

Лекція №1.

**ПОНЯТТЯ ПРО СИСТЕМУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ І ЇЇ
СТРУКТУРУ**

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 потокових 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-сушільних пунктів (типа ЗАВ-10, ЗАВ-20, КЗС-10, КЗС-20 і ін.) з потоковими 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 «Херсонець-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 ε .

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

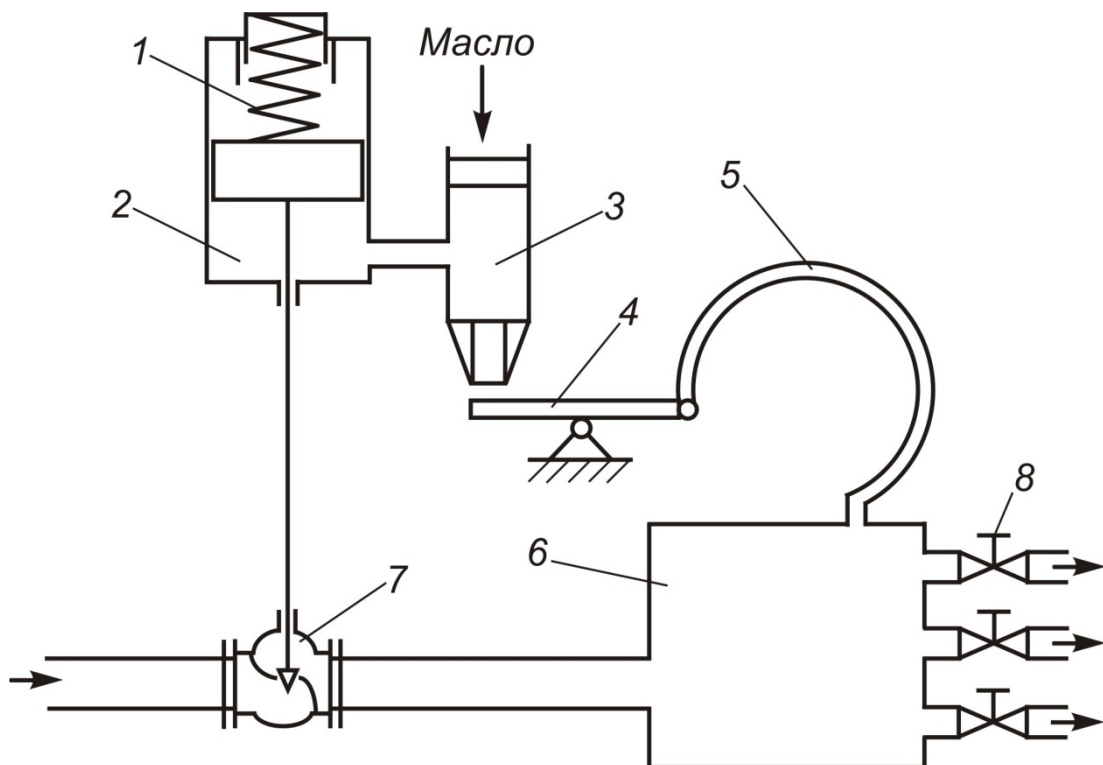
орган об'єкту вимагає механічного переміщення (засувка, реостат і т. п.), то ВЕ називають виконавчим механізмом або сервомеханізмом.

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.

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-задатчика 1 поршень переміщається вниз, прикриваючи клапан 7. Тиск в об'єкті знижується в результаті зменшення притоку стиснутого повітря.



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

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.

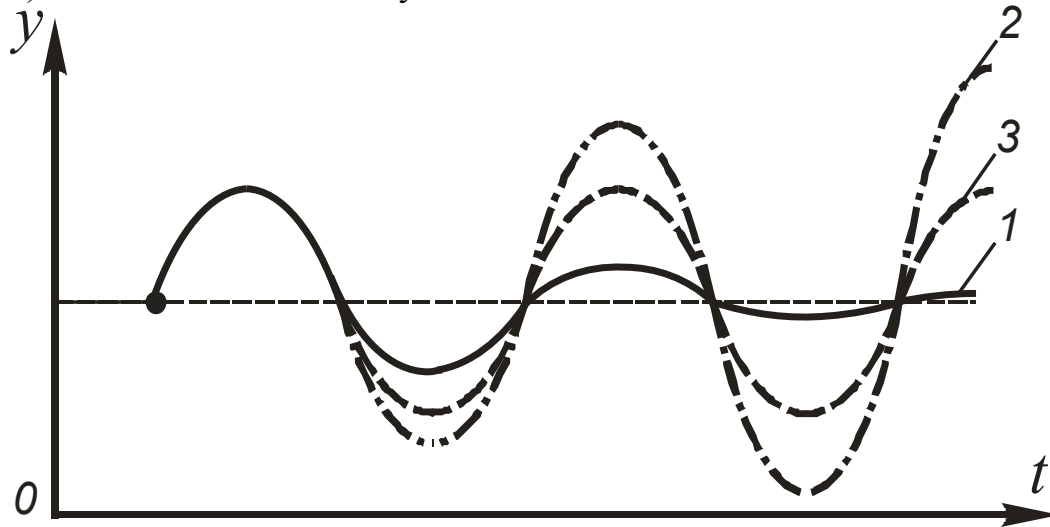
2. Стійкість роботи системи

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 ustalених режимах:

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

де $y_{зад}$ - задане значення регульованої величини; y_{∞} - 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 Δ . Звичайно Δ приймається рівною 3...5% від нового усталеного значення вихідної величини y_{∞} .

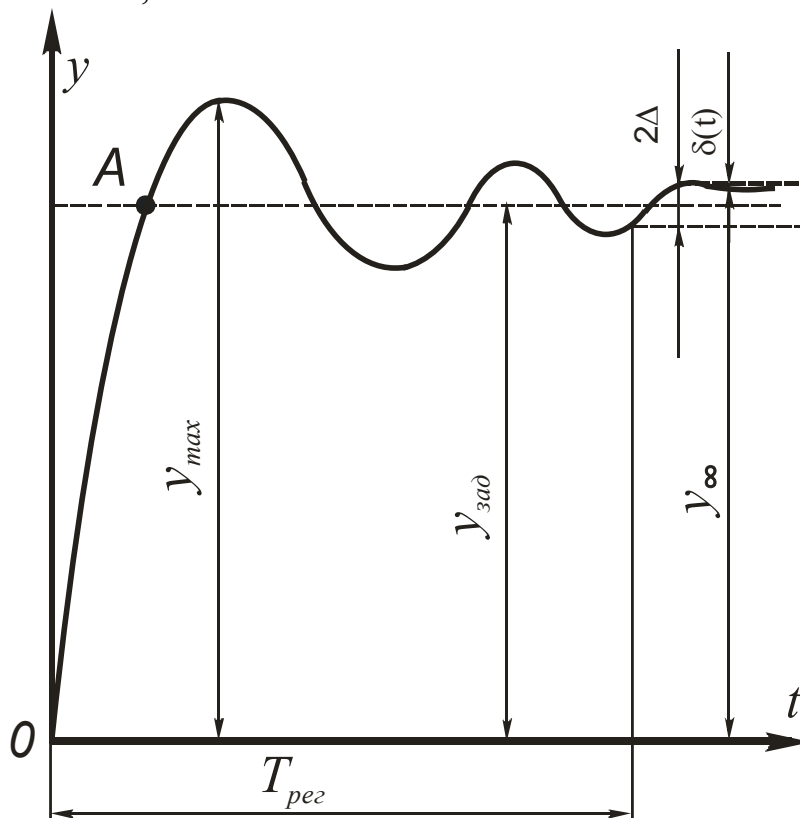
Перерегулювання σ % характеризує величину максимального динамічного відхилення системи в перехідному процесі:

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

де y_{max} - максимальне значення регульованої величини; y_{∞} - 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 σ і n .



Перехідний процес системи автоматичного регулювання

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 $n \leq 2...3$.

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 автоматичній системі 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 Δn - кількість елементів, що відмовили протягом часу Δt ; 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:

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

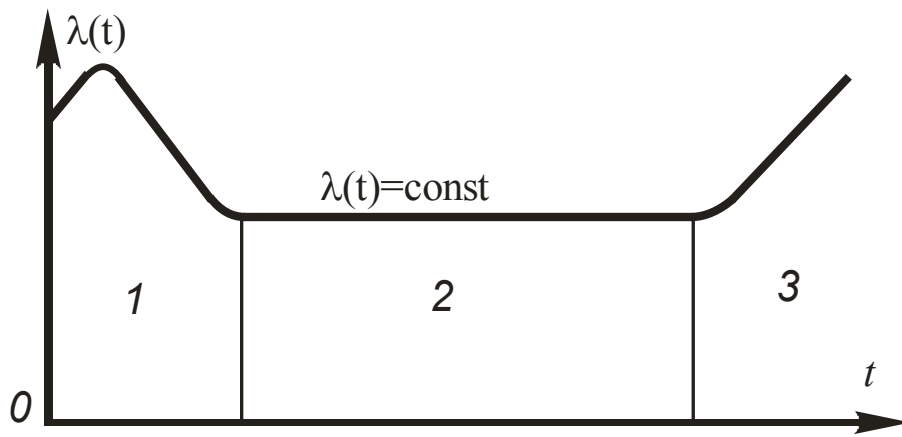
Вона є основною якісною характеристикою надійності елементів, оскільки дозволяє знаходити вірогідність безвідмовної роботи $P(t)$, а потім з розглянутих співвідношень визначати решту кількісних характеристик надійності.

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. Це пояснюється в основному відмінністю якості елементів.

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.

Розглянуті вище вирази на підставі статистичних випробувань дозволяють отримати основні кількісні характеристики надійності елементів, проте цей шлях вельми трудомісткий. Для зручності визначення характеристик надійності зазвичай вважають, що вони підкоряються певному закону розподілу. Це дозволяє значно зменшити об'єм статистичних досліджень.

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.

ТЕМА № 4.

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

План:

- 1 *Режими руху автоматичних систем.*
- 2 *Опис елементів і систем в статичному режимі.*
- 3 *Опис елементів і систем в динамічному режимі.*
- 4 *Перехідна функція.*
- 5 *Передавальна функція.*

1 Режими руху автоматичних систем.

Математичний опис елементів і систем автоматичного управління застосовують в тих випадках, коли необхідно вивчити систему в процесі її роботи за наявності збурюючих і керуючих дій. Якщо збурюючі і керуючі дії в системі безперервно змінюються, то система знаходиться в динамічному режимі.

Динамічним називається такий режим, в якому основним станом системи є неусталений. Неусталений стан характеризується тим, що діючі на елемент або систему дії викликають в них ряд перехідних процесів.

Перехідний процес – це процес переходу САК із одного усталеного режиму у інший усталений режим.

Усталений режим – це процес роботи системи при постійній величині збурюючої або керуючої дій (робота із постійними параметрами при постійному навантаженні).

Якщо на вхід системи поступає дія, то рух її складається з власного (вільного) руху і з реакції на вхідну дію (вимушений рух). Перехідний процес представляє собою тільки власний (вільний) рух системи, який залежить від динамічних властивостей елементів системи і початкових умов.

Вільний рух стійкої системи з часом затухає, і вона приходить в усталений стан за умови, що дії залишаються незмінними. Режим, який характеризується сталим процесом в елементі або системі, називається статичним.

Діючі системи автоматичного регулювання знаходяться в динамічному режимі, тому і опис їх в динамічному режимі є основним. Статичний режим в діючій системі представляє собою певною мірою ідеалізацію, яку застосовують для опису елемента або системи після закінчення перехідного процесу.

2 Опис елементів і систем в статичному режимі.

Статичний режим - це усталений стан рівноваги при постійній дії. Усталений стан в елементі настає після закінчення перехідного процесу, викликаного зміною дії.

Залежність вихідної величини елемента від вхідної в усталеному стані називається статичною характеристикою. Стан елемента в статичному режимі описується статичною характеристикою.

Процес заміни нелінійної характеристики її лінійним наближенням називають лінеаризацією. Найпростіша лінеаризація - метод усереднення використовується у тому випадку, коли достатньо гладка характеристика не може бути апроксимована аналітичною функцією. Метод малих відхилень заснований на заміні нелінійної характеристики в околицях точки O з координатами (x_0, y_0) прямою, дотичною в цій точці. Якщо статична характеристика описується аналітичною функцією, то лінеаризація виконується шляхом розкладання функцій $y(x)$ в ряд Тейлора для

вибраної точки розкладання. Залишаючи в цьому розкладі тільки лінійну частину, одержуємо лінеаризовану функцію:

$$y = y_0 + \left(\frac{dy}{dx}\right)_{y_0} \Delta x. \quad (3.1)$$

У відхиленнях від рівноважного стану лінеаризована функція має вигляд:

$$\Delta y = \left(\frac{dy}{dx}\right)_{y_0} \Delta x. \quad (3.2)$$

де $\Delta y = y - y_0$.

Функціональні елементи і системи автоматичного керування в статичному режимі характеризуються коефіцієнтом передачі:

$$k = dy/dx. \quad (3.3)$$

З виразів (3.2) і (3.3) одержуємо:

$$k = \Delta y / \Delta x. \quad (3.4)$$

З останнього виразу витікає, що коефіцієнт передачі є відношення приросту вихідної величини в усталеному режимі до приросту вхідної величини.

3 Опис елементів і систем в динамічному режимі.

Математична модель елемента може бути лінійною і нелінійною залежно від реакції елемента на вхідну дію. Якщо реакції елемента на вхідні дії однакові за значенням, але різні за знаком, ідентичні формою і відрізняються тільки знаками, то такий елемент лінійний і описується лінійним рівнянням. Якщо ж елемент реагує по-різному на такі вхідні дії, то він нелінійний і описується нелінійним рівнянням.

Для спрощення запису лінійних рівнянь операцію диференціювання замінюють символом p , а операцію інтеграції - символом $1/p$:

$$dy/dt = px; \quad d^n y/dt^n = p^n x; \quad \int_0^t x dt = x/p. \quad (3.5)$$

У такій формі запису диференціальне рівняння елемента:

$$a_2 d^2 y/dt^2 + a_1 dy/dt + a_0 y = b_1 dx/dt + b_0 x \quad (3.6)$$

буде мати вигляд алгебраїчного рівняння

$$a_2 p^2 y + a_1 p y + a_0 y = b_1 p x + b_0 x \quad (3.7)$$

запис якого можна спростити і подати у такому вигляді:

$$(a_2 p^2 + a_1 p + a_0) y(t) = (b_1 p + b_0) x(t). \quad (3.8)$$

Така форма запису диференціального рівняння називається операторною.

Математичну модель функціонального елемента називають ланкою системи автоматичного керування.

Під ланкою розуміють всяку фізичну або нефізичну систему $\varphi(x)$, що перетворює вхідну величину $x(t)$, яка змінюється в часі, у вихідну величину $y(t)$, що також змінюється в часі.

Ланка характеризується властивостями лінійності і стаціонарності.

Ланка називається лінійною, якщо вихідна величина $y(t)$ пов'язана зі вхідною величиною $x(t)$ лінійною залежністю.

Ланка називається стаціонарною, якщо її реакція не залежить від часу прикладання вхідної дії. Ланка характеризує тільки математичний зв'язок між вихідною і вхідною величинами, причому ланка передає дію тільки в одному напрямі: з входу на вихід. Її називають ланкою направленої дії.

Ланка, що описується рівнянням не вище другого порядку, називається елементарною.

Якщо функціональний елемент або система описуються диференціальним рівнянням вищого порядку, то його математична модель може бути представлена декількома елементарними ланками.

4 Перехідна функція.

Для порівняння динамічних властивостей різних елементів розглядають їх перехідні процеси при нульових початкових умовах і типових вхідних діях.

Під початковими умовами розуміють значення вихідної величини (і всіх її похідних) в момент $t = t_0$ за умови, що до цього зовнішні дії були відсутні.

Початкові умови називають нульовими, якщо $y(0) = y'(0) = y''(0) = \dots = y^n(0) = 0$.

Як типові вхідні дії приймають певні форми дій, найбільш зручні з огляду їх математичного опису, практичної реалізації і опису реакції ланки на ці дії. В автоматичі використовують типові дії, що описуються *східчастою, імпульсною і гармонійною* функціями.

Східчата дія описується одиничною східчастою функцією вигляду:

$$1(t) = \begin{cases} t & \text{при } t \geq 0, \\ 0 & \text{при } t < 0. \end{cases} \quad (3.9)$$

Реакція ланки на одиничну східчасту функцію при нульових початкових умовах називається *перехідною функцією*, яку прийнято позначати $h(t)$.

Графічне зображення *перехідної функції* називають *перехідною характеристикою* ланки.

Імпульсна перехідна функція. Імпульсна дія описується дельта-функцією Дірака, математичною ідеалізацією короткого імпульсу, площа якого рівна 1 при його тривалості, рівній 0, і амплітуді, рівній нескінченності:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = 0, \\ 0 & \text{при } t \neq 0. \end{cases} \quad (3.10)$$

Оскільки за визначенням:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1. \quad (3.11)$$

$$\text{то } \delta(t) = d1(t)/dt. \quad (3.12)$$

Нормальна реакція ланки на імпульсну функцію називається *імпульсною перехідною функцією* або *ваговою функцією*, яку прийнято позначати $\omega(t)$.

Графічне зображення вагової функції називають *імпульсною перехідною характеристикою* ланки.

Між перехідною і ваговою функціями однієї і тієї ж ланки існує математичний зв'язок, що витікає з однозначного зв'язку між східчастою і імпульсною функціями:

$$\omega(t) = dh(t)/dt = h'(t),$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(t) dt. \quad (3.13)$$

Перехідна і вагова функції характеризують динамічні властивості ланки так само, як і диференціальне рівняння.

Перехідна та імпульсна перехідна характеристики відносяться до *часових характеристик* ланки.

5 Передавальна функція.

Опис елементів і систем автоматичного управління істотно спрощується при використуванні методів операційного числення. Як відомо, динаміка

функціональних елементів і систем автоматичного управління описується диференціальним рівнянням, яке в загальному випадку має такий вигляд:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x, \quad (3.15)$$

де y – вихідна величина (у відхиленнях від стану рівноваги); x – вхідна величина елемента (у відхиленнях від стану рівноваги); $a_n \dots a_0, b_m \dots b_0$ – постійні коефіцієнти рівняння.

В операторній формі це рівняння записують так:

$$Q(p)y(t) = P(p)x(t), \quad (3.16)$$

де

$$Q(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_2 p^2 + a_1 p + a_0,$$

$$P(p) = b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_2 p^2 + b_1 p + b_0,$$

Підставляючи в рівняння (3.16) замість функцій часу $y(t)$ і $x(t)$ функції $Y(s)$ і $X(s)$ комплексної змінної s при нульових початкових умовах, одержуємо лінійне рівняння алгебри:

$$a_n s^n Y(s) + a_{n-1} s^{n-1} Y(s) + \dots + a_2 s^2 Y(s) + a_1 s Y(s) + a_0 Y(s) = b_m s^m X(s) + b_{m-1} s^{m-1} X(s) + \dots + b_2 s^2 X(s) + b_1 s X(s) + b_0 X(s), \quad (3.17)$$

або

$$Q(s)Y(s) = P(s)X(s), \quad (3.18)$$

Такий перехід від диференціального рівняння до рівняння алгебри називається прямим перетворенням Лапласа. Функції $x(t)$ і $y(t)$ називаються оригіналами, а функції $X(s)$, $Y(s)$ – відповідно зображеннями цих функцій.

З порівняння виразів (3.16) і (3.18) видно, що обидві форми запису збігаються, з чого витікає, що комплексна змінна s може бути ототожнена з оператором диференціювання p .

Вираз:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{P(s)}{Q(s)} \quad (3.19)$$

визначає передавальну функцію системи.

Передавальною функцією називається відношення лапласового зображення вихідної величини до лапласового зображення вхідної величини при нульових початкових умовах.

З рівняння передавальної функції витікає, що зображення вихідної величини має вигляд:

$$Y(s) = W(s)X(s). \quad (3.20)$$

Враховуючи тотожність оператора диференціювання p і комплексної змінної s в перетворенні Лапласа, формальне отримання передавальної функції за диференціальним рівнянням полягає в заміні оператора диференціювання p комплексною змінною s і функцій часу $x(t)$, $y(t)$ їх зображеннями $X(s)$, $Y(s)$. Наприклад, для ланки, що описується диференціальним рівнянням (3.6), передавальна функція має такий вигляд:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_1 s + b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (3.21)$$

Багаточлен, що приведений в знаменнику передавальної функції, називається характеристичним багаточленом ланки або системи, а рівняння вигляду:

$$Q(s) = 0, \quad (3.22)$$

називається характеристичним рівнянням.

Корені характеристичного рівняння називається полюсами передавальної функції, а корені багаточлена, розташованого в чисельнику передавальної функції, називається нулями передавальної функції.

Зворотний перехід від зображення $Y(s)$ до оригіналу $y(t)$ виконується за допомогою зворотного перетворення Лапласа.

Відношення амплітуди вихідної величини до амплітуди вхідної величини залежно від частоти називають амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) ланки:

$$A(\omega) = y_{max}/x_{max} \quad (3.23)$$

а різницю фаз коливань залежно від частоти називають фазочастотною характеристикою (ФЧХ) ланки:

$$\varphi(\omega) = \varphi_2 - \varphi_1, \quad (3.24)$$

Частотні характеристики ланки залежать тільки від її властивостей, але не залежать від амплітуди і фази вхідних гармонійних дій.

ТЕМА № 5

ТИПОВІ ДИНАМІЧНІ ЛАНКИ

План:

- 1 Загальні відомості про типові динамічні ланки
- 2 Типові динамічні ланки лінійних систем автоматичного керування
 - 2.1 Аперіодична ланка
 - 2.2. Коливна ланка
 - 2.3. Диференціальна ланка.
 - 2.4. Інтегральна ланка
 - 2.5. Підсилювальна ланка
 - 2.6. Ланка із запізненням
3. З'єднання динамічних ланок

1 Загальні відомості про типові динамічні ланки

У процесі досліджень елементів автоматики встановлено, що перехідні процеси у різних за конструктивним виконанням та принципу дії пристроях описуються однаковими диференціальними рівняннями, і можуть бути представлені елементарними ланками. Число типів елементарних ланок обмежене і за різними класифікаційними ознаками вони об'єднані в групи.

Реальний пристрій може бути представлений типовою динамічною ланкою або комбінацією декількох ланок залежно від прийнятих допущень і вибору вхідної і вихідної величин цього пристрою. Один і той же пристрій може бути представлений різними типами динамічних ланок залежно від ступеня його ідеалізації.

Розглянемо елементарні типові ланки і визначимо для кожної з них основні часові і частотні характеристики. Основним описом ланки є диференціальне рівняння, за яким розглянутими раніше методами визначають перехідну функцію, вагову функцію і передавальну функцію, що характеризують динамічні властивості ланки. З частотних характеристик розглядають: амплітудно-фазову (АФХ), амплітудно-частотну (АЧХ), фазочастотну (ФЧХ) і логарифмічні (ЛАЧХ і ЛФЧХ).

На структурних схемах типові ланки зображуються прямокутниками із вписаними передавальними функціями та вказують стрілками напрям вхідної та вихідної дії. Замінивши всі конструктивні елементи типовими ланками і з'єднавши їх відповідно до передачі дії отримаємо структурну схему.

2 Типові динамічні ланки лінійних систем автоматичного керування

2.1 Аперіодична ланка

Аперіодичною ланкою в системах автоматики можна замінювати елементи, процеси в яких пов'язані з накопиченням або витратою - речовини чи енергії. Аперіодична ланка містить накопичувальний елемент, здатний накопичувати або витратити речовину чи енергію і опір, що перешкоджає цій витраті або накопиченню.

Диференціальне рівняння аперіодичної ланки в загальному випадку можна представити у вигляді:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t) \quad (4.1)$$

де T і k – відповідно, постійна часу та коефіцієнт передачі.

Перейшовши до зображення по Лапласу при нульових початкових умовах (прямий перехід), маємо:

$$(Ts + 1)y(t) = kx(t) \quad (4.2)$$

З виразу (4.2) визначимо передавальну функцію аперіодичної ланки:

$$W(s) = k / (Ts + 1) \quad (4.3)$$

Якщо знаменник рівнянь (4.3) прирівняти нулю, отримаємо характеристичне рівняння аперіодичної ланки: $Ts + 1 = 0$.

2.2. Коливна ланка

Ланка у якій вихідна величина після подачі на її вхід одиночної ступінчатої дії здійснює усталені коливання називається *коливною*. Коливною ланкою є частина системи автоматичного керування, що складається, із двох накопичувальних елементів у яких акумулюється речовина або енергія з подальшим взаємним обміном цими запасами. До таких ланок відносяться:

Перехідний процес в таких ланках описується диференціальним рівнянням другого порядку:

$$T_0^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t) \quad (4.4)$$

де T_0 і T_1 - постійні часу, що визначаються параметрами елементів ланки.

Або в операторній формі:

$$(T_0^2 p^2 + T_1 p + 1)y(t) = kx(t) \quad (4.5)$$

Характеристичне рівняння лінійного диференціального рівняння (3.20) має вигляд:

$$T_0^2 p^2 + T_1 p + 1 = 0 \quad (4.6)$$

Корені цього рівняння:

З виразу (4.5) визначимо передавальну функцію аперіодичної ланки:

$$W(s) = k / (T_0^2 s^2 + T_1 s + 1) \quad (4.7)$$

2.3. Диференціальна ланка.

Диференціальною називається ланка, в якій вихідна величина пропорційна швидкості зміни вхідної величини:

$$y(t) = k \frac{dx}{dt}, \quad (4.8)$$

де k - коефіцієнт підсилення.

Передавальна функція такої диференціальної ланки:

$$W(s) = ks \quad (4.9)$$

Така ланка називається ідеальною. Відповідно до рівняння, (4.8) вихідна величина ідеальної диференціальної ланки рівна нулю при постійній вхідній і прямує до нескінченного значення при миттєвій зміні вхідної величини. Практично такої перехідній процес неможливий, тому виготовлення ідеальної диференціальної ланки неможливе. На практиці використовують, реальні диференціальні ланки, в яких вказаний перехідний процес проходить приблизно.

Перехідний процес в реальній диференціальній ланці описується рівнянням:

$$y(t) + T \frac{dy(t)}{dt} = k \frac{dx(t)}{dt} \quad (4.10)$$

де T - постійна часу, що визначається параметрами ланки.

Або в операторній формі:

$$(Tp + 1)y(t) = kp(t) \quad (4.11)$$

Характеристичне рівняння диференціальної ланки має вигляд:

$$Tp + 1 = 0 \quad (4.12)$$

З виразу (4.11) визначимо передавальну функцію реальної диференціальної ланки:

$$W(s) = ks / (Ts + 1) \quad (4.13)$$

Постійні часу пристроїв, представлених на мал. 3.7, відповідно рівні $T = RC$, $T = L/R$; $T = L_1/R_1$; $T = \eta/k_{II}$, де η - коефіцієнт в'язкого тертя; k - коефіцієнт жорсткості пружин.

2.4. Інтегральна ланка

Інтегральними називаються ланки, в яких швидкість зміни вихідної величини пропорційна вхідній величині.

До інтегральних ланок відносяться такі:

- вал, що обертається, якщо вхідною величиною вважати кутову швидкість обертання приводного кінця, а вихідною - кут повороту вільного кінця валу;
- електричні кола, що містять ємність і індуктивність, і т. д.

Розрізняють ідеальну інтегральну ланку, для якої справедлива залежність:

$$\frac{dy(t)}{dt} = kx(t), \quad (4.14)$$

або:

$$y(t) = \int_0^t kx(t)dt, \quad (4.15)$$

Передавальна функція такої інтегральної ланки:

$$W(s) = k / s. \quad (4.16)$$

Реальна інтегруюча ланка.

Всі розглянуті вище пристрої можна вважати ідеальними інтегруючими ланками, якщо їх постійні часу достатньо малі і ними можна знехтувати. В реальній інтегруючій ланці перехідний процес описується диференціальним рівнянням:

$$T \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} = kx(t), \quad (4.17)$$

Реальна інтегруюча ланка відрізняється інерційністю. Постійна часу T залежить від параметрів елементів, що входять в ланку.

Або в операторній формі:

$$(Tp^2 + p)y(t) = kx(t) \quad (4.18)$$

Характеристичне рівняння реальної інтегральної ланки має вигляд:

$$Tp^2 + p = 0 \quad (4.19)$$

З виразу (4.18) визначимо передавальну функцію реальної інтегральної ланки:

$$W(s) = k / (Ts^2 + s) \quad (4.20)$$

2.5. Підсилювальна ланка

Підсилювальною називається ланка, в якій вихідна величина без спотворень і запізнювання відтворює вхідну величину. В даній ланці будь-які зміни вхідної

величини миттєво передаються вихідний, тому в усталеному і перехідному режимах системи справедливо рівняння:

$$y(t) = kx(t), \quad (4.21)$$

де k - коефіцієнт передачі або коефіцієнт підсилення.

З виразу (4.21) визначимо передавальну функцію підсилювальної ланки:

$$W(s) = k \quad (4.22)$$

Крім того, підсилювальною ланкою є всі датчики опору, індуктивні і інші перетворювачі. При малих постійних часу підсилювальною ланкою є і підсилювач типу «сопло-заслінка».

З наведених прикладів видно, що пристрої, що є підсилювальною ланкою, в основному служать для передачі дій, тобто сполучають між собою різні елементи систем автоматичного регулювання. Тому *підсилювальну ланку іноді називають жорстким зв'язком*.

2.6. Ланка із запізненням

Ланка із запізненням це ланка, в якій вихідна величина відтворює вхідну, але з деяким постійним відставанням в часі.

Приклади ланки із запізненням: якщо конвеєр завантажують з одного кінця, а вимірюють навантаження в перетині S_u на деякій відстані l - від перетину завантаження S_3 , зміни, що виникли на вході ланки, в перетині вимірювання позначаються тільки через деякий постійний час t . В даному випадку час запізнювання: $\tau = l/v$.

Між вхідною і вихідною величинами ланки із запізненням, існує залежність:

$$y(t) = x(t-\tau).$$

В розглянутому прикладі вхідна величина передається, на вихід без спотворень, але з деяким запізнюванням. Таке запізнювання називають чистим або транспортним.

3. З'єднання динамічних ланок

При послідовному з'єднанні динамічних ланок із передавальними функціями $W_1(s)$, $W_2(s)$, $W_3(s)$, ... $W_n(s)$ загальна передавальна функція розімкнутої системи буде рівною добутку передавальних функцій цих ланок:

$$W(s) = W_1(s) \cdot W_2(s) \cdots W_n(s) = \prod_{i=1}^n W_i(s).$$

При паралельному з'єднанні динамічних ланок із передавальними функціями $W_1(s)$, $W_2(s)$, $W_3(s)$, ... $W_n(s)$ загальна передавальна функція розімкнутої системи буде рівною сумі передавальних функцій цих ланок:

$$W(s) = W_1(s) + W_2(s) + \cdots + W_n(s) = \sum_{i=1}^n W_i(s).$$

Передавальна функція лінії зворотного зв'язку рівна одиниці:

$$W_0(s) = 1.$$

При замиканні елементів лінією зворотного зв'язку результуюча передавальна функція буде рівною:

$$W(s) = \frac{W_r(s)}{1 \pm W_r(s) \cdot W_0(s)},$$

де $W_r(s)$ - передавальна функція ланок, що охоплюються зворотним зв'язком.

Знак плюс ставлять при негативному а знак мінус при позитивному зворотному зв'язку.

