

Лекція №1.

**ПОНЯТТЯ ПРО ПРИЦИПИ КЕРУВАННЯ ТА СИСТЕМУ  
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ**

План

1. *Роль вітчизняних вчених у розвитку автоматизації;*
2. *Особливості автоматизації сільськогосподарського виробництва;*
3. *Основні поняття і визначення автоматизації;*
4. *Задачі автоматичного керування.*

**1 Роль вітчизняних вчених у розвитку автоматизації**

Автоматизація - найвищий етап розвитку техніки і технології, на якому працівники вивільняються не тільки від фізичної праці, але і від функцій контролю за машинами, устаткуванням, виробничими процесами і операціями і керування ними. Автоматизація сприяє необмеженому підвищенню продуктивності праці, поліпшенню умов праці людей, зближенню праці фізичної з розумовою.

Автоматика - галузь науки і техніки, яка досліджує і застосовує теорію автоматичного керування, принципи побудови автоматичних систем і технічні засоби для реалізації цих систем. Як наука вона виникла в другій половині XVIII століття, коли з'явилися перші складні машини - знаряддя (прядильні, ткацькі верстати і ін.), які замінили важку ручну працю і дали можливість різко підняти її продуктивність. Тоді ж на зміну найпростішим двигунам (вітряним і гідравлічним) прийшли парові машини, першу з яких винайшов в 1765 році І. І. Ползунов, що створив першу у світі замкнуту автоматичну систему для регулювання рівня води у паровому котлі.

У міру розвитку техніки і звільнення людини від важкої фізичної праці функції керування процесами і знаряддями праці не тільки не зменшувалися, а, навпаки, все більше розширялися і ускладнювалися. У багатьох випадках людина втратила можливість управляти механізованим виробництвом без спеціальних додаткових пристроїв. Це і зумовило виникнення і розвиток автоматичного виробництва.

Застосування автоматів у промисловості відіграло важливу роль у розвитку техніки. Цей період можна назвати періодом формування принципів автоматики: принцип регулювання за відхиленням (Ползунова-Уатта), за збуренням (Понселе), метод регулювання за похідною (братів Сіменсів).

Саме в цей час появились перші теоретичні дослідження, присвячені вивченню процесів регулювання машин. У 1868 р. опублікована робота Максвела «Про регулятори», а в 1876 р. робота І. А. Вишнеградського «Про регулятори прямої дії». Подальший розвиток автоматики йшов як шляхом створення автоматичних пристроїв у всіх галузях техніки так і теоретичних розробок основ автоматики. Великий вклад у розвиток основ автоматики внесли російські вчені І. А. Вишнеградський, І. Н. Вознесенський, А. І. Ляпунов, М. Є. Жуковський, Л. В. Михайлов, В. В. Солодовников, Я. З. Ципкін та багато інших.

## 2. Особливості автоматизації сільськогосподарського виробництва

Великий практичний та теоретичний досвід, що накопичений при автоматизації промисловості, дозволяє використовувати його при автоматизації процесів у сільськогосподарському виробництві. При цьому необхідно зважати на його специфічні особливості:

- велика кількість приміщень із агресивним середовищем, із підвищеною запиленістю, з широкими межами зміни температури та вологості;
- зв'язок сільськогосподарських машин та іншої техніки із біологічними об'єктами (тваринами та рослинами), які створюють певний вплив на роботу пристроїв;
- велика кількість мобільних машин, що працюють при значній вібрації;
- розосередженість сільськогосподарських машин та агрегатів на значних площах, а також їх віддаленість від ремонтних баз;
- для контролю великої кількості параметрів застосовують серійні промислові датчики, однак у сільськогосподарському виробництві ще не до кінця розроблені датчики для контролю технологічних процесів чи якості сільськогосподарської продукції (вміст жирів, білків, кислот та солей у молоці, ступеня свіжості м'яса, яєць, ступінь спілості овочів та фруктів, вміст вологи, білків і крохмалю у зерні і т. д.). Окрім того сільськогосподарському виробництву необхідна велика кількість спеціальних датчиків для контролю та керування фізіологічними процесами життєдіяльності тварин та рослин.

В сільському господарстві автоматизація почала розвиватися порівняно недавно, але вже показала свою високу ефективність. Так, комплексна автоматизація приготування кормів на поточкових лініях забезпечує зменшення трудових затрат в 4...5 разів і зниження собівартості приготування кормів на 30...50%.

Значний економічний ефект дає автоматизація процесів в птахівництві. На багато яких сучасних птахофабриках, де повністю механізовані і автоматизовані роздача кормів, водопостачання, видалення посліду, збирання яєць і підтримка режимів мікроклімату, затрати праці на виробництво 1000 яєць складають 1,5...2,5 г, що у багато разів менше, ніж на звичайних птахофермах.

Великий економічний ефект дає автоматизація процесів в рослинництві. Наприклад, застосування для після комбайнової обробки зерна комплектних зерноочисних і зерноочисно-сушильних пунктів (типа ЗАВ-10, ЗАВ-20, КЗС-10, КЗС-20 і ін.) з поточковими технологічними лініями і централізованим автоматичним керуванням дає можливість в 2...3 рази понизити затрати праці порівняно з витратами на звичайних електрифікованих, але не автоматизованих токах.

Ефективність автоматизації мобільних сільськогосподарських агрегатів видно на прикладі упровадження засобів автоматичного наведення робочих органів комбайна «Херсонєць-7» на ряди кукурудзи, що прибираються. Робоча швидкість руху агрегату підвищилася, втрати урожаю зменшилися у декілька разів. Наведені приклади показують доцільність і необхідність широкого застосування автоматизації, що забезпечить значну економію затрат праці і засобів та дасть можливість підняти сільськогосподарське виробництво на новий, більш високий рівень технічного розвитку.

### 3. Основні поняття, термінологія та визначення автоматизації

Мета керування може бути різною залежно від призначення машини, режиму її роботи і інших *чинників*. Керування здійснюється шляхом дії на органи керування, що передбачені в будь-якій машині або установці.

Керування може здійснювати людина або технічний пристрій. В першому випадку керування називається *ручним*, в другому - *автоматичним*.

Машина або установка, що обладнана технічним керуючим пристроєм і діє без безпосередньої участі людини, називається *автоматом*. Створення і використання автоматів представляє собою новий етап машинного виробництва, який називається *автоматизацією*.

Автомат можна розглядати як систему, яка складається з керованого об'єкту (КО) і автоматичного керуючого пристрою (АКП), що взаємодіють між собою в процесі роботи для досягнення певної мети керування.

Керованим об'єктом може бути не тільки окрема машина, але і набір машин в технологічній лінії, технологічний процес, цех, виробництво, які для правильного виконання своїх функцій потребують керуючих дій. Тому в більш широкому сенсі установки, в яких керування здійснюється за допомогою АКП, називають системами автоматичного керування (САК).

Для можливості керування КО має один або декілька регулюючих органів (РО), за допомогою яких можна змінювати надходження в КО енергії або речовини, змінюючи його стан відповідно до заданого режиму роботи.

Стан КО може характеризуватися багатьма показниками або параметрами. Основний показник, для якого визначається мета керування, в автоматизації називається *керованою змінною* або *вихідною величиною* КО. Вихідну величину будемо позначати  $y(t)$  незалежно від її фізичної природи.

Положення керуючого органу або пропорційна йому кількість енергії чи речовини, що вводиться в об'єкт називають *керуючою дією* або *вхідною величиною* об'єкту. Керуючу дію будемо позначати  $u(t)$  незалежно від її фізичної природи.

В найпростішому випадку в САК мають одну вхідну і одну вихідну величину. Такі САК називають *одномірними*.

Системи з декількома вхідними і вихідними величинами називають *багатовимірними*. Наприклад, в тепловому двигуні збільшення горючої суміші, що подається, збільшує частоту обертання валу і температуру двигуна; частота обертання вала генератора змінного струму впливає на частоту і напругу і т.п.

В процесі роботи на керований об'єкт діють зовнішні і внутрішні чинники, які приводять до зміни керованої змінної  $y(t)$  об'єкту. Дії, що порушують заданий стан керованого об'єкту, і мають випадковий характер, називаються *збуреннями*. Збурення надалі будемо позначати  $f(t)$  незалежно від їх фізичної природи.

В ході роботи у системі автоматичного керування вимірюється фактичне значення керованої величини  $y(t)$ , порівнюється із завданням  $x_0(t)$  і в разі виникнення відхилення керованої величини від завдання  $\varepsilon = |y(t) - x_0(t)|$ . Воно подається на вхід АКП для вироблення керуючої дії на об'єкт через його регулюючий орган для усунення розходження яке виникло.

### 4 Задачі автоматичного керування

Сукупність правил, положень або математичних залежностей, що визначають послідовність зміни вихідної величини, яка відповідає нормальному функціонуванню об'єкта, називається *алгоритмом функціонування* (АФ). Він

відображає і представляє фактичну мету керування і визначається на основі технологічних, економічних і інших вимог зміни вихідної величини об'єкту в процесі його функціонування. Розглянемо основні алгоритми функціонування.

1. Стабілізація - це АФ, при якому вихідна величина об'єкту підтримується незмінною. САК, в яких реалізується цей АФ, називаються *системами стабілізації*. В системах стабілізації  $y(t) = const$ . Керуючий пристрій, що здійснює стабілізацію величини об'єкту виходу, називається *автоматичним регулятором (все режимний регулятор частоти обертів вала дизельного двигуна)*.

2. Програмне керування - це АФ, при якому вихідна величина об'єкту змінюється за наперед заданою програмою. Системи, що реалізують цей АФ, називаються *програмними*. Програма може бути задана в часі (*почасове програмне керування*) і в просторі (*просторове програмне керування*).

При *почасовому* заданні програми, у якості датчика застосовують програмне реле часу або годинниковий механізм, що переміщає задаючий потенціометр або інший датчик регулятора відповідно до необхідної програми зміни вихідної величини  $y(t)$  об'єкту. Програмно задається також час включення і відключення штучного освітлення в теплицях, пташниках, зміна освітленості при створенні штучного «заходу» і «світанку» і т.п.

*Просторове* програмне керування використовується для завдання руху по певній траєкторії в просторі: наприклад, рух фрези по заданому контуру у верстаті з програмним керуванням. Програма в цьому випадку може бути задана у вигляді шаблону, по якому переміщається копір. У верстатах з числовим програмним керуванням програма задається у вигляді чисел, що визначають координати обробки деталі.

3. Слідкуючі системи. АФ слідкуючої системи полягає в тому, що вихідна величина повинна повторювати зміну вхідної величини, закон зміни якої наперед невідомий. Слідкуюча система є підсилювачем потужності, і її основна задача - точно відтворювати вхідну величину за наявності збурень. Найбільш часто зустрічаються слідкуючі системи для відтворювання кута, частоти обертання, моменту, напруги, струму і т.п.

4. Алгоритм пошуку екстремуму передбачає пошук і підтримку екстремуму вихідної величини КО при зміні стану об'єкту і дії збурень. Прикладом може служити теплогенератор, статична характеристика якого має екстремум температури паливних газів при даній витраті палива. Для підтримки екстремуму температури необхідно підтримувати витрату повітря і палива строго постійними за відсутності неконтрольованих збурень. Але в реальних умовах в теплогенератора, як і в будь-якого об'єкту, існують неконтрольовані збурення, які наперед врахувати практично неможливо (наприклад, зміна калорійності палива, підсоси повітря і т. п.) і які викликають відхилення температури від її максимального значення. Під дією збурення точка екстремуму температури буде зміщуватися. Щоб повернути систему до екстремуму, слід впливати на керуючий орган. Один із способів визначення напрямку дії заснований на визначенні знака і значення похідної  $dy/du$  або  $dy/dt$ . В точці екстремуму швидкість зміни вихідної величини рівна нулю при значенні керуючої дії  $u = u_{opt}$ . Така система працює як звичайна стабілізуюча система, в якій завданням є величина  $dy/du = 0$ .

5. Алгоритм оптимального керування припускає досягнення найкращих в певному значенні умов роботи КО в перехідному режимі за наявності обмежень на вхідні, вихідні величини і змінні стани об'єкту. Такими умовами можуть бути,

наприклад, мінімальні витрати енергії, швидкодія і ін.

6. Алгоритм адаптації припускає таку зміну вихідних величин КО, при яких зберігається задана якість роботи об'єкту. При цьому система може змінювати свої параметри і структуру. Прикладом системи, що пристосовується, може бути система, що забезпечує зміну режиму роботи тракторного агрегату при зміні умов роботи: оранки на нерівному рельєфі, на ґрунтах з різними механічними властивостями і т.п.

Для виконання заданого АФ керованого об'єкту повинні відповідним чином формуватися, і керуючі дії. Правило формування послідовності керуючих дій, що забезпечує виконання АФ керованого об'єкту з необхідною точністю, називається алгоритмом керування.

