

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

з дисципліни

**«Електротехнічні комплекси промислових підприємств»**

для студентів спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

освітньої програми «Енергетичний менеджмент»  
всіх форм навчання

**2024**

Конспект лекцій з дисципліни «Електротехнічні комплекси промислових підприємств» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Енергетичний менеджмент» всіх форм навчання / Укл.: Д.О. Кулагін – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024 – 87 с.

Укладач: Д.О. Кулагін, д-р техн. наук, професор, професор кафедри ЕПП

Рецензент: Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, професор, професор кафедри ЕПП

Відповідальний за випуск: О.А. Шрам, канд. техн. наук, доц., зав. кафедри ЕПП

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Електропостачання  
промислових підприємств»  
Протокол № 6 від 31.01.24

Затверджено  
на засіданні НМК  
електротехнічного факультету  
Протокол № 6 від 25.04.24

## **Змістовий модуль 1. Основні відомості. Методи аналізу та синтезу електротехнічних комплексів промислових підприємств**

### **Тема 1. Вступ.**

**Значення дисципліни при підготовці фахівців з електротехніки, її зміст, зв'язок з іншими дисциплінами навчального плану.**

Електротехнічні комплекси та системи - галузь науки і техніки, що займається вивченням процесів у складних електротехнічних і електротехнологічних установках та системах, котрі складаються із взаємопов'язаного комплексу електротехнічних пристроїв, систем керування ними, засобів підвищення енергетичної ефективності та продуктивності, їх математичним та фізичним моделюванням, дослідженням можливості покращання параметрів та характеристик з метою забезпечення оптимального проектування і більш ефективної роботи в різних галузях господарства.

### **Тема 2. Механіка електротехнічних комплексів.**

**Загальні положення механіки електротехнічних комплексів.**

Завдання - визначення параметрів і характеристик механічного руху рухомої частини електроприводу, в яку входять здійснює рух частина електродвигунові пристрої, передавальний пристрій (якщо він є) і виконавчого органу робочої машини. Останній по

визначенням не входить до складу електроприводу, але при вивченні законів руху не може розглядатися відокремлено, так як формування необхідного закону руху виконавчого органу є основним завданням електроприводу. А параметри, що характеризують режим роботи виконавчого органу, істотно впливають на рух всієї системи в цілому.

Параметри механічного обертального руху: момент (момент сили)  $M$ , Н \* м;

кут (кутове переміщення)  $\varphi$ , рад; кутова швидкість  $d\varphi/dt = \omega$ , рад / с; кутове прискорення  $d\omega/dt = d^2\varphi/dt^2 = \varepsilon$ , рад / с.

Параметри механічного поступального руху: сила  $F$ , Н; шлях (лінійне переміщення)  $x$ , м; лінійна швидкість  $dx/dt = v$ , м / с; лінійне прискорення  $dv/dt = d^2x/dt^2 = a$ .

У ряді випадків для характеристики руху використовується поняття ривка,

$$dv/dt = \rho \text{ рад / с}^3, \text{ і відповідно } da/dt = r, \text{ м / с}^3.$$

Елементи електроприводу, в яких може запасатися енергія, характеризуються в залежності від виду енергії. Інерційні елементи запасують кінетичну енергію і характеризуються при обертальному русі моментом інерції  $J$ , кг\*м<sup>2</sup>; при поступовому русі масою  $m$ , кг; пружні елементи, деформація яких підчиняється закону Гука, запасують потенціальну енергію і характеризуються коефіцієнтом жорсткості при крученні  $c_{кр}$ , Н\*м / рад, коефіцієнтом жорсткості при розтягуванні або стисненні  $c_{л}$ , Н / м.

Іноді при розрахунках використовується поняття податливості валопровода  $1/c_{кр} = e_{кр}$  або податливості лінійного елемента  $1/c_{л} = e_{л}$ .

Електропривод, в якому може виконуватися рух в обох можливих напрямках, називається реверсивним, а зсування напрямку руху – реверсом електроприводу.

Залежно від напрямку потоку потужності розрізняють такі режими роботи електроприводу: двигуневий, коли механічна енергія спрямована від електрорушійного пристрою до виконавчого органу робочої машини, і гальмівний (генераторний), відповідний зворотному напрямку механічної енергії. Граничними режимами при переході від двигуневий до

гальмівного (або від гальмівного до двигунового) є: режим ідеального холостого ходу (XX), коли електропривід рухається з певною швидкістю, але при цьому електромагнітний момент обертового електрорушійного пристрою дорівнює нулю (відповідно дорівнює нулю електромагнітна сила лінійного електродвигуна). І режим короткого замикання (КЗ), коли швидкість електроприводу дорівнює нулю (електропривод нерухомий), в момент (відповідно сила) електрорушійного пристрою не дорівнює нулю. Для обох граничних режимів - XX і КЗ - механічна потужність ( $P = M\omega$  или  $P = Fv$ ) дорівнює нулю.

Моменти (сили), прикладені до окремих частин електропривода, можуть бути рушійними, вони діють в напрямку руху, або гальмують, якщо вони діють в протилежному напрямку.

Для визначення знаків параметрів, характеризуючих рух електроприводу, використовується наступне правило: один з напрямків руху приймається за позитивний (наприклад, проти годинникової стрілки при обертальному русі і вгору або умовно вперед при поступовому русі), тим самим одночасно визначаються знаки швидкості та прискорення; для моментів (відповідно сил) електрорушійного пристрою позитивний напрямок дій збігається з позитивним напрямком руху; для моментів (відповідно сил) виконавчого органу робочої машини, що розглядаються як моменти (сили) опору позитивним вважається напрямок, зустрічний напрямку руху.

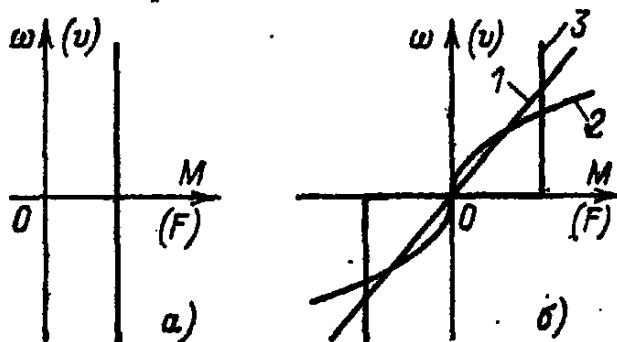


Рис. 1.2.1. Залежність кутової (лінійної) швидкості від моменту (зусилля) навантаження при активно (а) та реактивному (б) навантаженнях.

Моменти (сили) виконавчого органу робочої машини прийнято розділяти на активні та реактивні. Активні моменти (сили) обумовлені впливом на виконавчий орган зовнішніх сил (наприклад, сили гравітації в підйомних механізмах, сили вітру і т. ін.). Ці моменти (сили) не залежать від напрямку руху або, як правило, не залежать від швидкості (рис. 1.2.1, а). Реактивні моменти (сили) виникають як реакція при русі виконавчого органу - це моменти (сили) в'язкого тертя першого або другого роду (відповідно до залежностей 1 і 2 на рис. 1. б) або сухого тертя (залежність 3). В останньому випадку при зміні напрямку руху реактивний момент (сила) сухого тертя стрибком змінює свій знак.

### Розрахункові схеми електротехнічних комплексів.

Механічна частина електропривода є, як правило, складною електромеханічною системою, що складається з інерційних тел - роторів (якорів) електродвигунів обертального руху, бігунів лінійних двигунів, з'єднувальних муфт, редукторів, різного роду шківів, зірок, барабанів, ходових коліс, підйомних

судин, шпинделів, валів і т. п., пов'язаних між собою пружними ланками - канатами, ланцюгами, ременями, валопроводами і т.ін.; при цьому різні пов'язані між собою частини електроприводу можуть здійснювати рух з різними параметрами (з різними швидкостями) або рух різного виду, як, наприклад, в підйомних установках з обертовим електродвигуновим пристроєм виконавчий орган рухається поступово.

На рис. 1.2.2 наведено характерні кінематичні схеми ряду механізмів з електродвигунами обертального руху. На цих схемах стрілками показані напрямки руху окремих ланок кінематичних ланцюгів і діючих на них моментів або сил. В обмеженій кількості випадків робочий орган виконавчого механізму безпосередньо пов'язаний з валом електродвигуна, як це показано, наприклад на рис. 1.2.2, а. До таких механізмів відносяться насоси, вентилятори, електрошпинделі та ін. В переважній більшості випадків

електропривод містить передавальний пристрій, що складається з пристроїв різного типу, як на рис.1.2.2, б.