Лекція 6 СТІЙКІСТЬ ЛІНІЙНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

План

1. Умови стійкості систем автоматичного регулювання
2. Критерій стійкості Гурвіца
3. Критерій стійкості Михайлова
4. Критерій стійкості Найквіста-Михайлова
5. Виділення областей стійкості

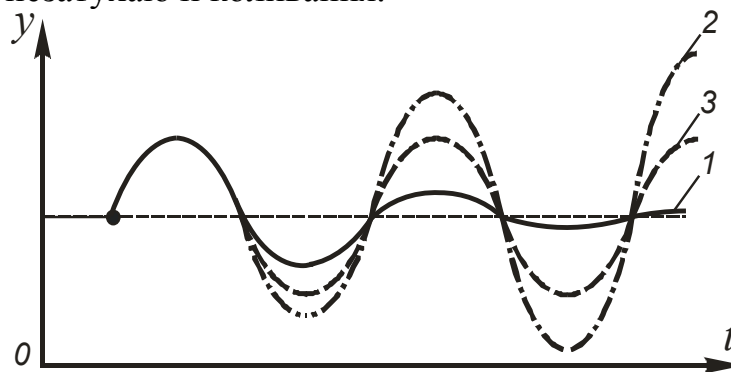
1. Умови стійкості систем автоматичного регулювання

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.



Мал.8.1 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.

Характер поведінки системи в перехідному режимі визначається диференціальним рівнянням:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = 0, \quad (3.51)$$

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-2} p^2 + a_{n-1} p + a_n) y = 0. \quad (3.52)$$

Система буде стійка, якщо відхилення Δu прямуватиме до нуля або деякої постійної при $t \rightarrow \infty$. Як відомо, загальним розв'язком рівняння (3.51) буде:

$$y = A_0 + c_1 e^{p_1 t} + c_2 e^{p_2 t} + \dots + c_n e^{p_n t}, \quad (3.53)$$

де $A_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ - постійні; p_1, p_2, \dots, p_n - корені характеристичного рівняння (3.52).

Для стійкості системи необхідно, щоб кожен член правої частини рівняння (3.53), починаючи з другого, з бігом часу t прямував до нуля. Неважко побачити, що це можливо тільки при негативних значеннях коренів p_1, p_2, \dots, p_n характеристичного рівняння системи. Якщо корені негативні, кожен член рівняння (3.53) з часом прямуватиме по експоненті до нуля і відхилення регульованої величини від заданого значення буде рівне постійній A_0 або нулю при $A_0 = 0$.

Якщо хоч один корінь буде позитивним, з часом $y(t)$ необмежено зростатиме.

У разі комплексних коренів характеристичного рівняння, що можливо при певних параметрах елементів системи, кожен з даних членів рівняння (3.53) представлятиме коливну криву, що сходиться при негативній дійсній частині кореня і розходиться при позитивній дійсній частині кореня.

Отже, лінійна система автоматичного регулювання буде стійка, якщо усі дійсні корені і усі дійсні частини комплексних коренів характеристичного рівняння будуть негативні.

Якщо корені характеристичного рівняння нанести на комплексну площину, то система автоматичного регулювання буде стійка при розташуванні усіх коренів ліворуч від уявної осі.

Знаки дійсної частини коренів можна знайти шляхом безпосереднього розв'язку характеристичного рівняння. Проте легко розв'язуються рівняння не вище другого порядку. Рівняння третього і четвертого порядку аналітично розв'язуються надзвичайно складно, а рівняння вищих порядків взагалі не можуть бути розв'язані в радикалах.

Для полегшення дослідження систем на стійкість запропоновані непрямі методи визначення знаку дійсної частини коренів характеристичного рівняння, які дістали назву критеріїв стійкості. Ці методи не передбачають розв'язку характеристичного рівняння.

Поруч з критеріями застосовують необхідну (але недостатню) умову стійкості Стодоли, згідно з якою для стійкої системи необхідно, щоб усі коефіцієнти характеристичного рівняння мали однакові знаки. Зважаючи на недостатність умови при однакових знаках коефіцієнтів корені характеристичного рівняння можуть мати позитивний знак і потрібна перевірка стійкості.

Проте, якщо знаки коефіцієнтів різні, то хоч би один корінь характеристичного рівняння буде позитивним і система буде нестійкою. Таким чином, умова Стодоли дозволяє за виглядом характеристичного рівняння визначити нестійку систему.

2. Критерій стійкості Гурвіца

Критерій стійкості Гурвіца дозволяє визначати стійкість систем автоматичного регулювання досить високого порядку, проте користуватися критерієм відносно легко при рівняннях до п'ятого порядку. Надалі значно зростає трудність здійснюваних розрахунків. Для визначення стійкості системи необхідно з коефіцієнтів характеристичного рівняння:

$$a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5 = 0.$$

скласти визначники і вчислити їх. Визначники складають при $a_0 > 0$, тому, якщо необхідно, характеристичне рівняння перемножують на -1 . Система буде стійкою при усіх позитивних визначниках, які складають за схемою:

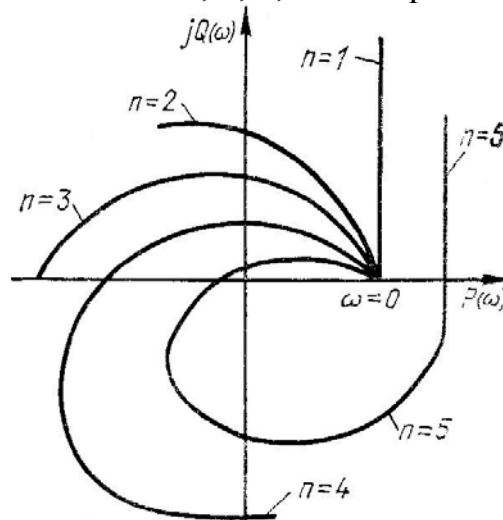
$$\Delta_1 = a_1; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}; \quad \Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix}.$$

У кожному визначнику число рядків дорівнює числу стовпців і номеру визначника. По головній діагоналі вписуються коефіцієнти від a_1 до коефіцієнта з номером, рівним номеру визначника. Стовпці від елементів головної діагоналі вгору доповнюють коефіцієнтами з послідовно зростаючими індексами, вниз - зі зменшуваними індексами. На місце відсутніх коефіцієнтів, індекси яких більше n і менше 0 , проставляють нулі.

Як видно, число визначників на одиницю менше порядку характеристичного рівняння. Отже, для системи четвертого порядку необхідно скласти три перших визначники, систем третього порядку - два, другого - один визначник.

3. Критерій стійкості Михайлова

При використанні критерію стійкості Михайлова стійкість системи автоматичного регулювання визначають за положенням годографа Михайлова на комплексній площині. Годограф Михайлова стійкої системи повинен огинати на комплексній площині початок координат, проходячи супроти годинникової стрілки послідовно кількість квадрантів, рівну порядку характеристичного рівняння. Якщо годограф проходить через меншу кількість квадрантів, система нестійка. На мал. 3.15 показані годографи стійких систем 1, 2, 3, 4 і 5 порядків.



Мал. Годограф Михайлова для стійких систем 1-5 порядків.

Годограф Михайлова будують за комплексною функцією:

$$F(j\omega) = a_0(j\omega)^n + a_1(j\omega)^{n-1} + \dots + a_{n-2}(j\omega)^2 + a_{n-1}(j\omega) + a_n.$$

яку отримують з характеристичного рівняння системи (3.50) шляхом підстановки $j\omega$ замість p . Для зручності побудови відділяють дійсну і уявну частини виразу (3-53) і комплексну функцію $F(j\omega)$ представляють у вигляді, $F(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega)$, де:

$$P(\omega) = a_0 - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots;$$

$$Q(\omega) = a_{n-1}\omega - a_{n-3}\omega^3 + a_{n-5}\omega^5 - \dots$$

Частоту ω при побудові годографа Михайлова змінюють від 0 до ∞ .

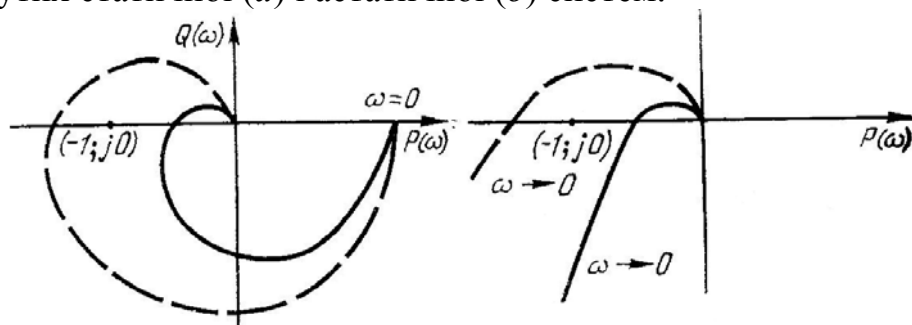
4. Критерій стійкості Найквіста-Михайлова

Спочатку критерій був розроблений в 1932 р. Х. Найквістом стосовно електронних підсилювачів зі зворотним зв'язком, а в 1938 р. А. В. Михайловим поширений на системи автоматичного регулювання. *За цим критерієм стійкість замкнутої системи автоматичного регулювання визначають за амплітудно-фазовою характеристикою стійкої розімкненої системи. Розімкнена система автоматичного регулювання є стійкою у тому випадку, коли складається тільки зі стійких динамічних ланок і містить не більше за одну інтегруючу ланку.*

Амплітудно-фазову характеристику розімкненої системи отримують таким чином. Розривають лінію зовнішнього зворотного зв'язку системи на структурній схемі і аналізують динамічні ланки, що входять в головний контур. Якщо головний контур системи не містить нестійких ланок і містить не більше за одну інтегруючу ланку, можна застосовувати критерій стійкості Найквіста-Михайлова. За структурною схемою розімкненої стійкої системи визначають передавальну функцію. Підставивши замість оператора p добуток $j\omega$, отримують рівняння амплітудно-фазової характеристики розімкненої системи, праву частину якого представляють у вигляді дійсної $P(\omega)$ і уявної $Q(\omega)$ складових, залежних від частоти. Змінюючи частоту ω від 0 до ∞ , отримують пари значень $P(\omega)$ і $Q(\omega)$, за якими на комплексній площині будують амплітудно-фазову характеристику стійкої розімкненої системи.

Якщо ця характеристика не охоплює точку з координатами $(-1, j0)$, то замкнута система автоматичного регулювання стійка.

На мал. 3.16 показані амплітудно-фазові характеристики стійких і нестійких замкнутих статичної (а) і астатичної (б) систем.



статичної

астатичної

Мал. 3.16. Амплітудно-фазові частотні характеристики стійких (суцільна лінія) і нестійких (пунктирна лінія) замкнутих систем

Коли знаменник передавальної функції розімкненої системи є багаточленом високого порядку, будувати амплітудно-фазову характеристику на комплексній площині трудомістко. Для скорочення об'єму розрахунків при визначенні стійкості систем іноді користуються логарифмічними амплітудною і фазовою частотними характеристиками розімкненої системи. Очевидно, замкнута система автоматичного регулювання буде стійкою, якщо частота ω_a , при якій логарифмічна амплітудна частотна характеристика перетинає вісь абсцис, менше частоти ω_ϕ , при якій логарифмічна фазова частотна характеристика перетинає лінію $\varphi = -180^\circ$.

5. Виділення областей стійкості

Розглянуті вище критерії дозволяють визначити чи стійка система автоматичного регулювання при певних параметрах її елементів. Практично

критерії не дають відповіді на питання про межі зміни того або іншого параметра системи за умови збереження або досягнення стійкості.

Для забезпечення заданих показників якості системи при змінних зовнішніх збуреннях ряд її параметрів роблять регульованими. Звичайно це передавальні коефіцієнти окремих елементів системи або їх постійні часу, що може призвести до втрати стійкості. Тому важливо визначити межі можливих регулювань параметрів.

Межі або область зміни одного або декількох параметрів системи можуть бути знайдені за допомогою спеціального методу, який дістав назву D-розбиття. Якщо система знаходиться на коливній межі стійкості це відповідає рівності нулю характеристичного вектора $D(j\omega) = 0$.

Нехай параметр K , який необхідно змінювати під час роботи системи входить у характеристичне рівняння лінійно, тоді воно може бути представлене у вигляді:

$$D(s) = K \cdot N(s) + M(s) = 0$$

Звідки:

$$K = -M(s) / N(s)$$

Побудуємо на комплексній площині графік функції підставивши замість s ($j\omega$):

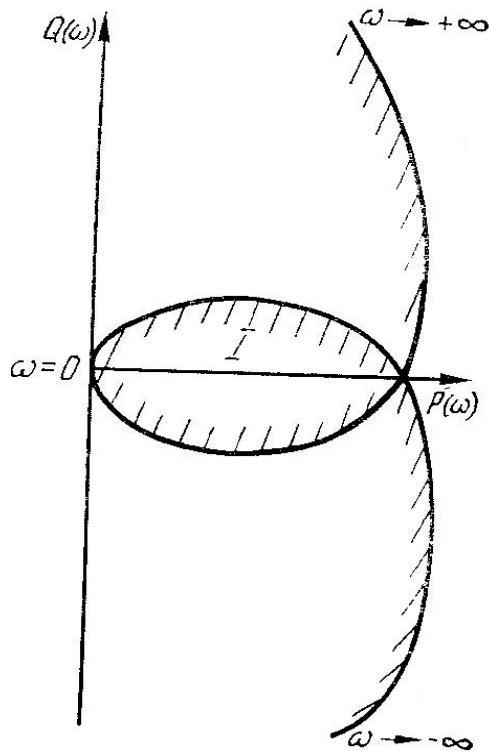
$$K = -M(j\omega) / N(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega)$$

Отримана крива D-розбиття являє собою відображення уявної осі комплексної площини коренів характеристичного рівняння на площину параметра K . Тому розв'язки із від'ємною дійсною частиною повинні лежати ліворуч від кривої при зміні ω від $-\infty$ до $+\infty$. Крива D-розбиття поділяє усю площину на декілька областей. У лінійних САК змінюваний параметр K завжди є дійсним, тому практичний інтерес становлять частини областей, що лежать на дійсній осі.

Областю стійкості буде множина дійсних значень K , що лежить в області обрамленій кривою у середину якої направлено штриховку.

Рівняння (3.57) при зміні ω від $-\infty$ до $+\infty$ дозволяє отримати значення k_x для усіх можливих коренів, розташованих на уявній осі. Природно, що значень трьох коренів, що залишилися, в кожному розрахунку k_x при $\omega = const$ ми не знаємо. Отримавши для різних ω пари значень дійсної $P(\omega)$ і уявної $Q(\omega)$ складових, будемо на комплексній площині параметра k_x криву, яка є відображенням уявної осі комплексної площини коренів характеристичного рівняння (мал. 3.17).

Оскільки в стійкій системі усі корені знаходяться зліва від уявної осі, при обході її від $-\infty$ до $+\infty$ область стійкості також знаходитиметься зліва від отриманої кривої. Для зручності знаходження області стійкості нанесемо на криві (мал. 3.17) штрихування ліворуч при русі від $-\infty$ до $+\infty$. Область I на мал. 3.17, можливо, є областю стійкості.



мал. 3.17 D-розбиття площини одного параметра

Задавшись будь-яким речовим значенням K усередині отриманої області, розраховуємо коефіцієнт $k = k_1 k_2 k_3$. Підставляють значення K в рівняння і за допомогою будь-якого критерію стійкості перевіряють стійкість системи. Якщо система виявиться стійкою, то знайдена область є областю стійкості. Ця перевірка потрібна з огляду на те, що при певному значенні k_x , що знаходиться на межі області стійкості, окрім уявного кореня, коренів з негативною дійсною частиною могли бути корені і з позитивною дійсною частиною. Може статися, що область стійкості відсутня, і система, отже, нестійка при будь-якому значенні k або іншого даного параметра. Якщо область стійкості відсутня, система автоматичного регулювання називається структурно-нестійкою. Для того, щоб добитися стійкості цих систем, необхідно змінити структурну схему - ввести додаткові, замінити одно або декілька ланок або поміняти порядок з'єднання елементів. У структурно-стійких системах для досягнення стійкості необхідно лише змінити чисельні значення параметрів.

Література:

1. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підр./ Ландюк А. П., Трегуб В. Г., Ельперін І. В., Цюцюра В. Д. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 224 с.
2. Автоматика и автоматизация производственных процессов: учеб. пос. для студ. с.-х. учеб. Зав./И. И. Мартыненко, Б. Л. Головинский, Р. Д. Проценко, Т, Ф. Резниченко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 334, с.:
3. Автоматика и автоматизация мобильных сельскохозяйственных машин: Учебное пособие / Г.Р. Носов, В.А. Кондратец, Л.Г. Сакало, Л.И. Середя; Ред. Г.Р. Носов. – К. : Вища школа, 1984. – 248 с.
4. Автоматизація технологічних процесів і систем автоматичного керування : навч. посіб./ О. В. Барало, П. Г. Самойленко, С. Є. Гралап та ін. - К.: Аграр. освіта, 2010. - 557, с.

ЛЕКЦІЯ № 7

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

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.

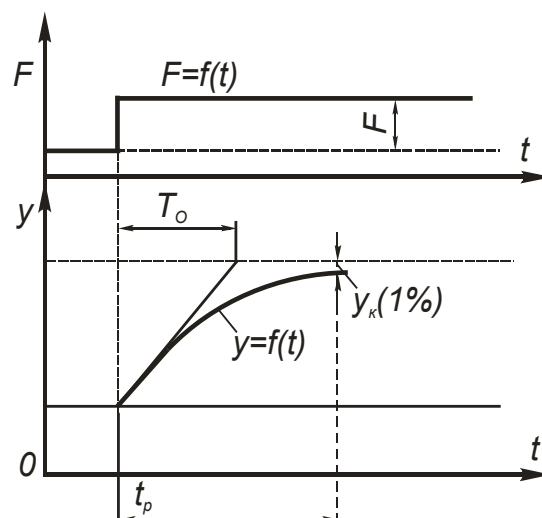
Перехідне запізнювання – є наслідком наявності різних опорів переходу речовини із однієї ємності в іншу або перетворення енергії із одного стану в інший і завжди спостерігаються у об'єктів з великою масою, індуктивністю або ємністю. Воно визначається, як проміжок часу від моменту появи збурення до початку 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 у 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. Най повнішу та найрізномбічнішу 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 $0,95 u_{уст}$.

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 τ_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 u_{max} керованої величини:

$$\rho = F/u_{max}.$$

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

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 № 8 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 δ 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 - α 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;

ΔR та Δl - зміна опору та довжини проводу;

σ - 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 платиноїрідій $K_T = 6$.

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:

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

де F - площа електродів;

δ - відстань між електродами;

ε - електрична проникність середовища між пластинами, що рівна:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0,$$

де ε_r - відносна електрична проникність середовища між пластинами;

ε_0 - діелектрична постійна, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

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

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

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

Фотоелементи із зовнішнім фотоелементом 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-n 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, М₀ - 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, діелькометричний – 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 гігристири. 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 гігісторів.

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, термо-електрорушійної 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 рухомим 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 мано-метра 3, що зв'язаний системою важелів із стрілкою 4 вимірювальної шкали 5. Зміна температури у цих датчиках фіксується за рахунок переміщення манометричних пружин (е), мембран (ж), сильфонів (з). При досягненні граничних значень температури стрілка викликає спрацьовування контактної системи 6, у результаті чого виникає керуючий сигнал. Датчики манометричного типу дозволяють вести візуальний контроль температури, причому шкала датчика може бути віддаленою на значну відстань від контролюваного 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°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 θ_0 ; R - опір проводу, що відповідає вимірюваній температурі θ ; α - 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 напів-провідника, 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 θ_T і вільного θ_X кінців і залежить від матеріалу проводу:

$$E = \alpha(\theta_r - \theta_x).$$

На практиці використовуються термopари 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 № 9 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:

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

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 ΔU та ΔI - 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.

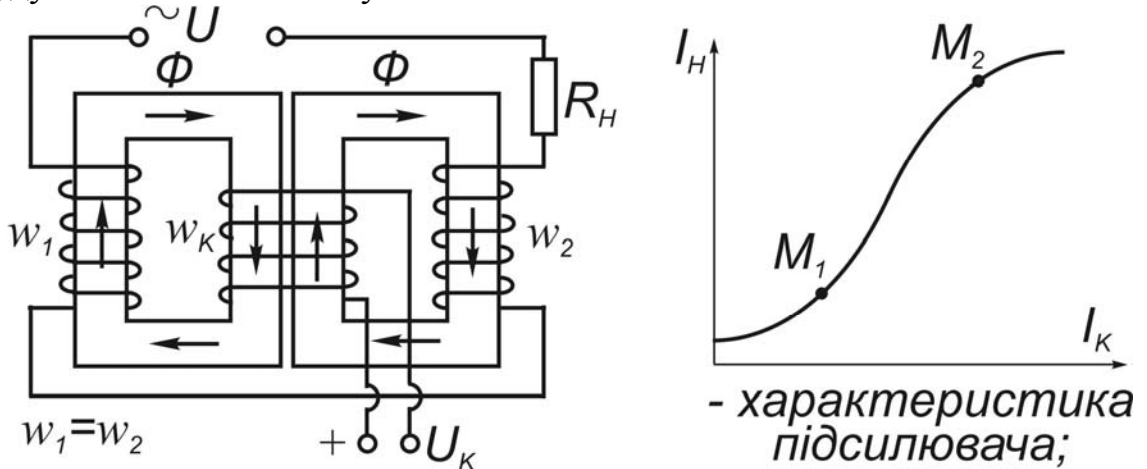
Робота струменевого підсилювача заснована на перетворенні тиску рідини або газу в кінетичну енергію струменя, яка переміщенням струменевої трубки направляється у приймальні сопла підсилювача і перетворюється знову у енергію тиску. Гідравлічний або пневматичний механізм перетворює енергію тиску у лінійне або кутове переміщення вихідного валу. 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

катушки з'єднані таким чином, щоб їх змінні магнітні потоки Φ у внутрішніх стержнях магнітопроводу були направлені зустрічно, внаслідок чого е. р. с., що індукуються цими змінними магнітними потоками Φ у обмотці керування w_K , будуть взаємно компенсуватися.



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 катушки;

S - площа січення осердя, m^2 ;

l - довжина середньої лінії осердя, м;

μ - 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 $M_1...M_2$.

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 пермалоєвому 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 емітера, 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 протилежній 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 увімкнутому 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 10

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 регульовальні 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.

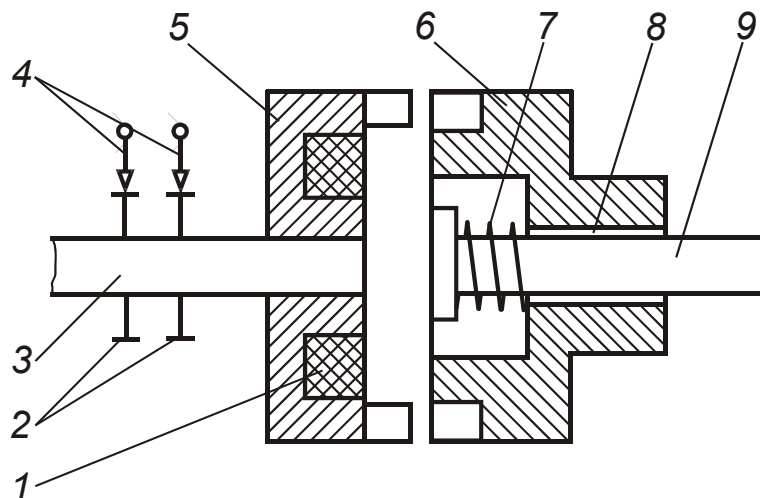
2. Електромагнітні механізми

Широке застосування у системах автоматики знаходять електромагнітні виконавчі механізми дискретної дії. Їх використовують для керування різного роду регульовальними 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 обертотвим рухом;

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

- для елементів із прямолінійним рухом робочого органу –



1 – обмотка; 2 – контактні кільця; 3 – ведучий вал; 4 – щітки; 5 - ведуча напівмуфта; 6 - ведена напівмуфта; 7 – пружина; 8 – шліци; 9 - ведений вал

Мал. 2 - Муфта сухого тертя

переміщення, швидкість, зусилля;

- для елементів із обертювим рухом робочого органу – кут повороту, частота обертів, обертювий момент.

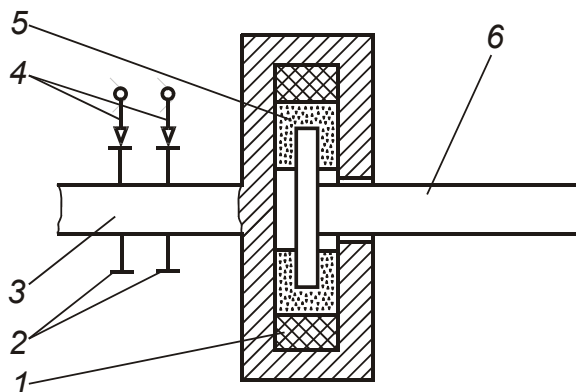
Вхідною величиною (керуючою дією) електромагнітних виконавчих механізмів є електричний струм у обмотці, який створює магнітне поле і діє через нього на робочий орган.

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



1 – обмотка; 2 – контактні кільця; 3 – ведуча напівмуфта; 4 – щітки; 5 – магнітний порошок; 6 - ведена напівмуфта

Мал. 3 - Муфта в'язкого тертя

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 магнітоемulsionні (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, багатопольсні),
- 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, двофазні 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° та 90° 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.

ЛЕКЦІЯ № 11 РЕЛЕЙНІ ПРИСТРОЇ

План:

1. Загальні відомості та класифікація реле автоматики;
2. Електромагнітні реле;
3. Фотоелектричні реле;
4. Пневматичні та гідравлічні реле;
5. Електромагнітні крокові шукачі.

1. Загальні відомості та класифікація реле автоматики.

У сільськогосподарській автоматичній широкій застосованні набули електричні і механічні реле. Реле це пристрій, у якому при плавній зміні вхідної величини і досягненні нею певного значення, вихідна величина змінюється стрибкоподібно.

Реле класифікують за такими ознаками:

- за родом фізичних величин, на які реле реагує: електричні, механічні, магнітні, теплові, хімічні, акустичні, та ін..;
- параметру від якого вони спрацьовують: струмові, напруги, потужності, часу та ін..;
- за призначенням: захисту, керування, зв'язку, автоматики та ін..

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

У будові таких реле можна виділити три основних функціональних елементи: сприймаючий, проміжний і виконавчий.

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

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

Виконавчий елемент (у контактних реле - контактна система), прийнявши команду від проміжного, впливає на кероване коло, змінюючи його параметри.

При цьому розрізняють:

- *реле прямої дії*, коли виконавчий елемент безпосередньо діє на контрольоване коло,
- *реле непрямої дії*, коли виконавчий елемент діє на контрольоване коло через інші апарати.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Час спрацювання $t_{\text{СПР}}$ - період від моменту надходження сигналу на сприймаючий елемент до моменту появи сигналу в керованому колі. Залежно від значення цього параметра розрізняють реле: без інерційні ($t_{\text{СПР}} < 0,001$ с), швидкодіючі ($t_{\text{СПР}} < 0,05$ с), нормальні ($t_{\text{СПР}} = 0,05 \dots 0,25$ с), уповільненого дії ($t_{\text{СПР}} = 0,25 \dots 1,0$ с), витримки часу ($t_{\text{СПР}} > 1,0$ с).

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

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

2. Електромагнітні реле

Електромагнітне реле - типовий і найбільш розповсюджений вид електричних реле. На малюнку 2,а як приклад показана будова реле клапанного типу. В електромагнітну систему реле входять скоба 1, осердя 2, полюсний наконечник 3, якір 4 і котушка 5. Якір і осердя виготовлені з

магнітом'якого матеріалу. Коли по обмотці реле протікає струм, якір притягається до осердя, повертається відносно призми б і діє на замикання контактів 7. При зникненні струму якір і контакти повертаються у вихідне положення зусиллям пружини 8. Наконечник 3 зроблений з немагнітного матеріалу (латунь чи мідь), щоб під впливом залишкового магнітного потоку якір після відключення струму не залишався притягнутим до осердя.

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

Реле постійного струму поділяються на нейтральні і поляризовані. У нейтральних реле сприймаючий орган однаково реагує на постійний струм незалежно від його полярності, а в *поляризованих* полярність сигналу впливає на напрямок зусилля, що діє на якір. Принцип дії поляризованих реле ілюструється малюнком 2,б. Якщо струму в робочій обмотці нема, то якір 1 знаходиться в нейтральному положенні, тому що магнітні потоки Φ_1 і Φ_2 , створювані постійними магнітами, рівні і протилежні. Контактна група 3 буде знаходитися в розімкнутому стані. При подачі в робочу обмотку струму тієї чи іншої полярності виникає потік Φ_3 , що накладається на потоки Φ_1 і Φ_2 (з одним сумується, а від іншого віднімається). Рівновага порушується, якір 1 притягається до магніту 4 чи 5 і, повертаючись на осі 2, замикає ліву чи праву пару контактів 3. Для створення потоків Φ_1 і Φ_2 можуть бути використані електромагніти.

В *електромагнітних реле змінного струму* осердя набирається з листової трансформаторної сталі з метою зменшення втрат на вихрові струми. Для усунення вібрації контактів, що викликається періодичною зміною значення і напрямку синусоїдального струму, а отже, і зусилля, створюваного його магнітним полем, на торець електромагніта насаджується мідний коротко замкнутий виток (мал. 2,в). Магнітний потік Φ поділяється на два складових потоки Φ_1 і Φ_2 . Потік Φ_1 наводить у коротко замкнутому витку струм, магнітний потік Φ_K якого сумується з потоком Φ_1 і віднімається від потоку Φ_2 . У результаті виходять потоки Φ_1 і Φ_2 , зсунуті один відносно іншого на деякий кут. Кожний з потоків створює тягове зусилля, а їхнє результуюче зусилля буде мати тим менше пульсацій, чим більший кут взаємного зсуву потоків Φ_1 і Φ_2 .

Реле з магнітокерованими контактами, називані також герконами (герметизовані контакти), являють собою скляну ампулу, з якої викачане повітря - *вакуумні геркони*, чи заповнену інертним газом (азотом, аргонем) - *газонаповнені геркони*. В ампулу упаяні тонкі пружні феромагнітні пластинки (електроди), що виконують одночасно роль контактів, пружних елементів і частини магнітопровода. На пластини герконів наносять покриття з добре провідних матеріалів (срібла, золота, родію). Струм, що протікає по котушці, при подачі сигналу на вхід реле, створює магнітний потік, що замикається усередині котушки по пластинках, що намагнічуються і здобувають протилежну полярність. Між пластинками виникають сили

притягання, вони замикаються, і на виході з'являється сигнал. При знятті вхідного сигналу пластини повертаються у вихідне положення. Промисловість випускає ряд типів герконів (КЭМ-1, КЭМ-2, КЭМ-3, МК4, МКВ, МКП, МУП, МКО й ін.) з розмірами ампули: довжиною 20...50 мм і діаметром кілька мілі-метрів. Сила, що намагнічує, коливається від 25 А (для МКО) до 250 А - (для МКП), час спрацювання 50...2500 мкс, струм, що комутується до 1,0 А і більше при напрузі до 50...60 В, число спрацювань $10^6 \dots 10^9$, опір контактного переходу 0,05...0,2 Ом.

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

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

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

3. Фотоелектричні реле

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

Фотореле працює таким чином. При зменшенні освітленості опір фоторезистора *R5* зростає із 1...2 кОм до 3...5 кОм, що призводить до зростання колекторних струмів транзисторів *VT1*, *VT2* та відкриття тиристора *V5*. При цьому спрацьовує виконавче електромагнітне реле *KV*, яке вмикає освітлення. При збільшенні освітленості опір фоторезистора *R3* зменшується, зменшується і колекторний струм транзистора *VT2*, що призводить до закриття тиристора *V5*, та відпускання виконавчого електромагнітного реле *KV*, яке вимикає освітлення. Поріг спрацювання фотореле встановлюється резистором змінного опору *R3*.

4. Пневматичні та гідравлічні реле

Призначені для контролю та двохпозиційного регулювання тиску рідких та газоподібних середовищ.

Реле тиску застосовується для послідовного вмикання або вимикання окремих виконавчих органів машин та для здійснення дистанційного керування. Реле тиску може забезпечити контроль за тиском у гідросистемі із подачею електричного сигналу що свідчить наприклад про перевантаження системи.