Алгоритм керування залежить як від АФ, так і від динамічних властивостей КО. Цей зв'язок може бути представлений різними математичними залежностями. Математична залежність, що встановлює зв'язок між керуючою дією і вихідною змінною керованого об'єкту, називається законом керування.

*Релейний закон* керування реалізується регуляторами релейної дії, в яких керуюча дія з'являється тільки досягненні керованої величиною заданого порогового значення. При цьому керуюча дія приймає певне фіксоване значення (позицію) залежно від того порогового значення, якого досягла вихідна величина.

В лінійних регуляторах безперервної дії керуюча дія лінійно залежить від відхилення, його інтеграла і першої похідної в часі. При описі законів позначимо відхилення вихідної величини від заданого значення через  $\varepsilon$ .

Пропорційний закон (П-закон):

$$u = k_p \varepsilon .$$

Постійну  $k_p$  називають коефіцієнтом передачі регулятора.

Інтегральний закон (І-закон):

$$u = k_p / T \int_0^t \varepsilon dt ,$$

де  $T$  має розмірність часу, і її називають постійною інтегрування.

Пропорційно-інтегральний закон (Пі-закон):

$$u = k_p \left( \varepsilon + 1 / T \int_0^t \varepsilon dt \right) .$$

Пропорційно-інтегрально-диференціальний закон (ПД-закон):

$$u = k_p \left[ \varepsilon + 1 / T_i \int_0^t \varepsilon dt + T_D d\varepsilon / dt \right] ,$$

де  $T_i$  і  $T_D$  - постійні часу, відповідно, називають постійними часу інтегрування і диференціювання.

## ТЕМА № 2

# ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

### План:

1. *Фундаментальні принципи керування*
2. *Схеми систем автоматичного керування*
3. *Функціональні елементи автоматичних пристроїв*
4. *Приклад системи автоматичного керування*

### 1. Фундаментальні принципи керування

В основі побудови систем автоматичного керування лежать загальні фундаментальні принципи керування, що визначають, мету керування та вказують, яким чином здійснюється взаємоузгодження алгоритмів керування із завданням і фактичним функціонуванням системи, а іноді і зі збуреннями, що викликали відхилення вихідної величини від заданого значення. В техніці використовуються три основні фундаментальні принципи: *розімкненого керування, компенсації збурення і керування за відхиленням.*

1. Принцип розімкненого керування полягає в тому, що алгоритм керування будується тільки на основі алгоритму функціонування шляхом вибору законів, які визначають дію керуючого пристрою з урахуванням властивостей керованого об'єкту, при цьому не враховується фактичне значення керованої величини і дія збурень.

2. Принцип компенсації полягає в тому, що керуючий пристрій формує керуючу дію так, щоб компенсувати дію збурення на КО.

Для кожного виду збурення необхідно використовувати окремий компенсуючий пристрій. Тому, звичайно, звертають увагу на основне збурення, яке створює найбільший вплив на КО. Компенсація усіх збурень ускладнена і неголовними збуреннями, як правило, нехтують, але їх сумарна дія може бути значною – що є істотним недоліком даного принципу керування, але вони мають високу швидкодію, оскільки у даному випадку система безпосередньо реагує на причину, яка призвела до небажаної зміни керованої величини.

3. Принцип керування за відхиленням полягає в тому, що керуюча дія формується тільки при відхиленні керованої величини від заданого значення. Для порівняння заданого алгоритму функціонування і фактичного значення вихідної величини керованого об'єкту в схему вводиться додатковий зв'язок з виходу керованого об'єкту в АКП. Цей зв'язок називається лінією зворотного зв'язку, оскільки по ній передається сигнал у зворотному напрямі з виходу об'єкту в блок керування. Лінія зворотного зв'язку ніби замикає контур керування, тому таке керування носить назву керування за замкнутим контуром.

Коли дія по лінії зворотного зв'язку складається із задаючою, то такий зворотний зв'язок називається *позитивним.*

Якщо ж дія по лінії зворотного зв'язку віднімається із задаючої дії, то зворотний зв'язок називається *негативним.* Системи автоматичного керування, що працюють за відхиленням, є системами з негативним зворотним зв'язком.

Зворотний зв'язок може бути *жорстким і гнучким.*

Жорсткий зворотний зв'язок діє в усталеному і в перехідному режимах, тоді як гнучкий зворотний зв'язок діє тільки в перехідному режимі.

## 2 Схеми систем автоматичного керування

Для вивчення принципу роботи систем автоматики у цілому, взаємодії їхніх різних елементів, їх поведінки в усталених та динамічних режимах системи представляють у вигляді схеми. При розробці систем автоматичного керування використовують три види схем: принципові, функціональні та структурні.

На *принциповій схемі* всі елементи, що входять до системи та зв'язки між ними зображуються за допомогою умовних стандартних позначень (принципові кінематичні схеми автомобілів та тракторів, принципові електричні схеми радіоприймачів та телевізорів). Ці схеми використовують при вивченні принципу роботи всього пристрою, при налаштуванні, контролі та ремонті системи. Для зручності читання принципових схем кожному елементу привласнюють буквене або цифрове позначення.

*Функціональні схеми* систем автоматичного керування відображають певні процеси, що протікають в окремих функціональних частинах системи, що зображуються прямокутниками у які вписуються назви елементів відповідно до функцій, які вони виконують. Зв'язки між функціональними елементами зображуються стрілками над якими приводяться величини, що передаються від одного елемента до іншого. За однією функціональною схемою, як правило, можна розробити декілька принципових схем та вибрати із них кращий.

*Структурні схеми* показують взаємозв'язок окремих частин системи та характеризують їхні динамічні властивості. На структурній схемі всі ланки, що входять до неї зображуються у вигляді прямокутників куди вписуються їхні передавальні функції (математичні залежності між вхідними та вихідними величинами даної ланки), а зв'язки між ланками зображуються стрілками над якими приводяться величини, що передаються від однієї ланки до іншої. Структурні схеми широко використовуються при дослідженні динаміки САК (їхньої роботи в усталених та перехідних режимах).

## 3. Функціональні елементи автоматичних пристроїв

Автоматичні керуючі пристрої (АКП) і регулятори складаються з окремих елементів, які виконують певні функції..

*Задаючий елемент* (ЗЕ) служить для установлення завдання регулятору; він виробляє еталонну величину  $x_0$ , з якою порівнюється фактичне значення керованої величини  $y$ . ЗЕ задає алгоритм функціонування керованого об'єкту.

*Сприймаючий* (вимірювальний, чутливий) *елемент* (датчик) призначений для отримання інформації про фактичне значення керованої (регульованої) величини об'єкту у вигляді сигналу певної фізичної природи.

*Елемент порівняння* (ЕП) служить для порівняння завдання  $x_0(t)$  і фактичного значення керованої величини  $y(t)$ ; на виході цього елемента отримуємо результат порівняння у вигляді  $e = x_0 - y$ . Для цього обидві порівнювані величини повинні бути однакової фізичної природи.

*Керуючий елемент* (КЕ) формує керуючий сигнал відповідно до прийнятого алгоритму керування. Оскільки сигнал, що поступає на КЕ, звичайно має малу потужність, то в більшості випадків він підсилюється до потужності, достатньої для приведення в дію виконавчого механізму. При формуванні складніших алгоритмів керування як КЕ можуть бути логічні елементи і електронні обчислювальні машини.

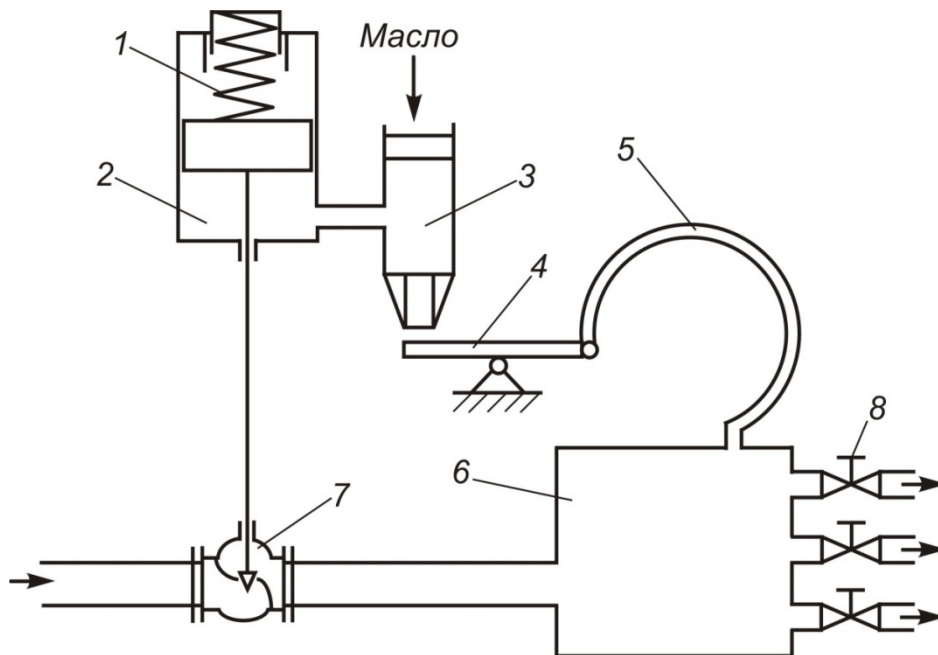
*Виконавчий елемент* (ВЕ) перетворює керуючий сигнал в керуючу дію  $u(t)$  на керований об'єкт через його керуючий (регулюючий) орган. Якщо регулюючий

орган об'єкту вимагає механічного переміщення (засувка, реостат і т. п.), то ВЕ називають виконавчим механізмом або сервомеханізмом.

*Коректуючі елементи* (КЕ) поліпшують динамічні властивості процесу регулювання і вводяться в автоматичний керуючий пристрій при обґрунтованій необхідності.

#### 4. Приклад системи автоматичного керування

Як приклад, розглянемо систему регулювання тиску повітря в резервуарі, принципову схему якої зображено на мал. 2. 2. Система призначена для регулювання тиску повітря в резервуарі 6, куди воно надходить від компресора через клапан 7 і далі через вентилі 8 надходить до споживачів. Система регулювання містить манометричну пружину 5, жорсткий важіль 4, гідравлічний підсилювач типу «сопло-заслінка» 3, гідравлічний циліндр 2 і циліндричну пружину з пристосуванням для її стиснення 1.



Мал.. 2.2. Принципова схема системи регулювання тиску повітря в резервуарі

В усталеному режимі в між дросельному просторі гідравлічного підсилювача типу «сопло-заслінка» і гідравлічному циліндрі розвивається певний тиск масла, а отже, і зусилля на поршні. Пружина - задатчик компенсує це зусилля і шток клапана знаходиться в нерухомому стані. З підвищенням тиску в об'єкті 6 вільний кінець манометричної пружини 5 переміщається вгору, захоплюючи жорсткий важіль 4 і збільшуючи зазор в гідравлічному підсилювачі 3 між соплом та заслінкою. При цьому тиск масла в гідравлічному підсилювачі і циліндрі 2 знижується за рахунок зливання великої кількості масла у масляний бак, під дією пружини-здатчика 1 поршень переміщається вниз, прикриваючи клапан 7. Тиск в об'єкті знижується в результаті зменшення притоку стиснутого повітря.



## ТЕМА № 3

# АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

### План:

1. *Вимоги до систем автоматичного керування*
2. *Стійкість роботи системи*
3. *Якість роботи системи*
4. *Надійність елементів і систем автоматики*

### 1. Вимоги до систем автоматичного керування

При розробці систем автоматичного регулювання завжди виникає питання вибору найкращого варіанту принципової схеми. Відповідь на це питання отримати, як правило, не просто, оскільки розроблена система повинна задовольняти ряд умов. Перш за все необхідно надавати перевагу варіантам схем, що забезпечують високу експлуатаційну *надійність системи*. При цьому слід урахувувати, що ненадійна система автоматичного регулювання за інших добрих її характеристиках виявляється *практично недоцільною*.

Другою умовою, якій повинна задовольняти система автоматичного регулювання, є забезпечення *стійкості і необхідної якості*. Нестійка система характеризується безмежним відхиленням регульованої величини від заданого значення у бік збільшення або зменшення за наявності збурюючих дій і тому є *непрацездатною*. Низькі якісні показники автоматичних систем, тобто точність підтримки регульованої величини, оцінюваною за величиною її відхилення від заданого значення в усталеному і перехідному режимах, *не дозволяють використовувати їх на практиці*. Тому при розробці основною задачею є отримання стійких систем автоматичного регулювання, які працюють із заданою якістю.

Використовують два підходи при вирішенні даної задачі: - аналіз та синтез.