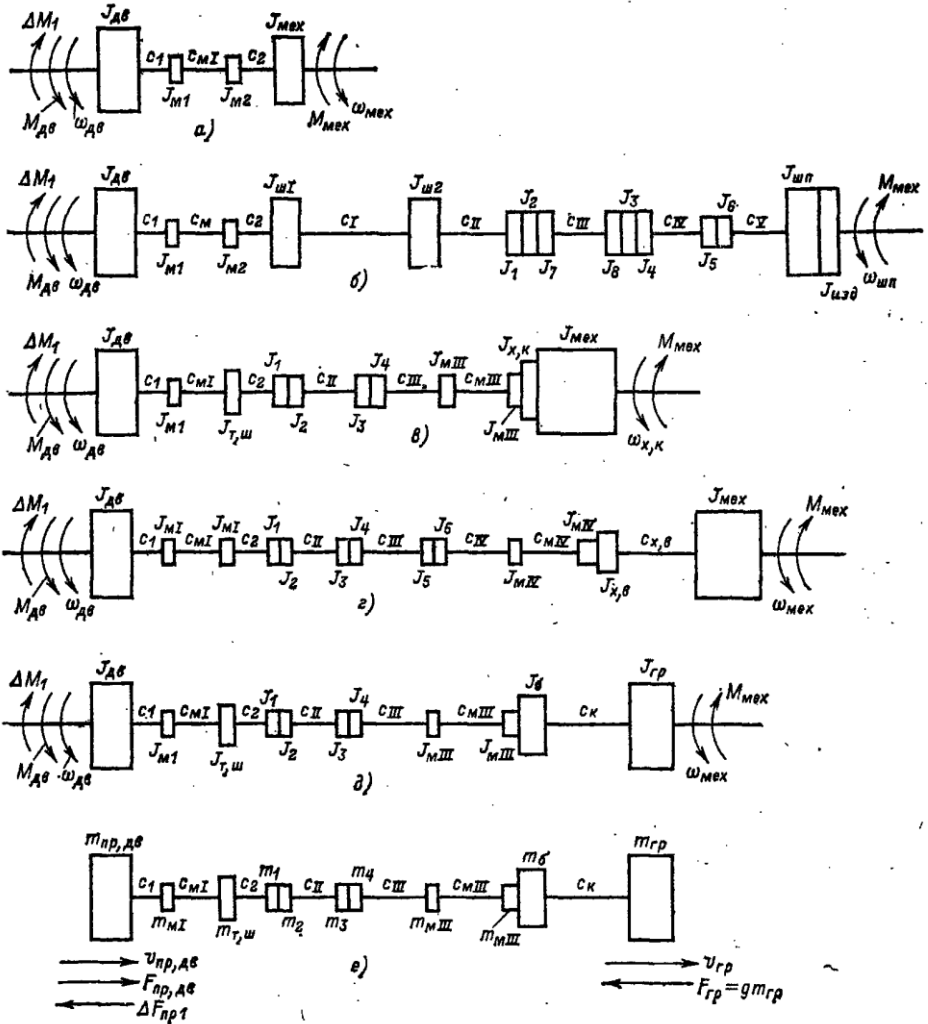


Рис. 1.2.3. Розрахункові оберталні схеми (а-д) механічної частини електроприводу за рис.1.2.2 та поступальна схема (е) для рис. 2.д.

### Рівняння роботи електротехнічних комплексів.

Найбільш зручним методом складання рівняння механізмів є рівняння руху Лагранжа другого роду. При цьому допускається, що рух механізму досліджується в системі узагальнених координат, в якості яких мають бути прийняті незалежні параметри, визначаючи положення механізму, а саме кути повороту обертаючихся навколо нього нерухомих осей дискретних інерційних елементів або їх лінійних переміщень.

Рівняння Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial W_k}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial W_k}{\partial q_i} + \frac{\partial W_p}{\partial q_i} + \frac{\partial W_d}{\partial q_i} = Q_i,$$

Де  $W_k$  - кінетична енергія системи;

$W_p$  - потенційна енергія системи;

$W_d$  - робота сил розсіювання;

$q_i$  - узагальнена координата;

$\dot{q}_i$  - узагальнена швидкість;

$Q_i$  - узагальнена зовнішня сила, відповідна узагальненій координаті.

При обертальному русі:  $q_i = \Phi_i$ ;  
 $\dot{q}_i = \dot{\omega}_i$ ;  $Q_i = M_i$ .

При поступальному:  $q_i = x_i$ ;  $\dot{q}_i = v_i$ ;  $Q_i = F_i$ .

На рис. 1.2.4 показані структурні схеми механічної частини електропривода, на котрих моменти пружних елементів позначені:

$$M_{i,i+1}(p) = c_{xp i, i+1} [\omega_i(p) - \omega_{i+1}(p)]/p.$$

Передаточна функція для трьох масової системи має вигляд:

$$W_{\omega 3}(p) = \frac{\omega_3(p)}{M_{дв}(p)} = \frac{c_{кр12}c_{кр23}}{p \{ J_1 J_2 J_3 p^3 + [J_1 J_2 c_{кр23} + J_1 J_3 (c_{кр12} + c_{кр23}) + J_2 J_3 c_{кр12}] p^2 + c_{кр12}c_{кр23} (J_1 + J_2 + J_3) \}};$$

Для двумасової:

$$W_{\omega 2}(p) = \frac{\omega_2(p)}{M_{дв}(p)} = \frac{c_{кр12}}{p [J_1 J_2 p^2 + c_{кр12} (J_1 + J_2)]};$$

Для одно масової (жорсткої механічної ланки):

$$W_{\omega 1}(p) = \frac{\omega(p)}{M_{дв}(p)} = \frac{1}{J_{\Sigma} p}.$$

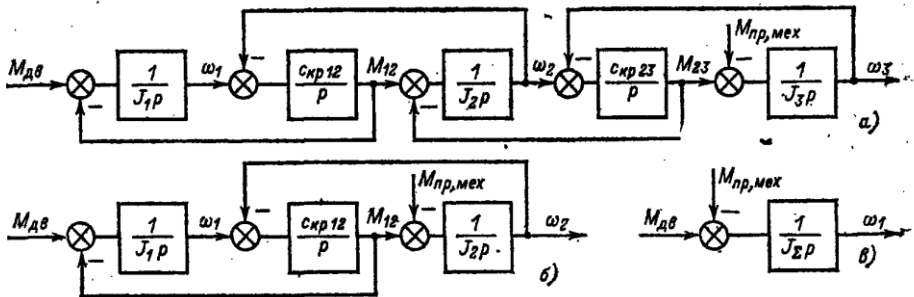


Рис. 1.2.4. Структурні схеми три масової (а), двумасової (б) та одно масової (в) систем.

### Тема 3. Основні характеристики елементів електротехнічних комплексів.

#### Електричні двигуни.

Електричні двигуни - це електрична машина, в якій електрична енергія перетворюється на механічну, побічним ефектом є виділення тепла.

Принцип дії електродвигунів.

В основу роботи будь-якої електричної машини покладено принцип електромагнітної індукції. Електродвигун складається з статора (нерухомої частини) і ротора (якоря у випадку машини постійного струму) (рухомий частини). У статорі покладена обмотка (можна сказати електричний ланцюг), за якою, створивши напругу, йде електричний струм (струм збудження). Цей струм збуджує магнітне поле машини, яке, в свою чергу, приводить в рух рухому частину (ротор/якір). Сказавши точніше, магнітне поле статора індукуює струм в обмотці ротора. Взаємодія магнітного поля статора і електричного поля ротора є причиною руху ротора, точніше створюється обертовий момент, саме він і є причиною обертання ротора двигуна. Таким способом і відбувається перетворення електричної енергії, що подається на обмотку збудження, в механічну (кінетичну) енергію обертання. Отриману механічну енергію можна використовувати приводячи в рух механізми.

### **Перетворювачі електричної енергії.**

Перетворювач електричної енергії — електротехнічний пристрій, призначений для перетворення параметрів електричної енергії (напруги, частоти, числа фаз, форми сигналу). Для реалізації перетворювачів широко використовуються напівпровідникові прилади, тому що вони забезпечують високий ККД.

Системи живлення, окрім перетворення, часто включають резервування і регулювання напруги.

Один із способів класифікації систем перетворення енергії в залежності від того, яким є вхід і вихід: для змінного струму (англ. AC) чи для постійного струму (англ. DC).

