну форми кривої $U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}$. Для крайніх і середнього значень струму бази зарисовують форму кривої $U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}$. коефіцієнт підсилення $k = U_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}/U_{\hat{a}\hat{o}}$ вираховують за даними вимірювань.

3. Характеристика реле представляють собою залежність струму $I_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}}$, що протікає через контактне реле, залежно від струму у котушці I_k . Щоб зняти характеристику, клеми 3-4 підмикають до трансформатора TV , а коло навантаження R_l - до джерела постійної напруги $G2$ (рис. 2.9).

Змінюючи плавно напругу живлення котушки реле, за амперметром $PA1$ визначають струм спрацювання I_c , потім збільшують струм в котушці до $1,2I_c$. Після цього плавно зменшуючи I_k , фіксують струм відпускання реле I_B . За одержаними даними будують характеристику $I_{\hat{a}\hat{e}\hat{o}} = f(I_{\hat{e}})$.

2.6. Контрольні запитання

1. Які пристрої відносяться до підсилювачів?
2. За рахунок чого відбувається підсилення вхідного сигналу підсилювачем?
3. Назвіть схеми вмикання біполярних транзисторів?
4. Яка схема вмикання біполярного транзистора забезпечує найбільше посилення потужності?
5. Якими способами можна включити польовий транзистор?
6. Чим відрізняється підсилювач на польовому транзисторі від підсилювача на біполярному?
7. Які підсилювачі відносяться до релейних?
8. Які позитивні якості мають безконтактні релейні підсилювачі?
9. Що являє собою вхідний і вихідний сигнал гідропідсилювача?
10. У чому відмінність гідропідсилювача із зворотнім зв'язком від гідропідсилювача без нього?

РОБОТА 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЛАНОК

3.1. Мета роботи

Навчитися експериментально визначати перехідні характеристики типових ланок.

3.2. Основні теоретичні положення

Будь-яка система автоматичного регулювання складається з ряду елементів, що виконують цілеспрямоване перетворення сигналів керування. Хоча число елементів автоматичних систем досить велике і принципи їх роботи самі різні, але загальним для них є те, що вони здійснюють передачу інформації. Щоб виявити розмаїтість елементів за їх передавальними властивостями, введено поняття елементарної ланки.

Елемент автоматичної системи або його частина, що здійснює найпростіше перетворення інформації (таке, котре не може бути замінено комбінацією інших), називається елементарною ланкою. Вид елементарної ланки визначає тільки математична залежність між вихідною і вхідною величинами $x_{вих} = f(x_{вх})$ (рис. 3.1), яку називають характеристикою ланки. Якщо в елементарній ланці не відбувається нагромадження енергії або речовини, то $x_{вих} = f(x_{вх})$ являє собою алгебраїчне рівняння. При нагромадженні енергії або речовини в ланці зв'язок між вихідною і вхідною величинами описується диференціальним рівнянням. Рівняння складають на підставі аналізу фізичних процесів, що протікають у ланці, і законів збереження енергії і речовини. При складанні рівняння необхідна деяка ідеалізація для того, щоб врахувати тільки основні явища і зв'язки.

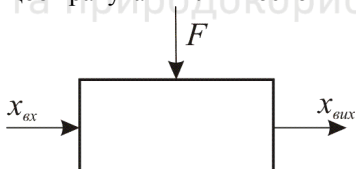


Рис. 3.1. Схематичне зображення елементарної ланки.

Реальне представлення про передавальні властивості ланки дає рішення рівняння. Знайти його можливо за умови, якщо відома вхідна величина $x_{вх}(t)$ як функція часу.

Дуже часто має місце різка зміна вхідної величини наприклад включення електродвигуна тощо. При різкій (гранично миттєвій) зміні $x_{вх}$ виникає найбільша динамічна похибка в перетворенні сигналів керування. Тому в якості типового вхідного впливу на елементарну ланку приймають одиничну ступінчасту функцію

$$x_{вх}(t) = 1(t) = \begin{cases} 0 & \text{нпу } t < 0, \\ 1 & \text{нпу } t \geq 0. \end{cases}$$

Реакція ланки або системи на одиничний вхідний сигнал називається перехідною характеристикою і її прийнято позначати $h(t)$. Вона являє собою рішення рівняння ланки при $x_{вх}(t) = 1(t)$ і описує процес переходу від одного стану рівноваги до іншого. Тому графік перехідної характеристики іноді

називають *кривою розгону*. Якщо відома перехідна характеристика $h(t)$, а $x_{\text{вх}}(t) = A \cdot 1(t)$, де $A = \text{const}$, то вихідна величина $x_{\text{вих}}(t) = A \cdot h(t)$.

Знання перехідних характеристик полегшує вивчення роботи автоматичних систем, бо будь-яку систему можна представити сукупністю певних елементарних ланок.

За видом залежності $x_{\text{вих}} = f(x_{\text{вх}})$ розрізняють шість елементарних ланок.

Пропорційна ланка. Ця ланка характеризується тим, що вихідна величина пропорційна вхідній

$$x_{\text{в\ddot{v}\ddot{o}}} = kx_{\text{в\ddot{o}}}, \quad /3.1/$$

де k - коефіцієнт підсилення. Підсилюючу ланку ще називають пропорційною або безінерційною.

Перехідна характеристика, передаточна функція й амплітудно-фазова частотна характеристика підсилюючої ланки рівні k . Це означає, що ланка без спотворення підсилює вхідний сигнал будь-якого виду. Прикладами підсилюючої ланки можуть бути важіль, напівпровідниковий підсилювач тощо.

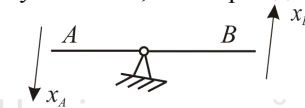


Рис. 3.2. Підсилююча ланка.

Якщо знехтувати масою важеля і вважати його абсолютно жорстким, то переміщення точок A і B (рис. 3.2) зв'язані залежністю

$$x_B = \frac{l_1}{l_2} x_A = k_1 x_A. \quad /3.2/$$

Вихідна і вхідна напруги підсилювача на польовому транзисторі знаходяться в співвідношенні

$$U_{\text{в\ddot{v}\ddot{o}}} = k_y x_{\text{в\ddot{o}}}. \quad /3.3/$$

Рівняння /3.2/ і /3.3/ одного виду. Тому ці два різні елементи є підсилюючими ланками.

Інтегруюча ланка. До інтегруючих відносяться ланки, у яких вихідна величина пропорційна інтегралу від вхідної величини:

$$x_{\text{в\ddot{v}\ddot{o}}} = k \int_0^t x_{\text{в\ddot{o}}} dt, \quad /3.4/$$

де k — коефіцієнт підсилення ланки.

Прикладами інтегруючих ланок є басейн, з якого вода відкачується помпою зі сталою витратою, (рис. 3.3), гідравлічний підсилювач без зворотного зв'язку і інші.

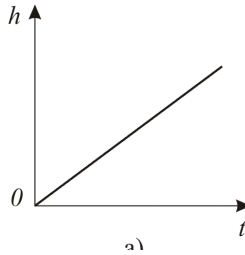


Рис. 3.3. Перехідна характеристика інтегруючої ланки.

Перехідна характеристика ланки

$$h(t) = k \int_0^t 1(t) dt = kt \quad /3.5/$$

є пряма лінія (рис. 3.3). Тому що $h(t)$ - лінійна функція, то коефіцієнт k іноді називають швидкістю розгону. Передаточна функція інтегруючої ланки

$$W(p) = k/p.$$

Диференціююча ланка. Диференціюючою є ланка, вихідна величина якої пропорційна похідній вхідної величини:

$$x_{\text{в\ddot{e}o}} = k \frac{dx_{\text{в\ddot{e}o}}}{dt}, \quad /3.6/$$

де k — коефіцієнт пропорційності.