При аналізі досліджують наявну систему і визначають, наскільки вона задовольняє вимогам (аналіз системи), що пред'являються. Аналіз системи звичайно здійснюють кілька разів, змінюючи кількість і параметри елементів і добиваючись задовільної якості процесу регулювання. Аналіз лінійних систем автоматичного регулювання розроблений достатньо повно, але є трудомістким процесом оскільки вимагає практичної наявності цих систем «реалізованих у металі».

При синтезі проектують систему автоматичного регулювання за заданими вимогами якості. Задача синтезу в загальному вигляді вельми складна і в даний час повністю не вирішена. При синтезі систему автоматичного регулювання розбивають на дві частини - з незмінними і змінними характеристиками. В незмінну частину системи звичайно входять регульований об'єкт, датчик, виконавчий і порівнюючий елементи регулятора. В змінну частину включають підсилювач і один або декілька коректуючих пристроїв. В процесі синтезу знаходять параметри і структуру змінної частини системи автоматичного регулювання за умови забезпечення вимог, що пред'являються до неї.

Отримання систем автоматичного регулювання із заданими якісними показниками методом аналізу трудомістке, синтез спрощує розробку автоматичних систем, але його задачі, як правило, також не мають однозначного вирішення. Тому звичайно складають декілька варіантів вирішення і вибирають найкращий.

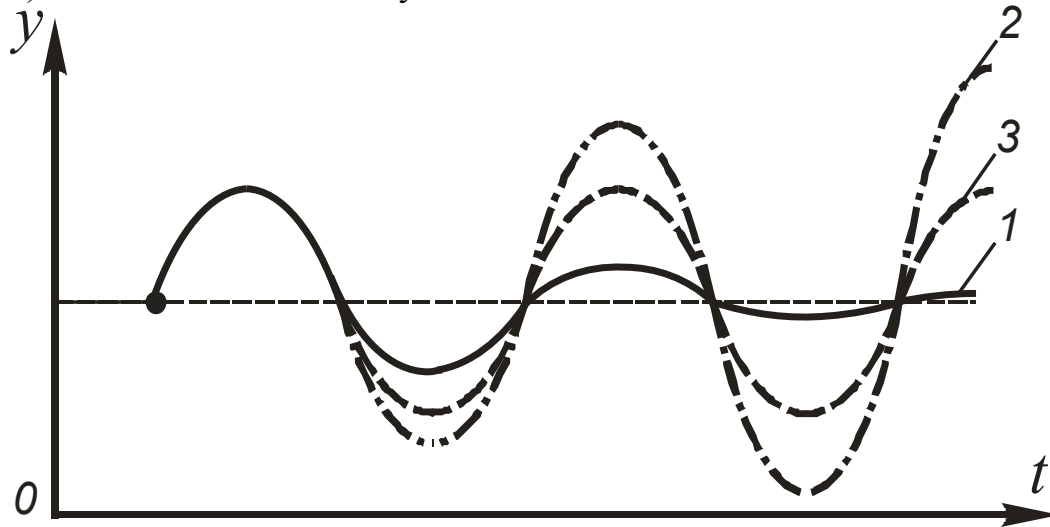
## 2. Стійкість роботи системи

Автоматична система повинна бути працездатною, а отже мати властивості, які утримували б параметри у таких межах, щоб не було істотних порушень технологічного процесу або роботи агрегатів.

Працездатність САК визначається її стійкістю. *Стійкість* – це здатність системи повертатись у вихідний стан після зняття обмежених збурюючих або керуючих дій на систему.

Вихідна величина  $y(t)$  виведеної із рівноваги САК в результаті вільних коливань може:

- 1) Точно або із деякою похибкою вернутись до попереднього значення;
- 2) Безмежно віддалятись від заданого значення;
- 3) Здійснювати незатухаючі коливання.



*Вільні коливання САК*

У першому випадку система буде стійкою і працездатною, у другому – нестійкою і непрацездатною, у третьому випадку система знаходиться на межі стійкості але не працездатна.

Для забезпечення заданих показників якості роботи системи при змінних зовнішніх збуреннях ряд її параметрів роблять регульованими, що може призвести до втрати стійкості, тому важливо визначити *межі* (або області) можливих регулювань параметрів за умов збереження стійкості системи.

*Запас стійкості* – це величина, яка показує на скільки віддалене дане значення параметру від межі стійкості.

## 3. Якість роботи системи

Стійкість САК - необхідна але не достатня умова її працездатності. Система повинна мати ще й необхідні якісні показники. В процесі роботи автоматична система повинна достатньо точно відтворювати задаючу дію, достатньо швидко компенсувати дію збурюючої величини і при цьому її динамічні відхилення повинні бути обмежені.

Якість роботи автоматичної системи визначається рядом її показників. Для визначення показників якості системи зазвичай проводять аналіз реакції системи на різні типові дії (одиничний стрибок, одиничний імпульс, гармонійна дія, стаціонарний випадковий процес).

Найважливішим критерієм якості роботи системи є *точність*, яка визначається різницею між заданим значенням вихідної величини та її значенням в різних усталених режимах:

$$\Delta = (y_{зад} - y_{\infty})/y_{\infty} \cdot 100 \%,$$

де  $y_{зад}$  - задане значення регульованої величини;  $y_{\infty}$  - усталене значення вихідної величини.

Швидкодія системи оцінюється часом  $T_{рег}$ , який визначається проміжком часу від моменту прикладення дії до того моменту, коли різниця між заданою і вихідною величинами увесь подальший час буде меншою деякої величини  $\Delta$ . Звичайно  $\Delta$  приймається рівною 3...5% від нового усталеного значення вихідної величини  $y_{\infty}$ .

**Перерегулювання**  $\sigma$  % характеризує величину максимального динамічного відхилення системи в перехідному процесі:

$$\sigma = (y_{max} - y_{\infty})/y_{\infty} \cdot 100 \%,$$

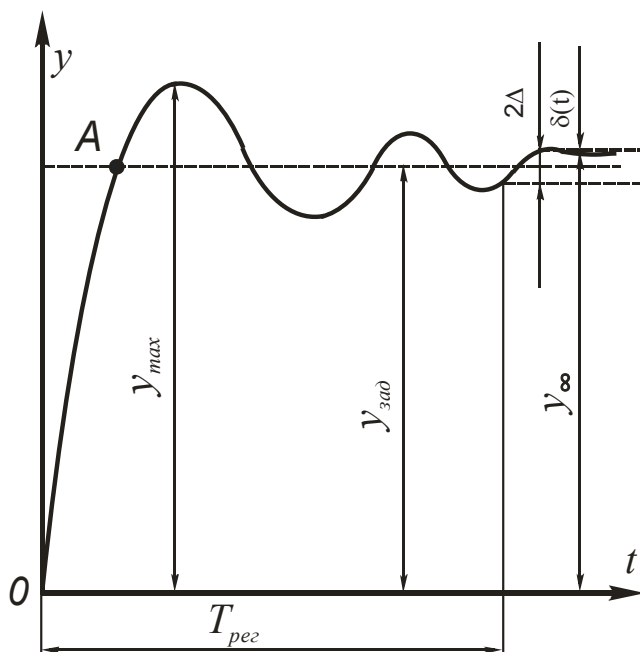
де  $y_{max}$  - максимальне значення регульованої величини;  $y_{\infty}$  - усталене значення вихідної величини.

Число напівколивань  $n$  за час перехідного процесу  $T_{рег}$  є мірою коливності системи.

Перерегулювання і коливність в основному залежать від запасу стійкості системи і можуть служити його непрямыми показниками. Чим ближче система до межі стійкості, тим більше значення  $\sigma$  і  $n$ .

Для забезпечення стійкої і високоякісної роботи автоматична система повинна забезпечити задану вимогами технічного процесу точність як в усталеному режимі  $\delta(t)$  (мал. ) так і динамічну.

Система повинна забезпечувати задану точність  $\Delta \leq 3...5 \%$ , мати задану швидкодію, величина перерегулювання не повинна перевищувати 20 %, а число напівколивань за час регулювання повинне бути  $n \leq 2...3$ .



*Перехідний процес системи автоматичного регулювання*

#### 4. Надійність елементів і систем автоматики

**Надійність** - це здатність елемента або системи виконувати поставлені завдання, зберігаючи свої експлуатаційні показники у заданих межах при певних режимах та умовах експлуатації протягом необхідного проміжку часу. Питання надійності є вельми важливим і набуває все більшого значення з огляду на зростаюче ускладнення систем автоматичного управління і регулювання.

Під об'єктом в теорії надійності розуміють предмет певного цільового призначення, що розглядається в періоди проектування, виробництва, експлуатації, вивчення, дослідження і випробувань на надійність. Як об'єкти в автоматичності можуть виступати системи і їх елементи.

Надійність системи визначається надійністю її елементів деталей і вузлів.

З надійністю тісно пов'язано поняття відмови. *Відмова* - це подія, що полягає в порушенні працездатності об'єкту.

Відмови діляться на декілька типів - раптові і поступові, повні і часткові, незалежні і залежні, збої і переміжні відмови. Відповідно до ГОСТ 13377-95 перераховані відмови мають такі визначення.

*Раптова відмова* - відмова, що характеризується стрибкоподібною зміною значень одного або декількох основних параметрів об'єкту.

*Поступова відмова* - відмова, що характеризується поступовою зміною значень одного або декількох основних параметрів об'єкту.

*Незалежна відмова* елементу - відмова елементу об'єкту, що не зумовлена пошкодженнями і відмовами інших елементів об'єкту.

*Залежна відмова* елементу - відмова елементу об'єкту, що зумовлена пошкодженнями або відмовами інших елементів об'єкту.

*Повна відмова* - відмова, після виникнення якої використання об'єкту за призначенням неможливе до відновлення його працездатності.

*Часткова відмова* - відмова, після виникнення якої використання об'єкту за призначенням можливе, але при цьому значення одного або декількох основних параметрів знаходяться поза допустимими межами.

*Збій* - самозникаюча відмова, що приводить до короткочасної втрати працездатності.

*Переміжна відмова* - збій одного і того ж характеру, що багаторазово повторюється.

Поступові відмови відбуваються в результаті зношування і старіння елементів, вони піддаються вивченню і можуть прогнозуватися. Решта з перерахованих відмов практично не піддаються прогнозуванню, і їх розглядає теорія надійності.

Зважаючи на те що відмови залежать від безлічі дрібних причин технологічного і експлуатаційного характеру, надійність доводиться розглядати як випадкову величину, що підкоряється законам рівномірного, експоненціального, логарифмічно нормального, гама-розподілу чи розподілам Релея, Вейбулла і Ерланга. Для визначення характеристик надійності потрібно мати в своєму розпорядженні необхідні статистичні відомості, які визначаються з *досвіду* експлуатації або зі спеціально поставлених лабораторних досліджень.

Для оцінки надійності елементів найчастіше використовують ймовірність безвідмовної роботи протягом певного часу, середній час безвідмовної роботи, частоту і небезпеку відмов в певних умовах експлуатації.

Ймовірність безвідмовної роботи - це ймовірність того, що елемент зберігатиме параметри в заданих межах протягом певного часу і за певних умов експлуатації. На підставі експериментальних даних вірогідність безвідмовної роботи можна приблизно визначити з відношення:

$$P(t) = n/N,$$

де  $n$  - кількість елементів, що пропрацювали без відмови протягом часу  $t$ ;

$N$  - кількість елементів у випробовуваній партії

Імовірність безвідмовної роботи характеризує зміну надійності в часі і враховує в основному всі чинники, що істотно впливає на надійність елементів.

Надійність елементів також можна характеризувати імовірністю відмови протягом певного часу:

$$Q(t) = 1 - P(t).$$

Середній час безвідмовної роботи - це математичне сподівання часу роботи, коли елемент знаходиться в справному стані (до першої відмови). Середній час безвідмовної роботи:

$$t_{\bar{n}\delta} = \int_0^{\infty} P(t) dt,$$

На підставі експериментальних даних величина  $t_{cp}$  може бути визначена із залежності:

$$t_{\bar{n}\delta} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N},$$

де  $t_i$  - час безвідмовної роботи  $i$ -го елемента.

За середнім часом безвідмовної роботи можна зробити висновок про надійність елементів, проте цей параметр, будучи математичним очікуванням випадкової величини, не повністю характеризує час безвідмовної роботи.

*Частота відмов* - це густина імовірності часу роботи елемента з моменту включення до відмови:

$$a(t) = \Delta n / (N \cdot \Delta t),$$

де  $\Delta n$  - кількість елементів, що відмовили протягом часу  $\Delta t$ ;  $N$  - кількість випробовуваних елементів.

Цей показник дозволяє знаходити кількість елементів, які можуть відмовити протягом певного часу роботи.