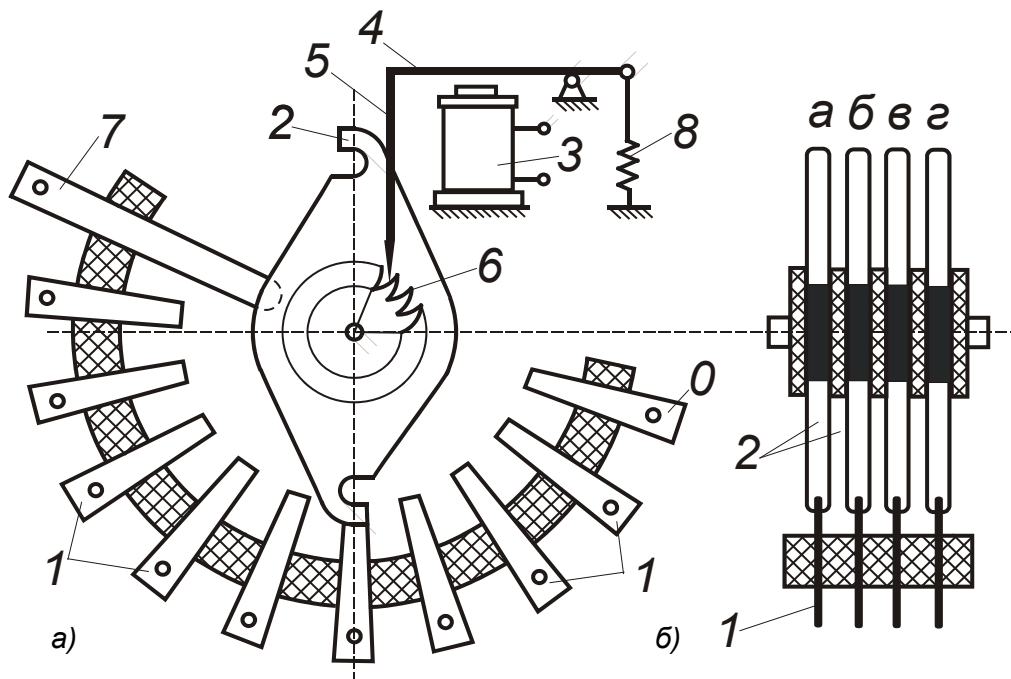
5. Електромагнітні крокові шукачі

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

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

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

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



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

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

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

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

ряді до потрібної пластини. Шукач ДШИ має дві шкали для вказівки місця положення щіток.

ЛЕКЦІЯ № 12

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ РОСЛИННИЦТВА

План:

1. *Особливості автоматизації процесів рослинництва;*
2. *Системи автоматичного контролю і захисту;*
3. *Системи автоматичного регулювання положення машин та окремих робочих органів відносно поверхні поля;*

1. **Особливості автоматизації процесів рослинництва.**

При досить високому рівні механізації процесів в рослинництві рівень їх автоматизації дуже невисокий: для найбільш досконалих процесів він не перевищує 20...30 %. Тому саме автоматизація дозволяє підвищити продуктивність агрегатів, що застосовуються у рослинництві, і поліпшити якість сільськогосподарської продукції.

Автоматизація мобільних агрегатів у рослинництві дозволяє:

- а) підвищити продуктивність праці до 30 %;
- б) знизити втрати до 5 %;
- в) знизити витрати пального до 14 %.

Отже, при комплексній автоматизації продуктивність праці в сільському господарстві може збільшитися в 4...5 разів, а собівартість продукції знизитися на 10...30 %.

Підвищення продуктивності праці мобільних агрегатів в рослинництві можна досягнути за рахунок підвищення швидкості руху агрегату, а також за рахунок збільшення ширини захвату його робочих органів.

Існуючі потужності тракторів і самохідних агрегатів дозволяють при проведенні різних сільськогосподарських операцій в 2...3 рази збільшити існуючі швидкості. Проте досягнення таких швидкостей стримується відсутністю технічних засобів, здатних при такій швидкості здійснювати заданий напрямок руху агрегату, погашати нестабільність положення агрегату у вертикальній площині і т. д. Це під силу тільки досконалим автоматичним пристроям.

Низький рівень автоматизації процесів пояснюється в першу чергу складністю і своєрідністю процесів в рослинництві:

- оброблюваний матеріал (грунт і культури, що ростуть на ньому) нерухомі, а засоби виробництва повинні переміщатися і виконувати певні операції.

- процес вирощування рослин протікає під відкритим небом, у зв'язку з чим засоби виробництва працюють у невизначених умовах, що змінюються, залежно від погоди.

- неоднорідність оброблюваного матеріалу: ґрунту, фізико-механічних властивостей рослин і т. д. наприклад, завантаження збиральних машин залежить не тільки від зміни врожайності, а й від вологості, засміченості і ряду інших, дуже часто непередбачуваних факторів.

- складність рельєфу, по якому повинен рухатися агрегат, випадкові збурення, які викликає рельєф оброблюваних полів, характеризуються досить широким спектром, що зумовлені як різного роду узгір'ями і схилами, так і різними мікронерівностями.

Проведемо класифікацію усіх функціонуючих і розроблюваних автоматичних та автоматизованих систем, які застосовуються на мобільних агрегатах в рослинництві, за однорідністю виконуваних функцій:

- 1) системи автоматичного контролю, сигналізації та захисту;
- 2) системи автоматичного регулювання положення машин і окремих робочих органів щодо поверхні поля;
- 3) системи автоматичного регулювання напрямку руху машин і робочих органів;
- 4) системи автоматичного регулювання завантажувальних режимів машин та окремих робочих органів.

2. Системи автоматичного контролю і захисту

Системи автоматичного контролю мобільних сільськогосподарських агрегатів призначені для постійного контролю за виконанням окремих технологічних операцій і подачі світлозвукової сигналізації водієві агрегату при технологічних порушеннях або закінченні операції.

В якості контрольованих параметрів технологічних операцій зазвичай вибирають:

- граничні рівні заповнення та спорожнення технологічних ємностей;
- основні параметри робочих органів сільськогосподарських агрегатів;
- пробуксовування запобіжних муфт при перевантаженні приводних органів;
- кількість і якість продукції, одержуваної агрегатом.

Поряд з системами контролю застосовуються системи автоматичного захисту, які при виході контрольованого параметра за задані межі відключають вузол або систему механізмів, щоб уникнути аварії.

Системи автоматичної сигналізації та захисту знаходять досить широке застосування при управлінні сільськогосподарськими агрегатами. Системи контролю встановлюють на різних збиральних сільськогосподарських агрегатах. Наприклад, систему Усак-13 встановлюють на коренезбиральній самохідній машині КС-6. При цьому сигнальні лампи сигналізують про стан таких робочих органів: шести приводів копачів, приводу шнеків, приводу бітерів копачів, передавального валу, поздовжнього транспортера, навантажувального елеватора, стрічкового транспортера, грудно подрібнювача.

Електронна автоматична система «КЕДР» призначена для контролю за роботою сівалок і складається з восьми перетворювачів висіву, двох перетворювачів рівня, пульта контролю і блоку управління. Елементи системи з'єднуються між собою за допомогою штепсельних роз'ємів і

кабелів. Живлення системи здійснюється постійним струмом від електросистеми трактора.

Принцип дії частини системи, що контролює висів насіння, наступний. При ненадходженні насіння з висівного апарату протягом секунди фотоперетворювач, встановлений в корпусі висівного агрегату, сигналізує на цифрове табло про пошкодження висівного апарату. Сигнал на пульті управління вмикається при відсутності насіння на висівному диску, забиванні порожнини апарату зерном, забиванні сошника землею або рослинами, попаданні в апарат сторонніх предметів, припинення обертання висівного диска і зниженні ступеня розрідження.

Застосовуються й складніші системи контролю: норм витрати добрив, гербіцидів, насіння і т. д. Є системи контролю водіння агрегату по рядках. Така система встановлена на буряковому автоматичному проріджувачі ПСА-2.7. Система автоматично виробляє звуковий сигнал про зміщення агрегату і сигнали, що вказують водієві агрегату «вліво» або «вправо» змістити агрегат. Крім того, в системі контролю проріджувача встановлені перетворювачі контролю густоти насаджень після проріджувача, руху робочих органів і т. д.

3. Системи автоматичного регулювання положення машин та окремих робочих органів відносно поверхні поля

Системи автоматичного регулювання положення машин та окремих робочих органів відносно поверхні поля призначені для стабілізації положення остова косогірних машин в просторі і для регулювання по висоті відносно поверхні поля положення первинних робочих органів ґрунто-обробних, посівних і збиральних машин.

Системи регулювання положення машин і окремих робочих органів можна розділити на чотири основні групи:

- системи автоматичної стабілізації положення остова косогірних машин;
- системи автоматичного регулювання глибини оранки і культивуації;
- системи регулювання положення ріжучих апаратів збиральних машин;
- системи регулювання глибини загортання насіння.

Системи автоматичної стабілізації положення остова косогірних машин. При роботі сільськогосподарської техніки на схилах її ефективність різко знижується. У звичайного трактора при роботі на схилі 14° втрати потужності становлять близько 30 %. При роботі на тому самому схилі трактора, оснащеного пристроєм для стабілізації остова, втрати потужності не перевищують 6 %.

Випробування показують, що на схилі 14° без вирівнювання втрати молотарки зернозбирального комбайна доходять до 26 %, що більш ніж в 5 разів перевищує втрати в комбайні з вирівнюванням молотарки. Причому недомолот в цьому випадку становить близько 10 %, а втрати вільним зерном перевищують 16 %. При вирівнюванні молотарки ці показники мають

значення відповідно 1 і 3,7 %. Випробування показують, що збільшення втрат зерна спостерігається вже при роботі на схилах понад 2°.

Автоматичні системи регулювання положення остова комбайна встановлюють і на вітчизняних збиральних машинах. Принцип дії системи комбайна СКК-5 приблизно такий же, як і у наведеній вище системи. Відрізняється лише конструкція перетворювача. Перетворювач поплавкового типу.

При роботі комбайнів, швидкість яких не перевищує 1,5...2 км/год., як перетворювачів використовують ртутно-контактні трубки - заповнені ртуттю судини, в підставі яких поміщені електроди. При горизонтальному розташуванні остова комбайна ртуть не замикає електродів. При нахилі остова електроди замикаються і електрогідравлічний клапан управляє роботою системи регулювання положення остова подібно до того, як було описано раніше.

Системи автоматичного регулювання глибини оранки і культивуації.
Основне завдання систем регулювання глибини оранки і культивуації полягає в стабілізації глибини оранки і розпушування, встановленої агротехнічними вимогами. Відповідно до агротехнічних вимог відхилення глибини оранки на рівних ділянках не повинні перевищувати $\pm 1...1,5$ см, а на нерівних ділянках 2...3 см. Нерівномірність глибини обробки при культивуації не повинна перевищувати ± 1 см.

Існує два основних принципи побудови систем автоматичного регулювання глибини оранки - силовий і за відхиленням. При використанні силового принципу система регулювання будується на основі вимірювання тягового зусилля. Спосіб за відхиленням використовує сигнал, що вимірює відстань від поверхні ґрунту до ріжучої кромки плуга. Природно, що силовий принцип побудови системи регулювання є непрямим і тому при зміні фізико-механічних властивостей ґрунту в системі, побудованій за таким принципом, спостерігатимуться зміни глибини оранки. Найбільш поширений саме цей не цілком досконалий принцип. Пояснюється це простою конструкцією перетворювача (звичайна пружина).

Розглянемо роботу системи, що побудована на принципі управління за відхиленням. Принципова схема такої системи зображена на малюнку 4.20. Вимірювальним пристроєм регулятора за відхиленням є хитна планка з повзунком 6. Відхилення планки з повзунком передається на золотниковий гідророзподільник 1, який керує роботою гідроциліндра 4.

Дія системи відбувається наступним чином. При відхиленні глибини оранки h у бік збільшення планка з повзунком під дією пружини 7 відхилиться і перемістить плунжер золотникового гідророзподільника. Масло від гідророзподільника під тиском почне надходити в нижню частину гідроциліндра. Поршень гідроциліндра підніметься вгору і тим самим зменшить заглиблення плуга. При зменшенні глибини оранки система діятиме у зворотному напрямку.

При різко змінюваних фізико-механічних властивостях ґрунту застосовується комбінований спосіб регулювання глибини оранки за відхиленням і силовий. Різко зростаючі тягові опори призводять до тимчасової пробуксовки руху трактора, і вимагають переходу на знижену передачу або примусове ручне виглиблення знаряддя. Силовий перетворювач дозволяє значною мірою згладити ці збурення і збільшити продуктивність орного агрегату.

Системи автоматичного регулювання положення машин та окремих робочих органів відносно поверхні поля призначені для стабілізації положення остова косогірних машин в просторі і для регулювання по висоті відносно поверхні поля положення первинних робочих органів ґрунто-обробних, посівних і збиральних машин.

Системи регулювання положення машин і окремих робочих органів можна розділити на чотири основні групи:

- системи автоматичної стабілізації положення остова косогірних машин;
- системи автоматичного регулювання глибини оранки і культивуації;
- системи регулювання положення ріжучих апаратів збиральних машин;
- системи регулювання глибини загортання насіння.

Системи автоматичної стабілізації положення остова косогірних машин. При роботі сільськогосподарської техніки на схилах її ефективність різко знижується. У звичайного трактора при роботі на схилі 14° втрати потужності становлять близько 30 %. При роботі на тому самому схилі трактора, оснащеного пристроєм для стабілізації остова, втрати потужності не перевищують 6 %.

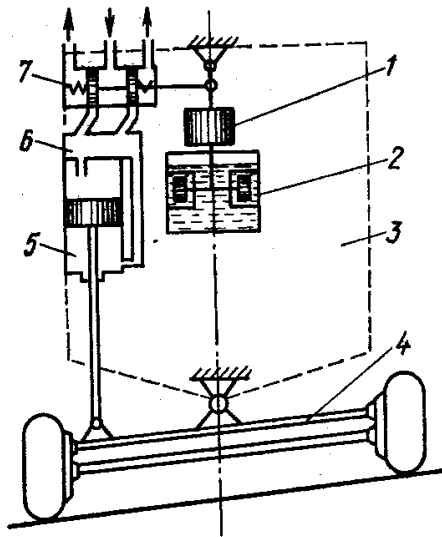
Тому при роботі на схилах використовуються спеціальні крутосхильні трактори ДТ-75К, Т-50К і т. д. Ще значніші втрати при роботі на схилах звичайних збиральних машин. У похилому положенні погіршується робота молотарки зернозбирального комбайна у зв'язку з тим, що солома і зерно на сепарувальних органах зосереджуються з одного боку, змінюється швидкість просування оброблюваної маси.

Випробування показують, що на схилі 14° без вирівнювання втрати молотарки зернозбирального комбайна доходять до 26 %, що більш ніж в 5 разів перевищує втрати в комбайні з вирівнюванням молотарки. Причому недомолот в цьому випадку становить близько 10 %, а втрати вільним зерном перевищують 16 %. При вирівнюванні молотарки ці показники мають значення відповідно 1 і 3,7 %. Випробування показують, що збільшення втрат зерна спостерігається вже при роботі на схилах понад 2° .

Таким чином, комбайни, що працюють на схилах, необхідно обов'язково оснащувати системами автоматичного регулювання горизонтального положення молотарки.

На малюнку 4.19 наведена принципова схема системи автоматичного вирівнювання остова зернозбирального комбайна в поперечному напрямку. Такого роду системами оснащуються крутосхильні зернозбиральні комбайни фірми «Мак-Кормік» (США). В якості перетворювача в системі використаний маятник 1 з демпфуючим пристроєм 2 для поглинання випадкових збурень, викликаних незначними по довжині нерівностями поля. Відхилення перетворювача передається на плунжер золотникового гідророзподільника 7, який керує роботою гідроциліндра 5. Від гідророзподільника масло подається в гідроциліндр через систему запірних клапанів 6, за допомогою яких поршень фіксується при відсутності подачі масла від гідророзподільника.

Система діє таким чином. При бічному нахилі остова комбайна маятник поступово повертається відносно остова, прагнучи зайняти вертикальне положення. Корпус гідророзподільника укріплений на остові і нерухомий. Тому зміщується його плунжер, прикріплений до стрижня маятника. Олива з гідророзподільника нагнітається у відповідну порожнину гідроциліндра і повертає остов відносно опорного бруса до тих пір, поки не буде ліквідовано нахил.



Мал. 4.19. Автоматична система регулювання положення остова зернозбирального комбайна:

1 - маятник; 2 - демпфуючий пристрій; 3 - острів комбайна; 4 - опорний брус; 5 гідроциліндр; 6 запірні клапани; 7 золотниковий гідророзподільник.

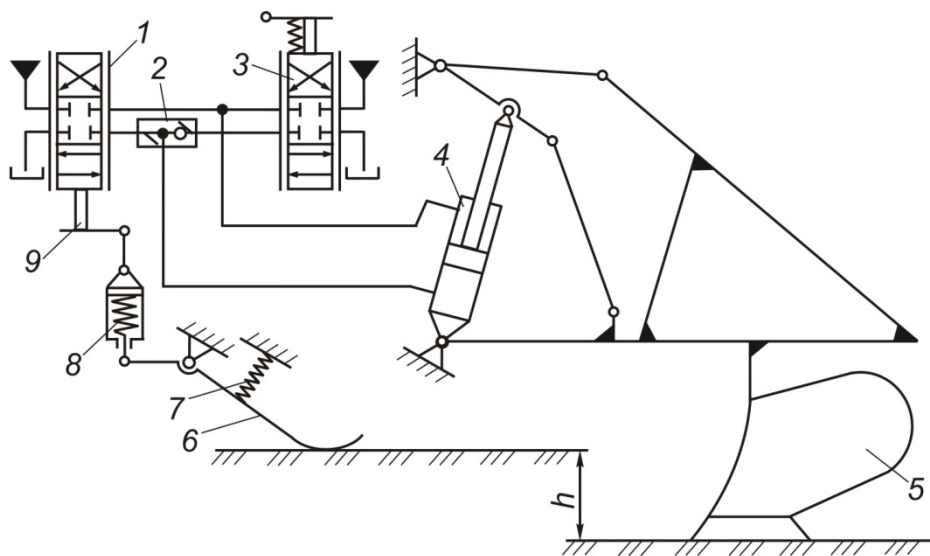
Автоматичні системи регулювання положення остова комбайна встановлюють і на вітчизняних збиральних машинах. Принцип дії системи комбайна СКК-5 приблизно такий же, як і у наведеній вище системи. Відрізняється лише конструкція перетворювача. Перетворювач поплавкового типу.

При роботі комбайнів, швидкість яких не перевищує 1,5...2 км/год., як перетворювачів використовують ртутно-контактні трубки - заповнені ртуттю судини, в підставі яких поміщені електроди. При горизонтальному розташуванні остова комбайна ртуть не замикає електродів. При нахилі остова електроди замикаються і електрогідравлічний клапан управляє роботою системи регулювання положення остова подібно до того, як було описано раніше.

Системи автоматичного регулювання глибини оранки і культивуації. Основне завдання систем регулювання глибини оранки і культивуації полягає в стабілізації глибини оранки і розпушування, встановленої агротехнічними вимогами. Відповідно до агротехнічних вимог відхилення глибини оранки на рівних ділянках не повинні перевищувати $\pm 1...1,5$ см, а на нерівних ділянках 2...3 см. Нерівномірність глибини обробки при культивуації не повинна перевищувати ± 1 см.

Існує два основних принципи побудови систем автоматичного регулювання глибини оранки - силовий і за відхиленням. При використанні силового принципу система регулювання будується на основі вимірювання тягового зусилля. Спосіб за відхиленням використовує сигнал, що вимірює відстань від поверхні ґрунту до ріжучої кромки плуга. Природно, що силовий принцип побудови системи регулювання є непрямим і тому при зміні фізико-механічних властивостей ґрунту в системі, побудованій за таким принципом, спостерігатимуться зміни глибини оранки. Найбільш поширений саме цей не цілком досконалий принцип. Пояснюється це простою конструкцією перетворювача (звичайна пружина).

Розглянемо роботу системи, що побудована на принципі управління за відхиленням. Принципова схема такої системи зображена на малюнку 4.20. Вимірювальним пристроєм регулятора за відхиленням є хитна планка з повзунком 6. Відхилення планки з повзунком передається на золотниковий гідророзподільник 1, який керує роботою гідроциліндра 4.



ПРИНЦИПОВА СХЕМА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ГЛИБИНИ ОРАНКИ:
 1 - гідророзподільник; 2 - гідроперемикач; 3 - клапан ручного керування; 4 - гідроциліндр;
 5 - корпус плуга; 6 - датчик; 7 - пружина; 8 - пружиний компенсатор; 9 - плунжер

Дія системи відбувається наступним чином. При відхиленні глибини оранки h у бік збільшення планка з повзунком під дією пружини 7 відхилиться і перемістить плунжер золотникового гідророзподільника. Масло від гідророзподільника під тиском почне надходити в нижню частину гідроциліндра. Поршень гідроциліндра підніметься вгору і тим самим зменшить заглиблення плуга. При зменшенні глибини оранки система діятиме у зворотному напрямку.

При різко змінюваних фізико-механічних властивостях ґрунту застосовується комбінований спосіб регулювання глибини оранки за відхиленням і силовий. Різко зростаючі тягові опори призводять до тимчасової пробуксовки руху трактора, і вимагають переходу на знижену передачу або примусове ручне виглиблення знаряддя. Силовий перетворювач дозволяє значною мірою згладити ці збурення і збільшити продуктивність орного агрегату.

ЛЕКЦІЯ № 13

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ МАШИН

ПЛАН

1. *Особливості автоматизації процесів ремонту машин;*
2. *Автоматизація і електропривод кранових механізмів;*
3. *Автоматизація і електропривод ручних електричних машин;*
4. *Автоматизація і електропривод обкатних стендів;*
5. *Автоматизація і електропривод металообробних верстатів;*
6. *Автоматизація і електропривод деревообробних верстатів.*

14.1. Особливості автоматизації процесів ремонту машин.

Робота електрообладнання в умовах сільськогосподарських ремонтних підприємств має ряд особливостей які необхідно враховувати при його виборі та експлуатації. До цих особливостей можна віднести:

1. Електрообладнання може працювати в різних умовах (у сухих, вологих, вогких, особливо вологих приміщеннях, на відкритому повітрі, у захищених приміщеннях, із підвищеним вмістом аміаку, сірководню, вуглекислого газу при значних коливаннях температури, що призводить до поступового руйнування ізоляції, корозії контактів і конструктивних елементів електро-обладнання) тому апаратуру керування розміщують поза тваринницькими приміщеннями.
2. Приміщення обробляються дезінфекційними розчинами, які хімічно активні.
3. Різна тривалість роботи механізмів і їх привідних електродвигунів:
 - кормороздавачі 500 год. на рік;
 - вакуумні насоси 1500 год. на рік;
 - вентилятори 3000 год. на рік.
4. Ступінь завантаження двигунів коливається від 25 до 100% а деякі працюють при тимчасових перевантаженнях;
5. Широкий діапазон коливань напруги живлення $\Delta U = \pm 5\%$ для комплексів.
6. Низький професійний рівень обслуговуючого персоналу, що призводить до неправильної експлуатації і обслуговування електрообладнання.
7. Невдалі конструкції механізмів, які приводяться у рух електродвигунами (вібрація машин і двигунів, встановлення двигунів на агрегатах що нагріваються,

можливість попадання води і т.д.)

Вимоги до електрообладнання автоматизованих потокових ліній.

У тваринницьких фермах електроприводи дуже часто працюють на машинах і агрегатах які вмонтовані у технологічні потокові лінії. Керування такими електроприводами необхідно здійснювати централізовано, дистанційно і автоматично. Електричні зв'язки між окремими елементами потокових ліній досить складні (велика кількість зв'язків із контрольною і сигнальною апаратурою, датчиками та іншим електрообладнанням). Тип та потужність електродвигунів та різних електроспоживачів, апаратуру керування, сигналізації і захисту вибирають індивідуально для кожного споживача, відповідно до його призначення у технологічній схемі. При цьому пульт керування встановлюють у виробничому приміщенні, ближче до основних агрегатів у місці з найзручнішим оглядом робочих машин, а шафи з магнітними пускачами, реле та ін. апаратами розміщують окремо у більш сухому та чистому приміщенні.

Схеми автоматичного керування потоковими лініями повинні відповідати наступним вимогам:

1. Робочі машини якими керує електрообладнання повинні мати узгоджену (регульовану) продуктивність та забезпечувати високу якість продукту, що виробляється чи переробляється;
2. Запуску автоматичного електроприводу потокової лінії повинен передувати попереджувальний звуковий або (та) світловий сигнал;
3. Електроприводи усіх машин і механізмів потокової лінії повинні запускатись у послідовності, що направлена проти руху продукції (починаючи із кільця технологічної лінії), а зупинятись у послідовності що співпадає із напрямком руху продукції;
4. При аварійній зупинці однієї із машин, повинні зупинятись без затримки часу усі машини, що працюють на її завантаження та із затримкою часу – усі машини, які працюють на її розвантаження, що необхідно для повного звільнення від продукції;
5. Електричні схеми повинні забезпечувати неможливість неправильного вмикання та вимикання електричних кіл;

6. Для стійкої роботи електроприводів та запобігання недопустимого зниження напруги, схеми послідовного вмикання електроприводів повинні бути розрахованими на гранично допустиму потужність двигунів, що вмикаються одночасно;
7. Схеми керування повинні бути простими і надійними, забезпечувати надійний захист електродвигунів і проводів (застосування електричних та механічних блокувань);
8. Для запобігання забивання машини продукцією і захисту двигунів (особливо серійних) від холостого ходу при обриві передавальних пасів, необхідно на привідний вал таких машин встановлювати реле контролю швидкості, яке подавало б сигнал для зупинки потокової лінії;
9. Схеми керування повинні забезпечувати максимальну автоматизацію виробничих процесів достатню зручність та гнучкість керування, а також можливість регулювання кутової швидкості валів робочих машин у заданих межах (простий і швидкий перехід на інші режими роботи, можливість керування із декількох місць, контроль за допомогою світлової та звукової сигналізації);
10. У протяжних приміщеннях, кнопки аварійної зупинки повинні встановлюватись у декількох різних місцях;
12. Для налагоджувальних та ремонтних робіт у схемах керування необхідно передбачити деблокувальні режими, які забезпечували б можливість довільного включення двигунів.
13. Проводи силових електричних кіл повинні розраховуватись за максимальним тривалим робочим струмом, бути достатньо механічно міцними, при цьому спад напруги на них не повинен перевищувати допустимих меж. Ізоляція проводів і кабелів повинна бути розрахована на напругу не нижчу номінальної напруги мережі, і бути стійкою до агресивної дії навколишнього середовища.

14.2 Автоматизація і електропривод кранових механізмів

До вантажопідйомних машин відносять підйомні крани, кран-балки, талі, лебідки. Основними їх механізмами є механізми підйому і пересування (повороту).

Сили тертя в кранових механізмах зумовлюють реактивні моменти, а сили тяжіння мас, що рухаються вертикально - активні. При цьому приведений до вала

двигуна момент статичних опорів M_o є алгебраїчною сумою моменту M_e , зумовленого вагою переміщуваного вантажу і моменту втрат на тертя M_m .
Механічна характеристика крана $M_o = const$.

Електропривод кранів працює в повторно-короткочасному режимі з великим числом вмикань за годину в запилених і вологих приміщеннях та на відкритому повітрі. Напруга живлення не повинна перевищувати 500 В.

Стандартами встановлені такі режими роботи механічного і електричного обладнання кранових механізмів:

- легкий - Л ($TB_{ном} = 15 - 25 \%$, частота вмикань за годину $z \leq 60$ 1/год);
- середній - С ($TB_{ном} = 25 - 40 \%$, $z \leq 120$ 1/год);
- важкий - В ($TB_{ном} = 40 \%$, $z \leq 120$ 1/год);
- дуже важкий - ДВ ($TB_{ном} = 60 \%$, $z \leq 600$ 1/год).

Для електрообладнання кранів приймають, що час циклу не перевищує 10 хв, а для механізмів - 1 год.

Робочі швидкості кранових механізмів знаходяться у межах 0,5 - 2 м/с, тому приведений момент інерції електропривода визначається, в основному, моментом інерції електродвигуна. Для привода кранових механізмів застосовуються електродвигуни з малим моментом інерції. Двигуни кранових механізмів повинні мати велику перевантажувальну здатність, щоб забезпечити достатній момент при розгоні і необхідний пусковий момент для подолання перевантажень, що виникають при відриві вантажів.

Для привода кранових механізмів використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим та фазним ротором серії МТКФ, МТФ, 4МТ, АИРВС...ЭУ1 або двигуни постійного струму серії Д залежно від вимог до механічних характеристик електроприводів з боку технологічних операцій.

Для визначення потужності двигуна необхідно знати моменти статичних опорів при підйомі вантажу і переміщенні візка. Приведений момент статичних опорів, Н·м, підйомної лебідки при підйомі вантажу визначають за формулою:

$$M_c = \frac{g(m + m_0)D}{2i\eta}, \quad (12.1)$$

де g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ; m - маса вантажу, кг ; m_0 - маса підйомного пристрою, кг ; D - діаметр барабана, м ; i - передавальне число механічної передачі; η - ККД підйомного механізму.

При опусканні вантажу в режимі гальмівного спуску:

$$M_c = \frac{g(m + m_0)D\eta}{2i}. \quad (12.2)$$

Приведений момент статичних опорів, $\text{Н}\cdot\text{м}$, при горизонтальному переміщенні візка визначається за формулою:

$$M_c = \frac{gk(m + m_1)(\mu r + f)}{i\eta}, \quad (12.3)$$

де k - коефіцієнт, який враховує тертя колеса об рейки; m - маса вантажу, кг ; m_1 - маса механізму, що переміщується, кг ; μ - коефіцієнт тертя ковзання, $\mu = (0,3-1,4)10^{-3}$; r - радіус шийки осі колеса, м ; f - коефіцієнт тертя кочення, м ($0,08$ - для підшипників ковзання, $0,01 - 0,02$ - для підшипників кочання); η - ККД механізму переміщення.

Необхідна потужність двигуна визначається за формулою:

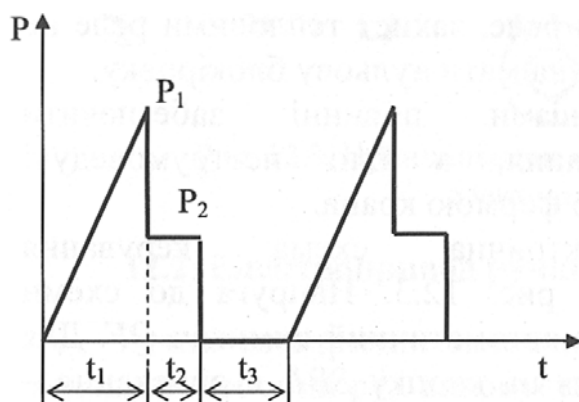
$$P = K_3 \cdot M_o \cdot \omega_{об}, \quad (12.4)$$

де $K_3 = 1,1-1,5$ - коефіцієнт запасу, що враховує динамічні навантаження; $\omega_{об}$ - кутова швидкість двигуна, с^{-1} , що визначається за формулою:

$$\omega_{об} = 2vi/D, \quad (12.5)$$

де v - швидкість переміщення вантажу, м/с .

Потужність електродвигуна кранового механізму вибирають з урахуванням еквівалентної потужності, яку визначають з навантажувальної діаграми (мал. 12.2).



Мал. 12.2. Навантажувальна діаграма крана

За навантажувальною діаграмою визначають еквівалентну потужність:

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2}{0.75 t_1 + t_2}}, \quad (12.6)$$

де P_1 - максимальна потужність при пуску двигуна, кВт; P_2 - потужність при підйомі вантажу, кВт; t_1 і t_2 - тривалості пуску і роботи, с.