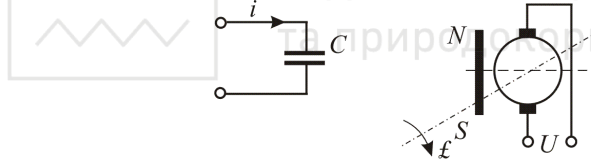


Рис. 3.4. Диференціюючі ланки

Прикладами таких ланок є електричний конденсатор, тахогенератор тощо (рис. 3.4). Дійсно, струм у ємності

$$i = C \frac{du}{dt}, \quad /3.7/$$

де C і u – ємність і напруга на конденсаторі, напруга на затискачах тахогенератора

$$U = k\omega_r = k \frac{d\alpha}{dt}, \quad /3.8/$$

де ω_r - кутова швидкість; α - кут повороту вала тахогенератора, описуються рівняннями виду /3.6/.

Перехідна характеристика ланки $h(t) = k \frac{d}{dt} 1(t) = k\delta(t)$ представляє собою δ -функцію, тобто імпульс нескінченно великої амплітуди і нескінченно малої ширини.

Передаточна функція диференціюючої ланки: $W(p) = kp$.

Інерційна ланка. Ця ланка є однією з найпоширеніших ланок систем автоматичного регулювання. Вона описується рівнянням

$$T \frac{dx_{\dot{a}\ddot{o}}}{dt} + x_{\dot{a}\ddot{o}} = kx_{\ddot{o}}, \quad /3.9/$$

де T - стала часу, що характеризує швидкість зміни енергії або речовини в ланці; k - коефіцієнт підсилення. Тому що інерційна ланка описується диференціальним рівнянням першого порядку, то її також називають ланкою першого порядку.

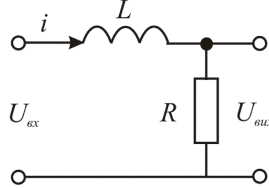


Рис. 3.5. Інерційна ланка

Прикладами інерційних ланок можуть служити багато об'єктів регулювання, виконавчі пристрої, гідропідсилювачі, електричні кола, що містять індуктивність або ємність, тощо.

Басейн, з якого вода витікає через отвір сталого перерізу і гідравлічний підсилювач зі зворотним зв'язком описуються рівнянням виду /3.9/. Електричне коло, що складається з індуктивності й опору (рис. 3.5), також описується рівнянням /3.9/. Дійсно

$$U_{\dot{a}\ddot{o}} = L \frac{di}{dt} + Ri. \quad /3.10/$$

Тому що $U_{\text{вих}} = Ri$, то рівняння /6.10/ зводиться до виду

$$\frac{L}{R} \frac{dU_{\dot{a}\ddot{o}}}{dt} + U_{\dot{a}\ddot{o}} = T \frac{dU_{\dot{a}\ddot{o}}}{dt} U_{\dot{a}\ddot{o}} = U_{\ddot{o}}. \quad /3.11/$$

В рівнянні /3.11/ стала часу $T = \frac{L}{R}$ і коефіцієнт підсилення $k = 1$.

Передаточна функція інерційної ланки

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}. \quad /3.12/$$

Ланка другого порядку. Ця ланка описується диференціальним рівнянням другого порядку виду

$$\frac{d^2 x_{\text{вих}}}{dt^2} + 2\eta\omega_0 \frac{dx_{\text{вих}}}{dt} + \omega_0^2 x_{\text{вих}} = k\omega_0^2 x_{\text{вх}}, \quad /3.13/$$

де η - коефіцієнт згасання; ω_0 - частота власних коливань і k - коефіцієнт підсилення.

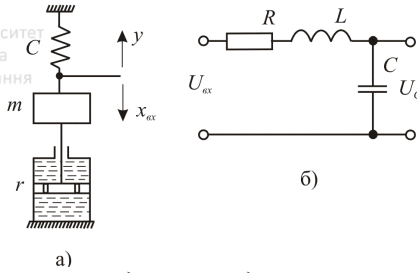


Рис.3.6. Ланки другого порядку: а - модель пружної механічної системи; б - електричний коливальний

Прикладами ланки другого порядку можуть служити пружна механічна система (рис. 3.6, а), електричний коливальний контур (рис. 3.6, б).

Для пружної механічної системи рівняння сил, що діють на вантаж масою m , відповідно до другого закону Ньютона має вид

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = c(x_{ox} - y) - r \frac{dy}{dt}, \quad /3.14/$$

де y - переміщення вантажу; c - коефіцієнт жорсткості пружини; r - коефіцієнт в'язкого тертя демфера.

Після нескладних перетворень рівняння /3.14/ зводиться до виду

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\eta\omega_0 \frac{dy}{dt} + \omega_0^2 y = \omega_0^2 x_{ox}, \quad /3.15/$$

$$\text{де } \eta = \frac{r}{2} \sqrt{\frac{1}{c \cdot m}}; \omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}; k = 1.$$

Для коливального контуру відповідно до другого закону Кірхгофа

$$L \frac{di}{dt} + Ri + U_c = U_{ox}, \quad /3.16/$$

де R - активний опір; L - індуктивність; U_c - спад напруги на конденсаторі.

Оскільки $i = C \frac{dU_c}{dt}$, то рівняння /3.16/ зводиться до виду

$$\frac{d^2 U_c}{dt^2} + 2\eta\omega_0 \frac{dU_c}{dt} + \omega_0^2 U_c = \omega_0^2 U_{ox}, \quad /3.17/$$

$$\text{де } \eta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{c}{L}}; \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}; k = 1.$$

Рівняння /3.14/, /3.16/, /3.17/ одного виду і тому пристрої, що описуються цими рівняннями, є ланками другого порядку.

Вид перехідної характеристики ланки залежить від коренів характеристичного рівняння

$$p^2 + 2\eta\omega_0 p + \omega_0^2 = 0. \quad /3.18/$$

При затуханні $\eta > 1$ корені рівняння /3.18/ є дійсними від'ємними числами, і



$$h(t) = k \left[1 + \frac{p_2}{p_1 - p_2} \exp(p_1 t) - \frac{p_1}{p_1 - p_2} \exp(p_2 t) \right], \quad /3.19/$$

де $p_{1,2} = -\eta\omega_0 \pm \omega_0 \sqrt{\eta^2 - 1}$.

При $\eta < 1$ корені – комплексно-спряжені з від'ємною дійсною частиною, і

$$h(t) = k \left[1 - \frac{1}{\beta} \exp(-\eta\omega_0 t) \sin(\beta\omega_0 t + \varphi) \right], \quad /3.20/$$

де $\beta = \sqrt{1 - \eta^2}$; $\varphi = \text{arctg} \frac{\beta}{\eta}$.

Графіки перехідних характеристик для різних η наведені на рис. 3.7. При $\eta \geq 1$ перехідний процес аперіодичний, а при $\eta < 1$ - коливально-затухаючий. Тому ланку другого порядку при $\eta < 1$ називають також коливальною ланкою.

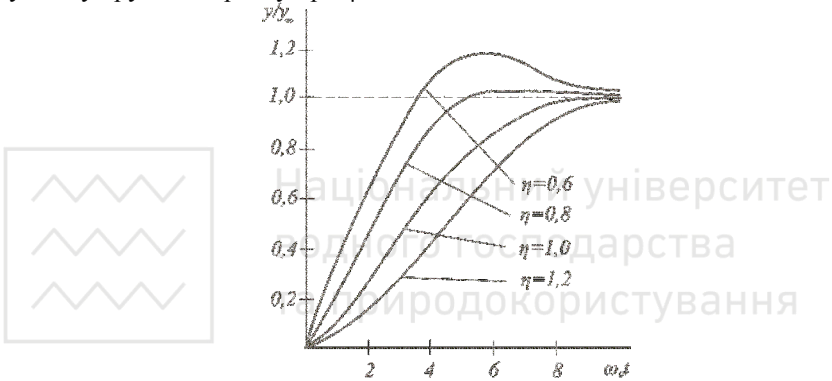


Рис. 3.7. Перехідні характеристики ланки другого порядку

Ланка зі сталим запізненням. Ця ланка характеризується тим, що відтворює на виході вхідний сигнал без зміни, але з запізненням на час τ .