*Небезпека або інтенсивність відмов* - це умовна густина імовірності часу роботи до відмови у певний момент часу  $t$  за умови, що до цього моменту  $t$  елемент не відмовив. Інтенсивність відмов визначається співвідношенням:

$$\lambda(t) = a(t) / P(t).$$

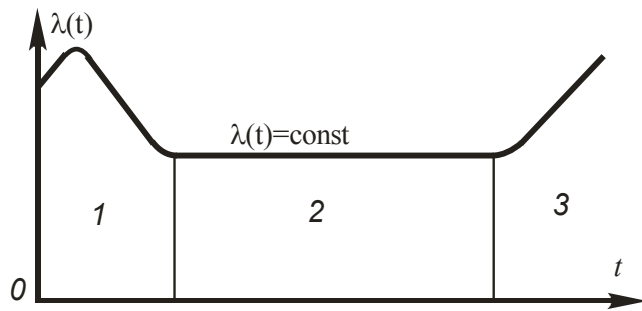
Вона є основною якісною характеристикою надійності елементів, оскільки дозволяє знаходити вірогідність безвідмовної роботи  $P(t)$ , а потім з розглянутих співвідношень визначати решту кількісних характеристик надійності.

Для більшості елементів інтенсивність відмов не є величиною постійною в часі. В процесі роботи елемента зазвичай можна чітко виділити три характерні періоди:

1 - період припрацювання і ранніх відмов (характеризується підвищеною кількістю відмов через приховані дефекти);

2 - період нормальної роботи (інтенсивність відмов знижується і стає майже постійною величиною);

3 - період старіння та недопустимого зношування елементів (інтенсивність відмов знову збільшується - звичайно при цьому з економічної точки зору необхідно припинити експлуатацію).



Графік зміни інтенсивності відмов в часі

Інтенсивність відмов залежить від вигляду і якості елементів, режиму і умов роботи. Вона може коливатися в широких межах навіть у разі однотипних елементів, що працюють в однакових умовах і режимі.

Інтенсивність відмов значною мірою залежить від режимів роботи елементів, під якими зазвичай розуміють відношення дійсної і номінальної потужностей або відношення струмів і напруги, значення температури, вологості, агресивності навколишнього середовища і так далі. Із збільшенням цих показників надійність елементів значно знижується. Тому для підвищення надійності елементи виконують безконтактними, герметизують їх і знижують режими роботи.

Широкого поширення набув експоненціальний закон розподілу, що характеризує відмови, наприклад, більшості електричних елементів автоматики. Цей закон розподілу характеризується одним числовим параметром - небезпекою відмови  $\lambda = const$ . При цьому формули для оцінки показників надійності мають вигляд:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad t_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{1}{\lambda}, \quad a(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

Для визначення показників надійності при експоненціальному законі розподілу необхідно визначити статистичним шляхом тільки небезпеку відмови даного елемента.

У реальних пристроях автоматики з погляду надійності прості елементи з'єднані послідовно і паралельно. При *послідовному* з'єднанні елементів відмова будь-якого з них викликає відмову всього пристрою. При *паралельному* з'єднанні відмова всього пристрою настає після відмови всіх елементів.

## ЛЕКЦІЯ № 4

### КЕРОВАНІ ОБ'ЄКТИ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

*План:*

1. Загальні властивості керованих об'єктів;
2. Головні властивості керованих об'єктів;
3. Математичні моделі об'єктів автоматизації.

#### 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ОБ'ЄКТИ

Керовані об'єкти є тими основними елементами системи автоматичного управління і регулювання, в яких за допомогою технічних засобів автоматизації повинен здійснюватися заданий алгоритм функціонування.

Технічні пристрої і процеси можуть бути керованими об'єктами, якщо їм властиві такі ознаки:

- а) у них відбувається перетворення, передача або накопичення енергії чи речовини;
- б) вони мають регулюючий орган для зміни кількості енергії або речовини, що поступає в об'єкт;
- в) надходження енергії або речовини змінює стан об'єкту, який характеризується зміною одного або декількох параметрів, що визначають алгоритм функціонування об'єкту і складають мету керування.

До найрозповсюдженіших об'єктів сільськогосподарського виробництва відносять:

- Теплові пристрої (теплогенератори, водонагрівачі, калорифери, електропечі, котлові пристрої, обігрівачі та ін.) у яких звичайно необхідно керувати температурою, подачею повітря, палива або енергії;
- Комплекси з виробництва, переробки та зберігання продукції (тваринницькі приміщення, овочесховища, парники та теплиці, зерносушильні пункти та ін.) де необхідно одночасно керувати температурою, вологістю, загазованістю;
- Мобільні сільськогосподарські машини і агрегати (трактори, комбайни, сівалки, плуги та ін.) у яких звичайно необхідно керувати швидкістю, траєкторією руху, продуктивністю та ін.

Дія на об'єкт може бути прикладеною, як на стороні надходження енергії або речовини, так і на виході. (наприклад регулювання температури води у водонагрівачі шляхом зміни швидкості протікання води)

Дія на об'єкт може бути керуючою або збурюючою. Керуюча дія породжується операціями управління, які прагнуть наблизити процес до заданого режиму роботи.

Збурюючі дії, навпаки, прагнуть віддалити процес від заданого значення показників режиму і вивести його із усталеного режиму. Збурення, як правило, є випадковими діями, породжуваними внутрішніми або зовнішніми чинниками, основним з яких є навантаження.

#### 2. Головні властивості керованих об'єктів

Керовані об'єкти володіють певними властивостями, які впливають на ефект керування, головними з них є:

- |                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| - Акумуляуюча здатність;      | - Самовирівнювання;             |
| - Ємність об'єкту;            | - Запізнювання реакції об'єкту; |
| - Коефіцієнт ємності;         | - Час розгону об'єкту;          |
| - Кількість ємностей об'єкту; | - Постійна часу об'єкту.        |

*Акумуляюча* здатність, це здатність об'єкту накопичувати енергію або речовину, яка істотно впливає на його регульовальні властивості. Акумуляючу здатність оцінюють за *ємністю* об'єкту, під якою розуміють запас енергії або речовини, що накопичена в об'єкті. Чим більша ємність об'єкту, тим повільніше змінюється керована величина при збурюючих діях і навпаки, чим менша ємність об'єкту, тим він чутливіший до збурюючих дій.

Для оцінки впливу ємності на зміну керованої величини служить *коефіцієнт ємності*, - це та кількість енергії або речовини, яку необхідно підвести до об'єкту або видалити з нього, щоб змінити керовану величину на одиницю виміру:

$$K_C = C/U.$$

$C$  - ємність об'єкту,  $U$  – значення керованої величини.

(Кількість води, яку необхідно подати або видалити з баку, щоб рівень води у ньому змінився на 1 м).

Керовані об'єкти можуть бути:

- безємнісними;
- одноємнісними;
- багатоемнісними.

Об'єкти із дуже малою ємністю відносять до *без ємнісних* (наприклад трубопроводи), у них керована величина змінюється практично миттєво.

*Одноємнісними* – є такі об'єкти у яких порушення рівноваги між подачею та витратою речовини викликає одночасну та однакову зміну керованої величини в усіх його точках.

У *багатоемнісних* об'єктів ця зміна не одночасна і не однакова, завдяки наявності опору для перетікання речовини або енергії із однієї ємності в іншу.

*Самовирівнювання об'єкту* це його здатність самостійно (без участі регулятора) приймати нове усталене значення керованої величини при зміні керуючої чи збурюючої дії (відновлювати рівновагу між подачею та витратою енергії чи речовини).

Об'єкти *без самовирівнювання* характерні тим, що порушена внаслідок збурення рівновага самостійно не відновлюється. Такі об'єкти важко піддаються керуванню. Об'єкти *без самовирівнювання* описуються інтегруючою ланкою. Об'єкти *без самовирівнювання* називаються *астатичними*.

Об'єкти із самовирівнюванням називаються *статичними* і описуються *аперіодичною ланкою*.

Об'єкти з негативним *самовирівнюванням* і *без самовирівнювання* не можуть працювати без автоматичних регуляторів. Тому *самовирівнювання* - одна з найважливіших властивостей об'єктів, що визначає ефективність управління.

*Запізнювання* - це властивість об'єкту при якій зміна його вихідної величини настає не одночасно з початком зміни керуючої або збурюючої дії.

Залежно від чинників, що зумовлюють запізнювання, розрізняють перехідне та транспортне запізнювання.

*Перехідне запізнювання* – є наслідком наявності різних опорів переходу речовини із однієї ємності в іншу або перетворення енергії із одного стану в інший і завжди спостерігаються у об'єктів з великою масою, індуктивністю або ємністю. Воно визначається, як проміжок часу від моменту появи збурення до початку зміни керованої величини. *Перехідне запізнювання* негативно впливає на процес



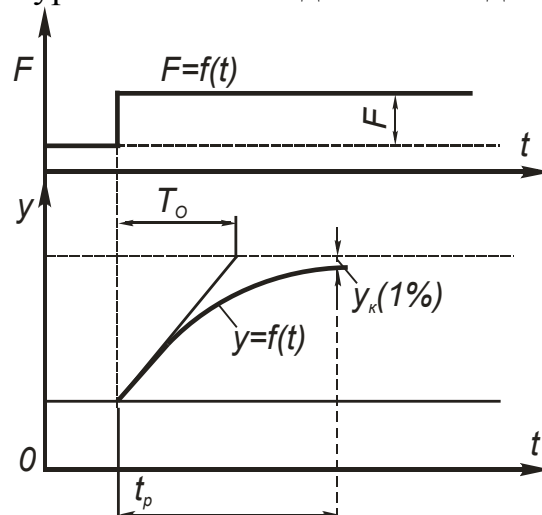
керування. Так для підігрівача перехідним запізнюванням буде час від моменту зміни подачі теплоносія до моменту зміни температури стінок.

*Транспортне запізнювання* властиве тим об'єктам у яких між регулюючим органом та входом об'єкта є передавальні канали (трубопроводи, теплопроводи, транспортери та ін.) для проходження яких необхідний певний час.

Різним об'єктам властиві різні запізнювання, так одно ємнісні об'єкти мають тільки транспортне запізнювання, багато ємнісні і транспортне і перехідне запізнювання, а в без ємнісних об'єктів запізнювання не має. Особливо шкідливе запізнювання для об'єктів без самовирівнювання, наприклад двигун постійного струму з послідовним збудженням, коли йде у «рознос».

*Час розгону* астатичного об'єкту визначає час, за який вихідна величина досягне деякого заданого значення при постійній величині дії. Звичайно час розгону  $t_p$  визначає тривалість перехідного процесу від моменту подачі постійної зовнішньої дії  $F(t)$  до моменту коли керована величина відрізнятиметься від усталеного значення не більше ніж на 1% а отже становитиме 99% свого номінального значення.

Так часом розгону об'єкта буде, наприклад, час від подачі напруги до досягнення електродвигуном номінальної кутової швидкості та рівноважного стану після його запуску, або наприклад, час необхідний, щоб у нагрівному елементі встановилась задана температура після його підключення до мережі.



*Постійна часу об'єкту* це час його розгону при відсутності самовирівнювання (або час за який об'єкт досягнув би нового рівноважного стану, якби його вихідна величина змінювалась із найбільшою для даного перехідного процесу швидкістю). Найбільша швидкість при  $t = 0$ . Значення постійної часу об'єкту  $T$  можна визначити, якщо провести дотичну до кривої об'єкту у початковий момент часу. Відрізок, який відтинає ця дотична на прямій, паралельній осі абсцис у масштабі часу показує постійну часу об'єкту  $T$ . Зі збільшенням постійної часу об'єкту  $T$  тривалість перехідного процесу пропорційно зростає. При наявності самовирівнювання, за проміжок часу  $t = T$  вихідна величина стійкого статичного об'єкта досягне 0,632 від величини усталеного значення, а за час  $t = 4T$  0,99  $y_{уст}$ .

### 3. Математичні моделі об'єктів автоматизації

Основні властивості об'єкта визначаються із диференціального рівняння руху або передавальної функції, які отримують аналітичними методами на підставі

фізичних законів, покладених в основу їх роботи і коефіцієнти яких визначаються за характеристиками технічних пристроїв що утворюють об'єкт.

Статична характеристика об'єкта це залежність керованої величини  $y$  від задаючої  $x$  в усталеному режимі при постійному зовнішньому збуренні  $F(t) = const$ .

Статична характеристика описується рівнянням виду  $y = f(x)$ . Статичні характеристики об'єктів надзвичайно різні за формою, але якщо вони описуються рівнянням першого ступеня (їх графік пряма лінія) то говорять про лінійні об'єкти. Якщо рівняння має вищий степінь то говорять про нелінійні об'єкти. Для спрощення їх досліджень проводять їх лінеаризацію.