### **Електричні апарати.**

Електричні апарати – це електротехнічні пристрої, призначені для керування електричними і неелектричними об'єктами, а також для захисту цих об'єктів при ненормальних режимах роботи. Електричні апарати відіграють важливу роль на

всіх етапах виробництва, передачі, розподілу і споживання електроенергії.

Високовольтні апарати призначені для роботи в мережах напругою  $U \geq 1000$  В. Високовольтні вимикачі – це пристрої, призначені для вмикання і вимикання електричних кіл напругою вище 1000 В під навантаженням і для автоматичного вимикання при небезпечних перевантаженнях і коротких замиканнях.

До апаратів низької напруги відносять пристрої, що працюють в електричних мережах до 600 В. Серед них розрізняють комутаційні апарати, апарати захисту, пускові й регулювальні резистори, реле різного призначення.

### **Давачі.**

Давач, датчик, сенсор — вимірювальний пристрій у вигляді конструктивної сукупності одного або декількох вимірювальних перетворювачів величини, що вимірюється і контролюється, та котрий виробляє вихідний сигнал, зручний для дистанційного передавання, зберігання та використання у системах керування і має нормовані метрологічні характеристики.

Наприклад, у гірничій справі широко застосовуються давачі зольності, вологості, сірчистості, рівня матеріалу (наприклад, у бункерах), кінцеві вимикачі (наприклад, на конвеєрах) тощо.

Давачі є елементами технічних систем, призначених для вимірювання, сигналізації, регулювання, керування приладами та процесами. Давачі перетворюють величину, яка контролюється (тиск, температура, витрата, концентрація, частота, швидкість, переміщення, електрична напруга, електричний струм тощо) у сигнал (електричний, оптичний, пневматичний), зручний для вимірювання, передавання, перетворення, зберігання та реєстрації інформації про стан об'єкта вимірювання.

Історично та логічно давачі пов'язано з технікою вимірювання та вимірювальними приладами, такими як: термометри, витратоміри, прилади для вимірювання тиску та

інше; узагальнювальний термін «давач (датчик)» закріпився завдяки розвитку автоматичних систем керування, як елемент узагальненої логічної концепції «давач — система керування — виконавчий пристрій — Об'єкт керування». Спеціальним випадком є використання давачів у автоматичних системах реєстрації параметрів, наприклад, у системах наукових досліджень.

### **Корегуючі елементи.**

Коригуючі пристрої служать для формування такого закону управління, який забезпечив би необхідну якість процесу управління. У тому випадку, коли закон управління відомий і вибирається у вигляді комбінації деяких типових законів, коригуючий пристрій називається регулятором.

Залежно від способу включення коригуючого пристрою у структурі системи управління розрізняють: послідовні, зустрічно-паралельні та паралельні коригуючі пристрої (типові регулятори включають, як правило, тільки послідовно).

### **Блочні елементи керування.**

Аналогові елементи. Командні пристрої і датчики. До цієї групи пристроїв ставляться: безконтактні сільсинні командоапарати СКА, задатчики швидкості з електроприводом, датчики напруги, потужності, струму і швидкості (ЕРС).

Сільсинні командоапарати СКА призначені для безконтактного введення завдань

в схему керування електроприводом. Вони випускаються в трьох варіантах: з приводом від рукоятки (СКАР), з педальним приводом, (СКАП) та з маховичним приводом (СКАЗ).

В якості задаючого елемента командоапаратів застосовується безконтактний сільсин, однофазна статорна обмотка якого отримує живлення від мережі змінного струму частотою 50 Гц, напругою 110 В. Вихідна напруга знімається з роторної обмотки сільсина. Поворот ротора сільсина в межах  $+60^\circ$ .

Цифрові елементи керування. Пристрої цифрової гілки УБСР виконані на інтегральних схемах (УБСР-ДІ), можуть бути використані при побудові найбільш поширених типових вузлів і систем електроприводу, таких як системи регулювання швидкості і співвідношення швидкостей, а також позиційні системи, що застосовуються при автоматичній перебудові положення механізмів.

До складу УБСР-ДІ входять наступні пристрої: функціональні, які являють собою закінчені схеми для виконання різних арифметичних і логічних операцій; універсальні логічні, які складаються з наборів однотипних логічних елементів або однотипних груп елементів, входи і виходи яких виведені на поєднувач, що дозволяє виконувати різні схемні комбінації пристроїв; тимчасові для задання в системах управління етапових тимчасових інтервалів, тактування і стробування; погоджують для організації зв'язків з гальванічною розв'язкою між апаратами управління, пристроями обробки інформації систем автоматичного управління на інтегральних схемах і виконавчими апаратами; цифро-аналогового для перетворення цифрових сигналів в аналогові і частотні сигнали в напругу і навпаки, щоб можна було організувати зв'язок цифрових частин систем управління з аналоговими; введення і виведення, призначені для завдання і візуального контролю цифрових значень регульованих параметрів при взаємодії людини-оператора з системою автоматичного управління; допоміжні, наприклад, для контролю та налаштування; живлення всіх перелічених пристроїв.

### **Джерела живлення.**

Джерело живлення — елемент електричного кола, в якому зосереджена електрорушійна сила. Джерела живлення характеризуються значенням електрорушійної сили і внутрішнього опору. До джерел живлення належать гальванічні елементи, електрохімічні батареї, акумулятори, термопари, сонячні батареї, електричні генератори тощо.

Залежно від виду електрорушійної сили джерела живлення поділяють на джерела живлення постійного струму і джерела живлення змінного струму.

Розрізняють первинні джерела живлення, які безпосередньо перетворюють інші види енергії в електричну і вторинні джерела живлення, які виконують роль проміжних перетворювачів електричної енергії, такі як блоки живлення електронних приладів, трансформатори тощо.

### **Муфти з електромагнітним керуванням.**

Електромагнітні муфти здійснюють з'єднання і роз'єднання ведучого і веденого валів у приводі (рис. 1.3.1).

На рис. 1.3.1 показаний принцип будови муфти з нерухомою обмоткою збудження 3. Якщо подати напругу на цю обмотку, то магнітний потік  $\Phi$ , що виник створить електромагнітні сили між деталями 2 і 4, які, перемістивши назустріч одна одній, ввійдуть у зачеплення. Завдяки наявності пазів і виступів у деталях 1 і 2, 4 і 5 елементи 1 і 5, зв'язані з ведучою і веденою частинами привода, не зможуть зміщатися один щодо іншого, тобто вони ввійдуть у зачеплення.

Контактори їх розрізняють за родом струму: постійного, змінного, а також змінного струму підвищеної частоти (до 10 кГц). Вони можуть виконуватися з керуванням на постійному чи на змінному струмі частотою 50 чи 60 Гц незалежно від роду струму головного кола.

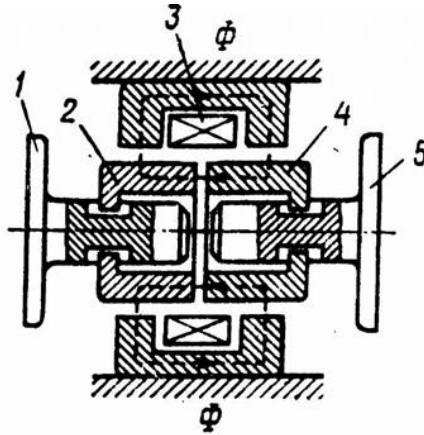


Рис. 1.3.1 Електромагнітна муфта.

#### Тема 4. Способи регулювання електротехнічних комплексів.

##### Загальні відомості

Під регулюванням швидкості електроприводу розуміється цілеспрямована її зміна на вимогу операторів або засобами системи автоматичного керування незалежно від моменту на валу відповідно до вимог, що висуваються до закону руху виконавчого органу робочої машини.

Регулювання швидкості електроприводу забезпечується впливом на параметри електричних ланцюгів або джерел живлення. Можливо також регулювання швидкості операціями в передачах. Для оцінки властивостей регульованого електроприводу вводиться ряд показників.

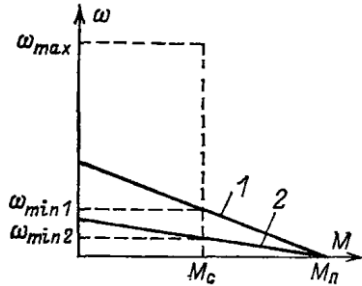


Рис.1.4.1. До визначення поняття статизму систем регулювання електроприводу.