Запізнення властиве багатьом елементам автоматики, зокрема, поточно-транспортним пристроям, довгим трубопроводам й іншим елементам. Дійсно, якщо за вхідну величину прийняти подачу матеріалу на транспортер, а за вихідну - його появу у кінці транспортера, то час запізнення

$$\tau = l / v, \quad /3.21/$$

де l - довжина транспортера; v - швидкість його руху.

Рівняння ланки зі сталим запізненням

$$x_{вих}(t) = x_{вх}(t - \tau), \quad /3.22/$$

при цьому $x_{вих} = 0$ для $t < \tau$. Вираз /3.22/ показує, що вихідна величина повторює вхідну зі зсувом у часі на час τ .

Ступінчастий вхідний сигнал і перехідна характеристика $h(t) = l(t - \tau)$ показані на рис. 3.8.

Передаточна функція ланки

$$W(p) = \exp(-p\tau). \quad /3.23/$$

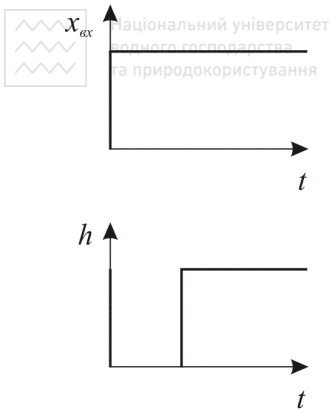


Рис. 3.8. Перехідні характеристики ланки зі сталим запізненням

3.3. Програма роботи

1. Ознайомитись з лабораторним модельним комплексом.

2. Зняти і побудувати перехідну характеристику пропорційної ланки, визначити коефіцієнт пропорційності і порівняти його з встановленим на моделі. Оцінити похибку.

3. Зняти і побудувати перехідну характеристику інтегруючої ланки, визначити коефіцієнт пропорційності

інтегруючої ланки і порівняти його з встановленим на моделі. Оцінити похибку.

4. Зняти перехідні характеристики для двох значень коефіцієнта пропорційності диференціюючої ланки.

5. Зняти перехідні характеристики інерційної ланки для двох значень сталої часу, визначити її параметри і порівняти з встановленими на моделі. Оцінити похибки.

6. Зняти перехідні характеристики ланки другого порядку для таких сталих часу, щоб одержати аперіодичний процес і процес у вигляді затухаючих коливань. Визначити параметри і порівняти їх зі встановленими на моделі. Оцінити похибку.

3.4. Опис лабораторної установки

Лабораторна робота виконана на лабораторному модельному комплексі, який належить до класу аналогових обчислювальних машин. Основним елементом комплексу є операційний підсилювач із від'ємним зворотним зв'язком.

Якщо в коло зворотного зв'язку включити активний опір, то моделюється пропорційна ланка, а якщо – конденсатор, то – інтегруюча ланка. При їх паралельному включенні одержуємо модель інерційної ланки. З'єднання інерційної та інтегруючої ланок з зворотним від'ємним зв'язком дає ланку другого порядку.

Конструктивно лабораторна модель виконана у вигляді настільного приладу. На панелі управління розміщені перемикачі, ручки потенціометрів і кнопки, за допомогою яких встановлюються необхідні зв'язки і параметри ланок.

На панелі прямокутниками позначені такі ланки: k_i - пропорційна, $\frac{k_i}{S}$ - інтегруюча, $k_a S$ - диференціююча, $\frac{k_0}{T_{01S} + 1}$ - інерційна та інші.

В прямокутниках розташовані регулятори коефіцієнтів, сталих часу і кнопки, при натисканні на які підключається вольтметр. За допомогою вольтметра встановлюють коефіцієнти і сталі часу.

Для визначення перехідних характеристик використовуються вольтметр, осцилограф і електронний секундомір. параметри ланок задаються викладачем.

3.5. Порядок виконання роботи

1. До початку роботи викладач видає картку, де вказані параметри всіх ланок, які необхідно дослідити. Вони мають ті ж позначення, що і на панелі лабораторної устанавки.

Користуючись описом модельного комплексу, знайти розташування органів, за допомогою яких встановлюються вказані параметри вимірювальних приладів і засобів комутації.

2. Для знаття пе-рехідних характе-ристик пропорційної і диференціюючої ланок складають схе-му, представлену на рис.3.9.

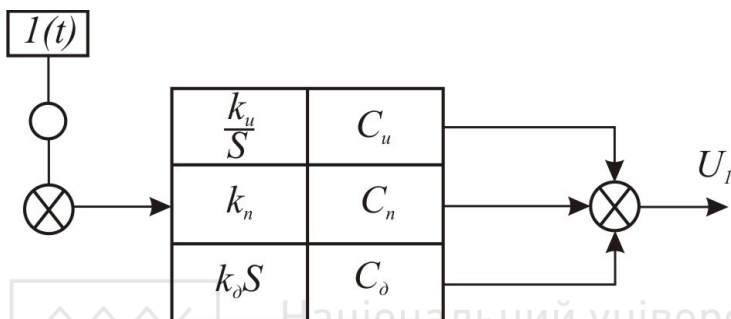


Рис. 3.9. Схема дослідження пропорційної, інтегруючої і диференціюючої ланок

Так, як схема загальна, то при знятті характеристики пропорційної ланки регулятори інтегруючої C_u і диференціюючої C_d ланок і потенціометр початкових умов НУ переводять в крайнє ліве (нульове) положення. За допомогою перемикача подають на вхід $\delta_{\alpha\delta} = 1(t)$. Встановлюють потенціометром C_n коефіцієнт пропорційності, перемикач вольтметра переводять в положення U_1 .

Зняття характеристики починають, натиснувши пускову кнопку "Режим роботи" і припиняють кнопкою "Початкове положення". Процес повторюють два-три рази і дані заносять до таблиці. потім будують графік $h(t)$, з якого визначають коефіцієнт пропорційності k_n як точку перетину $h(t)$ з віссю ординат.

3. Для зняття характеристики інтегруючої ланки потенціометр C_n ставлять в нульове положення. Регулятором C_u встановлюють заданий коефіцієнт. Натиснувши пускову кнопку, спостерігають за вольтметром і секундоміром. Визначивши час повного відхилення стрілки вольтметра, вираховують через які інтервали часу необхідно зняти 3-4 точки характеристики. Після цього знімають характеристику $h(t)$. За одержаними даними будують графік, з якого

визначають коефіцієнт пропорційності k_i як тангенс кута нахилу функції $h(t)$ до осі часу.

4. Перехідну характеристики диференціюючої ланки знімають у такій послідовності регулятор U/C_n і C_u переводять в нульові положення, регулятором $\tilde{N}_{\ddot{a}}$ встановлюють перший заданий коефіцієнт і знімають характеристику за показами вольтметра і секундоміра. Після експеримент повторюють для другого значення коефіцієнта пропорційності.

За одержаними даними будують характеристики $h(t)$ і визначають їх відмінність.

5. Для одержання характеристик інерційної ланки і ланки другого порядку засобами комутації збирають схему, приведену на рис. 3.10.

Характеристику $h(t)$ знімають у такій послідовності: коефіцієнт пропорційної ланки виставляють рівним одиниці ($k_n = 1$), при цьому сигнал на вході $U_1 = 1$; регулятором C_0 і перемикачем T_{01} встановлюють задані величини; вольтметр переводять в положення U_1 .