Динамічна характеристика об'єкта це залежність керованої величини  $y(t)$  для довільного моменту часу від задаючої дії  $x(t)$  у перехідному режимі. Зв'язок між цими параметрами виражається диференціальними рівняннями. Найповнішу та найрізномісншу уяву про динамічні властивості об'єкту дають передавальні функції та частотні характеристики.

Експериментально криву розгону об'єкту отримують шляхом дії на об'єкт ступінчастою вхідною дією і реєстрацією вихідної величини в часі самописним приладом або зчитуванням показів стрілочного приладу через рівні інтервали часу.

Якщо часова характеристика має вигляд експоненти то об'єкт можна описати диференціальним рівнянням першого порядку:

$$T \frac{dy}{dt} + y = ku,$$

де  $T$  і  $k$  – відповідно, постійна часу та коефіцієнт підсилення об'єкту.

Коефіцієнт підсилення об'єкту  $k$  визначають для лінійної ділянки розгінної характеристики, як відношення зміни вихідної величини до відповідної їй зміни вхідної величини у усталеному режимі роботи.

Постійну часу  $T_o$  знаходять як проекцію дотичної в точці найбільшої швидкості зміни вихідної величини на вісь абсцис, обмеженою точками перетину дотичної з лініями початкового і усталеного значень вихідної величини.

Час розгону  $t_p$  визначається інтервалом часу від початку вхідної дії до того моменту, коли вихідна величина досягає  $0,95 y_{уст}$ .

Підставивши знайдені значення  $T$  і  $k$  у рівняння та розв'язавши його, будують криву та порівнюють її з експериментальною, якщо розходження не великі, то вважають рівняння часової характеристики надійним.

Якщо крива розгону починається не одночасно з подачею вхідної дії, то об'єкт має також і транспортне запізнювання, час якого визначається інтервалом від початку появи вхідної дії до початку зміни вихідної величини.

Час транспортного запізнювання  $\tau_o$  визначається між моментом початку зміни зовнішньої дії  $F$  і початком зміни вихідної величини).

В цьому випадку час повного запізнювання складається з часу перехідного і транспортного запізнювання згідно виразу:  $\tau = \tau_o + \tau_n$ .

Коефіцієнт самовирівнювання це відношення величини зовнішньої дії  $F$  до викликаного нею максимального відхилення  $y_{max}$  керованої величини:

$$\rho = F/y_{max}$$

$$\text{Коефіцієнт підсилення об'єкту } k = 1/\rho = y_{max}/F.$$

Для об'єктів без самовирівнювання  $k = 1$  а час розгону  $t_p = T$ , тоді рівняння і графік мають вигляд:

$$T \frac{dy}{dt} = u.$$

# ЛЕКЦІЯ № 5

## ДАТЧИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

План лекції:

1. Загальні відомості про датчики
2. Механічні датчики
3. Електромеханічні перетворювачі
4. Індуктивні датчики
5. Індукційні датчики
6. Ємнісні датчики
7. Трансформаторні датчики
8. Фотоелектричні датчики
9. Датчики вологості
10. Датчики температури

### 1. Загальні відомості про датчики

В основі роботи довільної СА контролю, регулювання та керування лежить інформація про стан та хід технологічних процесів, які протікають у об'єктах, про стан робочих речовин та функціонування обладнання. Цю інформацію у вигляді значень окремих фізичних величин отримують із допомогою відповідних технічних пристроїв, які в автоматичі мають загальну назву – вимірювальні перетворювачі або датчики.

Датчик – це пристрій, що вимірює параметри процесу, режиму роботи машин і агрегатів та перетворює виміряні фізичні величини у сигнал, зручний для подальшого обробітку та передачі на відстань або в коло керуючого пристрою.

Залежно від призначення та конкретних умов застосування до датчиків ставляться такі вимоги:

- однозначність залежності між вхідною та вихідною величинами (по можливості лінійність залежності);
- висока вибірковість (датчик повинен реагувати на зміну тільки тієї величини, для вимірювання якої він призначений);
- висока чутливість до вимірюваної величини;
- відсутність впливу навантаження вихідного кола датчика на режим роботи його вхідного кола);
- стабільність характеристик у часі;
- достатня потужність вихідного сигналу, що повинна забезпечувати (по можливості) подальше керування елементами системи без підсилювачів;
- мала інерційність (мінімальна затримка сигналу при передачі через датчик);

Техніко-економічні показники:

- стійкість до дії навколишнього середовища;
- надійність та довговічність;
- невелика вартість та технологічність виготовлення;
- зручність монтажу та обслуговування.

Залежно від фізичної природи вхідної величини датчики поділяються на датчики електричних величин (струму, напруги, потужності, частоти) та датчики неелектричних величин (температури, тиску, швидкості, рівня, вологості і т. д.).

За видом енергії вихідної величини датчики поділяються на електричні та неелектричні.

Електричні датчики за принципом дії поділяються на параметричні, у яких вхідні величини (звичайно не електричні) перетворюються у вихідні параметри електричних кіл ( $R$  – опору,  $L$  - індуктивності,  $C$  – ємності), трансформаторні та генераторні – у яких енергія вхідної величини перетворюється у енергію електричного вихідного сигналу – е. р. с.

Неелектричні датчики поділяються на механічні, гідравлічні, пневматичні та ін.

За характером зміни вихідного сигналу у часі розрізняють датчики неперервної дії, які видають сигнал неперервно, та датчики дискретної дії у яких значення вихідного сигналу в окремі проміжки часу рівні нулю.

Головними параметрами, що характеризують датчик, є чутливість та інерційність.

Чутливість  $S$  (коефіцієнт підсилення) датчика являє собою відношення зміни  $\Delta X_{ВИХ}$  його вихідної величини до відповідної їй зміни вхідної величини  $\Delta X_{ВХ}$ :

$$S = \Delta X_{ВИХ} / \Delta X_{ВХ} \text{ або } S = dX_{ВИХ} / dX_{ВХ} .$$

Інерційність датчика вказує на деяке запізнення у вимірі значення керованої величини яке може бути зумовлене масою деталей, тепловими властивостями, індуктивністю, ємністю та іншими параметрами власне датчика.

## **2. Механічні датчики**

Механічні перетворювачі характеризуються перетворенням вхідних механічних величин (тиск, зусилля, швидкість, витрата та ін.) в механічні вихідні сигнали (переміщення, частота обертів, тиск та ін.), що зручні для подальшого використання. Чутливими елементами цієї групи перетворювачів є пружні елементи (пружина, мембрана, пружна балка) поплавки, крильчатки, дроселі.

Приклади датчиків різних механічних величин:

- переміщення, розміри (копір, індикатори годинникового типу);
- Швидкості (відцентровий датчик);
- Прискорення (акселерометр);
- Зусиль (пружна балка, пружина);
- тиску (рідинний, сильфонний, мембранний, манометрична пружина);
- витрати (крильчатка, ротаметр, дросель (за різницею тисків));
- рівня (поплавок, за тиском);
- температури (термометр, біметалевий датчик).

Механічні первинні перетворювачі мають певну інерційність. Постійна часу механічних перетворювачів знаходиться у межах 0,01...0,1 сек.

## **3. Електромеханічні перетворювачі**

Електромеханічні перетворювачі служать для перетворення вхідних механічних величин (тиску, зусиль, переміщень та ін.) у вихідні електричні величини (напруга, струм, опір, індуктивність та ін.).

Резистивні перетворювачі служать для виміру лінійних та кутових переміщень, зусиль, моментів та ін. За конструктивним виконанням резистивні перетворювачі бувають контактні, потенціометричні, тензометричні:

- у контактних датчиках в результаті різних дій проходить замикання або розмикання контактів, що включені у електричне коло, вони бувають:

- односторонньої дії;
- двосторонньої дії;
- багатопозиційні.

Нечутливість контактних датчиків визначається початковим зазором  $\delta$  між контактами. Вони досить прості, надійні і досить точні, але мають обмежений строк служби (підгорають).

Потенціометричні датчики за рахунок зміни свого електричного опору перетворюють лінійне або кутове переміщення вимірювального органу:

- лінійний  $S = dR/dX$  ;
- лінійний що враховує напрям переміщення;
- кутовий  $S = dR/d\alpha$  .

Вони мають просту конструкцію, та достатню потужність вихідного сигналу і дуже поширені, але ненадійна частина датчика – ковзаючий контакт та не завжди лінійна характеристика датчика обмежують їх застосування.

Вугільні датчики – перетворюють зусилля, що діє на них, у електричний опір або силу струму. Вони бувають у вигляді стовпчиків та так звані тензоліти, що складаються із порошку вугілля, графіту або сажі, що змішані з бакелітовим або іншим ізолюючим лаком. Стовпчик із 10 – 15 вугільних шайб діаметром 5 - 10 мм товщиною 1 - 2 мм. При стискуванні опір стовпчика зменшується. Чутливість датчика:

$$S = \left| \frac{dR}{dp} \right| = \frac{\alpha}{p^2},$$

де -  $\alpha$  постійний коефіцієнт.

Тензоліти – виготовляють у вигляді стержня діаметром 1 мм, із мідними виводами, застосовують для вимірювання різних пружних деформацій. Його наклеюють на стрічку паперу у тому місці деталі де вимірюють деформацію, стержень розтягується та стискається сприймає деформацію і змінює свій опір.

Головним недоліком вугільних датчиків є нелінійність характеристики  $R = f(P)$ , нестабільність опору, залежність опору від температури, наявність явища аналогічного гістерезису.

Тензометричні датчики (тензоопори) – служать для вимірювань деформацій, тисків, зусиль, переміщень, прискорень та амплітуди пружних коливань, принцип їх дії заснований на явищі тензоефекту – зміни їх омичного опору при пружних деформаціях, при цьому зміна опору зумовлюється зміною геометричних розмірів (діаметру та довжини) матеріалу тензорезисторів, при деформаціях.

Тензоопори бувають трьох типів:

- дротяні на паперовій або полімерній основі, діаметром 0,02...0,04 мм – (дріт укладено зигзагами);
- фольгові прямокутні;
- напівпровідникові.

Тензочутливість:

$$K_T = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = E \frac{\Delta R/R}{\sigma},$$

де  $R$  та  $l$  - опір та довжина проводу;  
 $\Delta R$  та  $\Delta l$  - зміна опору та довжини проводу;  
 $\sigma$  - напруга у матеріалі проводу;  
 $E$  - модуль пружності.

Для виготовлення дротяних та фольгових тензодатчиків використовують тензометричний константан  $K_T = 2$ , інвар  $K_T = 3,8$ , або платиноїридій  $K_T = 6$ .

#### 4. Індуктивні датчики

Принцип дії заснований на зміні індуктивного опору котушки при переміщенні у ній феромагнітного осердя, або при зміні зазору в осерді. За конструктивним виконанням індуктивні датчики можуть бути:

- з рухомим якорем;
- із рухомим осердям;
- диференційний.

Індуктивні датчики із рухомим якорем (зі змінним зазором) використовують для вимірювання дуже малих до 2 мм переміщень. Чутливість датчика:

$$S = K_T = \Delta Z/Z / \Delta \delta/\delta.$$

Індуктивні датчики із рухомим осердям здатні виміряти величини до 15 мм переміщення. Характеристика датчика прямолінійна тільки на певній ділянці.

Диференційні індуктивні датчики у яких вхідною величиною є зміщення якоря відносно середнього положення, а вихідною напруга. У диференціальних датчиків більша чутливість і на їх роботу значно менше впливає коливання напруги джерела живлення.

Індуктивні датчики прості та надійні, мають велику вихідну потужність, не мають рухомих контактів, працюють від мережі змінного струму при частотах від 50 Гц до декількох кілогерц, але їх робота дуже залежить від частоти напруги живлення і їх неможливо використовувати при високих частотах, бо при цьому різко зростають втрати на перемагнічування та індуктивний опір обмотки.

#### 5. Трансформаторні датчики

Принцип їх дії заснований на зміні взаємної індуктивності між двома системами обмоток при їх взаємному переміщенні або переміщенні якоря. Їм властиві переваги та недоліки індуктивних датчиків, крім того у них відсутній гальванічний зв'язок між електричними колами входу та виходу.

#### 6. Індукційні датчики

Індукційні датчики – відносять до групи генераторних. Принцип їх дії заснований на використанні закону електромагнітної індукції, згідно якого е. р. с., що індукується у котушці пропорційна швидкості зміни магнітного потоку який зчеплений із котушкою:

$$e = -w \frac{d\Phi}{dt}.$$

Тахогенератори можуть бути постійного або змінного струму із незалежним збудженням або із постійним магнітом.