Тривалість вмикання:

$$TB = \frac{t_1 + t_2}{t_1 + t_2 + t_3} \cdot 100\%, \quad (12.7)$$

де t_3 - тривалість паузи.

Оскільки фактична тривалість вмикання TB_{ϕ} часто не збігається зі стандартною $TB_{ст}$, то еквівалентну потужність приводять до стандартної:

$$P_{еквст} = P_{екв} \sqrt{\frac{T_{B\phi}}{T_{Bст}}}. \quad (12.8)$$

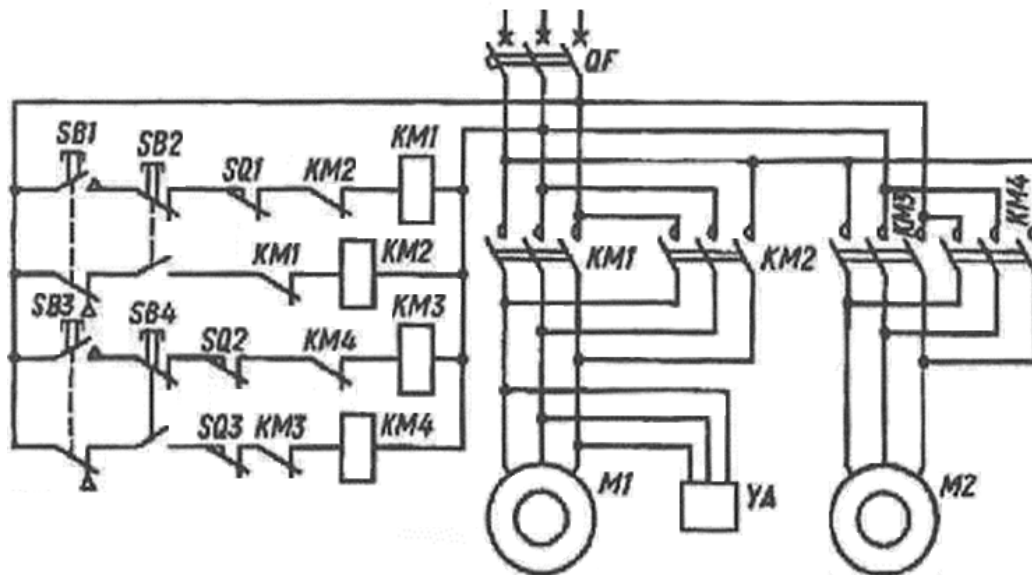
Двигун вибирають за умовою $P_{н.дв} \geq P_{екв.ст}$ і перевіряють на перевантажувальну здатність.

Схеми керування крановими механізмами повинні забезпечити:

- реверсивне керування;
- при необхідності регулювання швидкості в заданих межах;
- електромеханічне гальмування при зупинках;
- електричне гальмування при опусканні вантажу;
- обмеження руху лебідки вгору та візка в обидва боки;
- нульове та електричне блокування;
- захист від коротких замикань автоматичними вимикачами та перевантажень за допомогою реле струму.

Механізми підйому і переміщення мають кінцеві вимикачі, які обмежують рух підйомного пристрою вгору і переміщення візка в обидва боки. Електричні кола захищені максимальними струмовими реле, захист тепловими реле не передбачається. Схема повинна мати нульове блокування.

Всі кранові механізми повинні забезпечити електромеханічне гальмування, а їхні не струмоведучі частини з'єднані з металевою фермою крана.



Мал. 12.3. Принципова електрична схема керування електроталлю

Принципова електрична схема керування електроталлю наведена на мал. 12.3. Напруга до схеми керування підводиться через автоматичний вимикач QF. Для підйому вантажу натискають на кнопку SB1, а опускання - SB2. При цьому спрацьовує контактор KM1 або KM2 і електромагніт гальма YA. Гальмо розстопорює ротор двигуна, який починає обертатися. Після відпускання кнопки контактор вимикається і ротор двигуна гальмується. При натисканні на кнопку SB3 спрацьовує контактор KM3, а на кнопку SB4 - контактор KM4, і таль рухається вліво або вправо. Рух підйомного пристрою вгору обмежується кінцевим вимикачем SQ1, рух талі вліво або вправо - кінцевими вимикачами SQ2 або SQ3. Блокування контакторів реверсивних пускачів здійснюється двоконтактними кнопками керування, допоміжними розмикаючими контактами контакторів та пристроями механічного блокування пускачів. У схемі керування електроталлю не застосовують шунтування пускових кнопок замикаючими контактами контакторів, щоб запобігти роботі талі після відпускання оператором кнопок підвісної кнопкової станції. Захист електродвигунів від струмів короткого замикання здійснює автоматичний вимикач QF.

14.3 Автоматизація і електропривод ручних електрифікованих машин

Ручна електрифікована машина - це така машина, в якій головний робочий рух виконується від електричного двигуна або електромагніту, а допоміжний (подача) рух та керування машиною вручну. У сільському господарстві ручні електричні машини застосовують для стрижки овець, в ремонтних та деревообробних

майстернях, на будівництві, в побуті. Для підвищення продуктивності ручної праці промисловість випускає більше ста їх типів.

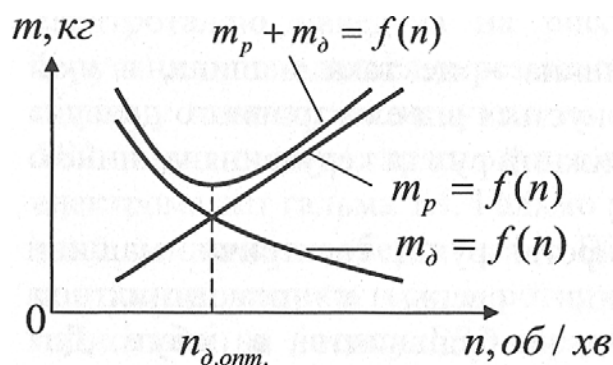
Сучасні ручні електричні машини за призначенням поділяють на дві групи: для використання у побуті та для професійної діяльності.

Оскільки ручні електричні машини працюють безпосередньо в контакті з людиною, до них ставляться такі вимоги:

- невелика маса;
- безпека в роботі;
- зручність в експлуатації;
- нормовані величини шуму та вібрації;
- економічність.

Будь-яка ручна електрична машина складається з електродвигуна, передавального пристрою, корпусу, вимикачів, штепсельних з'єднань та кабелю живлення.

Маса ручної електричної машини на 70-80 % визначається масою електродвигунного пристрою, тому для їх приводу застосовуються високошвидкісні двигуни, які найменші за масою. Але підвищення частоти обертання двигуна для ручної електричної машини з невеликою швидкістю руху робочого органу зумовлює необхідність редукторних передач, які ускладнюють машину і тим самим збільшують її масу. Тому при конструюванні ручних електричних машин знаходять оптимальний варіант співвідношення маси двигуна (m_d) та маси редуктора (m_p) для даної частоти обертання робочого органу n . Найменшій загальній масі $m_p + m_d$ відповідає оптимальна частота обертання електродвигуна (мал. 12.4).




Мал. 12.4. Залежність маси електродвигуна та редуктора РЕМ від частоти обертання

Двигуни ручних електричних машин розраховані на номінальні напруги 36, 42, 220, 380 В змінного струму та частоти 50, 200, 400 Гц і постійного струму напругою 9, 12, 24 В.

За робочою напругою та ступенем безпеки РЕМ поділяються на три класи:

I - машини на напругу 220 та 380 В тільки з робочою ізоляцією та штепсельними роз'єднувачами, що мають заземлюючий контакт;

II - машини на напругу 220 та 380 В з подвійною або підсиленою ізоляцією без пристрою для заземлення. На паспортних табличках машин II класу наносять знак  ;

III - машини на напругу 9, 12, 24 В постійного струму та 36, 42 В змінного струму із живленням від автономних джерел струму або трансформаторів (перетворювачів) з окремими обмотками і напругою холостого ходу не вище 50 В. Вторинне електричне коло не повинно бути з'єднане з землею.

При потужності на валу P_2 , частоті обертання n_d , об/хв, та частоті струму живлення f , Гц масу двигуна орієнтовно можна визначити за рівнянням:

$$m = k \sqrt{\frac{50P_2}{fn_d}}, \quad (12.9)$$

де k - експериментальний коефіцієнт, для двополюсних трифазних двигунів промислової частоти $k = 11$, для двополюсних двигунів підвищеної частоти (200 Гц) $k = 12-13$. При постійній потужності підвищення частоти струму призводить до зменшення маси двигуна.

Оптимальна частота обертання приводного електродвигуна знаходиться в межах 8-12 тис. об/хв. Практично використовуються двигуни з частотою обертання від 3000 об/хв (асинхронні короткозамкнені двигуни частотою 50 Гц) до 12 тис. об/хв (асинхронні частотою 200 Гц та колекторні).

Для приводів ручних електричних машин використовують спеціальні електродвигуни уніфікованої серії, які повинні відповідати таким вимогам:

- достатньо жорстка механічна характеристика;
- велика перевантажувальна здатність;
- механічна міцність;
- невелика маса.

Ці двигуни поділяють на три основні серії:

а) три- та однофазні двигуни з короткозамкненим ротором промислової частоти 50 Гц (АН); напругою 36, 42, 220, 380 В; потужністю 120, 180, 270, 400, 600, 800 та 1000 Вт;

б) трифазні асинхронні з короткозамкненим ротором частотою 200 Гц (АП); напругою 36, 42 та 220 В; потужністю 30, 50, 80, 120, 180, 270, 400, 800, 1000, 1200, 1600, 2200 Вт;

в) універсальні колекторні промислової частоти (КН) напругою 220 В, частотою 50 Гц; потужністю 18, 30, 50, 80, 100, 180, 270, 400, 800, 1000, 1200 Вт.

Однофазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором залежно від типу пускового пристрою поділяються на: АЕ - з пусковою обмоткою, АУ - з пусковим конденсатором; АТ - робочим конденсатором, АУТ - пусковим та робочим конденсатором, з електронним регулюванням частоти обертання та реверсуванням (РР).

Універсальні колекторні двигуни серії КН можуть працювати як на змінному, так і на постійному струмі, але в основному їх використовують при живленні від мережі змінного струму частотою 50 Гц. Ці двигуни мають велику перевантажувальну здатність при низьких частотах обертання, тому їх застосовують в ручних електричних машинах, де вимагаються великі моменти, а також при пуску з повним навантаженням (електросвердла, електроножиці тощо).

Питомі показники маси для універсальних колекторних двигунів дорівнюють 30-65 Вт/кг, трифазних асинхронних підвищеної частоти 200 Гц – 20-40 Вт/кг; асинхронних промислової частоти 50 Гц - 50-80 Вт/кг.

За конструктивним виконанням та способом монтажу двигуни ручних електричних машин - це вбудовані двигуни, що конструктивно з'єднані з редуктором чи робочим органом як одне ціле. Вихідний вал двигуна може бути виконаний із зубчастою нарізкою і бути частиною редуктора.

В електрорубанку застосовують спеціальну конструкцію електродвигуна, в якому ротор знаходиться зовні статора і на ньому безпосередньо закріплені робочі ножі.

Потужність приводного двигуна для ручної електричної машини вибирають за максимальним зусиллям на робочому органі та частотою обертання чи лінійною швидкістю руху робочого органу. Оскільки зусилля подачі робочого органу створюється вручну робітником, то воно може коливатися в широких межах, тому, як правило, користуються експериментальними даними і потужність двигуна вибирають зі значним запасом.

Так, потужність двигуна для свердлильних електричних машин визначають за потужністю на свердлі $P_{св}$, кВт:

$$P_{св} = \frac{\pi n M_{св}}{30000} = M_{св} \omega_{св}, \quad (12.10)$$

де $M_{св}$ - обертовий момент на свердлі, Н·м; $\omega_{св}$ - кутова швидкість свердла, с⁻¹.

Момент на свердлі $M_{св}$ визначають за формулою:

$$M_{св} = \frac{c D^x S^y}{102}, \quad (12.11)$$

де D - діаметр свердла, мм; S - подача на один оберт свердла, мм; c ; x ; y - коефіцієнти, які визначаються експериментально і залежать від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу (для чавуну $c = 11,6$; $x = 2,0$; $y = 0,6$; для вуглецевої сталі середньої міцності $c = 44$; $x = 1,8$; $y = 0,8$).

Потужність на валу двигуна складається з потужності на свердлі $P_{св}$ та потужності холостого ходу машини (20-30% від $P_{св}$).

Ручні електричні машини можуть живитися від мережі 220 В, через знижувальні трансформатори 380/220 В, від високочастотних перетворювачів та пересувних електростанцій. Трифазні асинхронні двигуни вмикають також в однофазну мережу за спеціальними схемами з'єднання обмоток.

При однофазному живленні трифазну обмотку статора двигуна необхідно розділити на дві частини - робочу і пускову і послідовно з пусковою обмоткою увімкнути фазозсувний елемент - активний, індуктивний чи ємнісний опір. Найкращий ефект дає застосування конденсаторів, які вмикаються за схемами, наведеними на мал. 12.5.

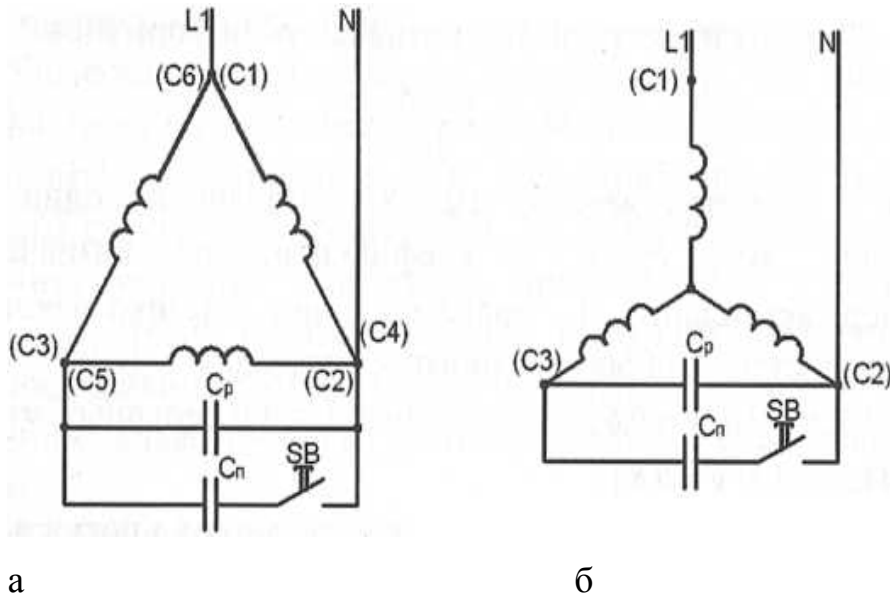
Величина робочої ємності для схеми 12.5, а визначається так:

$$C_p = \frac{4800I_\phi}{U_p}; U_p = 1,15U_\phi, \quad (12.12)$$

де I_ϕ - величина фазного струму двигуна, А; U_p - робоча напруга на ємності.

Для схеми 12.5, б величина робочої ємності дорівнює:

$$C_p = \frac{2800I_\phi}{U_p}, U_p = 2,2U_\phi. \quad (12.13)$$



Мал. 12.5. Схеми вмикання трифазного двигуна в однофазну мережу

Величину пускової ємності приймають у 2-3 рази більшою значення робочої.

Знижувальні трансформатори призначені для перетворення трифазної напруги змінного струму 660, 380, 220 В у трифазну напругу 12, 24, 36, 42, 127, 220 та 380 В.

Для живлення ручних електричних машин випускають сухі трансформатори ТСЗИ потужністю 0,63, 1,0, 1,6, 2,5 та 4 кВА з різними схемами з'єднання первинних та вторинних обмоток. Для перемикання обмоток трансформатора із “зірки” на “трикутник” і навпаки на клемній дошці є спеціальні перемикачі. Корпус трансформатора заземлюється приєднанням до нього нульового проводу мережі 220/380 В.

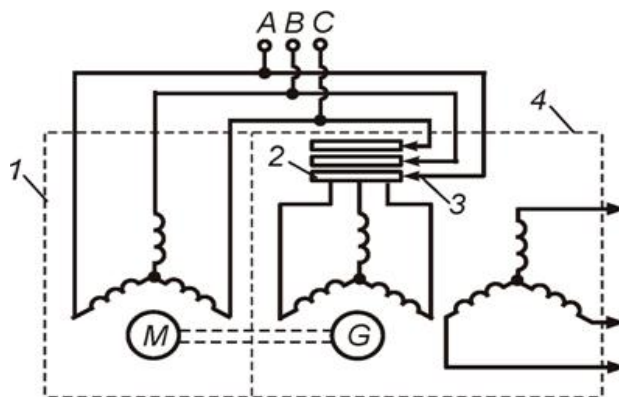
Ручні електричні машини, які приводяться в рух двигунами підвищеної частоти, живляться від перетворювачів частоти.

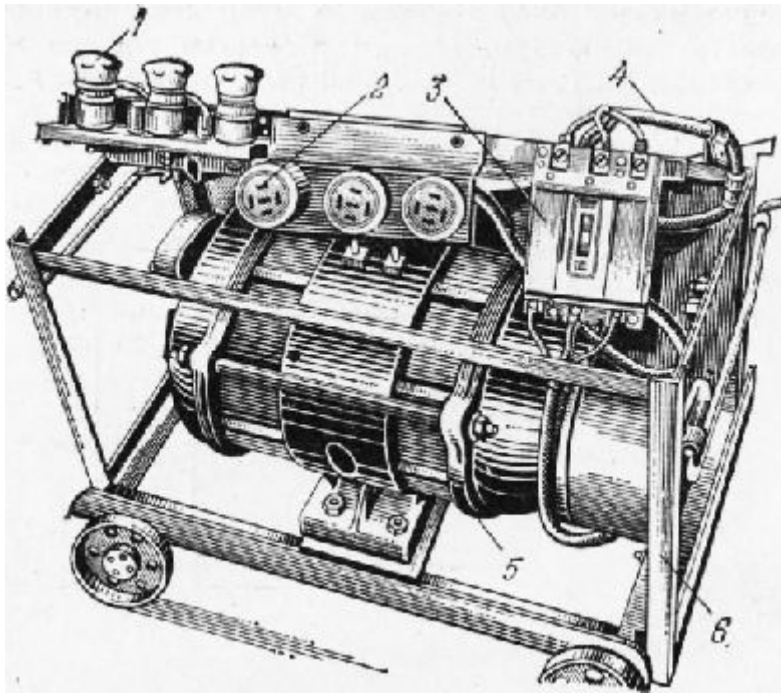
Машинні перетворювачі частоти типу ИЭ-9401 призначені для перетворення змінного трифазного струму частотою 50 Гц при напрузі 220 або 380 В у змінний трифазний струм підвищеної частоти 200 Гц при напрузі 36 В.

Перетворювач частоти ІЕ-9401 складається з двополюсного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і шестиполюсного асинхронного генератора з фазним ротором. Ротори двигуна і генератора знаходяться на одному валу і обертаються з однаковою частотою. На валу закріплені три ізолювані одне від одного кільця, до яких приєднані виводи обмоток ротора генератора. На кільця генератора через щітки і на обмотки електродвигуна подається напруга мережі 220 або 380 В. Напруга 36 В частотою 200 Гц знімається з обмоток статора генератора.



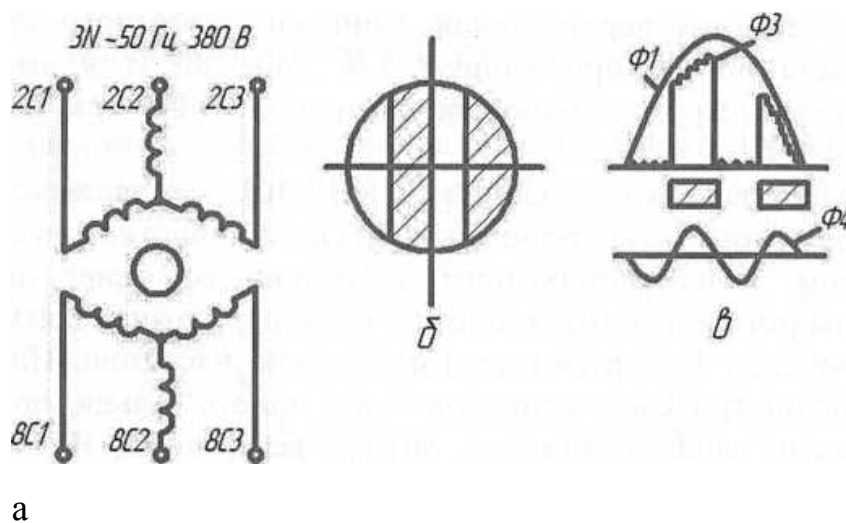
Принцип роботи перетворювача такий. У шестиполюсному роторі магнітне поле обертається з частотою 1000 об/хв навколо ротора. У свою чергу ротор генератора обертається в напрямі обертання магнітного поля з частотою близько 3000 об/хв., тому магнітні силові лінії перетинають витки нерухомої обмотки статора генератора з частотою обертання близько 4000 об/хв. У цьому випадку в шестиполюсних обмотках статора виникає напруга змінного струму з частотою близькою 200 Гц.





Синхронно-реактивний перетворювач частоти ИЭ-9403 призначений для перетворення трифазного змінного струму частотою 50 Гц і напругою 220/380 В у змінний трифазний струм частотою 200 Гц і напругою 36 В.

Принцип дії перетворювача ґрунтується на виділенні і використанні вищих гармонік магнітного поля. Перетворювач складається із статора, вертикально розміщеного ротора та підшипникових щитків. У пазах статора розміщені дві трифазні обмотки: одна двополюсна (первинна) під'єднується до мережі і призначена для створення обертового магнітного поля в машині, друга восьми-полюсна (вторинна) призначена для одержання струму високої частоти (мал. 12.6).



Мал. 12.6. Перетворювач частоти ИЭ-9403: а - схема; б - поперечний розріз ротора (магнітні частини заштриховані); в - форма кривих магнітного потоку первинної обмотки (Φ_1), у повітряному зазорі (Φ_3) та вторинної обмотки (Φ_4)

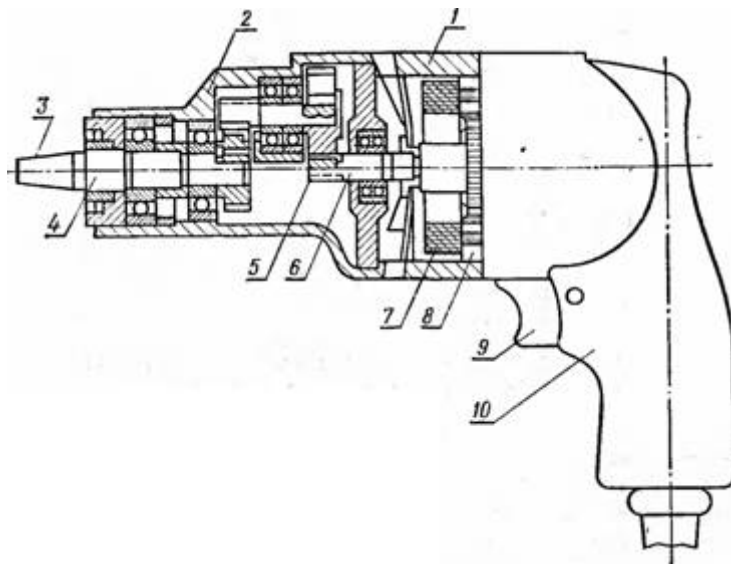
Магнітна система ротора має особливу форму і спеціально розраховану величину повітряного зазору, завдяки чому в кривій розподілу магнітної індукції в повітряному зазорі виділяється необхідна четверта гармоніка. Досвід проектування і виготовлення синхронно-реактивних перетворювачів частоти показує, що для виділення четвертої гармоніки поля обриси поверхні магнітних частин ротора можуть бути частинами кола, ексцентрично розміщених відносно кола розточки статора.

Для розгону ротора під час пуску в його магнітну частину закладена пускова обмотка у вигляді білячої клітки, виготовленої з алюмінієвих стержнів з короткозамкненими алюмінієвими кільцями. При досягненні ротором підсинхронної частоти обертання він завдяки реактивному моменту втягується в синхронізм. У робочому режимі ротор обертається синхронно з обертовим магнітним полем, тому підвищена частота змінного струму залишається незмінною.

Для живлення ручних машин у польових умовах використовуються пересувні електричні станції невеликої потужності напругою 380/220 В, а також статичні перетворювачі частоти напругою 220/36 В, частотою 200 Гц.

Для живлення електроінструмента також широко застосовуються акумуляторні батареї. Найважливішими параметрами акумуляторної батареї є її ємність, яка вимірюється в А·год, та напруга. Застосовуються нікель-кадмієві, літій-іонні та нікель-метал-гідридні акумулятори.

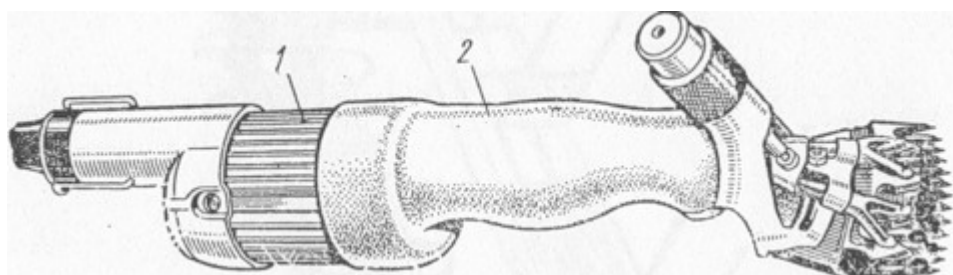
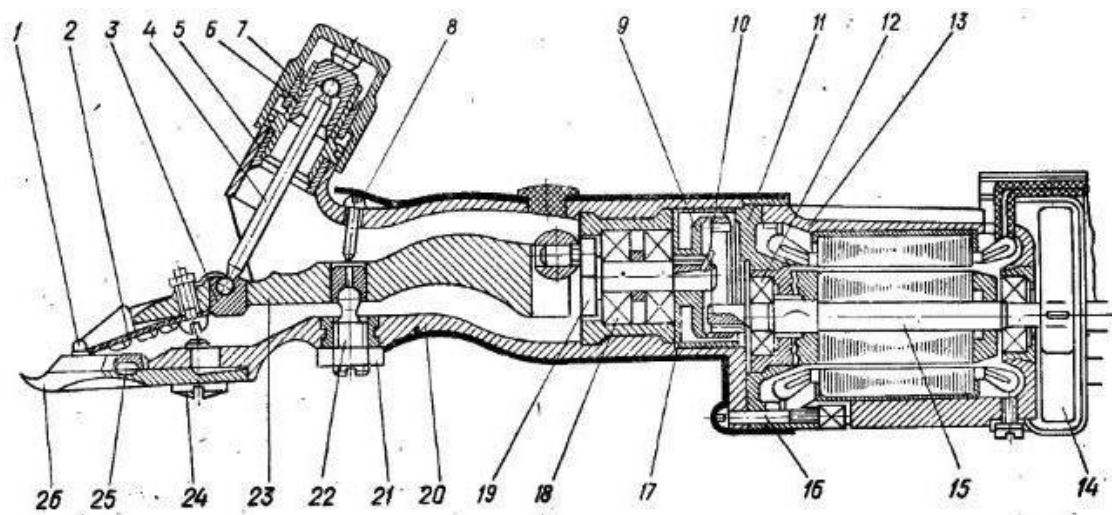
У ремонтних майстернях сільськогосподарської техніки та деревообробних майстернях набір ручних електричних машин дуже широкий. Передусім, це електричні свердлильні машини (електродрелі), які поділяються на одно-, двошвидкісні та з електронним регулюванням швидкості. Застосовуються також електричні ножиці, призначені для різання листового металу від 1,25 до 3,5 мм завтовшки, ручні електричні дискові пилки, електрорубанки, шліфувальні машини, заточні верстати тощо. Електропривод цих машин здійснюється від універсальних колекторних електродвигунів.



У тваринництві основною ручною електричною машиною є машинка для стрижки овець. Стригальна машина має різальний апарат, до складу якого входить чотиризубий рухомий ніж та дванадцятизуба гребінка. Рухаючись тілом тварини, гребінка захоплює та підтримує вовну, а ніж, виконуючи 2100 подвійних ходів за хвилину уздовж гребінки, зрізає вовну. Захват машини складає 76,8 мм.

Момент опору машинки залежить від двох складових: моменту різання вовни та моменту тертя. Експериментально встановлено, що в машинці з гнучким валом приблизно 10-12 % потужності двигуна витрачається на тертя гнучкого вала по кожуху, 30 % - на зрізання вовни і близько 60 % - на холостий хід машинки, тобто на переборювання тертя в приводі машинки.

Привод стригальних машинок МСУ-200 здійснюється від спеціальних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, які під'єднуються до електричної мережі через перетворювач частоти з вихідними параметрами 36 В, 200 Гц. Синхронна частота обертання цих двигунів - 12000 об/хв, номінальна потужність 130 Вт чи 90 Вт. Застосування височастотного двигуна зменшує його масу в 3 рази, а габарити за діаметром та довжиною в 2 рази. З урахуванням ліквідації гнучкого вала маса приводу машини зменшується в 4 рази. Зниження напруги на двигуні до 36 В підвищує безпеку праці.



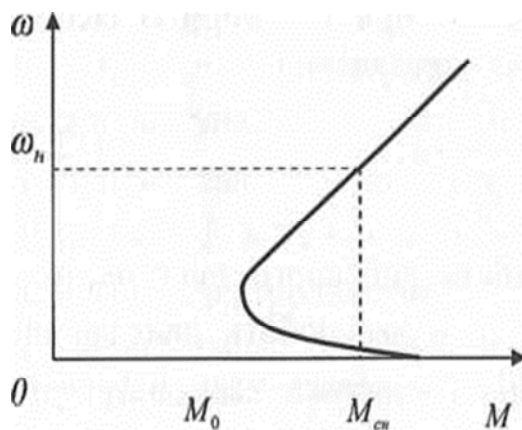
14.4. Автоматизація і електропривод обкатувальних стендів

Обкатувальні стенди призначені для обкатування і випробування автотракторних двигунів після ремонту. На них виявляють різноманітні дефекти при виготовленні та обробці деталей, а також при складанні як окремих вузлів, так і двигуна в цілому. У процесі обкатування відбувається припрацювання деталей, які труться, що підвищує їх стійкість проти спрацювання.

Розрізняють холодне та гаряче обкатування. При холодному обкатуванні незаведений двигун внутрішнього згоряння обертається електродвигуном, що працює у русійному режимі, а при гарячому - заведений ДВЗ обертає електродвигун, що працює в режимі рекуперативного гальмування.

Для вимірювання моменту двигуна застосовується балансна система. Корпус електричного двигуна монтується на стійках з шарикопідшипниками, завдяки яким він може обертатися. Стійки опираються на чавунну плиту. Корпус з'єднується важелем з ваговим механізмом маятникового типу. Цей механізм вимірює сумарний момент від електромагнітних і механічних сил.

На основі даних для різних режимів обкатування будується навантажувальна діаграма обкатного стенда, приклад якої наведено на рис. 12.7.



Мал. 12.8. Механічна характеристика обкатного стенда

Рівняння механічної характеристики обкатного стенда має вигляд:

$$M_o = M_{mp} + (M_{он} - M_{mp})(\omega/\omega_n)^4, \quad (12.14)$$

де M_o - момент статичних опорів стенда, Н·м, при кутовій швидкості ω , c^{-1} ; M_{mp} - момент статичних опорів обкатного стенда, який не залежить від частота обертання, Н·м. $M_{mp} \approx (0,7 - 0,8) M_{он}$; $M_{он}$ - момент опору обкатного стенда, Н·м, при номінальній кутовій швидкості ω_n , c^{-1} .

Механічна характеристика обкатного стенда наведена на мал. 12.8.