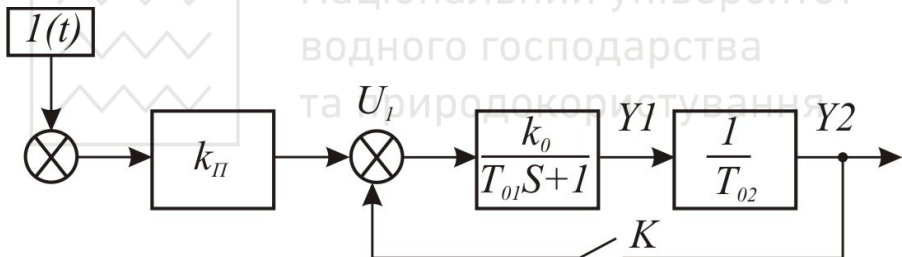


Рис. 3.10. Схема дослідження інерційної ланки і ланки другого порядку

Запустивши модель пусковою кнопкою через рівні проміжки часу записують вольтметра і секундоміра. експеримент повторюють для інших значень k_0 і T_{01} . За одержаними даними будують характеристики $h(t)$.

Коефіцієнт пропорційності k_0 , як видно із рис. 3.6, дорівнює усталеному значенню функції $h(t)$. стала часу дорівнює величині піддотичної або часу, за який $h(t)$ досягне значення $0,63k_0$, так як

$$h(t) = k_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{01}}} \right) = k_0 (1 - e) = k_0 (1 - 0,27) = 0,63k_0.$$

6. Щоби одержати модель ланки другого порядку, необхідно з'єднати послідовно інерційну та інтегруючі ланки і охопити їх зворотним від'ємним зв'язком, замкнувши ключ К. У цьому випадку одержимо рівняння

$$\frac{T_{01}T_{02}}{k_0} \frac{d^2Y2}{dt^2} + \frac{T_{02}}{k_0} \frac{dY2}{dt} + Y2 = 1(t) \quad /3.24/$$

Рівняння /3.24/ аналогічне рівнянню /3.13/ за умов

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{a_0}} = \sqrt{\frac{k_0}{T_{01}T_{02}}} \text{ і } \eta = \frac{a_1}{2\sqrt{a_0}} = \frac{T_{02}}{2\sqrt{k_0T_{01}T_{02}}}. \quad /3.25/$$

Для зняття перехідних характеристик встановлюють вхідний сигнал $x_{\text{вд}} = 0,5 \cdot 1(t)$ (50 поділок шкали вольтметра), задані для аперіодичного процесу коефіцієнти k_0 , T_{01} і T_{02} і знімають характеристику $0,5h(t)$. Дані експерименту заносять до таблиці. Після встановлюють коефіцієнти k_0 , T_{01} і T_{02} , що відповідають затухаючим коливанням і знімають характеристику.

За даними досліджень будують характеристики $h(t)$, збільшивши масштаб по осі ординат у два рази.

Визначити безпосередньо із графіка $h(t)$ для коливально-затухаючого процесу ω_0 і η неможливо. Для їх обчислення використовують те, що дійсна частина коренів характеристичного рівняння $\eta\omega_0 = \alpha = \frac{1}{T} \ln \frac{A_1}{A_2}$, а уявна

$\omega_0 \sqrt{1-\eta^2} = \omega = \frac{2\pi}{T}$, де T - період коливань, який знаходимо з графіка (рис. 3.7),

A_1 і A_2 - додатні значення відповідних амплітуд.

Із наведених співвідношень знаходимо, що

$$\eta = a \sqrt{(\omega^2 - a^2)^{-1}} \text{ і } \omega_0 = \frac{a}{\eta}. \quad /3.26/$$

Порівнюючи дані, одержаними за формулами /3.25/ і /3.26/, оцінюють похибку експерименту.

Таблиця 3.1

Пропорційна ланка $k_n =$

U1, B											
t, сек											

Таблиця 3.2

Інтегруюча ланка $k_i =$

U1, B											
t, сек											



Диференціююча ланка $k_f =$

UI, B											
$t, \text{сек}$											

Таблиця 3.4

Інерційна ланка $k_f =$

YI, B											
$t, \text{сек}$											

Таблиця 3.5

Коливна ланка $k_f =$

$Y2, B$											
$t, \text{сек}$											

3.6. Контрольні запитання

1. Яке перетворення здійснює елементарна ланка?
2. Чим визначається назва ланки?
3. Що представляє собою перехідна характеристика ланки?
4. Яка ланка називається пропорційною?
5. Що представляє собою перехідна характеристика диференціюючої ланки?
6. Яка ланка називається інтегруючою?
7. Яка ланка називається інерційною?
8. До якої ланки відноситься електричний коливний контур?
9. Які перехідні процеси можуть виникнути в ланці другого порядку?
10. Чим відрізняється вихідний сигнал від вхідного в ланці зі сталим запізненням?

4. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ

4.1. Мета роботи

Експериментально встановити конструктивні характеристики ВМ і визначити їх придатність до експлуатації.

4.2. Теоретичні відомості

Електродвигунні виконавчі механізми

В електродвигунних ВМ використовуються електродвигуни з постійною швидкістю обертання вихідного елемента. Вони можуть обертатись у той чи інший бік або знаходитись у нерухомому стані. Ці ВМ реалізують типові закони регулювання в імпульсній формі, тобто переміщення вихідного елемента ВМ відбувається за рахунок короточасних включень електродвигуна, з певною тривалістю станів включення та відключення. Вони можуть мати контактне або безконтактне керування.

За характером руху вихідного елемента електродвигунні ВМ розділяються на однообертові, багатообертові та прямохідні.

Електродвигунний прямохідний виконавчий механізм типу МЕР. МЕР – це такі виконавчі механізми, вихідний вал яких здійснює лінійне поступальне переміщення з постійною швидкістю. Такі виконавчі механізми використовуються для приводу одно- і двосідлових клапанів, засувок (при безпосередньому з'єднанні), шибєрів та інших органів при кривошипному механізмі. Кінематична схема електродвигуного виконавчого механізму типу МЕР приведена на рис 4.1.

На кінематичній схемі зображено:

1. Електродвигун.
2. Магнітні гальма, що служать для компенсації моменту інерції двигуна (редуктора і т. п.) при зупинці. Гальма включаються паралельно одній з обмоток живлення.
3. Циліндричний редуктор, який розрахований на відповідний обертовий номінальний момент.
4. Ручний аварійний привод.
5. Вихідний вал редуктора.
6. Вихідний вал виконавчого механізму, що з'єднується з давачами положення, яких повинно бути не менше двох.
7. Кінцеві вимикачі. Вони призначені для зупинки двигуна в крайніх положеннях, для узгодження переміщення вихідного валу ВМ з робочим ходом РО, а також для сигналізації положення валу.
8. Давачі положення, яких повинно бути не менше двох, можуть бути реостатні з опором 100 Ом відповідної потужності та індуктивні трансформаторні перетворювачі, які використовуються для ВМ з малими переміщеннями вихідного валу.

По типу електродвигуна МЕР можуть комплектуватися двигунами: трифазними асинхронними з $U=220/380$ 50 Гц і однофазними асинхронними.