У тахогенераторі постійного струму про швидкість судять за значеннями е. р. с. (напруги), яка прямо пропорційна кутовій швидкості. Чутливість датчика:

$$S = dU/d\omega.$$

Але у цих тахогенераторів є ненадійний вузол – колектор із вугільними щітками, та й температура впливає на опір обмоток відповідно і на вихідну напругу.

При використанні тахогенераторів змінного струму – використовують залежність частоти електричного струму від частоти обертів  $f = \psi(n)$ , у цьому випадку на виміри не впливає величина магнітного потоку, що забезпечує збільшення точності вимірів.

## 7. Ємнісні датчики

Принцип роботи ємнісних датчиків заснований на використанні залежності електричної ємності конденсаторів від розмірів та взаємного розміщення його електродів а також від діелектричних властивостей середовища між ними. Розрізняють три типи ємнісних датчиків:

- зі змінною площею пластин;
- зі змінною відстанню між пластинами;
- зі змінною діелектричною проникністю між пластинами.

Для двохелектродного ємнісного датчика із плоскими електродами електрична ємність:

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

де  $F$  - площа електродів;

$\delta$  - відстань між електродами;

$\epsilon$  - електрична проникність середовища між пластинами, що рівна:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0,$$

де  $\epsilon_r$  - відносна електрична проникність середовища між пластинами;

$\epsilon_0$  - діелектрична постійна,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ .

В такому датчику вхідною величиною може бути  $\epsilon$ ,  $F$ , або  $\delta$ , а вихідною величиною буде ємність  $C$ . Якщо за вхідну величину взяти відстань між пластинами -  $\delta$  то чутливість датчика:

$$K = S = \epsilon F / \delta^2.$$

Конструкції датчиків:

Для збільшення точності вимірів та підвищення чутливості ємнісних датчиків їх звичайно вмикають за диференціальними схемами. Такі датчики практично без інерційні і застосовуються для вимірювання тисків, прискорень, вібрацій, рівнів, товщини різних матеріалів, вологості і т. д., але їм властиві ряд недоліків:

- невелика потужність вихідного сигналу;
- для збільшення потужності датчиків їх необхідно живити від джерел збільшеної частоти струму 10 кГц та більше;
- на їх покази сильно впливають паразитні ємності, (особливо ємність з'єднувальних проводів відносно землі) необхідно використовувати екрануючі елементи для датчика та проводів.



## 8. Фотоелектричні датчики

Оптичні датчики являють собою фотоелементи, що реагують на зміну світлового потоку. Відомо, що світлова енергія діючи на деякі матеріали надає їх електронам деякої енергії, достатньої для того, щоб частина електронів виявилась вільною. Залежно від поведінки електронів, які звільнилися під дією світлового потоку, розрізняють три типи фотоелементів:

- із зовнішнім фото ефектом (вакуумні або газонаповнені);
- із шаром, що запирається (вентильні);
- із внутрішнім фото ефектом (фотоопори).

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

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

У фоторезисторів сила струму, що протікає через них, залежить від освітленості світлочутливої поверхні фото-резистора. Фоторезистор являє собою основу із ізоляційного матеріалу на яку нанесено шар світлочутливого матеріалу (селену або сірчистих талія, вісмуту чи свинцю). Фото-резистори мають світлочутливість 500...6000 мкА/В·лм.

## 9. Датчики вологості

Існують прямі та непрямі методи виміру вологості твердих та сипучих тіл, газів та інших середовищ. При прямому методі, речовину вологість якої визначають, розділяють на власне речовину та вологу, визначають їх маси і вираховують вологість за формулою:

$$V = M / (M_0 + M) \cdot 100\%,$$

де М - маса води, М<sub>0</sub> - маса сухої речовини.

На практиці цей метод використовують як еталонний. У системах автоматики використовують непрямі методи вимірювань, при яких про вологість матеріалу судять за якою не будь фізичною величиною, що зв'язана із вологістю. Широкого застосування отримали електричні методи: кондуктометричний – при якому про вологість судять за результатами виміру електричної провідності матеріалу, діелектричний – при якому про вологість судять за результатами виміру його діелектричної проникності та гігрометричний – при якому про вологість середовища судять за змінами електричних або механічних характеристик, гігроскопічної речовини, яку розміщують у середовище вологість якого вимірюється.

За конструкціями кондуктометричні та діелькометричні датчики є циліндричними або плоскими конденсаторами, між електродами якого розміщують матеріал, вологість якого вимірюють.

Гігрометричні датчики застосовуються для визначення вологості повітря та газів. Сприймаючим елементом у них служить знежирена людська волосинка або плівка товщиною 5...30 мк, яку виготовляють із оболонки кишок великої рогатої худоби. Волосся подовжується на 2...2,5% а тваринна плівка – на 4...5% при зміні відносної вологості повітря від 0 до 100%. Подовження передається системою важелів на стрілку приладів, яка відхиляється пропорційно до вологості.

Для вимірювання вологості повітря та газів застосовують і напівпровідникові гігростори. Вони являють собою тонку плівку із напівпровідникового матеріалу, опір якого різко зменшується при збільшенні вологості. Але велика інерційність, наявність гістерезису та вплив температури навколишнього середовища на точність вимірювань обмежують використання гігросторів.

## 10. Датчики температури

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

Контактні термометри - працюють на принципі теплового розширення рідин та газів. Рідинний (ртутний) датчик (див. мал. 3.1) являє собою скляну трубку 5, всередині якої розміщена скляна ампула із капіляром, де знаходиться ртуть. В ампулі розміщено два контакти: один впаяний знизу 1 і з'єднаний із стовпиком ртуті, а другий 2 (рухомий) розміщений зверху і може переміщатись у капілярі за допомогою магнітної головки 8 що розміщена над термометром. При повертанні магнітної головки 8, починає повертатись стальне осердя 7 та ходовий гвинт 4, по якому переміщується муфта 3, що з'єднана з рухомих контактом 2. Про положення рухомого контакту на вимірювальній шкалі А судять за положенням муфти 3 на допоміжній шкалі В. Оскільки висота стовпчика ртуті залежить від температури середовища, то кожному положенню рухомого контакту відповідатиме певне значення температури при якій спрацьовуватиме датчик. Таким чином, контактний термометр – датчик двохпозиційної дії, вхідною величиною якого є температура, а вихідною – висота рідини у капілярі. Межі регулювання температури від  $-30$  до  $+100$  °С (та вище). У схемах автоматики такі термометри застосовуються із проміжними реле, тому що потужність контактів 2 Вт при струмі 0,2 А.

Манометричні датчики використовують залежність тиску газу або насиченої пари низько кипучої рідини, що знаходиться у замкнутій системі, від температури. Замкнута система (мал. 3.2е, ж, з) складається із балону 1, який занурюють у середовище, температуру якого треба виміряти, з'єднувального капіляра 2 та манометра 3, що зв'язаний системою важелів із стрілкою 4 вимірювальної шкали 5. Зміна температури у цих датчиках фіксується за рахунок переміщення манометричних пружин (е), мембран (ж), сільфонів (з). При досягненні граничних значень

температури стрілка викликає спрацювання контактної системи 6, у результаті чого виникає керуючий сигнал. Датчики манометричного типу дозволяють вести візуальний контроль температури, причому шкала датчика може бути віддаленою на значну відстань від контрольованого об'єкта (довжина капіляру до 40 м). Рідинні манометричні датчики заповнюють ртуттю, ацетоном, ефіром, спиртом та їх сполуками, а газові - азотом та інертними газами.

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

В інварних датчиках температури (як правило, це також релейні сигналізатори про настання певної заданої температури у контрольованому середовищі) чутливий елемент (див. мал. 3.3) складається із латунної трубки 1 та інварних пружин 2. Інвар - це спеціальний сплав із практично рівним нулю коефіцієнтом теплового розширення, внаслідок чого тіла, виготовлені із такого сплаву, при нагріванні практично не розширюються. Внаслідок різниці коефіцієнтів лінійного розширення латуні та інвару, латунна трубка разом із зв'язаною з нею віссю 3 при нагріванні переміщатиметься відносно інварних пружин 2. Виставляючи зазор а, можна відрегулювати терморегулятор на певну температуру спрацювання. При нагріванні, коли цей зазор буде перекритим за рахунок переміщення в осьовому напрямі торця трубки 1 та осі 3, почне переміщатися замок 4, що призведе до розтягу інварних пружин 2 та розмикання контактів 5. При зниженні температури довжина трубки 1 зменшується і контакти 5 знову замикаються. Обертаючи гвинт 7, що встановлений у головці 6 терморегулятора, можна задавати значення температури його спрацювання (від  $+25$  до  $200^{\circ}\text{C}$ ). Контакти терморегулятора допускають навантаження до 100 Вт при напрузі 200 В.

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

У термометрах опору використовують властивість металічних провідників змінювати свій електричний опір при зміні температури. На практиці використовують платинові термометри опору типу ТСП із номінальним опором 10, 46 та 100 Ом для вимірювання температур від  $-200$  до  $+650^{\circ}\text{C}$ , та мідні типу ТСМ на номінальний опір 53 та 100 Ом для вимірювання температур від  $-50$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ . У цих термометрах (мал. 3.4б) провід 1, що виготовлений із міді або платини,

намотаний на ізоляційний каркас 2 та закритий кожухом 3. Виводи 5 закріплені в ізоляційній колодці 4.

Залежність опору проводу термометра від температури навколишнього середовища:

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

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

Чутливість (Ом/град) термометра опору:

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

Термометри опору - одні з найточніших вимірювачів температури (вони дозволяють виміряти температуру з точністю до  $0,001$  °С). Оскільки інтенсивність витрати теплоти залежить від багатьох факторів (розмір та форма провідника та арматури, до якої кріпиться провідник, склад, густина, теплопровідність навколишнього середовища, швидкість переміщення та ін.), термометри опору можуть застосовуватись і для вимірювання інших величин - швидкості, густини та складу газового або рідинного середовища. Основний їх недолік - порівняно великі розміри, що обмежує їх застосування при вимірюванні температури у малих об'ємах.

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

Позистори мають великий позитивний температурний коефіцієнт опору, що сягає 80% на  $1$  °С, у вузькому діапазоні температур. Їх виготовляють із титанату барію зі спеціально підібраними домішками, що надають їм властивостей напівпровідника, у якого опір сильно залежний від температури. Температурний коефіцієнт позисторів у 3...4 рази більший ніж у термісторів. Опір позисторів значною мірою залежить від прикладеної до них напруги (мал. 4 ж). Промисловість випускає позистори марки СТ (від СТ-5 до СТ-15) різних модифікацій.

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

На практиці використовуються термопари хромель-копелеві (ХК) із межами зміни температури до  $600$  °С, хромель-алюмелеві (ХА) - до  $900$  °С, мідно-константанові (М) - до  $350$  °С, залізно-константанові (Ж) - до  $600$  °С та інші.

## ЛЕКЦІЯ № 6

# ПІДСИЛЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

План:

1. Загальні відомості про підсилювачі та вимоги до них;
2. Гідравлічні та пневматичні підсилювачі;
3. Магнітні підсилювачі;
4. Електронні підсилювачі;

### 1. Загальні відомості про підсилювачі та вимоги до них

Підсилювачем – називається пристрій, призначений для збільшення потужності сигналу за рахунок енергії додаткових джерел енергії, при цьому вихідна (підсилена) величина є функцією вхідного сигналу і має однакову із ним фізичну природу.

Вхідні величини підсилювача у залежності від його типу – це струм та напруга, швидкість переміщення та момент опору, витрата та тиск робочого тіла.

Підсилювачі різняться за вихідною потужністю, видом допоміжної енергії що підводиться, коефіцієнтом підсилення, принципом дії, формою характеристики, що показує залежність між вихідною і вхідною величинами та за рядом інших ознак.

*Вихідна потужність* сучасних підсилювачів, що використовуються у системах автоматики, коливається від часток вату до десятків або сотень кіловат.

За видом допоміжної енергії, що підводиться до підсилювачів, їх поділяють на електричні, електромеханічні, електронні, магнітні, гідравлічні, пневматичні, та комбіновані.

*Коефіцієнт підсилення* – є головним показником підсилювача, він може сягати тисяч, сотень тисяч і навіть більше раз:

$$K_{\Pi} = \Delta P_{\text{вих}} / \Delta P_{\text{вх}}, \text{ - (знаходиться у межах від } 1 \text{ до } 10^7)$$

де  $\Delta P_{\text{вих}}, \Delta P_{\text{вх}}$  - приріст потужності на виході та вході підсилювача.

Поряд із загальною функцією підсилення потужності, підсилювачі можуть підсилювати лише один із параметрів, що входять у вираз потужності, при значенні іншого параметру, рівним або близьким до нуля.