Діапазон регулювання - відношення максимальної швидкості при регулюванні до мінімальної.

$$D = \omega_{max} / \omega_{min}$$

Верхня межа швидкості і приводу обмежена механічною міцністю якоря. Для двигунів постійного струму верхня межа швидкості іноді обмежується також комутаційною здатністю колектора. Нижня межа швидкості, як правило, обмежується можливістю підтримки заданої швидкості з необхідною точністю при можливих коливаннях моменту статичного навантаження на валу двигуна. Тут під точністю розуміється відповідність заданій і дійсній швидкостей при найбільших відхиленнях моменту навантаження від заданого значення. Очевидно, що для електроприводу точність регулювання швидкості буде виділятися жорсткістю механічних характеристик. При зниженні модуля (абсолютного значення) жорсткості буде зменшуватися і точність підтримки швидкості. Для оцінки точності регулювання можна скористатися відносним відхиленням швидкості від заданого значення

$$\delta = \Delta \omega_{max} / \omega_a$$

де  $\omega_a$  - задане значення швидкості при регулюванні;  
 $\omega_a$  - найбільше значення відхилення швидкості від заданого значення, обумовлене зміною навантаження.

На практиці для оцінки похибки регульованої величини використовується поняття статизму механічної характеристики системи електропривода під яким розуміється відношення мається відношення зміни швидкості двигуна  $\Delta\omega_{\text{НОМ}}$  показане на рис. 1.4.2 і викликане зміною навантаження на його валу від ідеального холостого ходу до номінального, швидкості холостого ходу  $\omega_{0p}$  на заданій регульовальній характеристиці

$$s = \Delta\omega_{\text{НОМ}} / \omega_{0p}$$

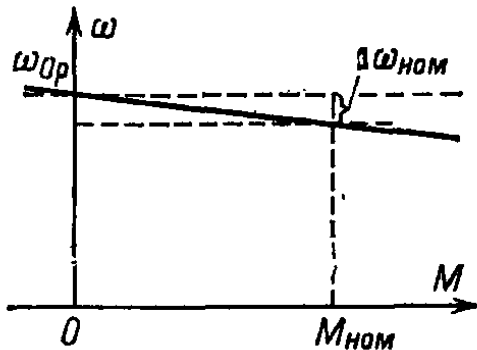


Рис.1.4.2. До визначення поняття діапазона регулювання швидкості.

Іноді статизм виражають у відсотках, в цьому випадку:

$$s \% = (\Delta\omega_{\text{НОМ}} / \omega_{0p}) \cdot 100.$$

### Параметричні способи регулювання.

Резисторне регулювання швидкості електроприводів.

Регулювання здійснюється шляхом зміни опорів резисторів, включених в головні ланцюги двигунів – якорів ДПС, статорів або роторів АД. Способи резисторного регулювання швидкості ДПС і АД мають багато спільного, а саме: регулювання швидкості в двигуневому режимі проводиться тільки вниз від основної швидкості; модуль жорсткості механічних характеристик зменшується при зниженні кутової швидкості, і втрати потужності в головному ланцюзі на при цьому зростають; діапазон регулювання обмежений; у всіх випадках, крім регулювання швидкості АД зміною опору в ланцюзі статора, допустимий момент навантаження практично можна вважати постійним. Але разом з тим існують і специфічні особливості кожного з двигунів.

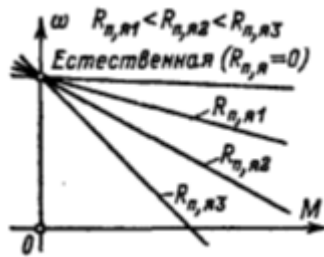


Рис.1.4.3. Механічні характеристики ДПС НЗ при реостатному регулюванні. ( $R_{п.я3} > R_{п.я2} > R_{п.я1}$ ).

Регулювання швидкості АД зміною числа пар полюсів

Спосіб використовується для регулювання швидкості АД з короткозамкненим ротором. Його принцип зрозумілий безпосередньо з виразу для синхронної швидкості

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p.$$

Зміна числа пар полюсів  $p$  виконується шляхом перемикання обмотки статора. При цьому число пар полюсів короткозамкненого ротора змінюється автоматично. Так як, число пар полюсів може бути тільки цілим числом, то даний спосіб забезпечує ступеневе регулювання швидкості.

Для зміни числа пар полюсів необхідно, щоб в пази статора були укладені незалежні обмотки з різними значеннями  $p$  або при одній обмотці статора була можливість зміни її схеми підключення. У першому випадку помітно збільшуються габарити і маса АД, але при цьому можливо практично будь яке співвідношення чисел пар полюсів обмотки. Як правило, такі АД виконуються з двома обмотками з співвідношенням чисел пар полюсів від 3: 1 до 12:1.

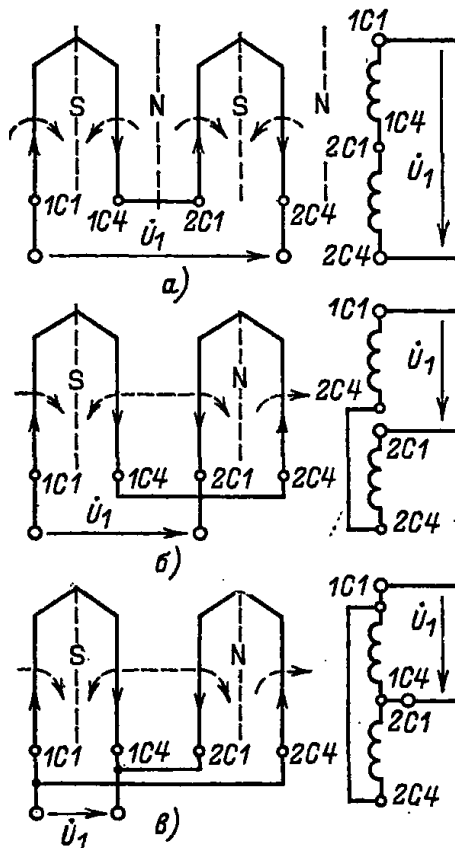


Рис. 1.4.4. Принципові схеми включення секцій однієї фази обмотки статора, які забезпечують зміну числа пар полюсів. Регулювання швидкості шунтуючими резисторами.

Використовується для ДПС, коли регулівні резистори вмикаються паралельно та послідовно з якорем. На рис. 1.4.4 показана схема, в якій зміна швидкості ДПС НЗ шляхом регулювання опорів. Вони являють собою дільник напруги.

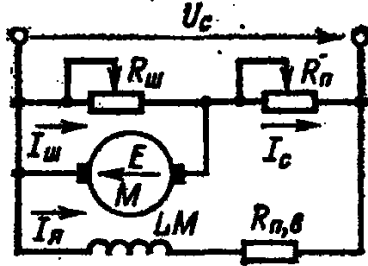
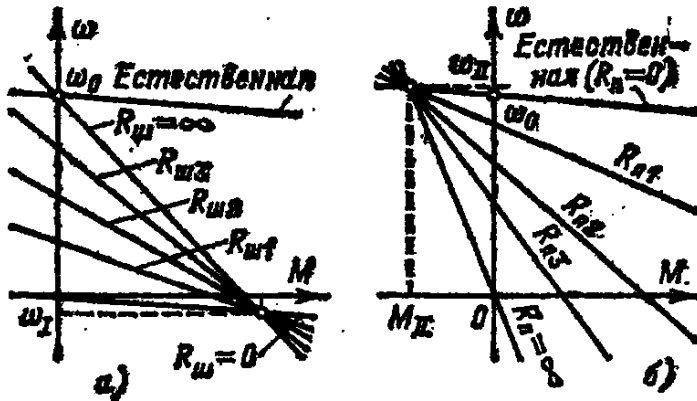


Рис. 1.4.5. Схема включення ДПТ НЗ при регулюванні швидкості шунтуванням якоря.  
Рівняння електромеханічної та механічної характеристик:

$$\omega = a\omega_0 - \frac{R_я + aR_п}{k\Phi_{ном}} I_я;$$

$$\varphi = a\omega_0 - \frac{R_я + aR_п}{(k\Phi_{ном})^2} M,$$

де  $a = R_ш / (R_ш + R_я)$  - коефіцієнт ділення напруги мережі дільником  $R_ш$  и  $R_я$  при ідеальному холостому ході двигуна.