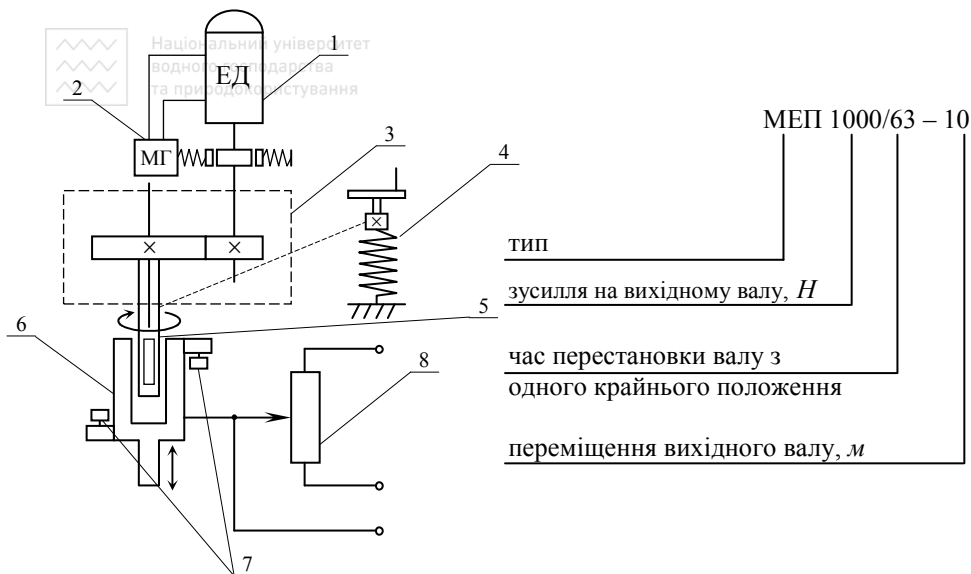


Рис. 4.1. Кінематична схема та маркування МЕП

Існують наступні типорозміри МЕП:

- МЕП 2500/10 – 63
- МЕП 2500/25 – 63
- МЕП 2500/63 – 63
- МЕП 2500/160 – 160
- МЕП 6300/10 – 63
- МЕП 16000/10 – 63
- МЕП 250000/10 – 63

Виконавчі механізми типу МЕП використовуються для всіх регулюючих органів, при умові узгодження вихідного зусилля вала з перестановочним зусиллям регулюючого органу. Для керування виконавчими механізмами використовуються безконтактні пускачі (для малих і середніх потужностей), дистанційні давачі положення і засоби сигналізації. Засоби керування двигунами повинні бути реверсивними. Для потужних ВМ, крім вказаних елементів, має місце обмежувач моменту валу електродвигуна.

Тягова характеристика електродвигуноного ВМ наведена на рис. 4.2.

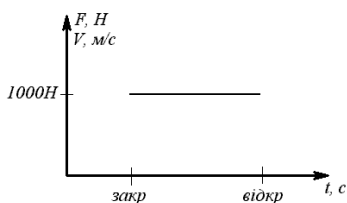


Рис. 4.2. Тягова характеристика

Настройка ВМ полягає в наступному:

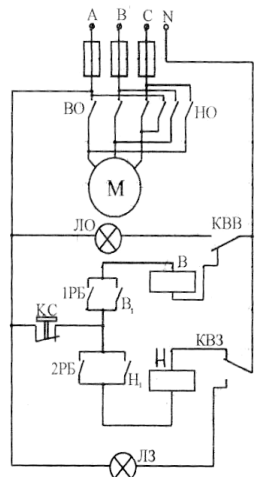
1. Узгодження переміщення ВМ і РО.

$X_{ВМ} > X_{РО}$ - за допомогою мікроперемикачів;

$X_{ВМ} < X_{РО}$ - за допомогою важелів;

2. Узгодження сигналів давачів положення.

На рис. 4.3 приведена електрична схема ВМ типу МЕР з трифазним двигуном.



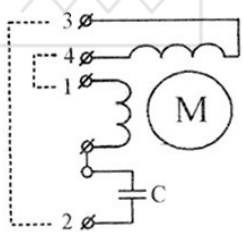
1РБ:2РБ -контакти регулятора

Клемна колодка

Коло	Контакт
Фаза А	1
Фаза В	2
Фаза С	3
	5
	6
	7
	8
	9
	10
	11
	12

Рис 4.3. Схема електрична ВМ типу МЕР з трифазним двигуном

Для однофазного двигуна схема відрізняється лише характером вмикання самого електродвигуна рис. 4.4.



Коло	Контакт
Обмотка І	1
Конденсатор	2
Обмотка Y1	3
Обмотка Y2	4
S1	5
S1	6
S2	9
S2	10
Обмотка B1	28

Рис. 4.4. Схема вмикання однофазного електродвигуна

Виконавчий однообертовий механізм типу МЕО. У однообертових ВМ вихідний вал обертається у межах одного оберту на 360°. Механізми типу МЕО, МЕОК та МЕОБ використовуються у системах автоматичного регулювання для приведення в рух таких регульовальних органів як заслінки, поворотних кранів, кульових кранів, затворів і т.д. Вони оснащені ручним дублером, електромагнітними гальмами, кінцевими вимикачами, датчиками положення вихідного валу; мають багато модифікацій, які відрізняються потужністю та швидкодією.

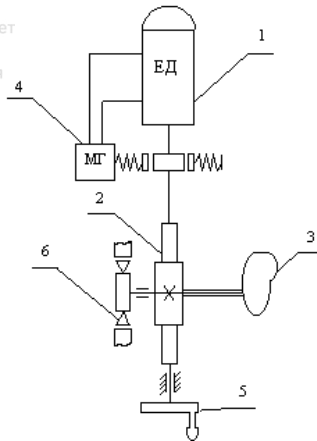


Рис. 4.5. Кінематична схема ВМ типу МЕО

Складовими МЕО є:

1. Електродвигуни – асинхронні одно- і трифазні;
2. Редуктор: черв'ячний, циліндричний багатоступеневий, конічний;
3. Кривошип (вихідний орган);
4. Електромагнітні гальма;
5. Ручний аварійний привід;
6. Пристрої зупинки ЕД в крайніх положеннях.

Принцип роботи. Електродвигун приводить в дію редуктор, що є основним вузлом, на якому змонтовані всі елементи ВМ. Для здійснення (у разі необхідності) ручного керування ВМ передбачений ручний привід. Електромагнітні гальма забезпечують необхідне гальмування системи в процесі регулювання кінцевої ланки керованого об'єкта. В ВМ є також блок давачів, вузол упорів, важіль, штуцерні входи, конденсатор, штепсельний роз'єм.

Для приводу ВМ використовують малоінерційні АД типу ДАУ-4. За рахунок малого відношення діаметру до довжини короткозамкнений ротор електродвигуна має зменшений момент інерції і володіє хорошими динамічними якостями, що забезпечує його тривалу роботу в стопорному режимі. Реверсування електродвигуна здійснюється перемиканням обмоток керування. Електромагнітні гальма, призначені для зменшення вибігу і фіксації вихідного валу в будь-якому положенні після зникнення керуючого сигналу. Гальма складаються з електромагніту, важелів гальмівної колодки і регулювальних гайок для настройки пружин і зазору між гальмівною колодкою і шківом.

Для здійснення зворотного зв'язку і дистанційної вказівки положення вихідного валу служать наступні вузли:

1. Блок БДІ-6, складається з 2х індуктивних датчиків, 4х мікроперемикачів Д713, кулачків, важелів, елементів настройки. Цей блок застосовується в схемах з безконтактними регулюючими приладами, а також з покажчиком положення типу дуп-Б.
2. Блок БДІ-6Л (аналогічний БДІ-6) призначений для переміщення осердя одного з датчиків через люфтовий пристрій. Цей блок застосовується при роботі з 2 ВМ і покажчиком положення дуп-Б.

3. Блок БДР складається з 2х реостатних датчиків (по 1200 Ом) і 4х мікроперемикачів. Застосовується в схемах з автоматичними регуляторами, а також з показчиком положення.

Для здійснення в ВМ зворотного зв'язку (між кінцевою і початковою ланками) застосовують датчики переміщення типу ДІ-1. Для під'єднання ВМ до електричної мережі на корпусі редуктора встановлений штепсельний роз'єм та штуцер, що забезпечують герметичність введення, а також створюють можливість проводити монтаж мідним дротом.