Для різного виду електричних підсилювачів основними показниками є коефіцієнт підсилення за напругою:

$$K_U = \Delta U_{\text{вих}} / \Delta U_{\text{вх}},$$

або за струмом:

$$K_I = \Delta I_{\text{вих}} / \Delta I_{\text{вх}},$$

де  $\Delta U$  та  $\Delta I$  - відповідно прирости напруги та струму на виході та вході підсилювача.

За формою статичної характеристики, що відображує залежність між вихідною та вхідною величиною, підсилювачі поділяють на лінійні та нелінійні.

Для лінійного підсилювача на всьому інтервалі керування між вхідними та вихідними величинами існує прямо пропорційна залежність.

Нелінійні характеристики підсилювачів:

- у підсилювачів релейного типу вихідна величина рівня нулю до тих пір, поки  $X < \Delta X$ . При  $X > \Delta X$  вхідний сигнал миттєво досягає значення  $Y_0$  і далі не

змінюється. Проміжок від  $-\Delta X$  до  $+\Delta X$  називається зоною нечутливості підсилювача.

Характеристика нелінійного підсилювача *релейного типу* із різними значеннями спрацювання та повернення реле (вона близька по формі до петлі Гістерезиса).

Характеристика нелінійного підсилювача із *зоною нечутливості та насиченням*.

Характеристика нелінійного підсилювача із *зоною нечутливості насиченням та петлею гістерезиса* (підсилювачі із зазорами у механізмах).

Підсилювальні пристрої використовують у системах автоматики як самостійні елементи, так і у складі регуляторів та виконавчих механізмів.

До підсилювачів, що використовуються у системах автоматики, ставлять такі вимоги:

- підсилювач повинен мати необхідний коефіцієнт підсилення потужності та інших параметрів;
- постійна часу підсилювача, що характеризує його швидкодію, повинна бути малою порівняно із такими ж характеристиками інших елементів в системі;
- статична характеристика підсилювача у зоні зміни вихідної та вхідної величини повинна бути лінійною;
- поріг чутливості підсилювача повинен бути мінімальним і не перевищувати допустимих меж;
- вони повинні мати високі техніко економічні показники.

## **2. Гідравлічні та пневматичні підсилювачі**

У конструктивному відношенні гідравлічні та пневматичні підсилювачі мають багато спільного і відрізняються тільки енергоносієм (робочим тілом), в якості якого в гідравлічних підсилювачах використовують рідину під високим тиском, а в пневматичних – газ.

Гідравлічні та пневматичні підсилювачі конструктивно виготовляються разом із виконавчими пристроями. Ці підсилювачі мають ряд істотних переваг:

- великий коефіцієнт підсилення;
- висока швидкодія;
- малі габарити;
- мала металоємність на 1 кВт вихідної потужності.

Недоліки їх використання:

- необхідність використовувати спеціалізовані джерела живлення (масляні насоси та компресори).

Гідравлічні та пневматичні підсилювачі призначені для підсилення потужності сигналів, що подаються на їх вхід і перетворення цих сигналів у потік робочої рідини або газу. Підсилення потужності здійснюється за рахунок використання енергії зовнішніх джерел.

Під дією зовнішніх вхідних сигналів у підсилювачі змінюють потужність потоку робочої рідини або газу, від нуля до деякої максимальної величини, який потім подається на вхід гідро- або пневмодвигуна. Зміна величини або напрямку лінійної чи кутової швидкості переміщення вихідного валу двигуна використовується для зміни положення регулюючого органу об'єкта.

За принципом дії підсилювачі поділяються на:

- дросельні;
- струменеві;

Дросельні підсилювачі діляться на:

- золотникові;
- сопло-заслінка.

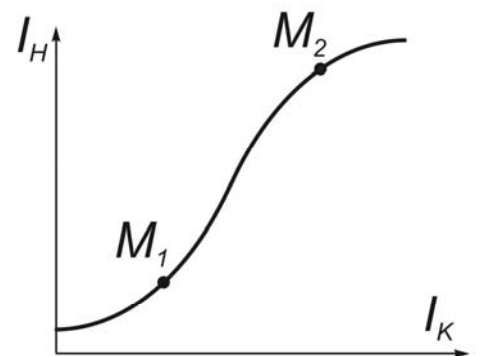
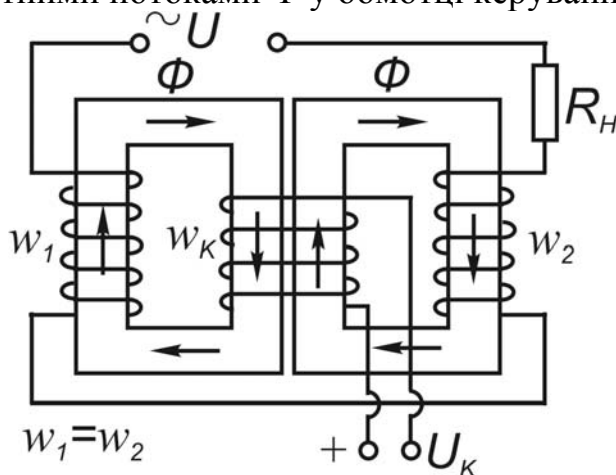
У корпусі струменевого підсилювача знаходиться трубка 2, один кінець якої виконаний у вигляді конічної насадки. Інший кінець трубки закріплено на осі. Від джерела живлення через вісь у струменеву трубку подається робоча рідина під постійним тиском  $P_1$ . Струменева трубка через тягу зв'язана із датчиком переміщення і може повертатись на невеликий кут. Напроти конічної насадки струменевої трубки розміщені сопла які з'єднані трубопроводами із гідравлічним двигуном.

Робота струменевого підсилювача заснована на перетворенні тиску рідини або газу в кінетичну енергію струменя, яка переміщенням струменевої трубки направляє у приймальні сопла підсилювача і перетворюється знову у енергію тиску. Гідравлічний або пневматичний механізм перетворює енергію тиску у лінійне або кутове переміщення вихідного вала. Коли конічна насадка струменевої трубки знаходиться посередині між приймальними соплами, тиск у останніх однаковий. У міру переміщення струменевої трубки тиск у одному приймальному соплі зростає, а у другому зменшується. При зміні напрямку переміщення струменевої трубки змінюється і тиск у приймальних соплах підсилювача.

### 3. Магнітні підсилювачі

Магнітним підсилювачем називається пристрій, що призначений для керування відносно великою потужністю змінною струму за допомогою малої потужності постійного струму. Принцип дії магнітного підсилювача заснований на залежності магнітної проникності феромагнітних матеріалів котушки із осердям при її живленні змінним струмом від підмагнічуючої дії постійного струму.

Магнітний підсилювач складається із двох робочих котушок  $w_1$  та  $w_2$ , що намотані на двох осердях із феромагнітного матеріалу та котушки керування  $w_K$ , що намотана на стержнях обох осердь магнітопроводу. Робочі котушки з'єднані таким чином, щоб їх змінні магнітні потоки  $\Phi$  у внутрішніх стержнях магнітопроводу були направлені зустрічно, внаслідок чого е. р. с., що індукуються цими змінними магнітними потоками  $\Phi$  у обмотці керування  $w_K$ , будуть взаємно компенсуватися.



- характеристика підсилювача;

Вхідна величина МП – напруга  $U_K$  або струм  $I_K$  в обмотці керування. Вихідна величина МП – змінний струм  $I_H$  в робочій обмотці та опорі навантаження  $R_H$ .

Величина цього струму:

$$I_H = U/Z = U/\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2},$$

де  $R = R_H + R_w$  - сума активних опорів навантаження та робочих котушок МП;

$2\pi fL = 2\pi f(L_1 + L_2)$  - сума реактивних опорів робочих котушок  $w_1$  та  $w_2$  МП.

Індуктивність робочих обмоток МП:

$$L_1 = L_2 = w^2 S\mu/l,$$

де  $w$  - кількість витків котушки;

$S$  – площа січення осердя, м<sup>2</sup>;

$l$  - довжина середньої лінії осердя, м;

$\mu$  - магнітна проникність осердя, Гн/м.

Постійний струм, що протікає по обмотці керування змінює насиченість магнітопроводу, змінюючи при цьому його динамічну магнітну проникність. При зростанні струму керування, збільшується насиченість осердя, а магнітна проникність зменшується, що приводить до зменшення індуктивності робочих обмоток, а отже їх реактивного опору і як наслідок до збільшення струму навантаження  $I_H$ . Таким чином, незначна зміна постійного струму керування у підмагнічувальній обмотці викликає досить істотну зміну змінного струму у робочій обмотці. При відсутності струму керування на виході магнітного підсилювача буде невеликий струм навантаження. Із збільшенням струму керування збільшується і струм навантаження. Характеристика  $I_H = f(I_K)$  у цілому не лінійна: робочою зоною є лінійна ділянка  $M_1 \dots M_2$ .

Коефіцієнт підсилення струму:

$$K_I = \Delta I_H / \Delta I_K.$$

Коефіцієнт підсилення напруги:

$$K_U = \Delta U_H / \Delta U_K.$$

Коефіцієнт підсилення потужності:

$$K_P = \Delta P_P / \Delta P_L.$$

Для збільшення коефіцієнта підсилення необхідно забезпечити роботу МП на найбільш крутій ділянці робочої характеристики, це досягається за допомогою обмотки зміщення  $w_{zm}$ , яка підключається до стороннього джерела постійного струму і намотується на ці ж осердя, що і обмотка керування.

Коефіцієнт підсилення залежить від конструктивних параметрів магнітного підсилювача і матеріалу осердя магнітопроводу. Для магнітних підсилювачів із сталеним осердям він в декілька разів менший ніж при пермалоевому осерді. Так при частоті 50 Гц і осерді із сталі коефіцієнт підсилення сягає 1000 а при осерді з пермалою 3000...10000 разів. На коефіцієнт підсилення впливає і частота струму навантаження. Оскільки із збільшенням частоти коефіцієнт підсилення зростає, МП широко застосовуються у системах із підвищеною частотою (400...3000 Гц). Значно більший коефіцієнт підсилення може бути досягнутим при використанні позитивного зворотного зв'язку.

Передавальна функція МП:

$$W_{(p)} = k/(T_M p + 1).$$



Переваги МП:

- простота конструкції;
- велика надійність та довговічність;
- великий коефіцієнт підсилення.

До недоліків слід віднести – малу швидкодію що характеризується постійною часу підсилювача  $T_m$ , яка прямо пропорційна його коефіцієнту підсилення та обернено пропорційна частоті  $f$  струму живлення.

#### 4. Електронні підсилювачі

Керуючими пристроями у електронних підсилювачах використовуються електронні лампи, іонні та напівпровідникові прилади. Електронні підсилювачі мають високу чутливість (великий коефіцієнт підсилення) і здатні підсилювати сигнали малої потужності. Гранична вихідна потужність підсилювачів сягає 10000 Вт.

У зв'язку із розвитком напівпровідникової технології у пристроях автоматики застосовуються переважно напівпровідникові підсилювачі, які забезпечують високий ККД = 96...98% при низькій напрузі живлення і великих струмах мають малі габаритні розміри і більший строк служби, високу швидкодію, можуть працювати при постійному струмі.

У системах автоматичного керування застосовуються транзисторні та тиристорні підсилювачі.

За способом включення транзисторів ці підсилювачі поділяються на три головних види:

- зі спільним емітером, у яких спільним для вхідного та вихідного кола є вивід емітеру, отримали найбільше практичне застосування, тому що забезпечують високий коефіцієнт підсилення потужності і струму (біля  $10^3$ ) і мають порівняно великий вихідний опір. Вихідна напруга знаходиться у проті фазі відносно вхідної;

- зі спільною базою, у яких електрод бази спільний для вхідного та вихідного кола. Підсилювачі, що побудовані за таким принципом, використовуються при датчиках із низьким вихідним опором. Вихідна напруга знаходиться у фазі із вхідною. Коефіцієнт підсилення струму  $K_I < 1$  а напруги набагато більше одиниці;

- зі спільним колектором, у яких спільним є колектор, застосовують для узгодженого включення до датчиків із великим вихідним опором, а також як вихідний каскад при роботі із низькоомним навантаженням. Коефіцієнт підсилення струму  $K_I = 1000$ , а напруги  $K_U < 1$ .

Підсилювачі, які з'єднують послідовно, складають багатокаскадний підсилювальний пристрій.

В тиристорних підсилювальних пристроях в якості керуючого елемента використовують тиристор, який може знаходитись тільки у двох стійких станах: увімкненому і вимкненому. Завдяки інтенсивності лавинного процесу, вмикання тиристора проходить практично миттєво (1...5 мкс) і після цього він лишається у ввімкнутому стані навіть при відсутності керуючого сигналу. Вимикання тиристора здійснюється при знятті анодної напруги. Час відключення тиристора сягає 5...50 мкс. При живленні підсилювача змінним струмом застосовується фазовий метод керування, заснований на зміні фази керуючого сигналу відносно фази напруги

живлення або на зміні кута (інтервалу) між фіксованим моментом включення тиристора і моментом його виключення.