а —  $R_{ш} = \text{var}; R_{п} = \text{const}; R_{ш1} < R_{ш2} < R_{ш3};$   
 б —  $R_{ш} = \text{const}; R_{п} = \text{var}; R_{п1} < R_{п2} < R_{п3}.$

Рис.1.4.6. Механічні характеристики ДПС НЗ, ввімкненого за схемою шунтування.

Регулювання в залежності від типу комплексу та роду струму.

Основні способи управління швидкістю обертання двигуна постійного струму:

1. зміна струму в ланцюзі обмотки збудження при стабільному напрузі на обмотці якоря;
2. зміна напруги на обмотці якоря при стабільному струмі в ланцюзі обмотки збудження;
3. зміна напруги на обмотці якоря, а також зміна струму в ланцюзі обмотки збудження.

Якщо технологічний процес включає необхідність зміни напрямку обертання двигуна (реверс), ця можливість також може бути виконана одним із способів - в ланцюзі обмотки якоря або обмотки збудження. Така можливість реалізується зміною полярності керуючого постійної напруги або струму.

Найбільш поширені способи регулювання швидкості двигуна змінного струму:

1. зміна додаткового опору кола ротора,
2. зміна напруги, що підводиться до обмотки статора,  
двигуна
3. зміна частоти живлячої напруги,
4. перемикання числа пар полюсів.

### **Тема 5. Вибір елементів електротехнічних комплексів.**

#### **Вибір елементів за родом струму, принципом дії та напругою.**

Для вимірювання електричних величин найбільш частіше застосовуються наступні прилади:

сили струму	–	амперметр;
напруги	–	вольтметр;
потужності	–	ватметр;
електроенергії	–	електричний лічильник;
коефіцієнта потужності	–	фазометр;
опору	–	омметр, вимірювальний
міст;		
частоти	–	частотомір.

Електровимірювальні прилади розрізняються за наступними ознаками: вимірювана фізична величина; рід струму; клас точності; принцип дії; спосіб відліку та характер шкали; характер застосування й установки, та іншим.

За родом струму прилади поділяються так:

- прилади, призначені для вимірювання на постійному струмі;
- прилади, призначені для вимірювання на змінному струмі;
- прилади, призначені для вимірювання на постійному і змінному струмі.

Існують вісім класів точності приладів:

0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,5 ; 4,0 .

За принципом дії прилади підрозділяються так: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, індукційні, термоелектричні, випрямні та інші.

За способом відліку прилади можуть бути такими, що показують (з безпосереднім відліком по шкалі) та такими, що реєструють (самописи, осцилографи). Шкала приладів, що показують, може бути рівномірною (всі поділки однакові) та нерівномірною (не всі поділки однакові); більш точне вимірювання здійснюється за допомогою рівномірної шкали.

За характером застосування прилади підрозділяються так: стаціонарні (встановлювані на одному місці), переносні, транспортні (для мобільних установок). Встановлювати прилади можна вертикально (як правило, щитові прилади), горизонтально та під кутом до горизонталі.

Вибір електровимірювального приладу здійснюється в такий спосіб:

- 1) визначається вимірювана фізична величина та прилад для вимірювань (сила струму – амперметр, напруга – вольтметр, потужність – ватметр і так далі);
- 2) визначається рід струму в колі (постійний, змінний);
- 3) визначається необхідний клас точності приладу;
- 4) визначається характер застосування й установки;
- 5) визначається система приладу (магнітоелектрична, електромагнітна і так далі);
- 6) визначається межа вимірювання приладу;
- 7) визначається ціна поділки приладу.

### **Вибір за конструктивним виконанням.**

При виборі конструктивного виконання двигуна необхідно враховувати умови його експлуатації, спосіб охолодження і виконання за способом монтажу. У загальному випадку вибір двигунів за конструктивним виконанням передбачає:

- вибір кліматичного виконання і категорії розміщення;
- вибір виконання за ступенем захисту;
- вибір виконання за способом охолодження;

- вибір виконання за способом монтажу.

### **Вибір за потужністю.**

При виборі двигуна за потужністю необхідно намагатися, щоб номінальна потужність двигуна була достатньо близькою до необхідної потужності. Вибір двигуна з номінальною потужністю, що набагато перевищує необхідну, призводить до того, що двигун протягом усього періоду експлуатації працює недовантаженим, а отже, із низькими значеннями ККД і коефіцієнта потужності, що веде до неоправданих експлуатаційних витрат, при цьому зростають габаритні розміри, маса і вартість електроприводу. Визначаючи необхідну номінальну потужність привідного двигуна, спочатку обчислюють його розрахункову потужність  $P_{розр.}$ . Методика визначення  $P_{розр.}$  залежить від режиму роботи електроприводу.

Якщо режим роботи електроприводу тривалий з постійним навантажувальним моментом, то розрахункова потужність привідного двигуна, кВт

$$P_{розр.} = M_c \omega \cdot 10^{-3} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot M_c n_2,$$

де  $M_c$  — статичний момент, Н×м;  $n_2$  - частота обертання вала двигуна, об/хв.

По каталогу на електродвигуни прийнятого принципу дії з урахуванням напруги і частоти обертання вибирають двигун із номінальною потужністю, на 10-20% перевищуючий

розрахункову, тобто  $P_{ном.} = (1,1 \div 1,2) P_{розр.}$  По

розрахунковому значенню потужності  $P_{розр.}$  вибирають двигун, номінальна потужність якого перевищує розрахункову на 10-20% .

## **Тема 6. Загальні принципи керування електротехнічними комплексами.**

### **Принципи автоматичного керування характеристиками електротехнічних комплексів.**

Сучасними тенденціями в автоматизації виробництва є широке застосування ЕОМ для керування, створення машин і устаткування з вбудованими мікропроцесорними засобами виміру, контролю та регулювання, перехід на децентралізовані (розподілені) структури керування з мікроЕОМ, впровадження людино-машинних систем, використання високонадійних технічних засобів, автоматизоване проектування систем керування. Для ефективного керування виробничими процесами, у тому числі при використанні для керування обчислювальної і мікропроцесорної техніки, для дослідження об'єктів і АСР необхідно мати математичний опис процесів, що протікають як у системі, так і в її елементах. Особливо важливо мати математичний опис, коли в системі автоматичного (автоматизованого) керування є керуюча обчислювальна техніка, вона аналізує процеси в об'єкті і виробляє керуючу дію, використовуючи закладені в ній математичні описи (моделі).

Математична модель - сукупність рівнянь, нерівностей, умов, що обмежують, які у кількісній формі описують залежність вихідних величин об'єкта (системи) від вхідних у сталому і перехідному режимах.

### **Принципи позиціонування, захисти, блокування та сигналізація.**

Автоматичні системи контролю здійснюють контроль різноманітних параметрів і величин, які характеризують роботу технічного агрегату, або протікання якого-небудь процесу. Вони забезпечують автоматичне вимірювання, що передається вимірюючим, реєструючим чи записуючим пристроям. Автоматичні системи сигналізації призначені для повідомлення обслуговуючого персоналу про стан технічного обладнання чи

протікання процесу. Сигналізація здійснюється акустичним або візуальним сигналом.

Автоматичні системи блокування і захисту призначенні для запобігання аварійних ситуацій, тобто без участі людини діють на даний агрегат. Частково чи повністю припиняючи його роботу. Автоматичні системи пуску і зупинки забезпечують включення і зупинку двигунів і приводів по наперед заданій програмі. Автоматичні системи сигналізації, контролю, блокування і захисту, пуску і зупинки є розімкнутими. Вхідними сигналами універсальних показуючих, реєструючих та регулюючих при-ладів є уніфіковані сигнали зв'язку в ДСП. Тому такі прилади можуть бути застосовані для вимірювання, індикації та реєстрації контрольованих параметрів, сигналізації, стабілізації, програмного регулювання параметрів, значення яких можуть бути перетворені в уніфіковані сигнали, наприклад: 0...5 мА або 20...100 кПа.

До централізованих систем автоматизації відносять спеціально розроблені ком-плекси апаратури:

- а) агрегатовані комплекси засобів контролю та регулювання;
- б) мікропроцесорні засоби диспетчеризації, автоматики та телемеханіки;
- в) пневматичні агрегатні функціонально-апаратні комплекси та установки.

Ці засоби забезпечують побудову систем неперервного та циклічного контролю та багатоканального регулювання параметрів різних технологічних процесів та окремих агрегатів, інформацію про які доцільно передавати та обробляти в аналоговій формі, а видавати операторові - як в аналоговій, так і в цифровій формі.