Для обмеження граничних положень вихідного валу ВМ і запобігання від поломок РО в механізмі передбачені спеціальні упори, забезпечені пружними демпферами.

Для реверсу трифазного двигуна пускова апаратура повинна забезпечувати перемену двох фаз при реверсі.

При реверсі однофазних двигунів допоміжну обмотку вмикають через конденсатор, пускова апаратура повинна забезпечувати зміну початку і кінця допоміжної обмотки.

Маркування ВМ здійснюється наступним чином:



Розрізняють МЕО за потужністю ЕД, схемою керування ЕД, типом пускової апаратури, типом редуктора.

Настройка ВМ.

1. Настройка відповідності кута переміщення ВМ і РО.

Ручним приводом установити в одне із крайніх положень, перемістити кінцевий вимикач так, щоб мала місце сигналізація даного положення; перемістити РО в інше крайнє положення, повторити настройку.

2. Настройка давачів положення.

Здійснюється по аналогії з кінцевими вимикачами, при цьому змінюють положення рухомого контакту.

Виконавчий багатообертовий механізм типу МЕБ. МЕБ – це такі виконавчі механізми, вихідний вал яких здійснює певну кількість повних обертів. Такі виконавчі механізми використовуються для приводу гвинтових підйомників, регулюючих органів з великими лінійними переміщеннями і значними перестановочними зусиллями, для керування шиберами, засувками, клінкетами.

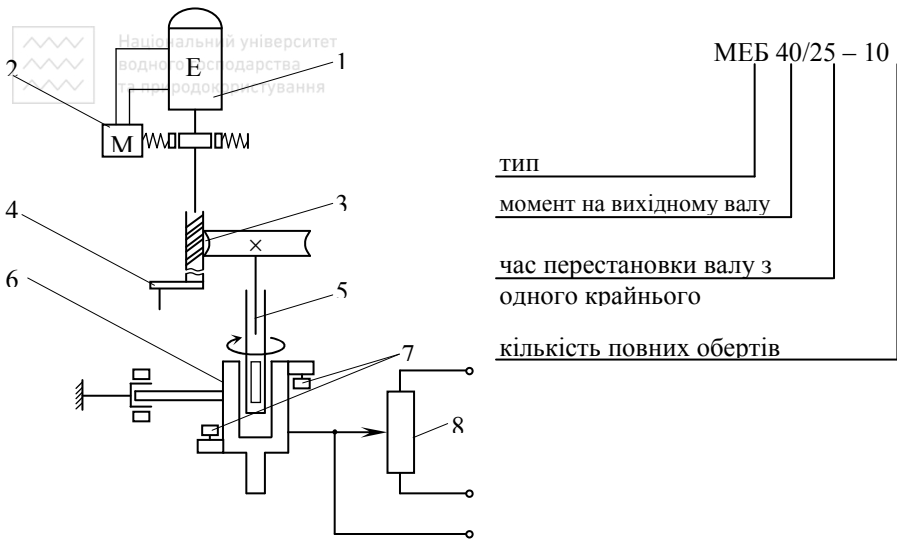


Рис. 4.6. Кінематична схема та маркування МЕБ

На кінематичній схемі зображено:

1. Електродвигун.
2. Магнітні гальма.
3. Черв'ячний редуктор.
4. Ручний аварійний привод.
5. Вихідний вал редуктора.
6. Вихідний вал виконавчого механізму, що з'єднується з давачами положення.
7. Кінцеві вимикачі.
8. Давачі положення.

Принциповою відмінністю МЕБ від МЕП є те, що між двигуном і редуктором встановлюють фрекційну муфту, що обмежує крутний момент. Обов'язковими є також давачі-сигналізатори проміжного положення.

Існують наступні типорозміри МЕБ:

МЕБ 40/25 – 10; МЕБ 40/63 – 25; МЕБ 40/160 – 63; МЕБ 40/400 – 63;
МЕБ 100/25 – 10

Електромагнітні виконавчі механізми

Електромагнітні (соленоїдні) ВМ – це електричні ВМ, які забезпечують лінійне переміщення регулюючого органу з допомогою електромагніту (соленоїда). Вони є найбільш поширеними перетворювачами електричного сигналу в механічне переміщення. Вони отримали застосування в якості приводного або керуючого пристрою в ряді механізмів, електричних апаратах і реле. Наприклад, в підйомних і гальмівних електромагнітах, в приводах для

вмикання та вимикання комутаційних апаратів, в електромагнітних контакторах, в автоматичних регуляторах, у приводах для включення і відключення механічних, пневматичних і гідравлічних ланцюгів, для зчеплення і розчеплення обертових валів, відкривання і закривання клапанів, вентилів, заслінок, золотників на невеликі відстані до декількох міліметрів із зусиллям в кілька десятків ньютонів.

Вони, у свою чергу, можуть працювати на постійному і змінному струмі. Однак електромагніти постійного струму застосовуються набагато ширше, ніж електромагніти змінного струму, оскільки при однакових розмірах вони розвивають більше тягове зусилля, мають більш високу стабільність параметрів, конструктивно простіші і дешевші. Для їх живлення використовується мережа змінного струму і вбудований випрямляч.

Соленоїдні ВМ в порівнянні з електродвигунами ВМ відрізняються простотою конструкції і схем управління, меншими вагою і розмірами і значно меншою вартістю. Завдяки відсутності редуктора вони більш надійні в експлуатації.

Електромагнітні ВМ є дискретними перетворювачами (0 або 1). Вони застосовуються тільки в релейних позиційних системах.

Промисловість випускає електромагнітні ВМ разом з регулюючим органом. Такі пристрої називають електромагнітними клапанами. Залежно від початкового положення клапана, електромагнітні клапани бувають нормально відкритими (АЛЕ) або нормально закритими (НЗ).

Розрізняють аналогове (рис. 4.7, а) та імпульсне (рис. 4.7, б) живлення соленоїдів. При подачі електричного сигналу на клапан, він змінює своє положення. Отже, для підтримки його в цьому стані, на електромагніт повинен постійно подаватися електричний сигнал. В тих випадках, коли необхідно довгий час утримувати електромагнітний клапан в робочому стані, використовують клапани із защіпкою. В цих клапанах після переміщення штоку в робоче положення, він захоплюється електричною защіпкою і утримується в цьому положенні. Для защіпки використовується допоміжний магніт, який працює у момент звільнення защібки.

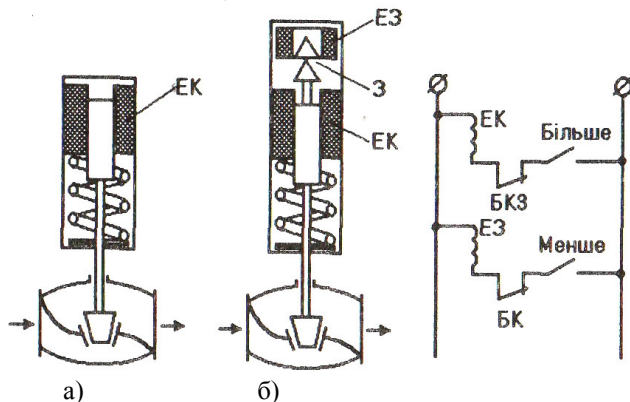


Рис.4.7. Електромагнітні виконавчі механізми

Найпростіші електромагнітні ВМ (рис. 4.7, а) мають одну електромагнітну котушку (ЕК). Коли на неї подається керуючий сигнал постійного або змінного струму, шток втягується в котушку соленоїда, і клапан повністю відкривається. Коли керуючий сигнал зникає, шток під дією зворотної пружини повертається у вихідний стан, і клапан закривається. Недоліком такої конструкції є постійне споживання електроенергії і хибне спрацювання при зникненні електроживлення. Тому такі ВМ доцільно використовувати у випадках короткочасного спрацювання.