Головний привод (що забезпечує обертання ДВЗ) виконаний на базі балансного двигуна з фазним ротором АКБ, частота обертання якого регулюється за допомогою рідинного реостата, увімкненого в коло ротора.

Двигун вибирають за умовами:

$$P_{дв} = (0,75 - 0,8)P_{ДВЗ}; \quad n_{НГ} \leq n_{ДВЗ} \leq n_{дон}, \quad (12.15)$$

де $P_{ДВЗ}$ - потужність двигуна внутрішнього згорання, кВт; $n_{НГ}$ - номінальна частота обертання вибраного двигуна в генераторному режимі:

$$n_{НГ} = n_0 \cdot (1 + S_{cp}), \quad (12.16)$$

де n_0 - синхронна частота обертання магнітного поля приводного електродвигуна, об/хв; S_{cp} - ковзання приводного двигуна, $S_{cp} = 0,03 - 0,04$; $n_{ДВЗ}$ - частота обертання двигуна внутрішнього згорання при номінальному навантаженні, об/хв; $n_{дон}$ - допустима частота обертання вихідного вала приводного двигуна, яка дорівнює $n_{дон} = 2 \cdot n_0$.

Вибраний двигун перевіряється за умовами його нагрівання в гальмівному режимі:

$$P_k \geq P_2, \quad (12.17)$$

де P_k - допустима за умовами нагрівання потужність вибраного двигуна при короткочасному перевантаженні (генераторний режим), P_2 - допустима гальмуюча потужність обкатного стенду.

Потужність двигуна при короткочасному перевантаженні визначається за формулою:

$$P_k = P_n \sqrt{\frac{\alpha + 1}{1 - e^{-\frac{t_K}{T_H}}} - \alpha}, \quad (12.18)$$

де P_n - номінальна потужність вибраного двигуна; α - коефіцієнт втрат ($\alpha = 0,95-1$); t_K - час роботи двигуна при короткочасному навантаженні; T_H - стала часу нагрівання електродвигуна.

Допустима гальмівна потужність обкатного стенда:

$$P_2 = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot P_n, \quad (12.19)$$

де κ_1 - коефіцієнт, який враховує те, що при одній і тій же номінальній потужності двигуна вона в генераторному режимі більша, ніж у рушійному:

$$\kappa_1 = \frac{2 - \eta_{ндв}}{\eta_{нд}} \cdot \frac{n_{н.д.в.з.}}{n_{нз}}, \quad (12.20)$$

де $\eta_{ндв}$ - коефіцієнт корисної дії приводного двигуна; $n_{н.д.в.з.}$ - номінальна частота обертання ДВЗ; $n_{нз}$ - номінальна частота обертання електродвигуна в генераторному режимі; κ_2 - коефіцієнт, який враховує зміну умов охолодження двигуна при частоті обертання $n > n_0$:

$$\kappa_2 = \sqrt{\frac{1 + 0,5 \cdot \sqrt{\frac{n}{n_0}} \cdot v}{1 + 0,5 \sqrt{v}} \cdot (\alpha + 1) - \alpha}, \quad (12.21)$$

де v - швидкість повітря у вентиляційних каналах статора двигуна, ($v = 10-15$ м/с); κ_3 - коефіцієнт, який враховує теплове перевантаження двигуна при його максимальному перевантаженні:

$$\kappa_3 = \sqrt{\frac{\tau_n - \tau_0 \cdot e^{-\frac{t_K}{T_H}}}{\tau_n \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_K}{T_H}}\right)}} (\alpha + 1) - \alpha, \quad (12.22)$$

де τ_n - номінальне перевищення температури електродвигуна; τ_0 - початкове перевищення температури електродвигуна; t_K - тривалість роботи при максимальному навантаженні в генераторному режимі; T_H - стала часу нагрівання електродвигуна.

Якщо умова перевірки не виконується, то вибирають двигун більшої потужності.

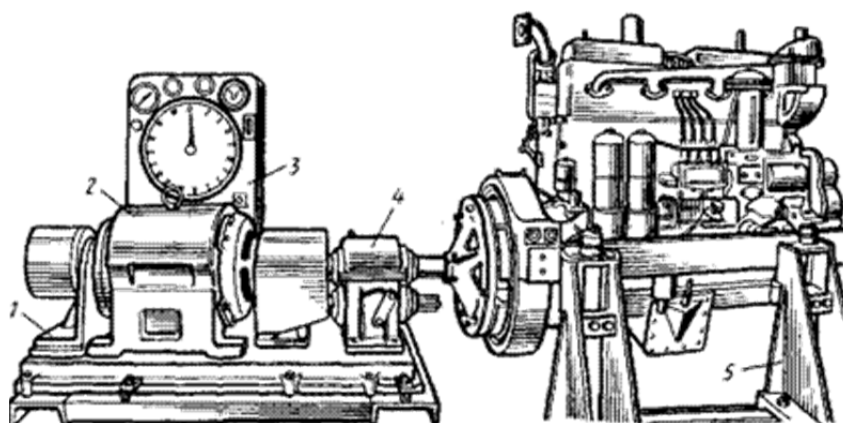
Допоміжні електроприводи призначені для переміщення електродів рідинного реостата (при заглибленні їх опір зменшується), обертання насоса, що переміщує рідину в реостаті та переміщення рейки подачі палива в двигун внутрішнього згоряння. В допоміжних електроприводах використовують трифазні і однофазні асинхронні двигуни.

Стендова обкатка і випробування автотракторних двигунів після складання - найважливіші операції в технологічному процесі ремонту. За характером обкатки розрізняють два режими - холодний і гарячий. У першому випадку електродвигун приводить в рух двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), а в другому ДВЗ працює на гальмівній пристрій - електродвигун, що знаходиться в гальмівному режимі. Тривалість і інтенсивність обкатки визначаються технічними умовами на ремонт ДВЗ.

Аналіз технічних вимог на ремонт ДВЗ показує, що для високоякісної обкатки всіх ремонтованих двигунів привод стенда повинен забезпечувати плавне регулювання частоти обертання в широких межах, мати достатній момент при зрушенні ДВЗ і відповідати умовам режиму гарячої обкатки, тобто завантажувати ДВЗ до номінальних потужності і частоти обертання. Цим вимогам задовольняє стенд, в якому використаний асинхронний двигун з фазним ротором.

Для вимірювання моменту двигуна застосовують балансірну систему. Корпус електродвигуна монтують на стійках з підшипниками, завдяки яким він може повертатися. Стійки спираються на чавунну плиту. Корпус з'єднаний важелем з

ваговим механізмом маятникового типу. Цей механізм вимірює сумарний момент від електромагнітних і механічних сил, що виникають в електродвигуні. Стрілка циферблата показує ступінь завантаження гальма.



Електродвигун з'єднується з ДВЗ шарнірним валом. Для плавного регулювання частоти обертання і завантаження електродвигуна застосований рідинний реостат в колі ротора, розчин якого переміщує вертикальний відцентровий насос.

Підвищення частоти обертання електродвигуна обмежується механічною міцністю обмоток ротора і зростанням напруги на його кільцях. Електродвигуни стендів забезпечені посиленням кріпленням обмоток ротора. Збільшення навантаження за струмом і моментом електродвигуна регламентується допустимою температурою його нагрівання.

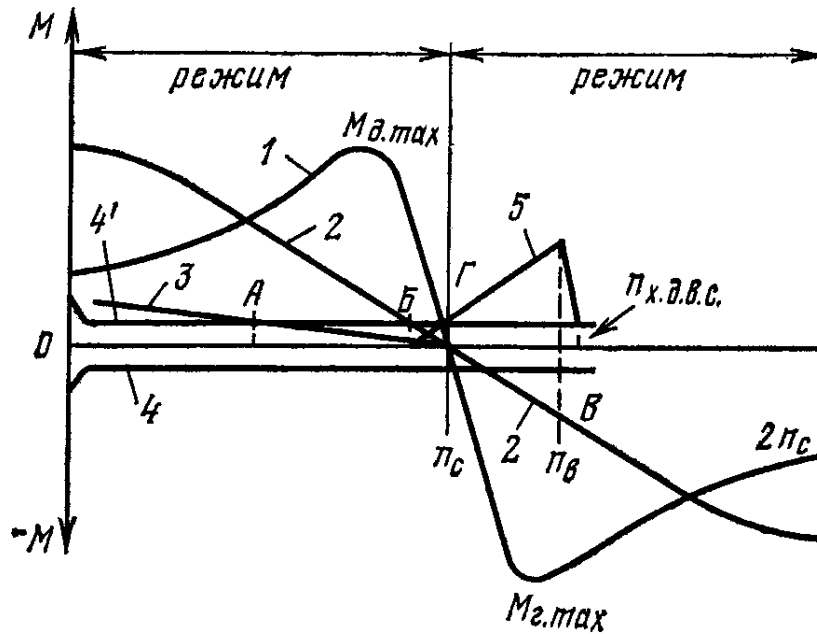
Режими обкатки. У неавтоматизованому режимі обкатки частота обертання і навантаження змінюються ступенями при загальній тривалості 3...4 год. При цьому оператор стежить за ходом обкатки на кожному ступені і своєчасно переводить обкатку з одного режиму на інший.

Застосування електростендів дозволяє автоматизувати управління обкаткою ДВЗ, точніше дотримуватися заданих режимів.

Застосування асинхронного двигуна з фазним ротором дозволяє здійснити описані вище режими. Частоти обертання електродвигуна в режимі холодного обкатування і завантаження двигуна внутрішнього згорання в режимі гарячої обкатки регулюють, змінюючи опір рідинного реостата.

На малюнку 9.10 показані природна 1 і штучні 2 і 3 механічні характеристики асинхронного електродвигуна електростенда в рушійному і генераторному режимах

при різних опорах реостата, механічна характеристика 4 обкатуваного двигуна і її відображення 4'.



Мал. 9.10. Механічні

характеристики електроприводу стенду для обкатки ДВЗ.

На початку пуску, коли опір реостата К1 досить великий, механічна характеристика 3 електродвигуна близька до прямої. При зменшенні опору реостата R_l характеристика електродвигуна змінюється від виду 3 до виду 2, при $R_l = 0$ переходить до виду 1. При зменшенні R_l пусковий момент електродвигуна збільшується, стає більше моменту зрушування ДВЗ і привод починає рухатись, частота його обертання підвищується до значення n_A , коли $M_A = M_{с.ДВЗ}$ в точці А. Зміною опору домагаються, щоб $n_A = 500 \dots 700$ об/хв. Надалі опір зменшують за допомогою допоміжного приводу реостата плавно протягом заданого часу обкатки. У точці Б привід реостата зупиняють і запускають привод тяги регулятора паливного насоса. У ДВЗ починає надходити паливо, він запускається і працює спочатку на холостому ході. У міру збільшення подачі палива рушійний момент разом з частотою обертання ДВЗ стають більше (5) і, починаючи з синхронної частоти обертання, ДВЗ сприймає зростаюче навантаження відповідно до характеристики 2 в генераторному режимі. Процес протягом заданого часу підходить до точки В, в якій кутова швидкість обертання дорівнює номінальній швидкості обертання ДВЗ, а навантажувальний момент становить 90...95% номінального ДВЗ. У точці В електростенд відключається, а ДВЗ продовжує працювати на холостому ході, поки не буде відключений оператором.

Автоматизований стенд обладнаний електроприводом реостата, електроприводом тяги регулятора паливного насоса, шафою з електроапаратурою, електронасосом, який перемішує електроліт.

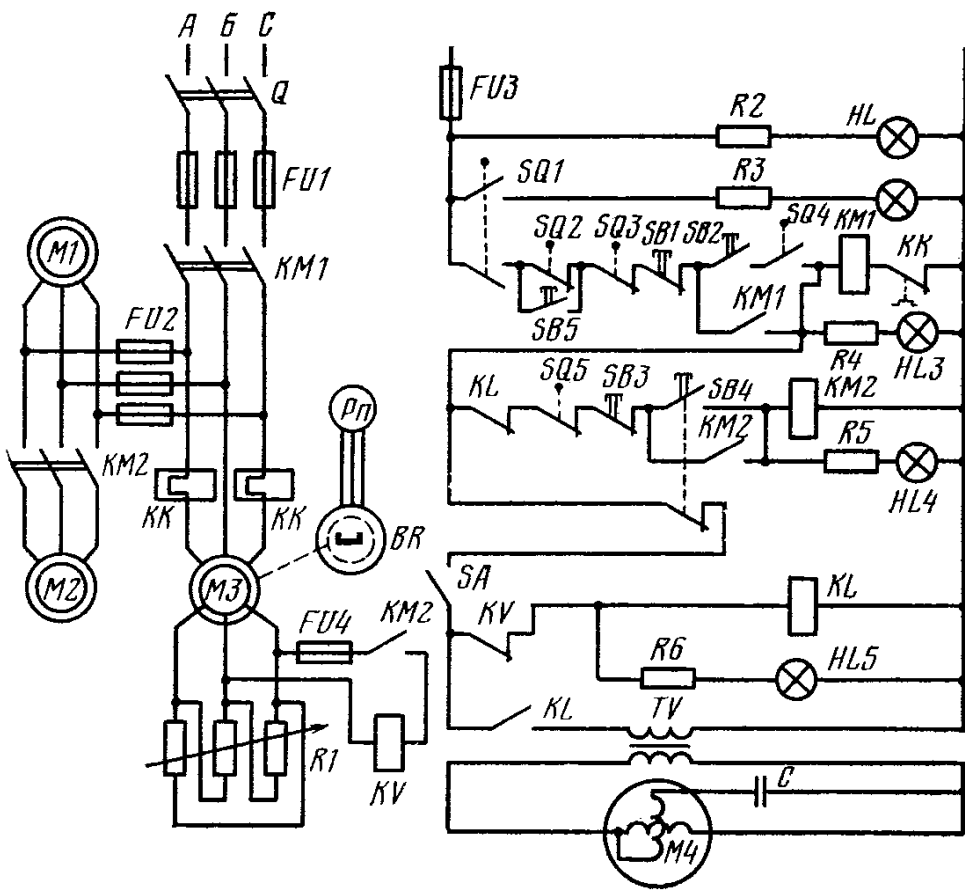
Електропривод реостата служить для плавного введення електродів в електроліт. При цьому частота обертання двигуна при холодній обкатці плавно збільшується. У електропривод реостата входять електродвигун, пасова передача, редуктор, кулачкова муфта з тягою включення і фіксатором, черв'ячна пара і кінцеві вимикачі. За допомогою східчастих шківів на електродвигуні і редукторі змінюють передавальне число, що визначає прискорення обертання колінчастого вала і тривалість холодного обкатування ДВЗ.

Електропривод тяги регулятора паливного насоса плавно збільшує подачу палива за заданою програмою. Електродвигун через зубчасту передачу і редуктор приводить в рух профільний кулачок.

Для обмеження моменту навантаження на шестірні вагового механізму встановлюють упори, а на стійці - кінцеві вимикачі, які спрацьовують при перевантаженнях в холодному і гарячому режимах.

Електрична схема управління обкатно-гальмівним стендом (мал. 9.11) розрахована на ручне і автоматичне керування. Вимикачем Q подають напругу на схему, загоряється лампа $HL1$. Кнопкою $SB2$ запускають головний двигун $M3$ і двигун відцентрового насоса $M1$. Кінцевий вимикач $SQ4$ замкнутий при верхньому положенні електродів. Загоряється сигнальна лампа $HL3$. Вручну опускають електроди і встановлюють початкову частоту обертання колінчастого вала 500...550 об/хв при централізованому мащенні або 600...700 об/хв при мащенні двигуна від власного масляного насоса. Включають муфту електропривода реостата, натискають кнопку $SB4$ і включають тумблер SA . Відбувається запуск двигуна $M2$, ножі реостата за заданою програмою опускаються в рідину, опір реостата зменшується, частота обертання двигуна $M3$ збільшується, йде процес холодної обкатки, горить лампа $HL4$.

Для здійснення заданої програми попередньо вибирають відповідне передавальне число електроприводу реостата.



Мал. 9.11. Принципова електрична схема автоматичного управління обкатно-гальмівним стендом при плавній зміні параметрів обкатки.

При спрацьовуванні пускача $KM2$ замикаються блок-контакти $KM2$, отримує живлення реле напруги KV , розмикається коло проміжного реле KL . Зі збільшенням частоти обертання двигуна $M3$ напруга на його кільцях зменшується до заданої, що відповідає точці Б. Реле KV замикає свої контакти в колі реле KL , яке відключає пускач $KM2$, двигун $M2$, реле KV і вмикає трансформатор TV і двигун $M4$. Двигун $M4$ плавно переміщує рейку паливного насоса, збільшуючи подачу палива. Спочатку відбувається вибір зазорів в передачі, ДВЗ продовжує працювати з колишньою частотою обертання. Потім паливо починає надходити в циліндри, двигун запускається і працює на холостому ході, а в міру збільшення кількості палива, що подається підвищує частоту обертання і приймає на себе навантаження від асинхронного двигуна $M3$, який при частоті обертання вище синхронної працює в гальмівному генераторному режимі. Відбувається процес гарячої обкатки з збільшуються частотою обертання і моментом, горить лампа $HL5$. Через заданий проміжок часу момент досягає заданого максимального значення. Кулачок діє на кінцевий вимикач $SQ1$, що відключає стенд від мережі і включає сигнальну лампу

HL2 «Обкатка закінчена». ДВЗ залишається працювати на холостому ходу до підходу оператора.

Кінцевий вимикач SQ2 зупиняє стенд при холодній обкатці в разі перевантаження. Для короткочасного подолання великого моменту зрушування SQ2 шунтується кнопкою SB5. Вимикач SQ3 відключає стенд при перевантаженні в гарячому режимі обкатки. Вимикач SQ5 зупиняє привід реостата, коли електроди реостата займуть крайнє нижнє положення в режимі холодного обкатування при вимкненому тумблері SA. Привод стенду продовжує працювати в точці, близькій до точки Г (мал. 9.10).

14.5. Автоматизація і електропривод металообробних верстатів

У ремонтних майстернях господарств та на ремонтних заводах використовуються токарно-гвинторізні, свердлильні, фрезерні, шліфувальні, стругальні та інші верстати спеціального призначення.

Типовими механізмами верстатів є механізми головного привода, привода подачі та допоміжні механізми. Кожний із цих механізмів має свої особливості, які зумовлені технологічним процесом і конструкцією. Умови роботи механізмів верстатів за характером навантаження, режимом роботи, регулюванням швидкості дуже різні. Цим пояснюється велика різноманітність застосовуваних електроприводів, починаючи від нерегульованих і закінчуючи регульованими з глибокими зворотними зв'язками.

Для головних електроприводів легких і середніх металообробних верстатів характерне навантаження з постійною потужністю, для інших електроприводів - із постійним моментом.

В загальному вигляді рівняння механічної характеристики головних приводів токарно-гвинторізного і свердлильного верстата має вигляд:

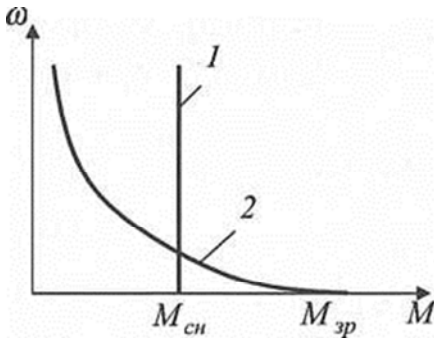
$$M_o = M_{mp} + (M_{он} - M_{mp})(\omega/\omega_n)^{-1}, \quad (12.23)$$

а шліфувального і стругального верстатів:

$$M_o = M_{mp} + (M_{он} - M_{mp})(\omega/\omega_n)^0, \quad (12.24)$$

де M_o - момент статичних опорів верстата, Н·м, при кутовій швидкості ω , с⁻¹; M_{mp} - початковий момент, Н·м (для стругальних і токарно-гвинторізних верстатів $M_{mp} \approx$

(0,25 - 0,3) $M_{он}$; для шліфувальних і свердлильних - $M_{тр} \approx (0,2 - 0,25) M_{он}$); $M_{он}$ - момент статичних опорів, Н·м, при номінальній кутовій швидкості ω_n , с⁻¹.



Мал. 12.9. Механічні характеристики металообробних верстатів: 1 – шліфувальних і стругальних;

Орієнтовний вигляд механічних характеристик металообробних верстатів наведений на мал. 12.9.

Характерними режимами роботи для металообробних верстатів є тривалий, повторно-короткочасний та переміжний. Головний привод і привод подач працює в тривалому, повторно-короткочасному або переміжному режимі роботи, а допоміжний - у

короткочасному з постійним навантаженням. Для вибору потужності двигуна будують навантажувальні діаграми верстата на основі технологічних карт при обробці найбільш поширених деталей. Для того, щоб побудувати навантажувальну діаграму верстата, необхідно знати й мати: креслення деталі, яку необхідно обробити; матеріал деталі та різця; глибину різання; подачу; швидкість різання; ККД верстата. Крім цього, необхідно визначити необхідну потужність механізму при кожній операції, час роботи, тривалість цієї операції.

Потужність для виконання окремої операції токарно-гвинторізним верстатом визначається за формулою:

$$P_{різ} = \frac{F_{різ} v_p}{\eta_n \eta_{вт}}, \quad (12.25)$$

де $F_{різ}$ - зусилля різання, Н; v_p - швидкість різання, м/с; η_n , $\eta_{вт}$ - відповідно ККД передачі і верстата.

Зусилля різання:

$$P_{різ} = C'_p t S^{0,75}, \quad (12.26)$$

де C'_p - коефіцієнт, який характеризує оброблюваний матеріал і умови роботи (для сталі $C'_p = 200$, для кованого чавуну $C'_p = 100-150$, для сірого чавуну $C'_p = 114-190$); t - глибина різання, мм (при чистовій обробці $t = 0,1 - 0,2$ мм, при грубій обробці - $t = 3-30$ мм); S - подача, мм/об (при чистовій обробці $S = 0,1-0,4$ мм/об, при грубій обробці - $S = 0,4-3$ мм/об).

Швидкість різання:

$$v_{\text{різ}} = \frac{C_v}{T^m t^x S^y 60}, \quad (12.27)$$

де C_v , - коефіцієнт, який характеризується заданими умовами роботи (оброблюваний матеріал, матеріал різця, режим різання, застосування охолодження); x , y - показники степеня, які залежать від глибини різання і подачі (табл. 12.1).

12.1. Значення величин C_v , x , y для токарно-гвинторізного					
Матеріал різця і його марка	Оброблюваний матеріал і його механічні властивості	Характер обробки	C_v	x	y
Твердий сплав Т15К6	Сталь вуглецева	Напівчиста $S \leq 0,3$ мм	170	0,18	0,20
	Стальні виливки	Груба $S > 0,3$ мм	141	0,18	0,35
Твердий сплав ВК8	Чавун сірий	Напівчиста $S \leq 0,4$ мм	77	0,13	0,20
	НВ 190	Груба $S \geq 0,3$ мм	68	0,20	0,40

Потужність різання свердлильного верстата:

$$P_{cv} = M_{cv} \cdot \omega_{cv}, \quad (12.28)$$

де M_{cv} - момент опору на свердлі, Н·м, який дорівнює:

$$M_{cv} = 9,81 C_m d^x S^y 10^{-3}, \quad (12.29)$$

12.2 Значення величин C_v , x , y для свердлильного верстата

	Сталь вуглецева $\delta =$ кгс/мм ²				Чавун сірий		
	30...40	40...50	50...60	60...70	м'який	середній	твердий
C_v	37	44	50	58	9	11,6	14,6
x	1,8	1,8	1,8	1,8	2	2	2
y	0,78	0,78	0,78	0,78	0,6	0,6	0,6

де C_v - коефіцієнт, який характеризує оброблюваний матеріал; d - діаметр свердла, мм; S - подача свердла, мм/об; x , y - показники степеня (табл. 12.2); ω_{cv} - частота обертання свердла, с⁻¹.

Подачу свердла визначають так:

$$S = 60h/(tn), \quad (12.30)$$

де h - глибина свердління, мм; t - тривалість свердлування, хв; n - частота обертання свердла, об/хв.

Потужність свердлильного верстата, кВт, можна визначити через питомі витрати енергії на одиницю маси знятої стружки за формулою:

$$P_{cv} = Gg, \quad (12.31)$$

де g - питомі витрати енергії, кВт·год/кг; G - вага знятої стружки, кгс/год;

або користуючись формулою ГИПРОМАШ:

$$P_{ce} = 0,736cd^{1,2}, \quad (12.32)$$

де c - коефіцієнт, який для свердла із швидкоріжучої сталі при обробці сталі складає $c = 0,075$, чавуну - $c = 0,04$; для свердла із вуглецевої сталі при обробці сталі $c = 0,03$, чавуну - $c = 0,02$; d - діаметр свердла, мм.

Потужність для шліфувальних верстатів складається із потужності, яка витрачається на обертання шліфувального круга і обертання деталі:

$$P_k = F_z v_k; P_{dem} = F_z v_{заг}, \quad (12.33)$$

де F_z - зусилля різання, яке визначається так:

$$F_z = 9,81 C_{piz} v_3^{0,7} S^{0,7} t^{0,6}, \quad (12.34)$$

де C_{piz} - сталий коефіцієнт, який при обробці загартованої сталі дорівнює 2,2, незагартованої - 2,1, при обробці чавуну - 2,0; v_k - колова швидкість шліфувального круга, $v_k = 0,3 - 0,7$ м/с; v_3 - колова швидкість заготовки, $v_3 = 0,25 - 0,4$ м/с; S - подача, мм/об; t - глибина шліфування, мм.

Потужність стругальних верстатів визначається за формулою:

$$P_{ncm} = P_c s v_c, \quad (12.35)$$

де P_c - питомий опір різання, Н/мм² (для сталі 3500 Н/мм²; чавуну 700 Н/мм²; бронзи 600 Н/мм); s - поперечний переріз стружки, мм²; v_c - швидкість різання стружки, м/с:

$$v_c = l/t, \quad (12.36)$$

де l - довжина ходу різання або деталі, м; t - тривалість різання, с.

Необхідна потужність двигуна для привода верстатів з урахування коефіцієнтів корисної дії передачі і верстатів визначаються так:

$$P_{вт} = \frac{P_{розр}}{\eta_n \eta_{вт}}. \quad (12.37)$$

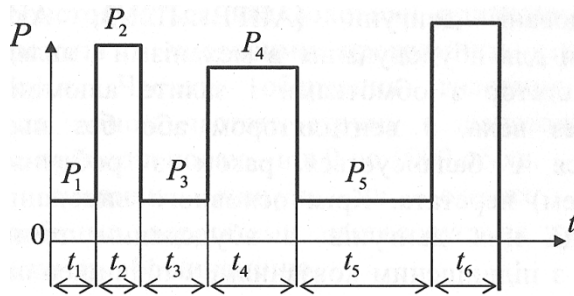
Для механізму подачі можна прийняти, що необхідна потужність приблизно дорівнює:

$$P_{n.mn} = 0,01 P_{n.piz}. \quad (12.38)$$

За відомими значеннями потужності і часу роботи верстата при виконанні відповідної операції будують навантажувальну діаграму верстата (рис. 12.10).

За навантажувальною діаграмою визначають середню потужність за цикл:

$$P_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{t_{\text{ц}}}, \quad (12.39)$$



Мал. 12.10. Навантажувальна діаграма металообробного верстата

де P_i - потужність, необхідна для виконання окремої операції, t_i - час, необхідний для виконання цієї операції; $t_{\text{ц}}$ - час циклу.

Орієнтовно вибирають двигун за умовою:

$$P_{н.дв.} = (1,1-1,3)P_{cp} \quad (12.40)$$

і виконують його перевірочний розрахунок методом середніх втрат або еквівалентних величин. Вибраний двигун перевіряють за пусковим моментом і на перевантажувальну здатність.

Головний привод і привод подач виконують на базі:

- асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором і багатоступінчастої коробки швидкостей;
- багатошвидкісного двигуна і багатоступінчастої коробки швидкостей;
- регульованого електропривода постійного струму.

Допоміжні електроприводи є нерегульованими і виконуються на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

Привод подачі характеризується значним діапазоном регулювання швидкості подач - 1000:1 та більше при постійному моменті навантаження, що визначається найбільшим зусиллям подачі та жорсткою механічною характеристикою.

Застосовують такі типи приводів подачі:

- від головного привода через механічну передачу;
- від окремого електродвигуна;
- від гідропривода.

При подачі від головного привода зберігається постійне співвідношення між швидкостями подачі та швидкістю шпинделя (нарізання різьби, фрезерування та шліфування зубчатих коліс).

У приводах подачі від окремого електродвигуна застосовують привод із ходовим гвинтом. Обертний рух від двигуна через редуктор передається до ходового гвинта і через гайку, що закріплена на столі чи супорті, перетворюється у поступальний рух подачі стола по направляючих.

Зусилля, що необхідне для лінійного переміщення стола:

$$F_{под} = kF_x + F_{mp} + F_{np},$$

де F_x – складова від зусилля різання у напрямку подачі, Н; k – коеф. запасу (1,2...1,5); F_{mp} – зусилля тертя стола по направляючих; F_{np} – зусилля прилипання стола.

Зусилля тертя стола по направляючих залежить від ваги стола та складових від зусилля різання F_y та F_z у напрямку перпендикулярному до направляючих:

$$F_{mp} = \mu(gm_{cm} + F_y + F_z),$$

де μ – коеф. тертя.

Зусилля прилипання виникає при зрушуванні стола з місця на початку руху:

$$F_{np} = \beta S_{np},$$

де β – питоме зусилля прилипання; S_{np} – площа поверхні прилипання.

Для механізмів подачі характерні режими зрушування з місця та робочий режим подачі.

При зрушуванні з місця діє тільки зусилля тертя від ваги деталей, які переміщуються та зусилля прилипання стола, що виникають на початку зрушування:

$$F_{под.зр} = \mu_{зр}gm + \beta S_{np},$$

де $\mu_{зр}$ – коеф. тертя при зрушуванні з місця, $\mu_{зр} = 0,2...0,3$.

При робочій подачі у процесі різання, зусилля подачі визначається зусиллям різання та тертя:

$$F_{под.р} = kF_x + \mu_p(gm_{cm} + F_y + F_z),$$

де μ_p – коеф. тертя при різанні (0,05...0,15).

Момент на валу ходового гвинта, що виникає під дією зусилля подачі:

$$M_{xz} = 0,5 F_{под.р} d_{ср} tg(\alpha + \varphi),$$

де $d_{ср}$ – середній діаметр ходового гвинта; α – кут нахилу різьби ходового гвинта; φ – кут тертя різьби.

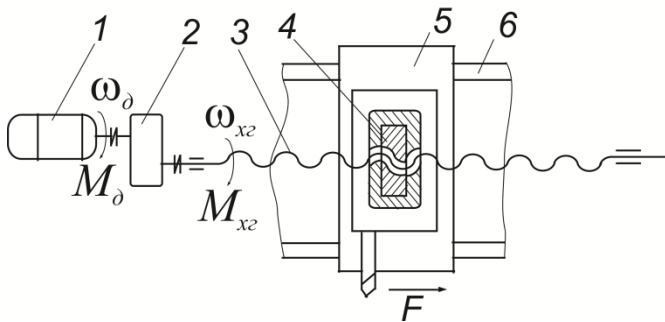
Момент опору на валу електродвигуна:

$$M_{дв} = M_{xz} / i \eta_{пер},$$

де i – передавальне число передачі; $\eta_{пер}$ – ККД передачі від двигуна до ходового гвинта.

ПРИВОД ПОДАЧІ З ХОДОВИМ ГВИНТОМ:

1-електродвигун; 2-редуктор; 3-ходовий гвинт; 4-гайка; 5-стіл; 6-напрявні.



Якість обробки значною мірою залежить від вібрацій верстата і його робочих органів. Тому в електроприводах верстатів поряд з двигунами загального призначення застосовують двигуни підвищеної точності (АИР...ПУЗ) або високоточні (АИР...П2УЗ). Ці двигуни мають вищу точність за установочними розмірами та вищий клас за рівнем вібрації. Двигуни підвищеної точності виготовляють в основному виконанні та модифікаціях: з вбудованим температурним захистом, з підвищеним ковзанням, багатошвидкісні.