Пристрої та системи локальної автоматизації можна детальніше групувати за таки-ми ознаками:

- за рівнем автоматизації - на автоматичні та автоматизовані;

- за ступенем автоматизації - на системи часткової, комплексної та повної автоматизації;
- за призначенням - на системи автоматичного контролю, керування, регулювання, сигналізації, блокування та захисту;
- за принципом керування - на розімкнуті, замкнуті та комбіновані;
- за характером зміни регульованої величини - на стабілізуючі, слідкуючі, програмні, екстремальні, оптимальні, адаптивні;
- за характером носія енергії - на електричні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані;
- за характером сигналів – на аналогові та дискретні (за рівнем - релейні системи, по часу - імпульсні системи, по рівню і часу одночасно – цифрові системи);
- в залежності від мети керування – на стабілізуючі (підтримують вихідні параметри на постійному, заданому значенні) і оптимізуючі (які здатні знаходити оптимальні значення вихідних параметрів в залежності від ситуації в об'єкті).
- за кількістю регульованих величин - на одно- та багатовимірні.

## **Тема 7. Принципи керування електротехнічними комплексами постійного струму.**

### **Типові вузли схем автоматичного керування на постійному струмі.**

Пуск машин постійного струму навіть в найпростіших випадках слід здійснювати так, щоб струми якоря не перевищували 2-4 крат номінального струму. Також вимоги визначає колектор і щітки, які під час пуску і в умовах комутації не повинні перегріватися і підгорати, обмежувати прискорення, заданий технологічним процесом. Для серійних машин малої потужності (до 5 кВт) з малим моментом інерції на валу

можливий безпосередній пуск від мережі живлення, тому що вони мають меншу кратність моменту і струму КЗ.

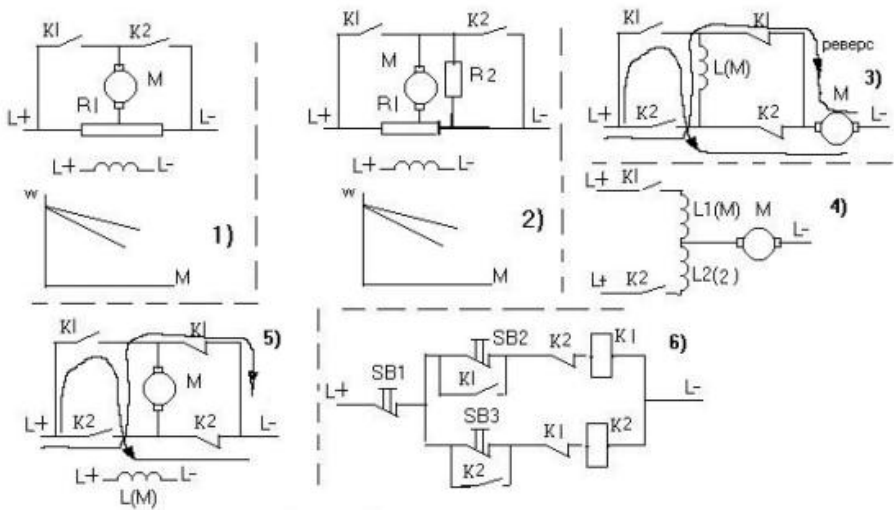


Рис.1.7.1 . Спрощені схеми вузлів машин невеликої потужності.

Ці вузли забезпечують пуск і реверс машин. Жорсткість механічних характеристик вузлів 1 і 2 менше ніж у нормальних схемах включення, відповідно менше і швидкість двигуна.

У схемі 1 забезпечується регулювання жорсткості;

2 схема - забезпечує динамічне гальмування і реверс на більш низьких швидкостях;

3 схема - забезпечує пуск і реверс машини послідовного збудження;

Контакти реле змінюють напрямок потоку збудження. При реверсі можна отримати гальмування протиковиканням, якщо відключити одне реле і негайно включити інше.

4 схема - використовується в разі двох обмоток збудження. Недолік – застосування машини спецвиконання.

5 схема - пуск, реверсування, динамічне гальмування. При відключених K1 і K2 якір закорочується і машина гальмується. Для кожного з п'яти вузлів схеми головних ланцюгів може

використовуватися вузол з двома кнопками - б схема. Для машин середньої та великої потужності змішаного збудження застосовуються вузли схем з'єднання пускових опорів (рисунок 1.7.2).

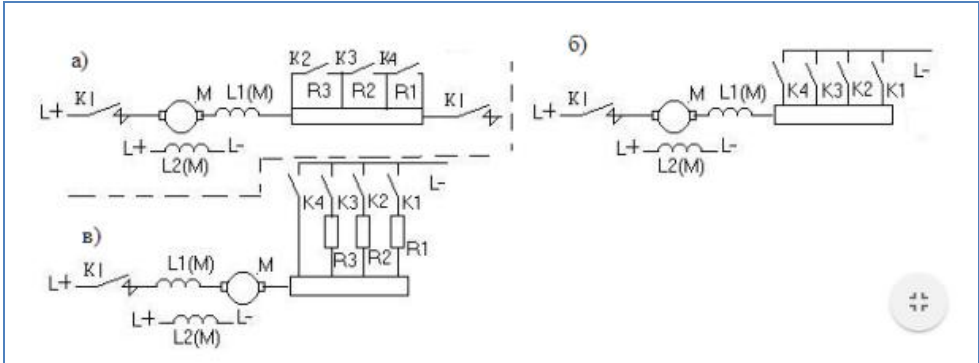


Рис.1.7.2 . Схеми управління ДПС великої потужності.

Такі схеми можна застосовувати для ДПТ з незалежним або змішаним збудженням. Число пускових ступенів показано умовно і визначається розрахунком (рисунок 1.7.2 а, б, в). Схема а) застосовується для машин потужністю до 150 кВт, і напругою до 220 В і при невеликому числі пускових ступенів. Схема б) застосовується для машин потужністю до 300 кВт і напругою до 220 В. Схема в) застосовується на середні і великі потужності від 150 кВт і напругою вище 220 В. Схема дає економію на контакторах при великій кількості пускових опорів і повторно-короткочасних режимах роботи. Для великих машин цієї схемою віддається перевага при будь-яких режимах роботи, тому що економія на контакторах значна.

### **Замкнуті системи стабілізації постійного струму.**

Точність системи визначається, в першу чергу, перепадом швидкості  $\Delta\omega_c$  при зміні  $\Delta M_c$  в заданих межах, тобто жорсткістю або статизмом механічних характеристик системи, а також «дрейфом», обумовленим іншими згаданими раніше збуреннями. Залежно від вимог, що пред'являються до точності

стабілізації швидкості і діапазону регулювання швидкості  $D = \omega_{\max} / \omega_{\min}$  приміняють різні варіанти регулюють зворотних зв'язків.

Функціональна схема узагальненої системи стабілізації швидкості двигуна постійного струму при зміні навантаження на його валу, що забезпечує регулювання швидкості і її стабілізацію з високою точністю в статичних і динамічних режимах приведена на рис. 1.7.3. Вона включає в себе двигун  $M$ , перетворювач  $U$ , проміжний підсилювач  $A$ , вимірювальний елемент  $AW$  (суматор) і зворотний зв'язок.

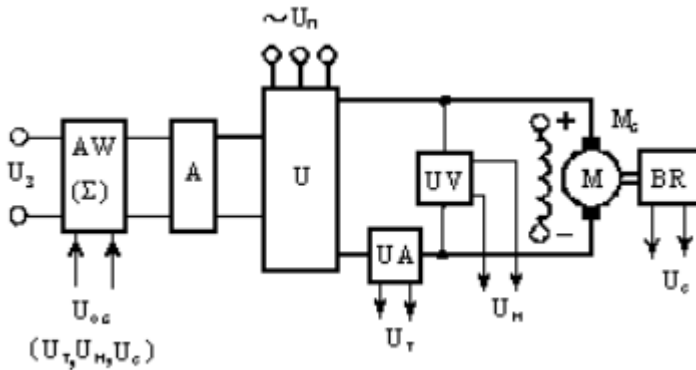


Рис.1.7.3. Функціональна схема електропривода постійного струму

В якості перетворювачів в таких системах електроприводу використовуються генератори постійного струму, електромашинні і магнітні підсилювачі і напівпровідникові (транзисторні та тиристорні) керовані випрямлячі.

Як проміжних підсилювачів в електроприводах використовуються електромашинні, магнітні, транзисторні та інтегральні підсилювачі.