Більш економними є електромагнітні ВМ з додатковим електромагнітом (ЕЗ), який управляє спеціальною защіпкою (рис. 4.7,б). Коли на головний електромагніт ЕК подається сигнал, шток втягується у котушку соленоїда, спрацьовує защіпка (З) і фіксує шток у цьому положенні. При цьому блокуючий контакт БК розриває ланцюг живлення головної котушки. Якщо необхідно закрити клапан, керуючий сигнал подається на котушку защіпки (ЕЗ), вона відкривається і звільняє шток, який під дією зворотної пружини повертає його у вихідний стан. При цьому інший блокуючий контакт БЗ розриває ланцюг живлення котушки защіпки. Завдяки високій швидкості спрацювання електромагнітні ВМ часто використовують в автоматичних системах блокування. Недоліком є імовірність виникнення гідравлічних ударів у трубопроводах, де вони використовуються.

Тяговою характеристикою соленоїдного ВМ (рис.4.8) називають залежність тягового зусилля P_E на вихідному штоці соленоїда від положення якоря (від величини робочого повітряного проміжку δ) при визначеному значенні намагнічуючої сили.

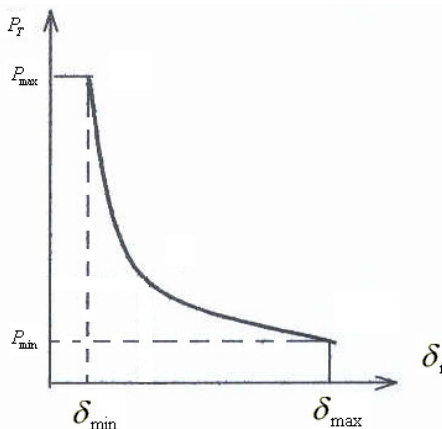


Рис. 4.8. Тягова характеристика соленоїдного ВМ

Основними параметрами, які визначають тягову х-ку є:

- 1) B_0 – магнітна індукція;
- 2) I_0 – струм на початку спрацювання;
- 3) n – к-сть витків обмотки соленоїда;
- 4) q – опір повітряного проміжку.



Тягове зусилля розраховується за виразом:

$$P_E = 6,4 \cdot 10^{-8} (i \cdot n)^2 \cdot \left[\frac{S}{\delta^2 \cdot \sin \alpha} + q \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right], \text{кГс.} \quad (4.1)$$

де S – площа перерізу полюса магнітної системи;

i – струм в обмотці;

δ – повітряний проміжок;

l і z – конструктивні характеристики;

q – опір повітряного проміжку $q = \frac{2\pi}{\ln \frac{R}{r}}$.

R – повний магнітний опір;

r – опір повітряного проміжку

Передаточна функція електромагнітного ВМ має вигляд:

$$W(p) = Y(p) / U(p) = K_M / ((T_e \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot T_1 \cdot p^2 + T_2 \cdot p + 1)), \quad (4.2)$$

де Y – переміщення якоря;

$T_e = L_0 / R_0$ – постійна часу електромагніту;

L_0 і R_0 – індуктивність і активний опір котушки електромагніту, що відповідають початковому положенню якоря;

$T_1 = \sqrt{m/c_n}$, m – маса рухомих частин; c_n – жорсткість пружини;

$T_2 = k_d / c_n$; k_d – коефіцієнт демпфування;

$K_M = 2K_0 / c_n$ – коефіцієнт передачі електромагніту;

K_0 – коефіцієнт пропорційності між тяговим зусиллям електромагніту і струмом I_k в його котушці.

Якщо постійна часу об'єкта керування значно більше постійних часу ВМ (T_e , T_1 , T_2), то його передаточна функція може бути представлена безінерційною підсилювальною ланкою:

$$W(p) = K_M. \quad (4.3)$$

Пневматичні виконавчі механізми

Пневматичні виконавчі механізми працюють з пневматичними регуляторами, відрізняються високою надійністю та простотою обслуговування, розвивають досить великі зусилля переміщення.

Найширшого розповсюдження набули мембранні ВМ, в яких зусилля переміщення створюється повітрям, тиск якого змінюється в межах 20-100 кПа. Інколи тиск збільшують до 0,5 МПа і такі виконавчі механізми працюють з позиціонерами. Ці механізми прості за будовою, виготовленні й експлуатації. Мають порівняно високу швидкодію і застосовуються для приводу регулюючих і змішувальних клапанів для рідини і газів, коли для роботи регулюючого органу не потрібно великих переміщень. Силевим елементом цих ВМ є резино-тканинна мембрана 2 (рис. 4.9), яка герметично закріплена у корпусі 1. Жорсткий центр мембрани з'єднаний з вихідним штоком 3, який здійснює зворотно - поступальний рух. Зусилля переміщення в одному напрямі створюється за рахунок тиску стисненого повітря у робочій порожнині на мембрану, у протилежному - за рахунок зусилля зворотної пружини 4.

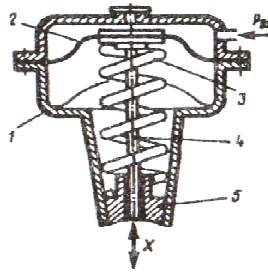


Рис.4.9. Мембранний виконавчий механізм

Мембранні виконавчі механізми поділяються: за кількістю силових органів - на одномембранні, двомембранні і чотирихмембранні; за особливостями схеми - на виконавчі механізми односторонньої (рис.4.10.а) і двосторонньої дії (рис.4.10.б); по виду руху вихідного валу - на виконавчі механізми поступального і обертального руху.

Залежно від напрямку руху вихідного штока ВМ бувають прямої та зворотної дії. У механізмах прямої дії, коли тиск повітря у робочій порожнині збільшується, вільний кінець штока віддаляється від площини закріплення мембрани. У механізмах зворотної дії підвищення тиску у робочій порожнині зумовлює наближення вільного кінця штока до площини закріплення мембрани. Ці варіанти конструкції дають можливість реалізувати різні за дією виконавчі пристрої - нормально відкриті та нормально закриті.

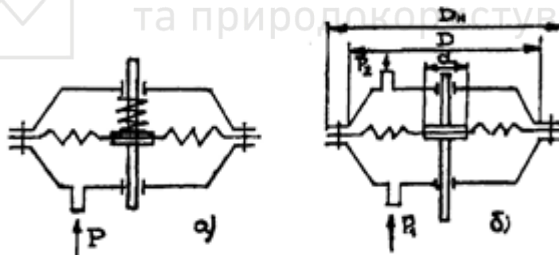


Рис. 4.10. Мембранні виконавчі механізми односторонньої (а) і двосторонньої дії (б)

Основними технічними характеристиками мембранних ВМ є:

- діапазон зміни тиску повітря в робочій порожнині $\Delta P_{\text{вх}}$;
- величина переміщення штока X (мм);
- ефективна площа мембрани $F_{\text{эф}}$.

Під ефективною площею розуміють відношення перестановочного зусилля що розвиває мембрана при її знаходженні в площині закріплення до діючого тиску в робочій площі.

У виконавчих механізмах в більшості випадків застосовуються мембрани з жорстким центром, причому діаметр обтискних дисків вибирається рівним

$$d = 0,8D,$$

де D - робочий діаметр мембрани.

Зусилля, що розвивається мембранним виконавчим механізмом:

а) для безпружинних мембранних виконавчих механізмів



б) для ВМ с пружинами

$$P = \Delta P \cdot F_{ef} - P_{TP} = (P_2 - P_1) \cdot F_{ef} - F_{np};$$

$$P = (P_2 - P_1) \cdot F_{ef} - P_{np} P_{np}$$

де F_{ef} – ефективна площа мембрани;

$(P_2 - P_1)$ – різниця тисків по обидві сторони мембрани (для ВМ с пружинами;

P_1 – атмосферний тиск);

P_{TP} – сума сил опору руху внаслідок тертя в механізмі;

$F_{np} = c h$ - сила опору пружини.