Застосовуються також двигуни вбудовані, крокові, постійного струму незалежного збудження, високомоментні, з частотним регулюванням.

Вбудовані двигуни (АИРВ...П2УЗ, АИРВ...ПУЗ) призначені для вбудовування в механізми і являють собою окремий статор з обмотками і залите алюмінієм осердя ротора без вала, з вентилятором або без нього. Ротор шліфується і балансується разом з робочим органом (шпинделем) верстата. Крім основного виконання існують модифікації цих двигунів: з вбудованим температурним захистом, з підвищеним ковзанням, з підвищеним пусковим моментом, багатошвидкісні. Діапазон регулювання швидкості головних приводів 100:1, приводів подач - 1000:1.

Крокові двигуни (ДШ0,25 - ДШ1,0) здійснюють поворот на певний кут при подачі напруги від спеціального пристрою керування. У приводах з кроковими двигунами поєднується можливість глибокого регулювання швидкості обертання з можливістю числового завдання і надійної фіксації кінцевих координат. Точність відпрацювання робочим органом досягає 1 мікрона.

Двигуни постійного струму незалежного збудження серій 2П, 4П знайшли широке використання у верстатобудуванні за їх можливість глибокого регулювання швидкості при жорсткій механічній характеристиці двигуна. Зворотні зв'язки забезпечують тахогенератори. Нині застосовують імпульсні тахогенератори (фотоімпульсні датчики і приймачі з цифровими лічильниками) або магнітоімпульсні системи (на валу двигуна встановлюють намагнічений диск з виступами і западинами, а поряд - котушку з осердям).

Високомоментні двигуни (ДК-1, ПБВ, 2ПБВ) - це двигуни постійного струму з якорем і постійними литими магнітами замість обмоток збудження. Швидкість обертання двигуна регулюється зміною напруги на якорі від транзисторних або тиристорних перетворювачів напруги. Ці двигуни забезпечують рівномірний хід при малих швидкостях, мають велику перевантажувальну здатність і відносно велику сталу часу нагрівання (60 -100 хв).

Частотно-регульовані асинхронні двигуни серій 4АМ, АИР використовуються для головних приводів і приводів подач верстатів з числовими програмним керуванням і маніпуляторів. Частота обертання головних приводів регулюється зміною частоти струму в діапазоні від 0 до 4000 об/хв, приводів подач - від 0 до 1000 об/хв.

Для зупинки двигуна в схемах керування металообробними верстатами застосовується гальмування противмиканням або динамічне.

14.6. Автоматизація і електропривод деревообробних верстатів

Деревообробні верстати призначені для виготовлення і ремонту дерев'яних елементів споруд, сільськогосподарського інвентарю, транспортних засобів, меблів, тари. Залежно від об'єму і характеру робіт деревообробні майстерні комплектуються круглопильними, фугувальними, стругальними, фрезерними, свердлильними верстатами. Технічні характеристики деревообробних верстатів приведені в табл. 12.3.

Круглопилльні верстати застосовуються для розпилювання колод, їх виготовляють одно- та багатопилковими. В однопилкових верстатах колоди подаються на візку, в багатопилкових - за допомогою ланцюга з упорами, а бруски - вальцями.

Фугувальні верстати бувають одношпindelними з ручною подачею деталей, у яких оброблюється нижня поверхня, а також з двома ножовими валами, які фрезерують і вивіряють дві суміжні сторони деталі, які розміщені під прямим кутом. Привод ножів верстата потребує підвищену частоту обертання, тому їх вмикають в мережу частотою 100 Гц.

Стругальні верстати. Найбільшого поширення у майстернях набули одно- і двосторонні стругальні верстати. У односторонніх стругальних верстатів ширина обробки складає від 300 до 1200 мм. Потужність приводного двигуна ножового вала залежно від ширини обробки деталі знаходиться у межах від 4,5 до 14 кВт, потужність двигуна подачі - від 1 до 2,8 кВт.

12.3. Технічні характеристики деяких деревообробних верстатів

Назва верстатів	Модель	Тип електродвигуна	Потужність двигуна, кВт	Частота обертання двигуна, об/хв
Круглопиляльний	Ц-5, Ц-6	АИР112М2У3	7,5	2900
Фугувальний	СФ-25-1	АИР89В25СУ2	2,2	2850
		АИР9024У3	3	1400
Рейсмусовий	СР3-4	АИР10022У3	5,5	2850
Комбінований деревообробний	КДС	АИР9024У3	3	1400
Вертикальний свердлильний	МСВ-11	АИР89В2У3	2,2	2850
Електродовбальний	С-474	АН-41-2	1,7	2880
Фрезерний	ФШ-4	Т-42-2	0,415	2870
Заточувальний	С-457	АН-41-2	0,18	2830
Дискова пилка	И-78	АН-42-2	0,6	2&20
Електрорубанок	И-25	АН-51-2	0,4	2850

Фрезерні верстати. Фрезерні верстати відносяться до універсальних. Вони бувають одношпindelними і двошпindelними, з ручною і механічною подачею деталі для її обробки. Найбільш поширені в майстернях одношпindelні верстати з

вертикальним розміщенням. Вони приводяться в рух високочастотними двигунами з частотою струму 200, 300, 400 Гц, що відповідає синхронній частоті обертання $n_c = 12000$, $n_c = 18000$, $n_c = 24000$ об/хв.

Свердлильні і довбальні верстати. Свердлильні та довбальні верстати призначені для свердління отворів і виробітку різних за формою пазів і гнізд, які використовуються в основному для шипових і болтових з'єднань виробів. На свердлильно-пазових верстатах висвердлюються продовгуваті пази чи продовгуваті отвори.

Ланцюгово-довбальні верстати. Призначені для створення пазів прямокутного перерізу за допомогою замкненого фрезерного ланцюга, який з'єднується з електродвигуном шпинделя. Ці верстати бувають одношпиндельними і багатошпиндельними. Деталь в цих верстатах закріплюється на столі, а шпиндель пересувається.

Для побудови навантажувальних діаграм деревообробних верстатів необхідно знати потужність різання чи свердління і режим роботи верстата. У процесі різання чи свердління діють сили, які викликають входження різця в деревину і тим самим утворюють зону деформації, забезпечуючи при цьому відділення стружки, переборювання тертя стружки і різця об деревину.

При розрахунках визначають сумарне зусилля різання. *Сумарне зусилля опору різання, приведені до одиниці площі поперечного перерізу 1 мм^2 стружки і нормально направлені до шляху різання в кожній точці траєкторії леза різця, називається питомим опором різання (Н/мм^2).*

В деревообробних верстатах діють зусилля різання та подачі.

Зусилля різання, H , визначають за формулою:

$$F_p = \frac{Kbhv_n}{v_p}, \quad (12.41)$$

де K - питомий опір різання, Н/мм^2 ; b - ширина стружки, мм; h - товщина стружки, мм; v_n - швидкість подачі, м/с; v_p - швидкість різання, м/с; n_n - частота обертання пилки за хвилину, об/хв.

Швидкість різання для круглопилевого верстата знаходиться в межах 40-70 м/с і визначається за формулою:

$$v_p = \pi D n_n / 60, \quad (12.42)$$

де D - діаметр пилки, м.

Діаметр круглої пилки вибирають залежно від найбільшого діаметра стовбура, який підлягає розпилу на круглопилному станку d [мм]. Діаметр круглої пилки D [м] приблизно можна визначити із виразу:

$$D = (3 + \sqrt{10 + 2,5d})^2 \cdot 10^{-3}.$$

Для орієнтовних розрахунків потужності двигуна кругло пильного станка [кВт] можна скористатися формулою:

$$P = k \cdot D,$$

де k - коефіцієнт пропорційності, кВт/м, при $D \leq 0,5$ м, $k = 8$ кВт/м, при $D > 0,5$ м, $k = 10$ кВт/м.

Зусилля подачі визначається так:

$$F_{\Pi} = F_p \cos \varphi + F_o \sin \varphi + (G + F_p \sin \varphi - F_o \cos \varphi) f, \quad (12.44)$$

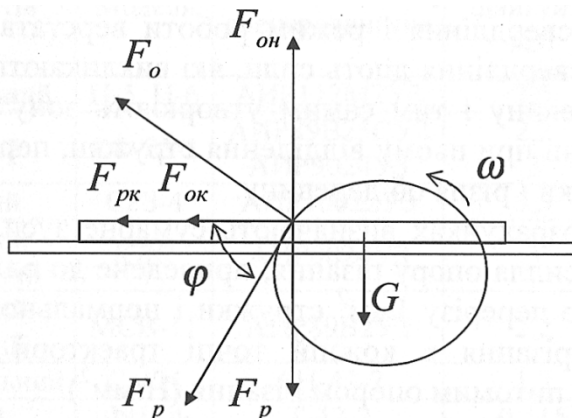
де F_p - зусилля різання, Н; F_o - зусилля відтискування, яке знаходиться в межах $F_o = (0,2 - 0,08) F_p$, Н; G - вага бруска, Н; f - коефіцієнт тертя деревини об поверхню стола, $f = 0,35 - 0,4$; φ - кут між віссю бруса та напрямом дотичної сили різання.

Діаграма сил при розпилюванні бруса показана на мал.12.11.

Швидкість подачі, м/с:

$$v_n = \frac{U_Z Z n_n}{60 \cdot 10^3}, \quad (12.42)$$

де Z - число зубців пилки, шт.; U_Z - подача деревини на один зубець пилки, мм; n_n - частота обертання пилки, об/хв. При повздовжньому розпилюванні величина подачі на один зубець дорівнює $U_Z = 0,8 - 1$ мм, а при поперечному - $U_Z = 0,1 - 0,4$ мм.



Мал. 12.11. Діаграма сил при розпилюванні бруса: $F_{pk} = F_p \cos \varphi$; $F_{ок} = F_o \sin \varphi$;

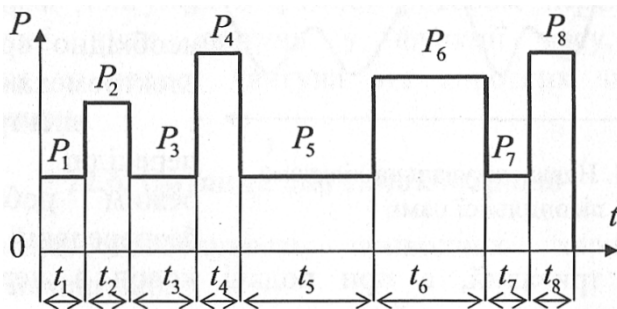
$F_{рн} = F_p \sin \varphi$; $F_1 = Gf$; $F_2 = F_{рн}f = F_p \sin \varphi f$; $F_3 = F_{он}f = F_o \cos \varphi f$

Зусилля при шліфуванні деталі, H , визначається за формулою:

$$F_{ш} = (f_{ш} + f_c)F_H, \quad (12.45)$$

де $f_{ш}$ - коефіцієнт тертя шкурки об матеріал поверхні, що шліфується, $f_{ш} = 0,3$; f_c - коефіцієнт тертя стрічки об стіл, $f_c = 0,4$; F_H - зусилля натискання деталі на стрічку, H , яке дорівнює:

$$F_H = mg, \quad (12.46)$$



Мал. 12.12. Навантажувальна діаграма деревообробного верстата

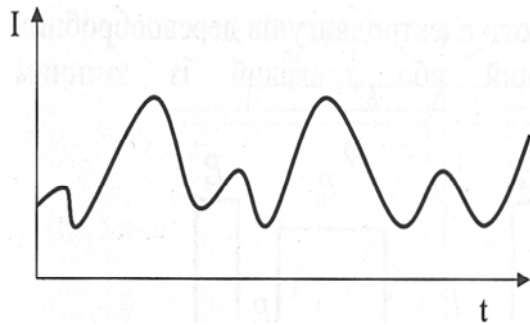
де m - маса деталі, кг; g - прискорення вільного падіння, м/с^2 . При шліфуванні зусилля натискання знаходиться в межах $(0,3-0,6)10^4 \text{ Н/м}^2$, а швидкість шліфування - $6-1,2 \text{ м/с}$.

Маючи значення зусиль, швидкостей, ККД передачі і верстата визначають необхідні потужності окремих механізмів за формулою (12.37) і будують навантажувальну діаграму, одна з яких представлена на мал. 12.12. З діаграми випливає, що режим роботи електродвигунів деревообробних верстатів - переміжний або тривалий зі змінним навантаженням.

$$P_{вт} = \frac{P_{розр}}{\eta_n \eta_{ет}}$$

Для привода деревообробних верстатів застосовують одно- та багатошвидкісні трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, з фазним ротором, двигуни постійного струму. Якщо робочий інструмент верстата встановлюється безпосередньо на вал двигуна, застосовують двигуни спеціалізованого виконання (наприклад, 4АМХД), які отримують живлення від мережі з частотою струму 50 і 100 Гц. Ці двигуни мають подовжений ротор, підсилені підшипники та подовжений кінець вала.

Деякі асинхронні двигуни для привода деревообробних верстатів отримують живлення від джерела підвищеної частоти струму. З метою регулювання швидкості



Мал.12.13. Навантажувальна діаграма лісопильної рами

застосовують багатоступінчасті пасові передачі і редуктори. Для швидкої зупинки, наприклад, круглопильного верстата застосовується гальмування противмиканням.

Електропривод лісопильних рам. Приводні характеристики лісопильної рами мають такі особливості:

- у кінематичній схемі є кривошипний механізм;

- момент статичних опорів і момент інерції пилорами залежить від кута повороту кривошипа;

- механічна характеристика холостого ходу пилорами за середнім моментом є лінійно-зростаюча;

- навантажувальна діаграма електродвигуна близька до косинусоїдальнопрямокутної (мал. 12.13), при її розрахунку необхідно враховувати електромеханічні та електромагнітні перехідні процеси;

- режим роботи при безперервній подачі колод - тривалий, а при подачі колод з перервами - повторно-короткочасний.

Потужність для привода пилорами визначають за формулою:

$$P_{ср} = \frac{M_{ср} \cdot \omega_{кр}}{\eta_n}, \quad (12.47)$$

де $M_{ср}$ - сумарним середній момент статичних опорів:

$$M_{ср} = M_{зр} + \frac{I}{\pi} M_{різ\ макс} + M_{под}, \quad (12.48)$$

де $M_{зр}$ - момент зрушення; $M_{різ\ макс}$ - максимальний момент різання; $M_{под}$ - момент опору механізмів подачі; $\omega_{кр}$ - кутова швидкість кривошипа.

Двигун вибирають за умовою:

$$P_{нов} \geq 1,2P_{ср} \quad (12.49)$$

і перевіряють за умовами пуску і на перевантажувальну здатність.

Сучасні вертикальні лісопильні рами приводяться в дію від двох двигунів: від більш потужного - кривошипний вал, від іншого - механізм подачі. У деяких з них є третій електродвигун для привода гідронасоса. Приводний вал лісопильної рами зв'язаний з приводним двигуном, як правило, за допомогою пасової передачі. Частота обертання приводного вала становить 200 - 500 об/хв. Для того, щоб при змінних динамічних навантаженнях хід був рівномірнішим, лісопильні рами оснащують маховиками, що погіршує умови пуску двигуна.

Привод лісопильних рам здійснюється від трифазних асинхронних електродвигунів з фазним та короткозамкненим ротором. Схемою керування лісопильною рамою з асинхронним двигуном з фазним ротором передбачається ступінчастий пуск двигуна у функції часу, нульове блокування та захист двигуна від коротких замикань і перевантажень.

Стовбури дерев, що надходять на розпилування відрізняються діаметрами, твердістю, сучковатістю та іншими механічними властивостями. Якщо не регулювати подачу, то завантаження електродвигуна буде різним і може значно відрізнитися від номінального (у нього буде низький ККД, коеф. потужності, підвищена затрата електроенергії на одиницю продукції).

У схемі автоматичного керування подачею залежно від завантаження двигуна використовують електродвигун постійного струму M_2 , який приводить у рух механізм подачі. Живлення електродвигуна постійного струму здійснюється від випрямляча із тиристорним регулятором напруги E .

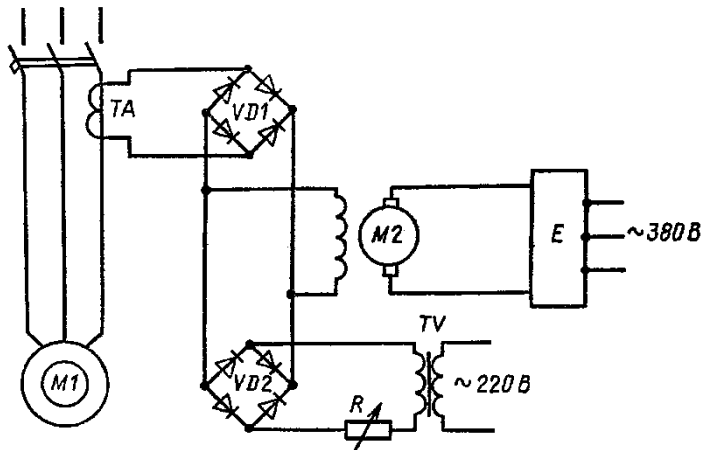
Частота обертання електродвигуна:

$$\omega = \frac{U - IR_{\text{я}}}{k\Phi}.$$

Для налаштування та забезпечення роботи схеми застосовується живлення системи збудження від мережі через трансформатор TV , регульований опір R , та випрямний міст D_2 .

Збільшення навантаження понад номінальне, збільшує напругу у вторинній обмотці трансформатора струму TA , яка через випрямний міст D_1 подається на обмотку збудження електродвигуна постійного струму M_2 . Струм та магнітний потік обмотки збудження збільшуються, що призводить до зменшення частоти

обертання і відповідно – подачі. І навпаки, при зменшенні навантаження подача збільшується, таким чином підтримується номінальне навантаження двигуна.



При номінальному навантаженні головного двигуна можливе автоматичне регулювання швидкості подачі у межах від + 30 % до – 20 % основної швидкості. Автоматичне регулювання подачі збільшує продуктивність пилорами на 5-6 % та зменшує енергозатрати.

Контрольні запитання:

1. Назвіть особливості приводних характеристик кранових механізмів.
2. Які електродвигуни застосовують для привода кранових механізмів?
3. Які вимоги ставляться до схем керування крановими механізмами?
4. Які вимоги ставляться до ручних електричних машин?
5. Які типи електродвигунів застосовуються для привода ручних електричних машин?
6. Які переваги системи живлення електродвигунів ручних електричних машин з частотою 200 Гц порівняно з частотою 50 Гц?
7. Як класифікують ручні електричні машини за ступенем електробезпеки?
8. Поясніть будову і принцип дії електромашинного і електромагнітного перетворювачів частоти.
9. В яких режимах працює електродвигун обкатного стенда при гарячому і холодному обкатуванні двигуна внутрішнього згорання?
10. Які особливості приводних характеристик обкатних стендів?
11. Які двигуни застосовуються в обкатних стендах? Як регулюється кутова швидкість електродвигуна головного привода?
12. Назвіть головні механізми металообробного верстата.
13. Які особливості приводних характеристик металообробних верстатів?
14. Які електродвигуни застосовуються для привода металообробних верстатів?
15. Які особливості приводних характеристик деревообробних верстатів?
16. Які електродвигуни застосовуються для привода деревообробних верстатів?

17. Назвіть особливості приводних характеристик лісопильної рами.

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: АграрМедіаГруп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;

2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 207 с. – ISBN 5-337-01695-4;

Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній:
Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. :
Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995

ЛЕКЦІЯ № 14

ПРИСТРОЇ АВТОМАТИЧНОГО ВОДІННЯ МАШИН

1. Завдання автоматичного водіння;
- 2 Технологічні умови роботи автоматів водіння сільсько-господарських машин;
- 3 Автоводіння тракторів;
- 4 Автомати водіння причіпних машин;
- 5 Автомати водіння самохідних коренезбиральних машин;
- 6 Пристрої автоводіння зернозбиральних машин;
- 7 Пристрої автоводіння агрегатів міжрядної обробки ґрунту;

1. Завдання автоматичного водіння

Автоматизація водіння сільськогосподарських машин дозволяє підвищити їхні робочі швидкості, поліпшити якість технологічних процесів, скоротити затрати праці і кількість механізаторів, змінити характер праці механізатора, раніше зосередженого на операції ручного водіння. Він перетворюється на оператора, що контролює роботу основних вузлів машини. Його праця наближається до праці оператора автоматизованих установок в промисловості

Завдання автоводіння вирішуються в три етапи: автоводіння машини на робочій довжині гону; повороти агрегату в кінці гону; рух агрегату до місця роботи і назад.

Економічно важливішим і відносно легким є перший етап.

Автоводіння сільськогосподарських агрегатів може здійснюватися таким чином:

- копіюванням сліду попереднього проходу агрегату (маркерної борозни, скошеного валка);
- копіюванням стаціонарних штучних траєкторій (борозни, дроти з струмом);
- копіюванням рядків рослин; програмним управлінням; дублерним управлінням з сусіднього головного агрегату (трактор-робот).

При копіюванні сліду попереднього проходу (борозни, кромки скошеного хліба і т. д.) існуючі автоматичні пристрої мають тенденцію накопичення

викривлень траєкторії при подальших проходах, що ускладнює широке застосування таких пристроїв.

При копіюванні стаціонарних траєкторій утруднення викликані високою вартістю і складністю експлуатації, наприклад, проводів зі струмом, що також ускладнює застосування пристроїв, що використовують цей спосіб автоводіння.

Найбільш розроблено і широко застосовується копіювання рядків розвинених рослин (дерев, коренів буряка).

Програмне управління сільськогосподарськими машинами знаходиться у стадії пошукових досліджень пристроїв, призначених для автоматичного повороту машини в кінці гону.

Найбільш перспективним вважається дублерне управління сільськогосподарськими агрегатами з головної машини. Це управління дозволяє скоротити в поле кількість високо кваліфікованих механізаторів не менш ніж у два рази.

2. Технологічні умови роботи автоматів водіння сільськогосподарських машин

При ручному управлінні сільськогосподарською машиною механізатор змушений здійснювати протягом години від 800 до 1000 поворотів рульового колеса. У цих умовах чисте запізнювання реакції механізатора складає в середньому не менше 0,25 с. За цей час машина при швидкості 9-10 км/год., маючи незначну кутову похибку, відхилиться від необхідного напрямку на 50...100 мм, що значно перевищує допустиму (по ширині захвату робочих органів) величину відхилення (наприклад, для бурякових полів - 30 мм). Через це робочі швидкості ряду сільськогосподарських машин при ручному управлінні не перевищують 6 км/год., у той час як за своїми технічними параметрами ці машини можуть працювати при швидкості до 10 км/год.

Тому основним завданням автоводіння є забезпечення необхідної точності руху машини вздовж гону на оптимальній робочій швидкості. У цьому випадку робота механізатора на гонах зводиться до виконання функцій оператора.

Технологічні умови роботи пристроїв автоводіння, наприклад збиральних машин, значною мірою визначаються точністю водіння посівних агрегатів. Як показали проведені дослідження, траєкторія рядка, наприклад, цукрових буряків

може бути представлена умовно трьома гармонійними, накладеними один на одного кривими лініями. Основна крива зумовлена не прямолінійністю руху трактора посівного агрегату і має довжину 100...250 м, а амплітуду близько 0,5 м. Середні гармоніки з довжиною періоду 17...30 м і амплітудою близько 100 мм зумовлені в основному коливаннями сівалки щодо лінії тяги. Малі гармоніки, зумовлені переважно поперечними коливаннями сошників сівалки, мають період 4-12 м і амплітуду 10-60 мм. Крім того, на двометровій довжині можна виявити розкид осей рослин до 30 мм в кожену сторону, що зумовлено неточним висівом і впливом лап культиватора.

У завдання автоводіння при подальших операціях входить за можливістю точне копіювання зазначених гармонік, (розкид окремих рослин у рядках враховується при виборі ширини захвату робочих органів).

Очевидно, що повне вирішення задачі підвищення робочих швидкостей сільськогосподарських машин може бути досягнуто тільки при автоматичному водінні всього комплексу машин від посіву до збирання сільськогосподарських культур.

При міжрядній обробці посівів пристрої автоводіння повинні забезпечувати ширину захисної зони уздовж рядків рослин, що покращує умови їхнього росту. При збиранні рослин точне відстеження рядків має супроводжуватися зниженням втрат і пошкоджень рослин.

3. Автоводіння тракторів

В даний час найбільш розроблені автомати водіння тракторів на гонах. У більшості своїй це нелінійні слідкуючі системи зі змінними параметрами. Нелінійність зумовлена релейною ланкою в електрогідравлічній системі або зоною нечутливості і обмеженням лінійності в гідравлічній.

Для гусеничних тракторів, що працюють на оранці, використовуються дві принципово відмінні автоматичні системи управління - електрогідравлічний пристрій по типу А. І. Логінова та гідромеханічний регулятор з регульованим негативним зворотним зв'язком.

Пристрій, розроблений А. І. Логіновим (рис 4.1), забезпечує автоматичне водіння гусеничного трактора типу С-80 при оранці і посіві з широкозахватними

агрегатами, копіюючи борозну попереднього проходу. При поворотах агрегату використовується ручне управління.

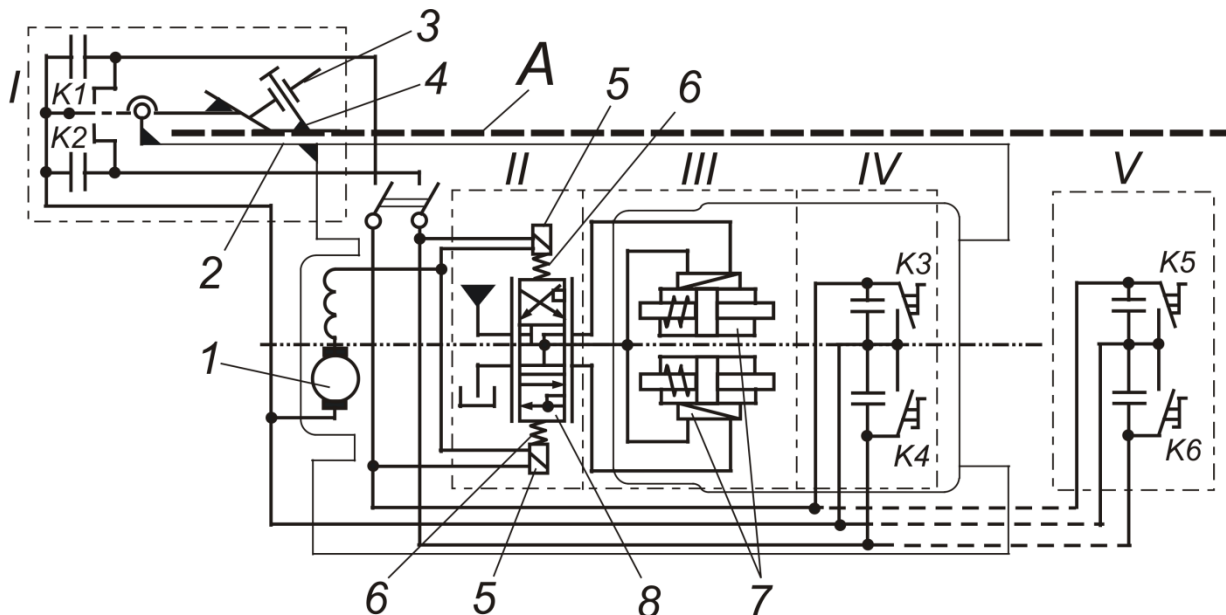
Автомат управління складається з таких основних вузлів: копіювального пристрою I, розподільної коробки II, гідропідсилювальної приставки III, кнопково-контактних систем ручного управління IV і V.

Копіювальний пристрій складається з рами 2, що жорстко зв'язана з візком гусениці трактора; копіювального полозка 4, шарнірно з'єднаного з рамою і колесом 3, розташованого під кутом до лінії руху трактора що притискає копіювальний полозок до лівої сторони борозни. На початку і в кінці гону копир піднімається і опускається за допомогою важеля, розташованого в кабіні трактора.

При відхиленні трактора від напрямку борозни копіювальний полозок 4, повертаючись на шарнірі, замикає контакти K1 або K2, забезпечуючи поворот агрегату відповідно праворуч або ліворуч.

Робота копіювального пристрою дублюється кнопково-контактними системами IV і V, які дозволяють трактористу вручну управляти поворотом агрегату в кінці гону або рухатися при втраті сліду.

Розподільна коробка II складається з розподільника в з керуванням від двох електромагнітів 5 і пружини 6 повернення в нейтральне положення.



ПРИНЦИПОВА СХЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГУСЕНИЧНИМ ТРАКТОРОМ:
 А - борозна; K1, K2, K3, K4, K5, K6 - контакти та кнопки ручного керування; I - копіювальний пристрій; II - розподільча коробка; III - гідропідсилювач; IV, V - кнопки ручного керування; 1 - генератор; 2 - рама; 3 - колесо копіра; 4 - копир; 5 - електромагніти; 6 - пружини; 7 - гідропідсилювачі; 8 - гідророзподільник

При замиканні копіром контактів К1 або К2 або при ручному управлінні кнопками К3, К4, К5 і К6 замикається електричне коло живлення однієї з котушок електромагнітів 5, пов'язаних з плунжером розподільника 8. Переміщення плунжера розподільника під дією електромагніта з'єднує систему подачі масла під тиском з одним з циліндрів 7 гідропідсилювальної приставки III. Під дією робочої рідини гідропідсилювач через шток включає один з бортових фрикціонів і трактор здійснює поворот. Поворот продовжується до тих пір, поки вісь трактора не співпаде з напрямком борозни, що копіюється. Наприкінці гону копір піднімається в транспортне положення, а поворот агрегату здійснюється кнопково-контактною системою IV з кабіни трактора. Пульти дистанційного керування у вигляді кнопково-контактною системи V розташовується на одному з причіпних агрегатів, звідки оператор проводить управління.

Запропонована система автоматичного водіння тракторного агрегату уздовж борозни значно полегшує працю тракториста, так як при ручному управлінні за одну годину роботи він впливає на важелі управління 500-600 разів, витрачаючи на це 20...25 % робочого часу.

Однак запропонована система автоводіння, будучи звичайною замкнутою системою автоматичного регулювання без коригувальних ланок, не забезпечує якісного регулювання і веде до викривлення вихідної тракторії (борозни), що зростає зі збільшенням кількості проходів.

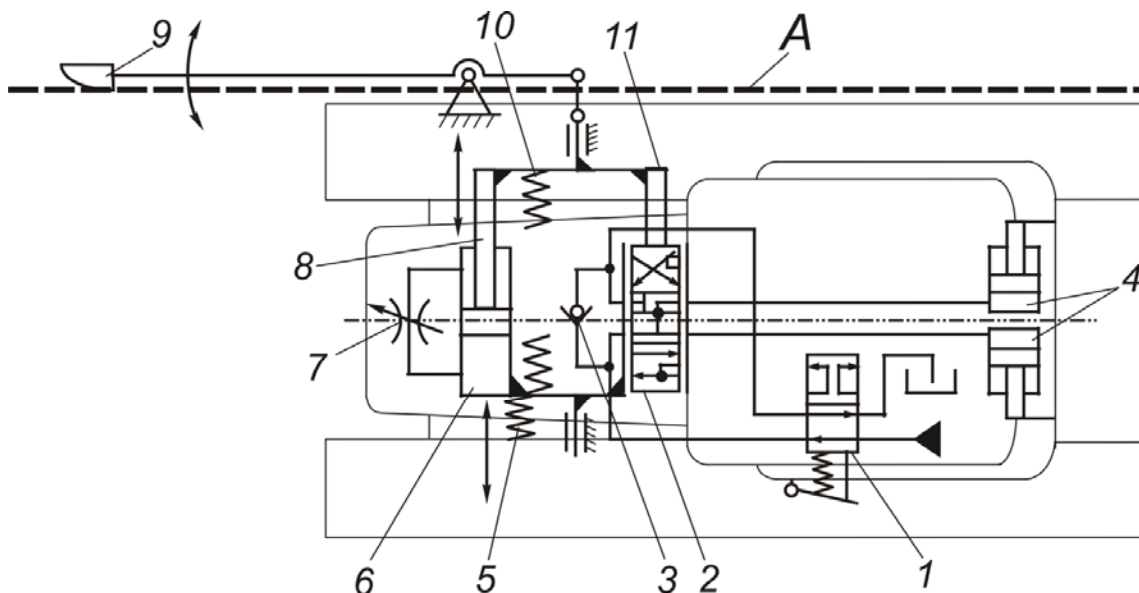
Система автоматичного управління також не забезпечує плавного повороту трактора, при якому радіус повороту пропорційний величині відхилення копіра, оскільки, тиск у виконавчих гідроциліндрах, жорстко пов'язаних з бортовими фрикціонами, при переміщенні керуючого плунжера розподільника наростає дуже швидко.