У системах електроприводу застосовуються три основні жорсткі зворотні зв'язки: за швидкістю, напрузі і току двигуна, а також їх різні комбінації. Для стабілізації швидкості двигуна приймаються негативні зв'язки за швидкістю і напрузі і

позитивний зв'язок по току. Для стабілізації моменту двигуна застосовується негативна зв'язок по току і позитивні зв'язку за швидкістю і напрузі.

### Цифрові системи керування.

Структурна схема аналогової системи, що стежить має такий вигляд (рис.1.7.4). Основне завдання такої САУ - забезпечити мінімальне неузгодженість між вихідним сигналом системи  $x(t)$ , наприклад, реальної траєкторією руху ракети, і вхідним сигналом  $g(t)$  - заданої траєкторією руху.

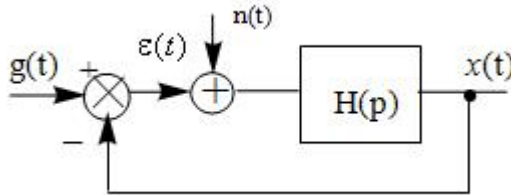


Рис.1.7.4. Структурна схема аналогової системи

Фільтр з функцією передачі  $H(p)$  вибирається як раз з урахуванням вимоги мінімізації помилки за рахунок динаміки руху об'єкта і перешкод  $n(t)$ , що діють на систему управління. При цьому передатна функція  $H(p)$  враховує як елементи, які включаються спеціально для поліпшення характеристик системи, так і пристрої із заданими передавальними функціями, наприклад, кермові пристрої ракети. Розглянемо з точки зору перетворення в цифрову систему управління вже знайому нам систему управління двигуном (рис. 1.7.4).

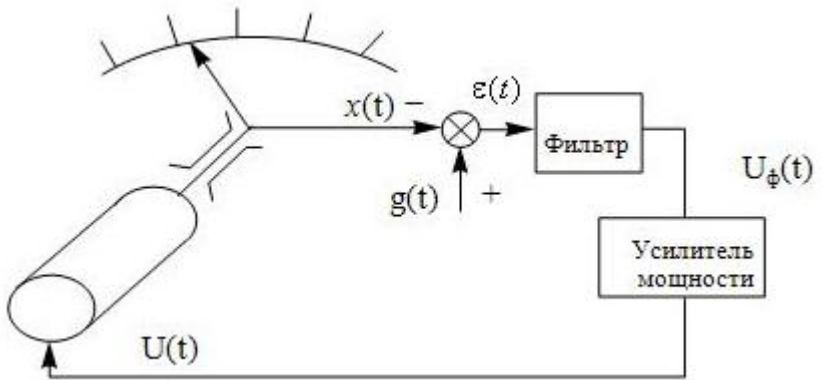


Рис.1.7.4. Система управління двигуном

Аналіз такої системи показує, що основним нестабільним елементом є фільтр. У меншій мірі при зміні кліматичних впливів змінюються характеристики підсилювача потужності і двигуна.

Таким чином, для підвищення стабільності даної системи було б доцільно, в першу чергу, замінити аналоговий фільтр цифровим. Це можна зробити наступним чином.

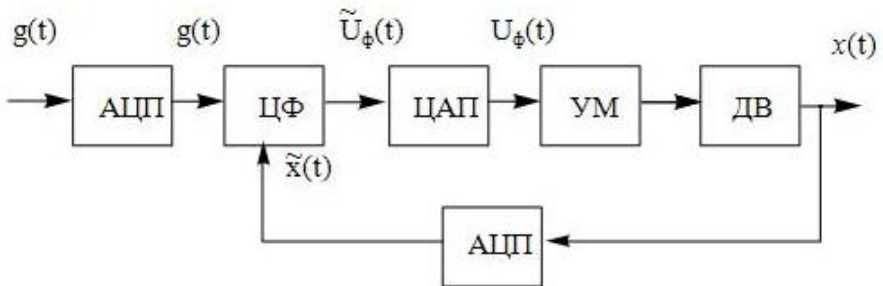


Рис.1.7.5. Структурна схема цифрової системи управління.

Перетворимо вхідний і вихідний сигнали  $g(t)$  і  $x(t)$  в цифрові коди. Тоді фільтр можна буде реалізувати на ЦВМ.

Вихідні коди перетворимо в аналоговий сигнал. В цьому випадку система буде мати вигляд, показаний на рис. 1.7.5.

Перетворення аналогових сигналів  $g(t)$  і  $x(t)$  в цифрові і здійснюється за допомогою аналого-цифрових перетворювачів АЦП. У цифровому фільтрі реалізуються ті ж операції, що і в аналоговому, наприклад, інтегрування або корекція. Зазвичай такий фільтр реалізується у вигляді спеціалізованої цифрової обчислювальної машини. У цифроаналогові перетворювачі числа на виході цифрового фільтру перетворюються в напругу, що надходить на підсилювач потужності.

В даному випадку систему можна було б зробити повністю цифровою. Наприклад, якщо двигун приводить в рух супутникову антену, то замість двигуна і звичайної антени можна застосувати Фазовані антенні ґрати з цифровим управлінням діаграмою спрямованості. Але це призведе до значного підвищення вартості такої системи при невеликому поліпшенні характеристик. Тому реальні цифрові системи управління, як правило, включають в себе аналогові виконавчі пристрої, а всі схеми фільтрації та корекції виконуються в цифровому вигляді. Таким чином, структурна схема цифрової системи управління набуває вигляду, показаний на рис. 1.7.5.

## **Тема 8. Принципи керування електротехнічними комплексами змінного струму.**

### **Типові вузли схем автоматичного керування на змінному струмі.**

Графіки зміни в часі швидкості і струму двигуна при пуску побудовані для ДПТ НВ справедливі і для АТ з фазним ротором, т. к. робоча частина механічної характеристики АД лінійна як і механічна характеристика ДПТ з незалежним збудженням. З ростом опору в ланцюзі ротора нахил робочої частини характеристик до осі абсцис збільшується. Тому автоматичне керування пуском і гальмуванням АД з фазним ротором здійснюється у функції тих же величин, що і ДПТ.

Ланцюги управління живляться від мережі постійного струму. При великій частоті включення двигуна використовують контактори змінного струму з котушками постійного струму і електромагнітні реле часу, електричні апарати постійного струму. Схема відрізняється від схеми управління пуском

ДПТ лише тим, що котушка реле часу КТ2 включена в ланцюг управління через розмікаючий контакт КМ1. Таким чином КТ2 включається при подачі напруги на схему, а відлік витримки часу КТ2 починається з моменту розмикання контакту контактора КМ2.

Для СД завжди застосовують асинхронний пуск. Тому в статорних ланцюгах СД здійснюються так само перемикання, як і при пуску АД: - статорні обмотки включаються на повну напругу (прямий пуск) або на знижену напругу з подальшим перемиканням в функції часу на повне.

Специфічна особливість пуску СД - управління подачею в обмотку збудження постійного струму від збудника. В якості останніх використовують генератори постійного струму або тиристорні перетворювачі. Для швидкохідних СД вал збудника з'єднують з валом двигуна, для тихохідних СД привід збудника виконують на підставі АД з короткозамкненим ротором.

Якщо дозволяють живить мережу і двигун, то застосовують прямий пуск з постійно підключеним збудником при  $M_c$  на валу СД, що не перевищує 0,4Мн. Якщо  $M_c > 0,4Мн$ , то збудник підключається на підсинхронних швидкості.

При пуску на зниженій напрузі розрізняють: «легкий» пуск, при якому порушення подається до включення обмотки статора на повне напруга (при невеликому  $M_c$ ) і «важкий» пуск - подача збудження відбувається при повній напрузі на обмотці статора (при значному  $M_c$ ).

На малюнку 1.8.1.a - схема прямого пуску з наглухо підключеним збудником G. Управління пуском полягає у включенні лінійного контактора КМ1. У міру розгону M напруга



Рис.1.8.1. Типові узли керування пуском СД: а) схема прямого пуску; б) схема пуску в функції швидкості; в) схема пуску в функції струму; г) схема ланцюгів керування.

### Замкнуті системи стабілізації змінного струму.

Статичні і динамічні властивості таких систем визначаються законом регулювання, під яким розуміється вид залежності, що зв'язує регулюючий вплив (вихідна величина регулятора) з помилкою регулювання. На рис 1.8.2 приведена спрощена структурна схема замкнутої системи управління двигуном. Багато приводів забезпечують непряме регулювання швидкості двигуна за величиною напруги, що підводиться до якоря. Тому регульованою величиною є напруга  $E_r$ , яке за допомогою потенціометра П перетворюється в напругу  $U_r$  і порівнюється з задає (вхідному) сигналом  $U_0$ , визначальним необхідне значення швидкості двигуна. Неузгодженість (помилка)  $\Delta U = U_0 - U_r$  через регулятор У забезпечує на виході генератора Г необхідне значення напруги  $E_r$ .