Для середнього положення мембрани (коли всі точки мембрани лежать в одній площині) їх ефективні площі можуть бути визначені:

- для мембран з жорстким центром

$$F_{ef} = \frac{\pi}{12} \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2);$$

- для мембран без жорсткого центра

$$F_{ef} = \frac{\pi}{12} \cdot D^2.$$

Як видно, при однакових діаметрах ВМ значення F_{ef} мембран з жорстким центром більші, ніж у мембран без жорсткого центру. Тому при одних і тих же тягових зусиллях, виконавчі механізми з мембранами з жорстким центром мають менші габарити і вагу, ніж виконавчі механізми з мембранами без жорсткого центру.

Постійна часу для пневматичних мембранних виконавчих механізмів визначається:

$$\tau = \frac{D \cdot (D^2 + D \cdot d + d^2)}{3 d_c^2 V},$$

де d_c – діаметр перерізу підвідного трубопроводу;

V – швидкість руху стиснутого повітря.

Тягова характеристика пневматичного мембранного механізму приведена на рис 4.11. Як видно із рисунка при одному і тому ж тиску можливі різні значення переміщення вихідного штоку. Отже, пневматичні ВМ не забезпечують точного позиціонування.



Рис. 4.11. Тягова характеристика пневматичного мембранного механізму

Недоліки мембранних ВМ:

- не можуть застосовуватися при великих тисках середовища через неміцності мембрани;
- мають невеликий хід;
- тягове зусилля через зміну ефективної площі мембрани не постійне.

4.3. Програма роботи для дослідження електродвигунних виконавчих механізмів

1. Визначити конструктивне узгодження елементів ВМ.
2. Засвоїти електричну схему вмикання.
3. Визначити конструктивні характеристики:
 - Робоче переміщення Р.О.;
 - Передаточне відношення ручного приводу;
 - Діаграму замикання контактів кінцевих вимикачів;
 - Діаграму замикання контактів сигналізації;
 - Діаграму положення давачів.

Дослідження роботи ВМ типу МЕР

1. Для визначення робочого переміщення вмикають ВМ і по шкалі вказівника вихідного валу визначають лінійне переміщення в мм та час перестановки РО з одного крайнього положення в інше.

2. Для визначення передаточного відношення ручного приводу натискають маховик ручного приводу і переставляють вихідний вал з одного крайнього положення в інше, зафіксувавши при цьому кількість обертів.

$$K_p = \frac{h}{n},$$

де h – переміщення;
 n – кількість обертів.

3. Переміщуючи з допомогою ручного приводу шток ВМ заміряють положення штока та стан контактів кінцевих вимикачів і сигналізації.

4. Згідно отриманих даних визначають, які із контактних перемикачів слід використати як кінцеві вимикачі, а які, як сигналізатори положення контактів.

5. У випадку невідповідності конструктивних характеристик паспортним здійснюють регулювання ВМ.

Дані вимірювань заносять в табл 4.1.

Таблиця 4.1.

Положення штока	Закр. мм	2	4	6	8	10	Відкр. мм
Положення ручного приводу							
Контакт 8–9							
Контакт 9–10							
Контакт 11–12							
Контакт 12–13							
Опір реостатного давача (Ом) (контакти 15–16–17)							
Положення інд. давача (мм)							

Дослідження роботи ВМ типу МЕО

Переміщуючи з допомогою ручного приводу шток ВМ заміряють положення штока та блок контактів кінцевих вимикачів і сигналізації.

Дані вимірювань занести в табл.4.2.

Таблиця 4.2

Положення штока	Закр.мм	2	4	6	8	10	Відкр.мм
Положення ручного приводу							
Контакт 1.1.							
Контакт 1.2.							
Контакт 1.1.							
Контакт 2.2.							
Опір реостатного давача (Ом)							
Положення інд. давача (мм)							

Згідно отриманих даних визначають, які із контактних перемикачів слід використати як кінцеві вимикачі, а які, як сигналізатори положення контактів.

У випадку невідповідності конструктивних характеристик паспортним здійснюють регулювання ВМ.

4.4. Програма роботи для дослідження пневматичних виконавчих механізмів.

1. Встановити конструктивне призначення елементів мембранного ВМ та його тип.
2. Зобразити ескіз ВМ і нанести основні конструктивні розміри.
3. Розрахувати мінімальне та максимальне зусилля на штоці ВМ.
4. Побудувати залежність переміщення від вхідного тиску.
5. Дослідити експериментально $X_{вих} = f(P_{вх})$. Дані занести в табл. 4.3.
6. Побудувати тягову характеристику ВМ.

Таблиця 4.3

Таблиця значень параметрів

№ п/п	$P_{вх}, МПа$	$F_{E, м}^2$	$P_{ш}, МПа$	$X_{вих}, мм$
1	0,02			
2	0,04			
3	0,06			
4	0,08			
5	0,1			

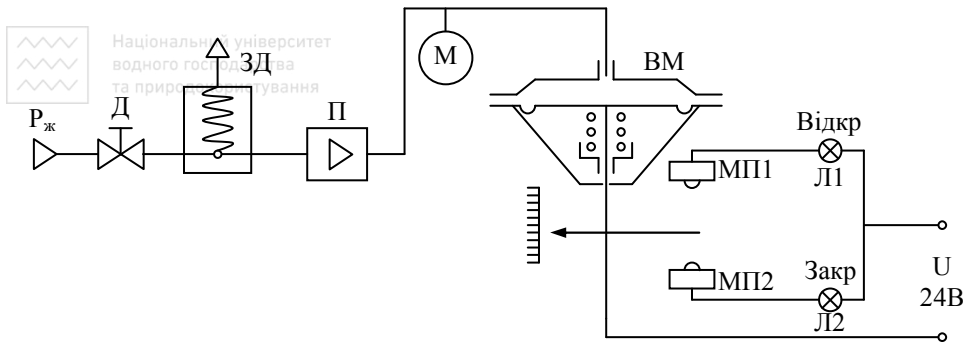


Рис. 4.12. Схема дистанційного керування пневматичним ВМ

Позначення на схемі:

$P_{ж}$ – тиск живлення,

Д – дросель,

ЗД – задавач вхідного сигналу,

П – підсилювач,

ВМ – виконавчий механізм мембранної односторонньої дії,

МП1, МП2 – мікро перемикачі,

Л1, Л2 – сигнальні лампи положення ВМ,

М – манометр контролю вхідного тиску.

4.5. Контрольні запитання

1. Дайте характеристику електродвигунним виконавчим механізмам.
2. Виконавчі механізми типу МЕО.
3. Виконавчі механізми типу МЕБ.
4. Виконавчі механізми типу МЕП.
5. Дайте характеристику виконавчого механізму типу МЕП 1000/80 – 15 та МЕО 40/25 – 0,25?
6. Яке призначення і які вузли використовуються для здійснення зворотного зв'язку і дистанційної вказівки положення у ВМ типу МЕО
7. Призначення кінцевих вимикачів та давача положення в конструкції електродвигуних ВМ?
8. Зобразіть тягову характеристику електродвигуного ВМ?
9. Вкажіть особливості і область використання соленоїдних ВМ.
10. Тягова характеристика соленоїдних ВМ.
11. Передаточна функція електромагнітного ВМ.
12. Електромагнітні ВМ із аналоговим керуванням.
13. Електромагнітні ВМ із імпульсним керуванням.
15. Поясніть будову пневматичних мембранних ВМ.
16. Дайте класифікацію пневматичним мембранним ВМ.
17. Дайте визначення ефективній площі мембрани. Ефективна площа для мембран із жорстким і без жорсткого центру.
19. Приведіть залежність для визначення постійної часу пневматичного мембранного ВМ.