# ЛЕКЦІЯ 7

## ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

### План:

1. Загальні відомості
2. Електромагнітні механізми
3. Електродвигунні механізми
4. Пневматичні та гідравлічні виконавчі механізми

### 1. Загальні відомості

Виконавчими механізмами автоматичних систем називають пристрої, що діють безпосередньо на регулюючий орган керованого об'єкту. До виконавчого механізму звичайно входить двигун та передавальний пристрій.

Залежно від виду двигуна розрізняють такі виконавчі механізми:

- електричні (електромагнітні, електродвигуни)
- механічні;
- гідравлічні;
- пневматичні.

Найбільш розповсюджені - електричні та гідравлічні. Часто підсилювачі та виконавчі механізми являють собою єдиний пристрій.

Головними показниками, що характеризують регулювальні властивості виконавчих механізмів є:

- коефіцієнт підсилення потужності;
- зусилля на виході механізму, або обертовий момент;
- лінійне або кутове переміщення, частота обертів...;
- час переміщень.

Вимоги до виконавчих механізмів:

- потужність на виході виконавчого механізму повинна бути достатньою для переміщення керуючого органу із заданою швидкістю при всіх режимах;
- переміщення виконавчого механізму на виході повинно бути узгодженим із відповідним переміщенням регулюючого органу;
- вихідна величина виконавчого механізму повинна бути (по можливості) пропорційною вихідному сигналу;
- вони повинні мати високі техніко-економічні показники.
- Простота, надійність, технологічність, вартість, вібростійкість.

### 2. Електромагнітні механізми

Широке застосування у системах автоматики знаходять електромагнітні виконавчі механізми дискретної дії. Їх використовують для керування різного роду регулювальними та запірними клапанами, вентилями, золотниками та ін. За видом руху виконавчого органу (шток, вихідний вал) їх поділяють на:

- електромагнітні із прямолінійним рухом;
- електромагнітні муфти із обертовим рухом;

Залежно від типу, конструктивного виконання та умов застосування вихідною величиною цих механізмів може бути:

- для елементів із прямолінійним рухом робочого органу – переміщення, швидкість, зусилля;

- для елементів із обертовим рухом робочого органу – кут повороту, частота обертів, обертовий момент.

Вхідною величиною (керуючою дією) електромагнітних виконавчих механізмів є електричний струм у обмотці, який створює магнітне поле і діє через нього на робочий орган.

*Електромагнітні механізми прямолінійного руху*, (соленоїдні механізми), (див. мал. 1) являють собою котушку 1 з осердям 2, в середині якої знаходиться рухомий якір 3, що зв'язаний із регулюючим органом 4 (наприклад клапаном). При надходженні струму у котушку, якір переміщається під дією електромагнітної сили та переміщає зв'язаний із ним регулюючий орган. Електромагнітні механізми використовують у системах автоматики позиційного керування, оскільки керуючий орган (клапан, вентиль) може знаходитись тільки у двох кінцевих положеннях, що відповідають двом положенням осердя електромагніту: виключено та включено. Сучасні електромагнітні механізми такого типу здатні здійснювати переміщення до 6...8 мм при зусиллі до 100Н. Недолік електромагнітних клапанів та вентилів – можливість виникнення гідравлічних ударів у трубопроводах із рідинами при практично миттєвому перемиканні.

*Електромагнітні муфти* – служать ланкою, що зв'язує привід та робочий механізм. Залежно від виду зв'язку їх поділяють на фрикційні муфти сухого тертя, муфти в'язкого тертя та різні індукційні муфти.

*Муфта сухого тертя* (див. мал. 2) складається із двох напівмуфт: ведучої 5 та веденої 6, що встановлені на валах 3 і 9. На одній із них знаходиться обмотка 1, що живиться струмом через кільця 2 та щітки 4. Ведена напівмуфта 6 переміщується по шліцах 8 вздовж валу 9 і відтискається від ведучої напівмуфти 5 пружиною 7. Магнітне поле долаючи зусилля пружини притягує ведену напівмуфту до ведучої. Сила тертя між напівмуфтами дозволяє передавати обертовий момент із ведучого вала на ведений. Для збільшення обертового моменту, що передається, муфти виготовляють багатодисковими. Випускаються муфти сухого тертя типу ЕМ із номінальним моментом від 10 до 1000 Н м, із найбільшою частотою обертання 1500 та 3000 обертів при потужності котушки збудження 11,5...50 Вт.

*Муфти в'язкого тертя* – феропорошкові або магнітоемультсійні (див. мал. 3) працюють за принципом намагнічування магнітного порошку 5, що створює при цьому шар, що з'єднує ведучі 3 та ведені 6 елементи муфти. Зі збільшенням магнітного потоку обмотки намагнічування 1, зростає і величина обертового моменту, що передається. Обмотка намагнічування 1 живиться струмом через кільця 2 та щітки 4.

Ці муфти поділяють:

- за конструктивним виконанням, та розміщенням котушок:
- (однополюсні, багатоплюсні),
- за числом котушок:
- однокотушечні;
- багатокотушечні,
- за формою робочої поверхні:
- дискові;
- циліндричні;
- барабанні;

- конусні,
- за числом робочих зазорів: – одно та багатозазорні
- за видом струмопроводів:
- із контактними кільцями;
- безконтактні,
- за швидкістю спрацювання:
- мало інерційні;
- інерційні.

Ці муфти не бояться перевантажень, як виконавчі механізми – швидкодіючі із постійною часу 0,005...0,008 сек. та коефіцієнтом передачі сягаючим 3500.

*Індукційні муфти ковзання* (див. мал. 4) – складаються із двох головних частин – ведучого якоря 3, що кріпиться до приводного електродвигуна 5 та веденого вала 7 з індуктором 6 та обмоткою збудження 1, яка розміщена між його зубчастими частинами, і живиться струмом через кільця 2 та щітки 4. При роботі струм, що протікає по індукторі, створює магнітний потік, який наводить на якорі е.р.с., під дією якої у якорі виникають вихрові струми. Струми взаємодіють із магнітним потоком полюсів створюючи при цьому електромагнітний момент, який штовхає ведену частину муфти, у тому напрямку, що і ведуча. Частота обертів веденого вала залежить від струму збудження і моменту опору на веденому валу.

Для робочих механізмів малої потужності випускаються муфти типу ПМС із номінальними моментами 1,7...30 Н м, для безступінчатого регулювання швидкості у діапазоні 1:8. Муфти серії ПМС із номінальними моментами 70...1600 Н м – застосовують для робочих механізмів великої потужності.

### **3. Електродвигунні механізми**

Електродвигунні виконавчі механізми складаються із двигуна, редуктора та гальма. Сигнал керування подається одночасно на двигун та гальмо, при цьому двигун розгальмовується та приводить у рух робочий орган. При знятті сигналу двигун вимикається, а гальмо зупиняє рух робочого органу.

Електродвигунні виконавчі механізми розрізняють:

- за видом руху виконавчого органу
- однооборотні
- багатооборотні
- прямохідні
- за швидкістю руху:
- із постійною швидкістю
- із змінною швидкістю
- за способом керування:
- контактні із релейно-контактними обмотками
- безконтактні із керуючими пристроями неперервної дії на основі магнітних підсилювачів.

У якості виконавчих двигунів використовують однофазні, двохфазні та трьохфазні короткозамкнуті асинхронні двигуни.

#### 4. Пневматичні та гідравлічні виконавчі механізми

Пневматичні та гідравлічні виконавчі механізми мають однаковий принцип дії заснований на переміщенні вихідного органу під дією тиску газів або рідини.

*Пневматичні виконавчі механізми (ПМВ)* – сприймають енергію стиснутого повітря і перетворюють її в зусилля вихідного штоку.

Їх переваги:

- простота;
- висока надійність;
- мала вартість;
- низькі експлуатаційні витрати.

Їх головний недолік низький к.к.д. – до 70%.

Залежно від виду робочого органу ПМВ (див. мал. 5) поділяються на:

- мембранні;
- поршневі;
- сільфони;
- лопатні.

Залежно від способу повернення штока у вихідне положення ПМВ бувають пружинними та безпружинними. У пружинних ПМВ зусилля в одному напрямку створюється за рахунок дії стиснутого повітря, а в протилежному напрямку – силою пружності пружини. У безпружинних ПМВ зусилля в обох напрямках створюється за рахунок дії стиснутого повітря.

Поворотні рухи робочого органу (валу) в ПМВ створюються шляхом механічного перетворення поступального руху штоку в кутовий, або при застосуванні лопатних ПМВ.

Найбільше розповсюдження отримали мембранні ПМВ. Вони можуть розвинути зусилля до 40 кН і забезпечують переміщення вихідного органу від 4 до 100 мм.

Для керування регулюючими органами, що вимагають переміщення штоку до 400 мм, застосовують поршневі ПМВ, вони розвивають зусилля до 100 кН.

Сильфонні ПМВ застосовують при малих (від 1 до 6 мм) переміщеннях регульовального органу (пневмопідвіска автобуса із пристроєм для вирівнювання нахилу на поворотах і нерівностях).

У лопатних ПМВ первинним силовим елементом є лопать, що розміщена у камері прямокутного перерізу. Лопаті мають кут повороту  $60^{\circ}$  та  $90^{\circ}$  і застосовуються переважно у системах двохпозиційного регулювання.

*Гідравлічні виконавчі механізми (ГВМ)* – що використовують як робоче тіло рідину, мають ряд переваг:

- високу швидкодію (швидкість переміщення вихідного органу більше 100 мм/с);
- великі зусилля (від 2,4 до 130 кН);
- малі габарити;
- малу масу, що приходить на одиницю зусилля (від 0,006 до 0,5 кг маси на 10Н сили);
- відсутність люфтів;
- безступінчате регулювання швидкості руху;
- допускають великі короточасні перевантаження.

Найбільшого розповсюдження отримали поршневі ГВМ. Керування ПМВ та ГВМ здійснюється переважно за допомогою золотникових пристроїв. Швидкість переміщення вихідного штоку поршня пропорційна площі поршня і залежить від зміщення золотника та перепаду тиску на поршні. Оскільки площа поршня постійна, то перепад тиску пропорційний зусиллю на штоку.

### **Література:**

1. *Автоматизація* неперервних та періодичних технологічних процесів: Метод. вказівки до практ. занять для студ. напряму 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» / Уклад.: В.Г.Трегуб, Є.Л. Календро. – К.: НУХТ, 2003.
2. *Автоматизація* технологічних процесов: Метод. вказівки до вивч. диски-пліни та викон. контрол. робіт для студ. напряму 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології»/ Уклад.: В.Г.Трегуб, Г.Ф. Калениченко. – К.: НУХТ, 2004.
3. *Автоматизація* технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підручник / А.П.Ладанюк, В.Г.Трегуб, І.В.Ельперін, В.Д. Цюцюра – К.: Аграрна освіта, 2001.
4. *Автоматизация* технологических процессов пищевых производств: Учеб. для вузов / Под ред. Е.Б. Карпина – М.:Агропромиздат, 1985.
5. *Автоматическое* управление в химической промышленности: Учеб. для вузов / Под ред. Е.Г.Дудникова – М.:Химия, 1987.
6. *Волошин З.С., Макаренко Л.П., Яцковский П.В.* Автоматизация сахарного производства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990.
7. *Методичні* вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Автоматизація технологічних процесів галузі”/ Упоряд. Є.Л.Календро. – К.: КТІХП, 1993.
8. *Методичні* вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Автоматизація технологічних процесів галузі”. – Част.1 / В.Г.Трегуб, А.П. Ладанюк, В.М. Кушков, А.І.Стадніченко. – К.:УДУХТ, 1996.
9. *Наладка* средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справ. пособие / Под ред. А.С.Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1989.
10. *Справочник* по наладке автоматических устройств контроля и регулирования / В.А.Дубровный, Е.И.Забокрицкий, В.Г.Трегуб, Б.А.Холодовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наук. думка, 1981.
11. *Трегуб В.Г.* Автоматизация периодических процессов в пищевой промышленности. – К.: Техніка, 1982.
12. *Трегуб В.Г.* Основи комп'ютерно-інтегрованого керування: Навч. посіб. – К.:НУХТ, 2005.

### **Допоміжна**

13. *Ельперін І.В.* Промислові контролери: Навч. посіб. – К.: НУХТ, 2003.
14. *Журнал* «Приборы и системы управления», 1997, №3, С.2 – 6.
15. *Науковий збірник* «Харчова промисловість», 1998, вип. 43-44, С. 111 – 115.
16. *Трегуб В.Г., Терновий А.В.* Наладка и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств. – К.: Техніка, 1978.