Для усунення цих недоліків і поліпшення динамічних властивостей системи управління створена система автоматичного регулювання з введенням впливу по першій похідній від керуючого кута (кут повороту повідця копіювального щупа). Зміна положення копіра 9 (мал. 4.2) по відношенню до трактора передається через систему важелів на плунжер розподільника 2, шток 8 масляного катаракта і пружину 10. Корпус розподільника жорстко з'єднаний з циліндром 6 катаракта і ковзає в

направляючих. Масляний катаракт являє собою циліндр 6, поршень зі штоком 8 і дросель 7 з регульованою голкою. Сполучені між собою циліндр 6 і корпус розподільника 2 пов'язані пружинами 5 з нерухомими частинами регулятора.

Працює регулятор наступним чином. У нейтральному положенні копіра 9, коли трактор рухається по заданій траєкторії (борозна А), плунжер 11 і корпус розподільника 2 - встановлюються так, що масло до силових циліндрах 4, керуючим бортовими фрикціонами трактора, не надходить.

При відхиленні трактора від заданого напрямку копір відхиляється від нейтрального положення, одночасно переміщує плунжер 11 і поршень зі штоком 8 катаракта. При цьому положення циліндра 6 і корпусу розподільника 2 буде визначатися величиною різниці тисків масла в порожнинах циліндра 6 катаракта, створюваних рухомим штоком 8 і параметрами пружини 5.



ПРИНЦИПОВА СХЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГУСЕНИЧНИМ ТРАКТОРОМ ІЗ ГІДРОМЕХАНІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ:

А - борозна; 1 - кран перемикань; 2 - гідророзподільник; 3 - клапан зворотній; 4 - гідроциліндри бортових фрикціонів; 5, 10 - пружини; 6 - гідроциліндр; 7 - дросель; 8 - шток; 9 - копір; 11 - плунжер

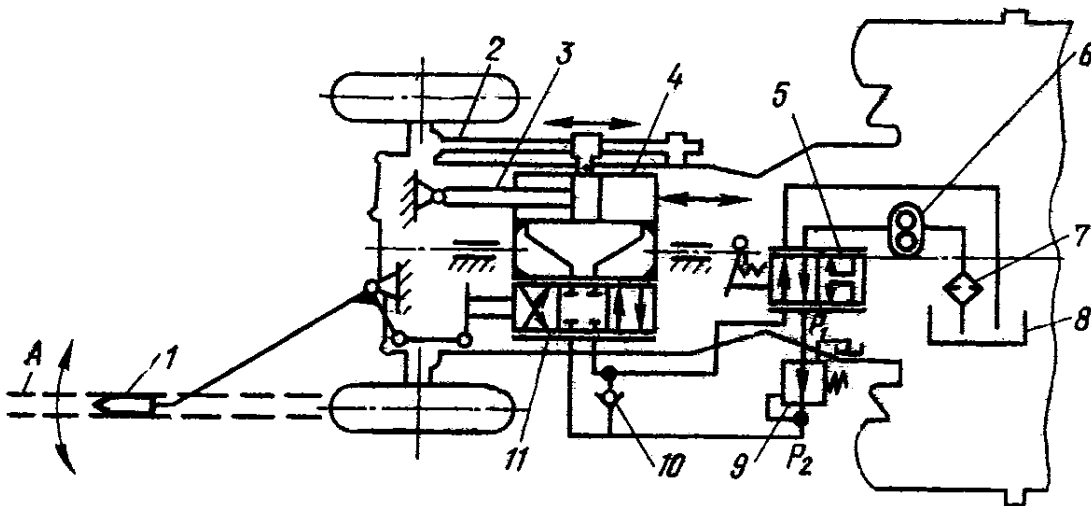
Передача додаткового впливу по першій похідній від переміщення копіра полягає в тому, що різниця тиску масла в порожнинах циліндра 6 залежить від швидкості переміщення штока 8, пов'язаного з переміщенням копіра і ступенем дроселювання в дроселі 7.

Таким чином, момент включення і відключення бортових фрикціонів з розглянутим гідромеханічним регулятором буде залежати не тільки від величини,

але і від кутової швидкості повороту копіра і трактора щодо борозни А, і буде регулюватися величиною відкриття голки дроселя 7.

За допомогою двохпозиційного розподільника 2 здійснюється перемикання системи на автоматичне або ручне управління.

При посіві і культивуванні посівів просапних культур, які в основному виконуються за допомогою агрегатів з колісними тракторами, особлива увага приділяється прямолінійності руху агрегату. Для таких робіт розроблено регулятор на базі гідропідсилювача з жорстким зворотним зв'язком (мал. 4.3). Напрямна борозна А для автоматичного водіння агрегату відбивається спеціальним маркером при першому проході. При другому і подальших проходах транспортний агрегат при русі по довжині гону управляється автоматично.



Копір 1, пересуваючись по направляючій борозні А, повертається щодо точки кріплення на тракторі, вказуючи на величину відхилення тракторного агрегату від заданого напрямку. Це відхилення через систему важелів передається на плунжер розподільника 11 і його відхилення від нейтрального положення відкриває отвори в розподільнику для подачі масла під високим тиском від насоса 6 через кран перемикання 5 і редукційний клапан 9 в праву або ліву порожнину гідроциліндра 4. Шток 3 гідроциліндра шарнірно кріпиться до рами трактора, а корпус 4 - до тяги 2 рульового управління. Тому при подачі масла під тиском у гідроциліндр 4 переміщується його корпус і корпус розподільника 11, які між собою жорстко пов'язані. Напрямок руху агрегату змінюється так, щоб кут неузгодженості між напрямком руху і напрямом борозни дорівнював нулю. Це досягається введенням жорсткого, зворотного зв'язку, при якій шток 3 шарнірно кріпиться до рами

трактора. Корпус розподільника 11 виконаний як єдине ціле з корпусом гідроциліндра 4.

Як показали господарські випробування, установка автоматичного пристрою дозволяє підвищити робочу швидкість агрегату до 14 км/год., зменшити похибку стикового міжряддя до 7% і значно поліпшити умови праці тракториста.

4. Автомати водіння причіпних машин

Автомати водіння причіпних машин є замкнутими одноконтурними системами і являють собою гідромеханічні або електрогідравлічні пристрої. Причіпний агрегат в русі орієнтується на зміну напрямку рядка рослин і використовується для міжрядної обробки або збирання рослин.

Автомати управління робочими органами виконуються двох типів: замкнуті і розімкнуті. Замкнені системи використовуються при міжрядній обробці і регулюють положення робочих органів по рядках рослин при незмінному положенні основної рами машини, а розімкнуті системи використовуються для управління робочими органами машин, що працюють в садах і виноградниках, при обробці ґрунту між кущових і між стовбурових смуг.

Автомати водіння причіпних машин і пристрої для управління робочими органами отримали широке практичне застосування в бурякозбиральних машинах і культиваторах, машинах для обробки ґрунту в садах і виноградниках.

На мал. 4.4 зображена принципова схема системи автоматичного керування напрямком руху причіпного бурякозбирального комбайна. Система складається з двох копіїв 4, шарнірно підвішених на рамі комбайна в точці O_3 , гідравлічного розподільника 3 і гідроциліндра 1, шток якого шарнірно закріплений на поворотному дишлі 8. Обидва копіїв з'єднані з тягою 7 із плунжером 2 гідравлічного розподільника.

При викривленні рядка буряка, наприклад, вправо по ходу руху, копіїв 4 відхиляються від середнього положення на деякий кут α і за допомогою тяги 7 зміщують плунжер розподільника з нейтрального положення. Масло під тиском нагнітається в порожнину А гідроциліндра 1, а з порожнини Б йде на злив. У результаті впливу гідроциліндра на раму, а штока - на дишло, яке в точці O_2 закріплено на причепі трактора, рама 6 комбайна повертається на кут α_1 , відносно

автоводіння причіпних бурякозбиральних комбайнів дає можливість в період збирання буряка вивільнити одного висококваліфікованого механізатора на кожному агрегаті.

5. Автомати водіння самохідних коренезбиральних машин

Зі створенням самохідних коренезбиральних машин РК.С-6 і КС-6 одночасно вирішувалося завдання їх автоматичного водіння при виконанні технологічного процесу збирання. З цією метою їх обладнали пристроями автоводіння, в яких застосовані механічні датчики - (щупи), розташовані у верхньому ґрунтовому горизонті міжрядь і пов'язані зі спостережною гідросистемою, що керує положенням поворотних коліс самохідної машини. Ця система на відміну від системи автоводіння, яка використовується на причіпних бурякозбиральних комбайнах, більш досконала.

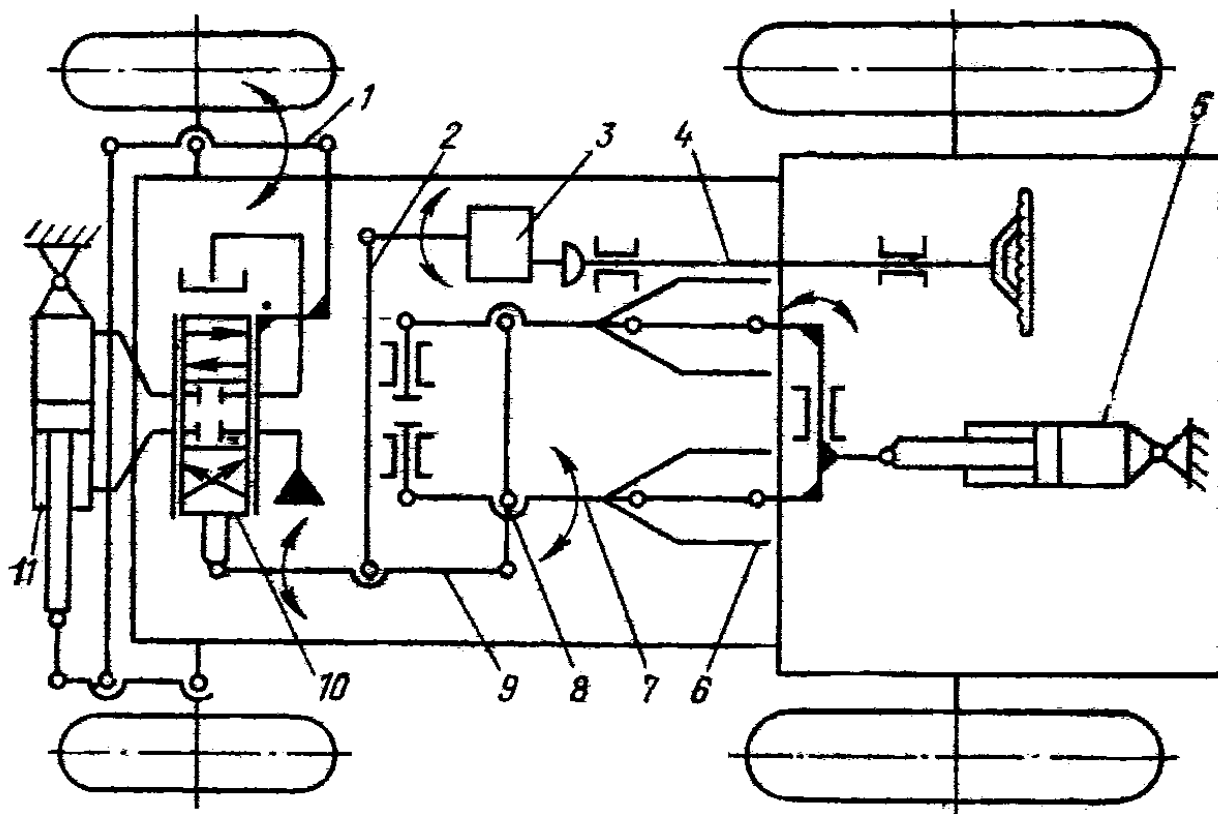
Конструкція пристрою автоводіння забезпечує необхідну точність ходу робочих органів коренезбиральної машини відносно рядків коренів буряка зі зрізаною гичкою. Здійснюється автоматичне перемикання з ручного управління на автоматичне і навпаки, а також при необхідності ручне коригування безпосередньо рульовим колесом без додаткових перемикачів. Застосування цього пристрою не збільшує зусилля на кермовому колесі, не знижує надійності ручного управління на перегоні і не ускладнює ремонту та утримання машини.

Автомат водіння являє собою гідромеханічний пристрій, що забезпечує автоматичне спрямування викопуючих робочих органів машини по осі збирання рядків цукрового буряка. Базовою лінією для копіювальних органів автомата є рядки коренів буряка.

Автомат водіння (мал. 4.5) складається з датчиків-копірів системи важеля 2, 8, 7, розподільника керованих коліс 10, гідроциліндра управління колесами 11 і гідроциліндра підйому копірів 5.

Автомат водіння комплектується копірами двох типів - копірами-розпушувачами і полозковими копірами. Полозкові копіри застосовуються при підвищеній вологості ґрунту і коли головки коренів виступають над поверхнею ґрунту на 15-20 мм. Копіри-розпушувачі застосовуються при роботі на щільних

грунтах і в основному коли головки коренів знаходяться на одному рівні з поверхнею ґрунту і нижче неї.



Мал. 4.5. Принципова схема автомата водіння комбайна РКС-6:

1 - кронштейн; 2 - тяга; 3 - черв'ячний редуктор; 4 - рульове керування; 5 - гідроциліндр; 6 - копір; 7 - паралелограмна підвіска; 8 - тяга; 9 - важіль; 10 - розподільник; 11 - гідроциліндр.

Зміна напрямку рядків буряка через копіри 6, паралелограмну підвіску 7, поперечну тягу 8 і сумуючий важіль 9 передається на шток розподільника 10, корпус якого шарнірно закріплений на поворотній цапфі керованого колеса за допомогою кронштейна 1. Сумуючий важіль 9 тягою 2 пов'язаний через черв'ячний редуктор 3 з ручним керуванням машиною.

Розподільник 10, керуючи подачею масла під тиском у гідроциліндр 11, змінює напрямок руху мобільного агрегату так, щоб копіри 6 завжди знаходилися в нейтральному положенні, а агрегат рухався у напрямку рядків буряків.

При роботі автомата водіння за рахунок зв'язку рульового управління через тягу 2 і сумуючий важіль 9 з розподільником можливе корегування напрямку руху машини шляхом впливу на рульове колесо. Переведення датчиків-копірів з транспортного положення в робоче і навпаки здійснюється гідроциліндром 5.

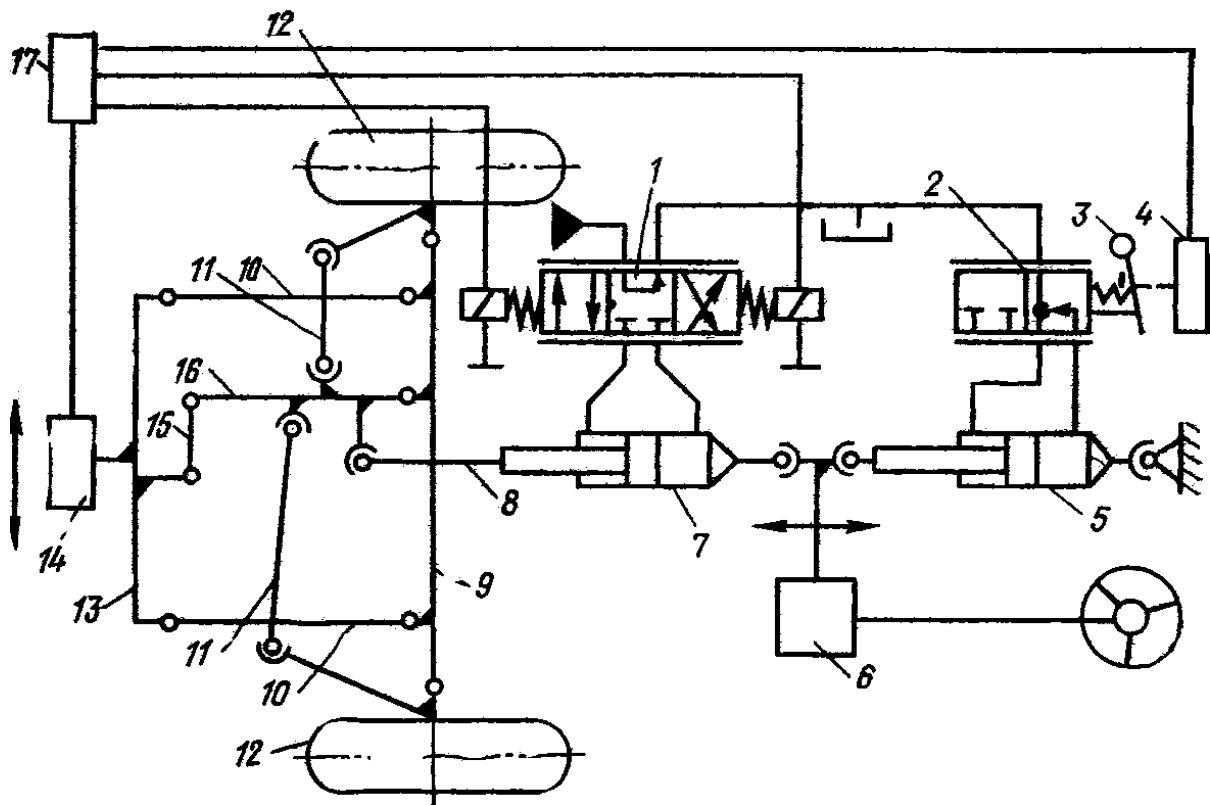
Подальшим розвитком пристроїв автоводіння бурякозбиральних машин є створення багатоцільової системи автоводіння з використанням електроніки, яка дозволить застосовувати ці автомати на інших сільсько-господарських машинах. Така система містить безконтактні радіохвильові датчики замість механічних щупів, регулятор, виконаний на інтегральних схемах, і електрогідравлічний виконавчий механізм.

Принциповою перевагою багатоцільової системи автоводіння порівняно з відомими є створення і застосування ряду уніфікованих безконтактних датчиків, які розпізнають елементи рослин і ґрунту в електро-магнітних полях радіохвильового діапазону частот, встановлених над ґрунтом на висоті рами машини, що самоналаштовуються на змінні умови роботи.

Автомат водіння (мал. 4.6) містить високочастотний датчик диференціального типу 14, жорстко з'єднаний з рамкою 13 паралелограмної підвіски, що містить важелі 10, шарнірно закріплені на передньому мосту 9 трактора або самохідної машини.

Вихід датчика 14 зв'язаний з електронним блоком 17, в якому розташований двоканальний підсилювач потужності з широтно-імпульсним модулятором. Виходи блоку 17 з'єднані з електромагнітами трипозиційного розподільника 1 з позитивним перекриттям. Гідравлічні канали розподільника з'єднані з гідронасосом, масляним баком і гідроциліндром 7, вбудованим в тягу 8, що шарнірно сполучає вихідний вал приводу ручного управління трактора і керуючий важіль 16 рульової трапеції 11 керуючих коліс 12. Важіль 16 через важіль 15 шарнірно з'єднаний з рамкою 13 паралелограмної підвіски 10.

Крім того, вихідний вал механізму ручного управління 6 з'єднаний шарнірно зі штоком гідроциліндра 5, гільза якого шарнірно зв'язана з корпусом сільгоспмашини. Порожнини гідроциліндра 5 за допомогою двосекційного двохпозиційного крана перемикачів 2 підключені на злив. Гідроциліндр 5 з клапаном 2 призначені для переходу з ручного на автоматичне керування і навпаки. Клапан 2 з'єднаний з рукояткою 3 перемикачів, що встановлена в кабіні трактора чи комбайна.



Мал. 4.6. Принципова схема автомата водіння комбайна РКС-6 з безконтактним копійром:

1 - розподільник; 2 - кран перемикавання; 3 - рукоятка; 4 - кінцеві вимикачі; 5 і 7 - гідроциліндри; 6 - рульове керування; 8 - тяга; 9 - передній міст; 10, 15, 16 - важелі; 11 - рульова трапеція; 12 - колесо; 13 - рамка; 14 - датчик; 17 - електронний блок.

Автоматичний пристрій працює так. У режимі автоматичного копіювання високочастотний датчик 14 підвішений над опорною траєкторією, яку представляє рядок рослин, борозна або гребінь на ґрунті.

Положення вихідного валу механізму ручного управління 6 зафіксовано гідроциліндром 5, порожнини якого закриті за допомогою крана 2. У цьому випадку кінцевими вимикачами 4 від сигналу датчика 14 включений в роботу блок 17.

При відхиленні осі датчика 14 від осі направляючої траєкторії на його виході виникає сигнал, величина і знак якого залежать від величини і знака цього відхилення. Цей сигнал після перетворення в блоці 17 включає один з електромагнітів електрогідравлічного розподільника 1 і у відповідну порожнину гідроциліндра 7 надходить масло під тиском. За допомогою тяги 8 і важеля 16 переміщається шток 8 гідроциліндра 7 повертає за допомогою рульової трапеції 11

керуючі колеса 12 і одночасно допомогою важелів 13 і 15 встановлює датчик 14 на вісь направляючої траєкторії.

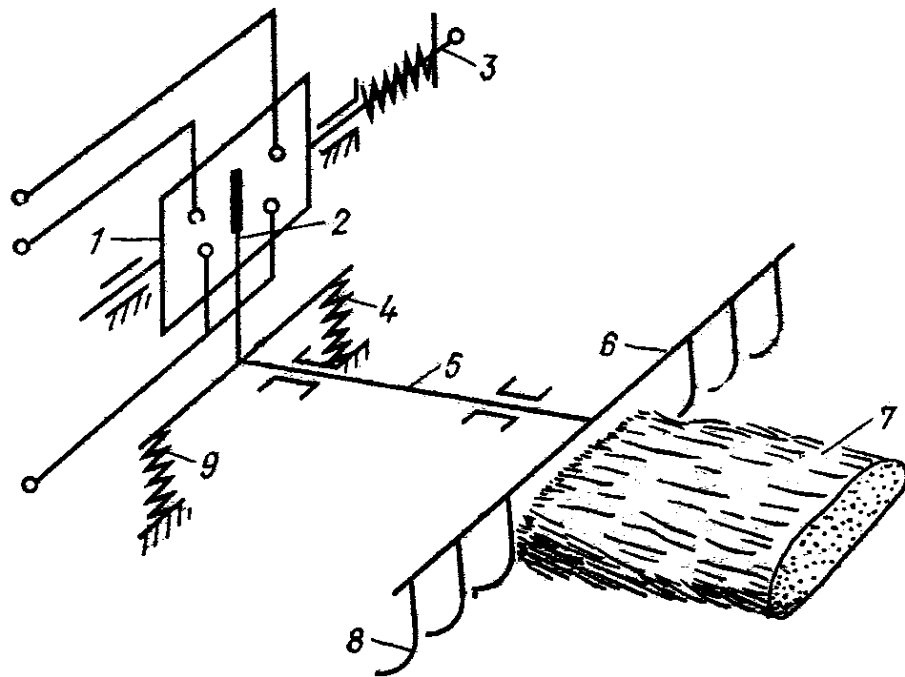
При ручному управлінні кран перемикачів 2 за допомогою рукоятки 3 встановлений так, що порожнини гідроциліндра 5 з'єднані зі зливною системою і цей гідроциліндр не впливає на переміщення вихідного валу механізму ручного управління 6. Одночасно рукоятка 3 включає кінцеві вимикачі 4, які блокують електронний блок 17 і розподільник 1 займає нейтральне положення. При цьому порожнини гідроциліндра 7 замкнені, а ланка, що містить тягу 8 і гідроциліндр 7, являє собою жорсткий важіль, що з'єднує вихідний вал механізму ручного управління 6 з важелем 16 керування колесами 12.

Завдяки тому що без зміни схеми управління агрегатом в тягу 8, що сполучає механізм ручного управління і рульову трапецію, вставляється гідроциліндр спрощується конструкція пристрою, а стопоріння гідроциліндра за допомогою крана спрощує перехід з ручного на автоматичне управління.

6. Пристрої автоводіння зернозбиральних машин

Для зернозбиральних комбайнів було запропоновано і випробувано кілька типів систем автоматичного водіння як уздовж валка хлібної маси, так і вздовж бровки нескошеного стеблостою. Саме по собі створення таких систем не ставить своєю метою замінити на самохідній збиральній машині людину, оскільки його функції далеко не обмежуються водінням агрегату на робочих гонах. Якщо для систем автоматичного водіння по валку є прийнятні рішення, то водіння агрегату вздовж стінки нескошеної культури (бровки) залишається поки невирішеним завданням.

Автоматичне водіння зернозбирального комбайна уздовж валка полегшується тим, що відсутнє послідовне копіювання попередніх проходів, отже - немає накопичення похибки при подальших проходах, а сам валок є надійнішим орієнтиром, ніж брівка.



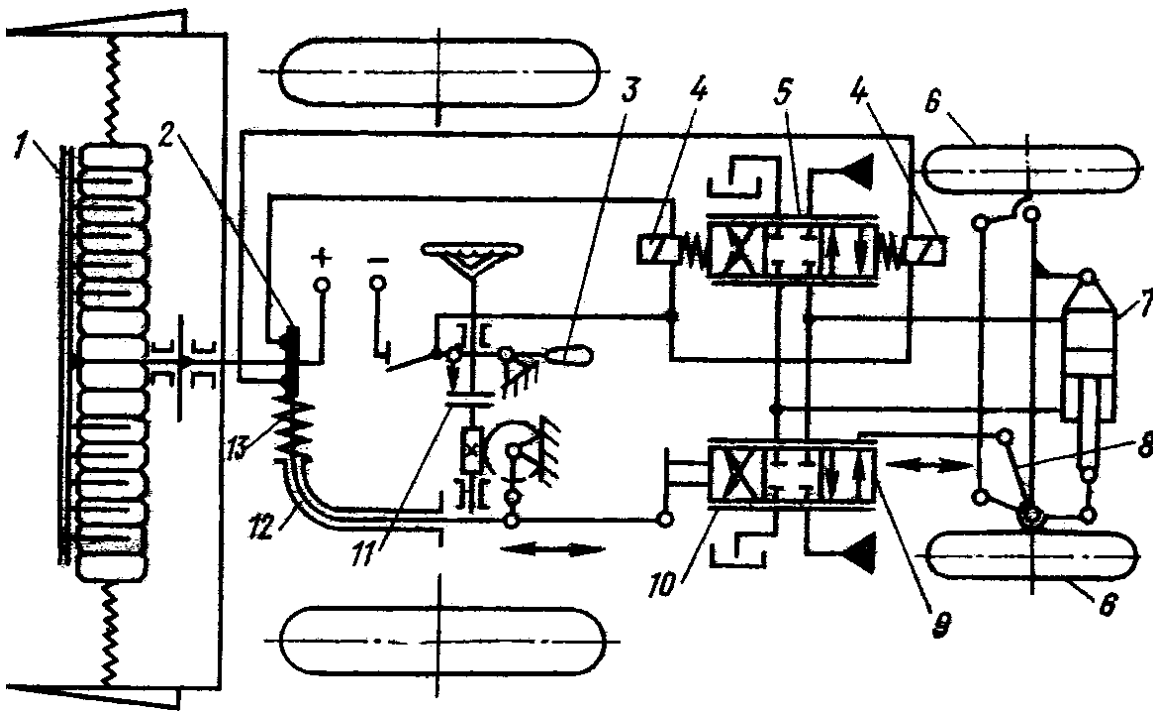
Мал. 4.7. Схема датчика-копіра валка хлібної маси:

1 - панель; 2 - перемикальна пластина; 3 - тяга зворотного зв'язку; 4 і 9 - пружини; 5 - вал; 6 - грабельний брус; 7 - валок; 8 - прутки.

Принцип автоматичного водіння зернозбирального комбайна заснований на тому, що мобільний агрегат за допомогою автоматичного регулятора прагне забезпечити розташування валка скошеного хліба щодо середини підбирача. Положення валка визначається датчиком, що діє за принципом механічного обмацування валка. Датчик (мал. 4.7) виконаний у вигляді грабельного бруса 6 з пружинними прутками 8, який може повертатися з поздовжнім валом 5 в поперечному напрямку.

Перемикаюча пластина 2, укріплена на валу, при повороті бруса замикає контакти К1 або К2, розташовані на рухомій панелі 1. Якщо валок 7 відсутній або розташовується посередині підбирача, то грабельний брус паралельний до підбирача і датчик знаходиться в нейтральному положенні, яке підтримується пружинами 4 і 9.

Зсув валка щодо центру підбирача змінює співвідношення сил, що діють на грабельний брус датчика, і повертає його навколо осі 5. Панель 1 з розташованими на ній контактами переміщується за допомогою тяги 3 відповідно зі зміною положення керуючих коліс комбайна, чим і здійснюється зворотний зв'язок замкнутої системи регулювання.



Мал. 4.8. Принципова схема автомата водіння зернозбирального комбайна:

1 - датчик валка; 2-панель; 3- важіль перемикання управління; 4 – електро-магніт; 5 - розподільник; 6 - керовані колеса; 7 - гідроциліндр; 8 - важіль; 9 - корпус розподільника; 10 - плунжер; 11 - зчеплення; 12 трос зворотного зв'язку; 13 - пружина.

На мал. 4.8 зображена принципова схема системи автоматичного водіння самохідного зернозбирального комбайна по валку. При роботі в автоматичному режимі важелем 3 підключають джерела живлення до електричної системи автоводія, а рульове колесо зчепленням 11 відключається від механізму рульового управління. При відхиленні валка від середини підбирача датчик замикає один з контактів (K1 або K2) і включається один електромагніт 4 електрогідравлічного розподільника 5. Тоді масло під тиском надходить у гідроциліндр 7, який здійснює поворот керованих коліс комбайна 6.

Разом з поворотом коліс корпус 9 розподільника 10, який жорстко пов'язаний з рульовою тягою 8, зміщуватиметься, переміщаючи через рульову сошку, тросик 12 і пружину 13 панель контактів 2. Панель з контактами буде переміщатися в ту ж сторону, що і перемикальна пластина 2 датчика (мал. 4.7). Тоді керуючі колеса повернуться на такий кут, при якому перемикальна пластина і грабельний брус 1 датчика встановляться в нейтральне положення. Таким чином, в результаті зворотного зв'язку між положеннями керованих коліс 6 і панеллю 2 з контактами

кожному куту повороту датчика з точністю до зони нечутливості і люфту в гідро-підсилювачі відповідає цілком певний кут повороту керованих коліс.

7. Пристрої автоводіння агрегатів міжрядної обробки ґрунту

Трудомісткість обробітку просапних культур в значній мірі залежить від витрат часу і засобів по догляду за рослинами в період їх розвитку і особливо на міжрядний обробіток і проріджування. Щоб пошкодження рослин робочими органами при міжрядної обробки посівів було мінімальним, в процесі проріджування боронами або спеціальними пристроями необхідно забезпечити задану кількість рослин на гектар з певним розподілом інтервалів між ними. При жорсткій схемі розташування робочих органів на рамі агрегату виключити пошкодження рослин на підвищених робочих швидкостях важко, а проводити одночасну обробку ґрунту в проміжках між рослинами неможливо. Що стосується проріджування рослин із забезпеченням заданої кількості їх на гектар і розподілу інтервалів між ними, то первісний випадковий їх розподіл в рядках може бути покращеним лише незначно.

Тому в даний час ведуться роботи зі створення агрегатів для міжрядної обробки ґрунту з автоматичним управлінням робочими органами, які забезпечують мінімальну захисну зону для рослин, роблять обробку ґрунту між рослинами в рядках і при відповідному вдосконаленні систем управління можуть знищувати зайві рослини, забезпечуючи задану густоту і інтервали між ними.

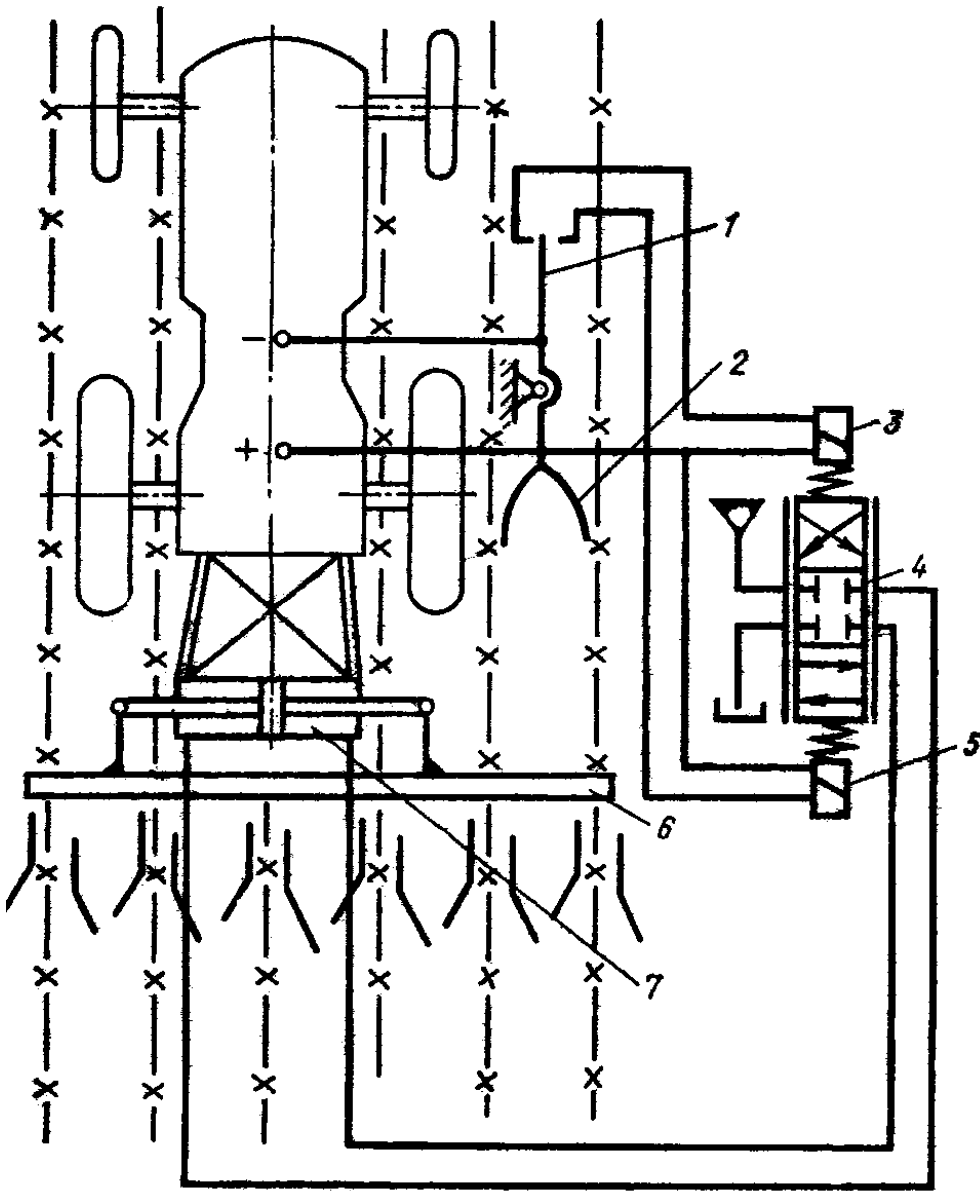
Успішне вирішення цього завдання в основному залежить від створення чутливих елементів (датчиків). Такі датчики повинні на відстані розпізнавати культурні рослини і відрізнити їх від бур'янів.

У культиваторах в якості датчиків використовуються або механічні щупи, або електродні елементи. Коли механічний контактний щуп стосується рослини, подається сигнал в автоматичну систему, і лапи культиватора розмикаються, обходячи рослину. Щоб виключити вплив випадкових факторів (бур'янів, грудок ґрунту, рослинних залишків та ін.) При намацуванні культурних рослин, у схемі зазвичай передбачається блокування її електричної частини з тимчасовою затримкою. При випадковому розподілі рослин у рядках така тимчасова затримка призводить до великого їх пошкодження.

На мал. 4.10 зображена принципова схема автоматичної системи спрямування робочих органів культиватора по рядках буряка з механічним щупом 2, який при відхиленні від рядка замикає контакти 1 і через електромагніт 3 або 5 управляє роботою електрогідравлічного розподільника 4 подачі масла під тиском у гідроциліндр 7, що змінює положення рами 6 культиватора і щупів відносно рядка.

Перспективним у цьому відношенні є використання високочастотних датчиків, параметри, режими і конструктивні виконання яких зараз широко досліджуються.

На мал. 4.11 показана принципова схема автоспрямовувача з електричними щупами (електродними елементами). Електричні щупи виконані у вигляді латунних пластин. Виникаючий у колі щупа електричний сигнал при контакті з рослиною через підсилювачі 2 і проміжні реле 3 надходить у електромагніти 5 управління розподільником 6.

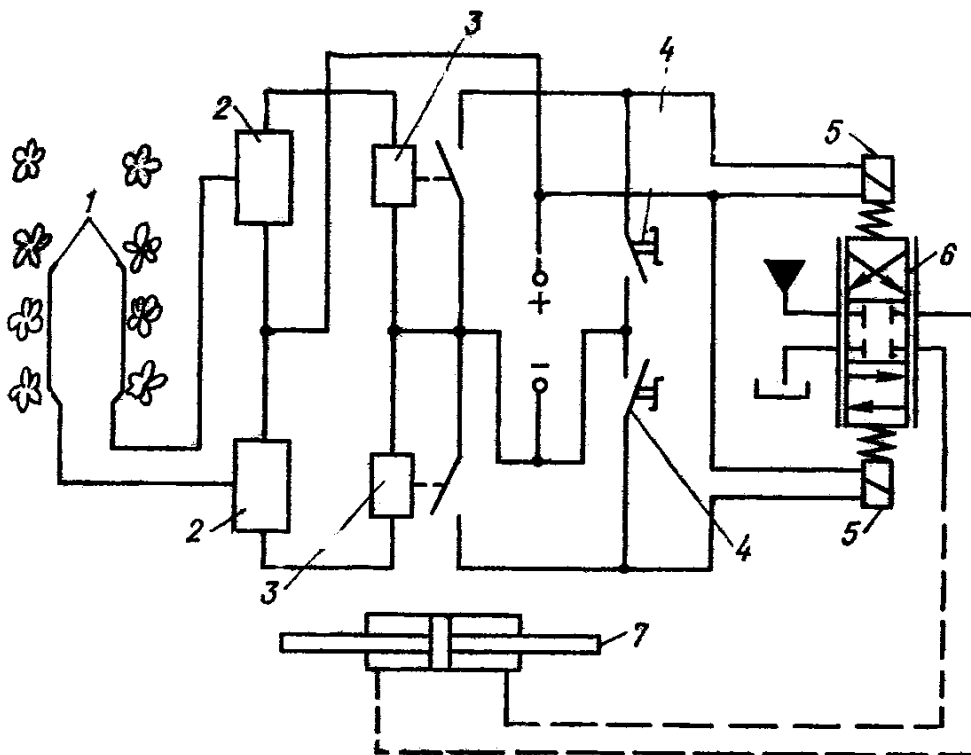


Мал. 4.10. Принципова схема автоматичного керування просапного культиватора:

1 - перемикач; 2. - щупи механічні; 3 і 5 - електромагніти; 4 - розподільник; 6 - рама; 7 - гідроциліндр.

Рама культиватора складається з нерухомої частини, з'єднаної з гідросистемою трактора, і рухомої частини - бруса, до якого кріпляться секції робочих органів. Переміщення рухомого бруса в поперечному напрямку здійснюється силовим гідроциліндром 7.

Для ручного управління культиватором використовується кнопковий пульт 4, за допомогою якого може бути замкнутим електричне коло одного з електромагнітів 5.



Мал. 4.11. Принципова схема автоматичного керування просапного культиватора з контактним щупом:

1 - щупи контактні; 2 - підсилювачі; 3 - проміжні реле; 4 - кнопки ручного управління; 5 - електромагніти; 6 - розподільник; 7 - гідроциліндр.

ЛЕКЦІЯ 15

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

1. Автомати завантаження зернозбиральних машин;
2. Автомат завантаження силосозбиральних комбайнів.

1. Автомати завантаження зернозбиральних машин

Основною умовою ефективного використання зернозбиральних, кормозбиральних, картоплезбиральних комбайнів і тракторів є оптимальне завантаження робочих органів і двигуна відповідно до умов роботи.

Досвід багаторічної експлуатації цих агрегатів показує, що їх робота супроводжується значними кількісними та якісними змінами умов збирання як протягом усього збирального сезону, так і протягом дня в межах одного і того ж поля, що викликає певні зміни завантаження робочих органів і двигуна.

Нерівномірність завантаження робочих органів і двигуна може бути викликана зовнішніми збуреннями (зміни врожайності культури, її фізико-механічних властивостей, умов пересування агрегату та ін.) і внутрішніми технологічними порушеннями (поломки, забивання і т. д.). Щоб усунути шкідливий вплив зовнішніх збурень, збиральні машини обладнують системами автоматичного регулювання завантажувального режиму. Для запобігання аварійних перевантажень служить система контролю і сигналізації.

Завантаження робочих органів зернозбирального комбайна головним чином визначається кількістю і фізико-механічними властивостями хлібної маси, що надходить в молотарку.

Зміни опору пересуванню агрегату суттєво впливають на завантаження комбайна, викликаючи коливання частоти обертання двигуна, а отже, і молотильного барабана.

Подача хлібної маси в комбайн залежить від врожайності культури, швидкості руху, висоти зрізання, повноти використання ширини захвату та інших факторів. Фізико-механічні та біологічні властивості хлібної маси визначаються вологістю, соломистого, ступенем зрілості, видом і сортом культури, засміченістю і т. д.

Збільшення подачі і вологості маси понад допустимі межі погіршує сепарацію зерна через деку молотильного апарату, підвищує недомоліт, призводить до зменшення частоти обертання барабана і перевантаження двигуна.

Так, за даними випробувань вітчизняних і зарубіжних зернозбиральних комбайнів збільшення подачі хлібної маси понад пропускну здатність комбайна викликає різке підвищення втрат зерна молотаркою, причому основну масу (60-80 %) становлять втрати соломотряса. Втрати зерна зростають також зі збільшенням вологості, соломистості і засміченості збираного хліба. Крім того, мінливість умов збирання призводить до частих забивань робочих органів комбайна, що вимагає для їх усунення тривалих зупинок.

Ефективність роботи силосозбиральних комбайнів визначається постійністю довжини подрібнених частинок і продуктивністю при найменших затратах енергії на одиницю подрібненої листостеблової маси. Нерівномірність довжини різання залежить від нерівномірності секундної подачі маси в силосозбиральний комбайн і

при постійній швидкості руху агрегату визначається врожайністю збираної культури, шириною захвату жатки і висотою зрізання. Як показує практика експлуатації силосо-збиральних комбайнів, найбільшу нестабільність роботи створює зміна врожайності, яка для основної силосної культури - кукурудзи - досягає 60 % з нормальним законом розподілу. При цьому нерівномірність врожайності зумовлена головним чином зміною густоти стояння і розмірних характеристик рослин. Крім того, при нерівномірному надходженні листостеблової маси нерівномірність обертового моменту на валу приводу робочих органів комбайна сягає 25-30 %. Очевидно, візуальне визначення оператором зміни врожайності і ручне управління режимами роботи силосозбиральних комбайнів за умови виконання всіх інших обов'язків малоефективні.

Завантаження робочих органів дворядного картоплезбирального комбайна при робочій швидкості 4 км/год складає близько 1000 т маси на годину. При цьому необхідно відокремити бульби картоплі від грудок ґрунту, бадилля і відсортувати за розмірами. Зміна фізико-механічних властивостей ґрунту, нерівномірності її подачі, щільності, засміченості і особливо вологості в значній мірі порушує технологічний процес комбайна.

Щоб підтримувати оптимальне завантаження комбайна масою, необхідно періодично змінювати інтенсивність роботи сепаруючих робочих органів не тільки залежно від ґрунтово-кліматичних умов, характерних для даного поля, що змінюються порівняно повільно, але і від кількісного та якісного складу маси, що надходить до нього.

У картоплезбиральному комбайні як об'єкті регулювання можна змінювати режими роботи робочих органів і швидкість руху агрегату. Найбільшого ефекту при цьому можна досягти плавним безступінчастим регулюванням швидкості руху, для чого трактор з причіпним комбайном повинен бути обладнаний безступінчастою коробкою передач.

У результаті зміни режимів завантаження робочих органів сільськогосподарських машин, рельєфу поля і опору руху агрегату змінюється навантаження двигуна трактора або самохідного комбайна. Для підтримки заданої частоти обертання двигуна при зміні навантаження необхідно змінювати його

потужність, регулюючи подачу палива шляхом переміщення рейки паливного насоса.

Це переміщення виконує всережимний регулятор, який незалежно від зміни навантаження автоматично підтримує в заданому діапазоні постійну частоту обертання валу двигуна в межах певного швидкісного режиму.

Таким чином, змінність умов роботи агрегатів і викликані цим нерівномірність ходу робочих органів і завантаження двигунів тракторів і самохідних машин вимагають наявності раціональних систем регулювання та управління, а також вмілого маневрування режимами роботи агрегатів в польових умовах.

Однією з умов нормальної і високопродуктивної роботи зернозбиральних комбайнів є оптимальне і рівномірне завантаження робочих органів молотарки.

При розробці систем автоматичного регулювання подачі хлібної маси в молотарку зернозбирального комбайна виникає важливе питання про вибір параметра регулювання, так як виміряти безпосередньо регульовану величину - подачу неможливо.

В результаті різних досліджень встановлено, що найбільш прийнятними параметрами в системах автоматичного регулювання подачі хлібної маси в молотарку є товщина шару маси в похилій камері жниварки і величина обертового моменту на валу молотильного барабана.

Подача маси в молотарку може бути визначена за наступною формулою: де B - ширина захвату комбайна, м; V_k - швидкість руху комбайна, км / год; G - вага зрізаної з 1 га рослинної маси, ц / га.

Мал. 4.12. Графік залежності швидкості комбайна від врожайності.

З формули (4.1) видно, що зі зміною врожайності Z хлібної маси швидкість машини повинна змінюватися за гіперболічним законом (мал.4.12), а величина зміни швидкості руху комбайна D_u при низькій врожайності G буде більше, ніж при високій якщо відхилення врожайності AT від заданої буде однаковим.

Обертовий момент на валу молотильного комбайна пропорційний величині подачі хлібної маси, так як за відомою формулою акад. В. П. Горячкина витрата потужності на обмолот хлібної маси дорівнює

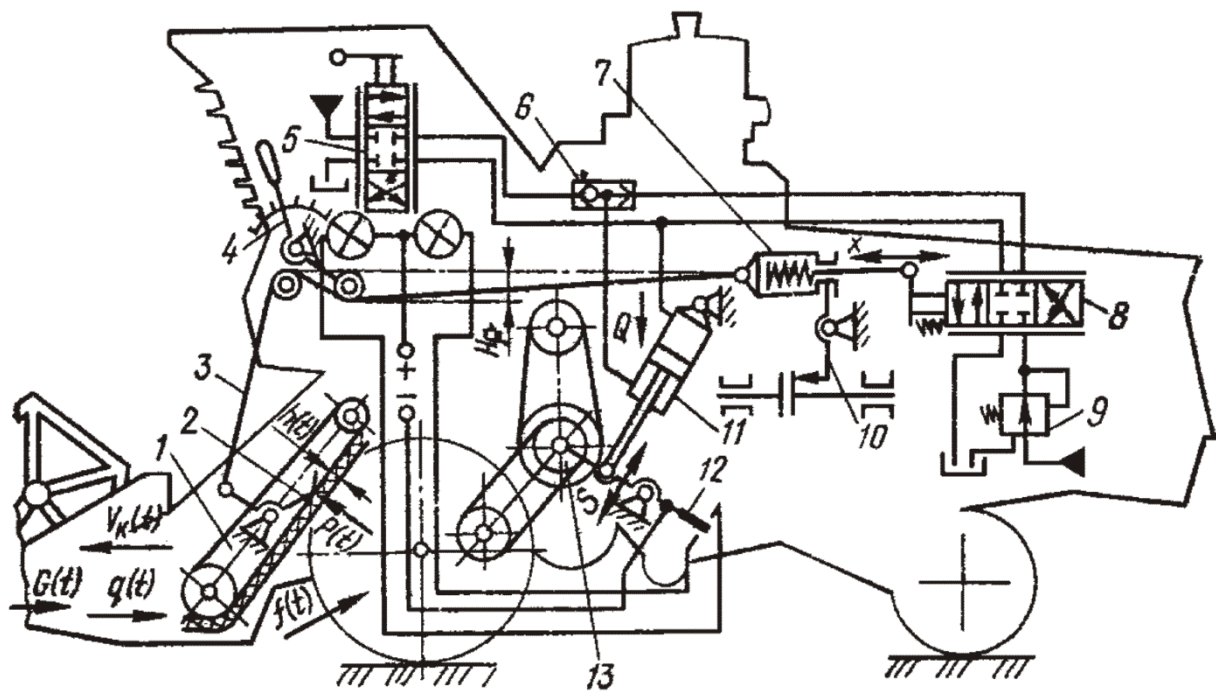
(4.2)

де V_b - окружна швидкість молотильного барабана; ξ - прискорення сили тяжіння; μ - Коефіцієнт опору перетиранню маси в підкладці.

З формули (4.2) видно, що витрата енергії (а отже, і крутний момент) при постійній швидкості обертання барабана залежить не тільки від величини подачі, але і від значення коефіцієнта μ , який поряд з іншими факторами враховує зміни фізико-механічних властивостей обмолочуваної маси, і зокрема її вологості.

Врахування зміни фізико-механічних властивостей хлібної маси є перевагою датчика обертового моменту на валу барабана порівняно з датчиком товщини шару. Але істотним недоліком датчика обертового моменту як параметра регулювання є те, що зміна подачі на ріжучому апараті комбайна фіксуватимуться датчиком на валу барабана через певний проміжок часу t , який називається часом чистого запізнювання. Значення часу запізнювання доходить до 1,25 с.

Система автоматичного регулювання завантаження молотарки по зміні товщини шару маси (мал. 4.13) складається з датчика подачі 2, виконаного у вигляді валу, що спирається трьома полозками на нижні гілки ланцюгів транспортера похилої камери 1. Важіль вала через гнучкий трос 3 і пружинний компенсатор 7 пов'язаний з плунжером розподільника 8. Живлення розподільника здійснюється від зливної магістралі гідروпідсилювача рульового управління через редуційний клапан 9, що встановлює в системі необхідний тиск. Пружина розподільника і пружинний компенсатор 7 виключають наявність люфтів в системі передач і притискають полозки датчика подачі 2 до ланцюгів похилого транспортера жатки 1 (мал. 4.13, б). Масло під тиском від золотника надходить до гідроциліндра 11 управління варіатором 13 ходової частини комбайна. Налаштування регулятора на задану величину подачі хлібної маси $h(t)$ здійснюється рукояткою 4.



ПРИНЦИПОВА СХЕМА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА:
 1 - похила камера; 2 - датчик подачі; 3 - гнучка тяга; 4 - задатчик подачі; 5 - клапан ручного керування; 6 - гідроперемикач;
 7 - пружинний компенсатор; 8 - гідророзподільник; 9 - клапан редукційний; 10 - механізм відключення муфти зчеплення;
 11 - гідроциліндр; 12 - перемикач сигналізації крайніх положень варіатора; 13 - варіатор

Мал. 4.13. Принципова (а) і функціональна (б) схеми автоматичного регулювання завантаження зернозбирального комбайна:

1 - похила камера; 2 - датчик подачі; 3 - гнучка тяга; 4 - задатчик подачі; 5 - кран ручного управління; 6 - гідроперемикач; 7 - пружинний компенсатор; 8 - розподільник; 9 - клапан редукційний; 10 - механізм виключення муфти зчеплення; 11 - гідроциліндр; 12 - перемикач сигналізації крайніх положень варіатора; 13 - варіатор; Ж - жатка; ХЧ - ходова частина.

Коливання кількості маси $h(t)$, що надходить у молотарку, призводить до зміни її товщини в похилій камері і передається плунжеру розподільника.

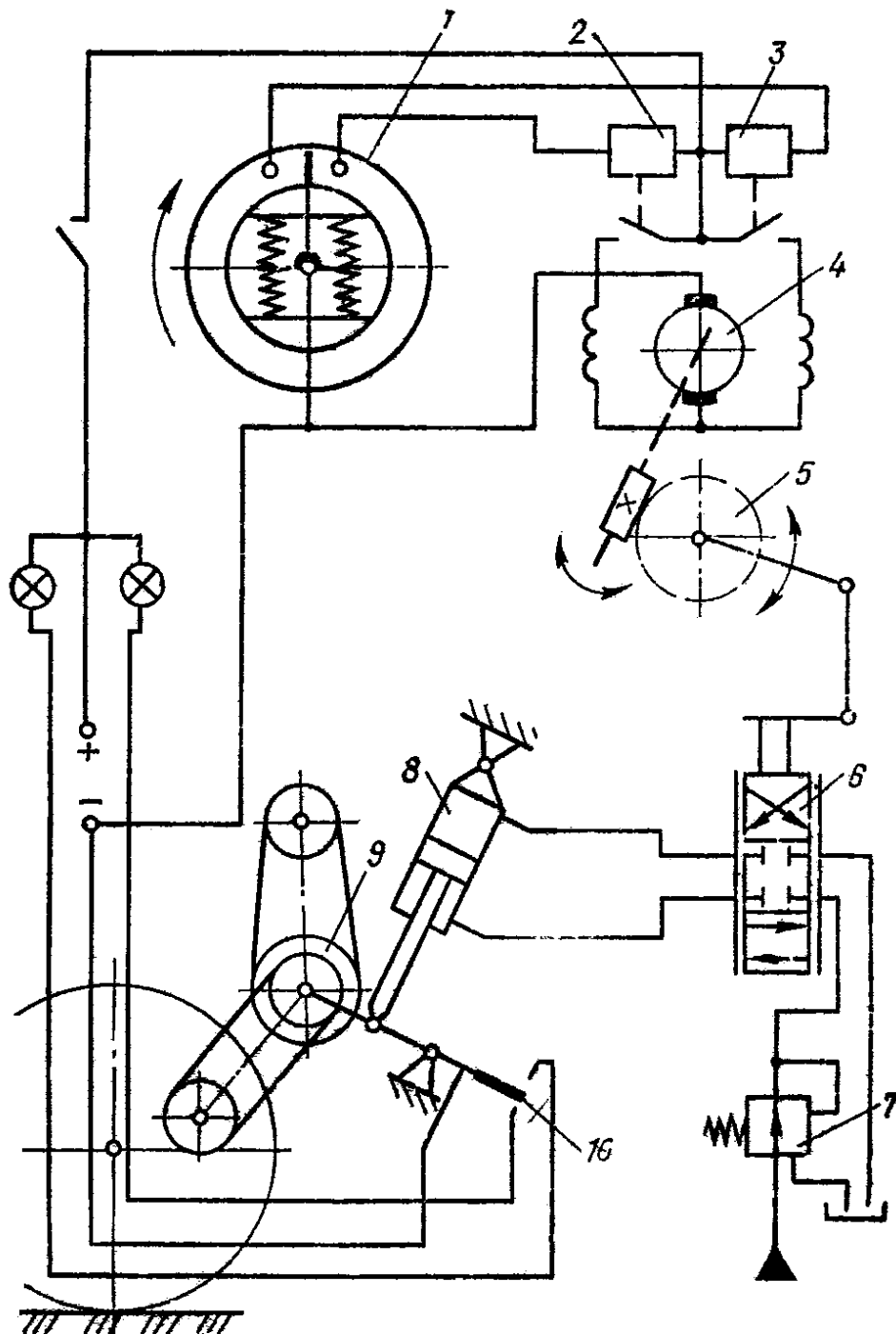
Відповідно до зміни подачі масла в гідроциліндр 11 змінюється передавальне число варіатора ходової частини і швидкість комбайна V_k . Сигнали про граничні положення гідроциліндра і варіатора надходять на лампочки пульта управління комбайном, сигналізуючи про необхідність зміни головної передачі ходової частини комбайна. Гідроперемикач 6 дозволяє здійснювати як автоматичне, так і ручне управління варіатором за допомогою розподільника 5, а кулісний механізм 10 з'єднує муфту зчеплення трансмісії з розподільником 8, покращуючи умови перемикачів передач і рушання з місця. Ця система автоматичного регулювання

подачі хлібної маси в молотарку зернозбирального комбайна конструктивно відпрацьована. Її встановлюють на виробничих зразках комбайна СК-5.

На мал. 4.14 зображена принципова схема автоматичного пристрою для регулювання завантаження молотарки по зміні обертового моменту на валу молотильного барабана. З формули (4.2) випливає, що обертовий момент на валу барабана зростає пропорційно збільшенню завантаження молотарки масою, а також залежить від вологості маси, яка враховується коефіцієнтом μ .

Датчиком зміни обертового моменту служить шків, виконаний у вигляді пружинного ротаційного динамометра 1, що знаходиться в системі передачі крутного моменту від двигуна до валу барабана. Зі зміною обертового моменту на валу барабана ковзний контакт датчика замикає коло живлення реле 2 або 3, які управляють реверсивним двигуном 4 і через редуктор 5 - гідророзподільником 6. По конструкції і принципу роботи виконавчі пристрої - гідроциліндр 8 і варіатор 9 ходової частини комбайна - аналогічні автомату завантаження молотарки по зміні товщини шару маси. Як уже зазначалося, основним недоліком наведеної системи є велике запізнювання в регулюванні.

Господарське використання зернозбиральних комбайнів з автоматичним регулюванням подачі хлібної маси знижує втрати зерна за молотаркою в 1,5...2 рази і підвищує робочу швидкість збирання в середньому на 15%.



Мал. 4.14. Принципова схема регулятора:

1 - датчик обертового моменту; 2 і 3 - електромагнітні реле; 4 - електродвигун; 5 - редуктор; 6 - розподільник; 7 - клапан редукційний; 8 - гідроциліндр; 9 - варіатор; 10 - перемикач сигналізації крайніх положень варіатора.

2. Автоматизація завантаження силосозбиральних комбайнів

Розрахункова довжина різання / вибирається виходячи з технологічних особливостей приготування силосу і визначається за формулою

де $s_{1б}$, $pб$ - діаметр і частота обертання бітерного барабана або живлячого вальця; $па$ - частота обертання ножового барабана; $гн$ - кількість ножів в ножовому барабані.

Довжина частинок подрібненої маси близька до розрахункової тільки в тому випадку, коли швидкість листостеблової маси, що надходить до ножового барабану, дорівнює окружній швидкості барабана або живлячого вальця, отже коли живильний апарат переміщує масу без значного пробуксовування. Це можливо при рівномірному надходженні листостеблової маси до ножового барабану рівним ущільненим шаром.

Створення перших автоматичних пристроїв мобільних сільсько-господарських агрегатів було пов'язано з використанням вже відомих гідромеханічних елементів, які отримали широке застосування при вирішенні проблем комплексної механізації сільського господарства. Подальше удосконалення автоматичних систем управління і розширення їх використання ґрунтується на перспективних розробках в галузі електроніки, автоматизації машин і технологічних процесів. Ефективність застосування автоматизації на сільськогосподарських машинах зумовлена насамперед значною економією трудових ресурсів.

Пристрої автоматики розглядаються в якості елементів, здатних забезпечити якісний стрибок у механізації найбільш трудомістких операцій. Передбачається, що автоматика дозволить застосувати технологічні схеми роботи, що виключають ручну працю. У кілька разів збільшиться продуктивність машин, оскільки застосування автоматів є основною передумовою для вирішення проблеми переведення сільськогосподарських машин на підвищені робочі швидкості. Зменшиться кількість механізаторів на агрегаті. Докорінно зміниться характер праці механізатора за рахунок скорочення одноманітних і утомливих операцій ручного керування і регулювання. Вплив фізичних даних і кваліфікації оператора на якість технологічних процесів буде виключено. Одночасно істотно знизяться втрати врожаю і скоротяться пошкодження рослин. Все це призведе до значного збільшення виробництва сільськогосподарської продукції. Автоматизація сільськогосподарських машин є основним напрямком підвищення ефективності праці механізаторів і поліпшення якості технологічних процесів.

Важко знайти галузь народного господарства, в якій застосування автоматики було б більш актуальним завданням, ніж у сільському господарстві.

Складність автоматизації сільськогосподарських машин і агрегатів зумовлена важкими польовими умовами роботи пристроїв, більшим, ніж в інших областях техніки, кількістю змінних збурюючих впливів на автоматично керовану систему, високими вимогами до точності роботи. Наприклад, помилка копіювання рядків рослин не повинна перевищувати 20-30 мм, що накладає надзвичайно високі вимоги на параметри пристроїв автоводіння. Водночас, у зв'язку з відносно низькою вартістю сільськогосподарської техніки пред'являються досить жорсткі вимоги до вартості пристроїв автоматики. Труднощі також полягають у тому, що більша частина випущених тракторів і сільськогосподарських машин мають принципові особливості, що утрудняють роботу в автоматичному режимі, так як сільськогосподарська техніка розроблялася без урахування її роботи з пристроями автоматики.

Через ці особливості загальні конструктивні та технологічні рішення, застосовувані в промисловій автоматизації, не можуть бути перенесені на сільськогосподарські машини.

Засоби сільськогосподарської автоматики повинні також забезпечувати нормальну роботу в надзвичайно різноманітних і змінних технологічних умовах. При цьому вони не повинні вимагати ручного налаштування при зміні умов роботи.

У розробці засобів сільськогосподарської автоматики намітилися дві основні тенденції. Перша полягає у створенні та впровадженні найпростіших дешевих механічних і гідромеханічних автоматів, що складаються з традиційних для сільськогосподарського машинобудування елементів. Ці автомати органічно поєднуються з машинами і розглядаються як їх невід'ємні вузли.

Друга тенденція полягає у створенні багатоцільових автоматів, в яких використовуються новітні досягнення електроніки. У цих пристроях передбачається автоматичне налаштування елементів при зміні умов роботи, а також багаторазове використання найбільш дорогих блоків в сезоні на різних машинах і технологічних операціях. На базі цих багатоцільових пристроїв передбачається створення сільськогосподарських машин-роботів, що різко скорочують кількість

обслуговуючого персоналу на найбільш трудомістких сільськогосподарських операціях.

Залежно від призначення пристрої автоматики для сільськогосподарських машин, що застосовуються в рослинництві, можна розділити на такі пристрої: автоматичного водіння; автоматичного регулювання завантаження; автоматичного керування положенням робочих органів; автоматичного управління робочими органами дискретної дії (проріджувачі, сепаратори); контролю якості роботи; автоматичної налаштування на оптимальні режими робіт.

Література:

3. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: АграрМедіаГруп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;

4. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 207 с. – ISBN 5-337-01695-4;

5. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995