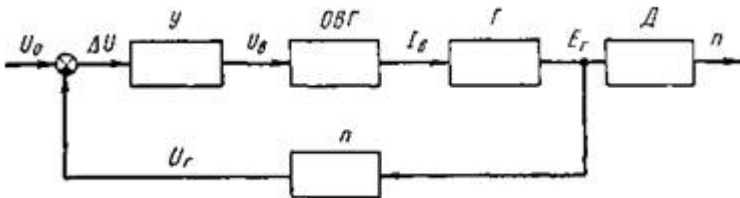


Рис.1.8.2. Структурна схема замкнутої системи керування.

Завданням замкнутих систем автоматичного регулювання є підтримання регульованою (вихідний) величини в заданому відношенні до вхідного сигналу. Це співвідношення порушується під час перехідного режиму, виникає під дією сил, що обурюють.

### Цифрові системи керування.

Дефіцит і висока вартість енергетичних ресурсів на ринках світу стимулює впровадження енергозберігаючих технологій. Не

виключенням в цьому є і Україна. Як наслідок, очевидна необхідність застосування в промисловій та побутовій практиці електромеханічного обладнання, яке фактично реалізує принцип енергозбереження. Одним з напрямів такої реалізації слід назвати застосування різних перетворювальних пристроїв, що забезпечують, крім регулювання координат електроприводу, можливість включення режимів економії електричної енергії.

Відомо, що такі режими допускають зберегти до 50% споживаних ресурсів. беручи до сказане, можна стверджувати, що актуальність завдання використання перетворювальних пристроїв не може ставитися під сумнів .. Сьогодні краще є пристрої плавного пуску, які фактично являють собою тиристорні регулятори змінної напруги, керовані цифровими засобами автоматизації. Що ж повністю регульованого електроприводу, то на сучасному етапі впевнену першість тримають електроприводи змінного струму, керовані частотними перетворювачами при скалярному, трансекторном або прямому управлінні моментом. Регульований перетворювач змінної напруги складається з силового блоку і системи імпульсно-фазового управління (рис. 1.8.3).

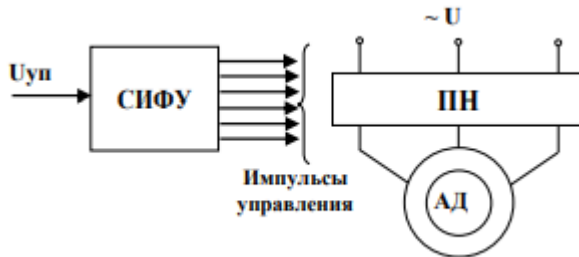


Рис.1.8.3. Структурна схема тиристорного перетворювача напруги.

Це розімкнена система з асинхронним електроприводом змінного струму, де регулювання напруги виконується шляхом зсуву імпульсів управління у функції фази напруги синхронізації. Застосування в перетворювачі симетричних

напівкерованих тринисторов допускає їх відкривання тільки в разі наявності імпульсу управління і прямого додатка напруги на керуючих приладах, а розрив силового ланцюга можливий при наявності зворотного напруги на приладах і нульового струму через них.

## **Тема 9. Методи аналізу і синтезу електротехнічних комплексів.**

### **Порядок дослідження.**

Сучасна теорія автоматичного регулювання є основною частиною теорії управління. Система автоматичного регулювання складається з регульованого об'єкта та елементів управління, які впливають на об'єкт при зміні однієї або декількох регульованих змінних. Під впливом вхідних сигналів (управління або обурення), змінюються регульовані змінні. Мета ж регулювання полягає у формуванні таких законів, при яких вихідні регульовані змінні мало відрізнялися б від необхідних значень. Рішення даного завдання в багатьох випадках ускладнюється наявністю випадкових збурень (перешкод). При цьому необхідно вибирати такий закон регулювання, при якому сигнали управління проходили б через систему з малими спотвореннями, а сигнали шуму практично не пропускалися.

Теорія автоматичного регулювання пройшла значний шлях свого розвитку. На початковому етапі були створені методи аналізу стійкості, якості і точності регулювання безперервних лінійних систем. Потім отримали розвиток методи аналізу дискретних і дискретно-безперервних систем.

### **Аналіз і синтез електротехнічних комплексів безперервної дії.**

Диференційні рівняння систем автоматизованого приводу складаються двома способами.

1. За диференційними рівняннями, описуючим кожний елемент системи електроприводу у відповідності з його функціональною схемою.

2. З використанням передавальної функції електроприводу, отриманої на підставі його структурної схеми.

Для системи електроприводу, забезпечуючи стабілізацію швидкості ДПС, функціональна та структурна схеми приведені на рисунку.

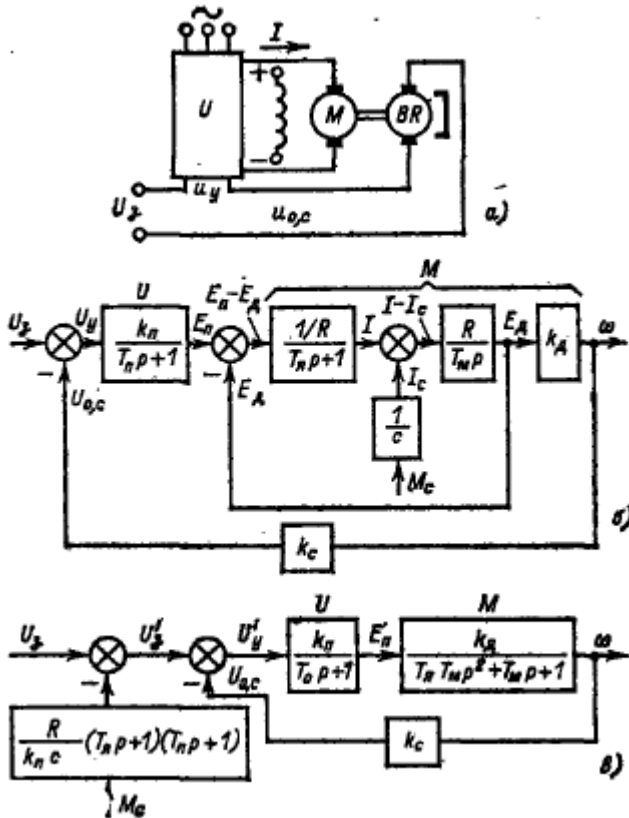


Рис.1.9.1. Функціональна (а) та структурна (б,в) схеми електроприводу постійного струму.

Диференціальне рівняння системи електроприводу за першим способом отримано шляхом запису диференціальних рівнянь для кожного елемента системи та їх спільного розв'язку відносно вхідного у вихідного сигналів усієї системи

електроприводу. Запис диференційних рівнянь для елементів виконуються за функціональною схемою системи електропривода послідовно для усіх електричних ланцюгів та механічної частини електропривода. Запис може виконуватися в класичній та операторній формах.

Інший спосіб складання диференційного рівняння за передавальною функцією системи електроприводу. Усі елементи зображені в ній динамічними ланками, передавальні функції яких є невідомими.

$$\begin{aligned}
 W(p) &= \frac{\omega(p)}{U_s(p)} = \\
 &= \frac{k_{\Pi} k_{\Sigma}}{T_{\Pi}p + 1} \frac{k_{\Sigma}}{T_{\Sigma}T_{M}p^2 + T_{M}p + 1} = \\
 &= \frac{k_{\Pi}k_{\Sigma}k_c}{1 + \frac{k_{\Pi}k_{\Sigma}k_c}{(T_{\Pi}p + 1)(T_{\Sigma}T_{M}p^2 + T_{M}p + 1)}} = \\
 &= \frac{k_{\Pi}k_{\Sigma}}{a_3p^3 + a_2p^2 + a_1p + a_0},
 \end{aligned}$$

де  $U_s'(p) = U_s(p) - \frac{M_c(p)R}{k_{\Pi c}}(T_{\Sigma}p + 1) \times$   
 $\times (T_{\Pi}p + 1)$ , или  $U_s'(p) = U_s(p)$  при  $M_c = 0$ .

За передаточною функцією записується диференційне рівняння системи електропривода, спочатку в операторній формі, а потім в класичній, отриманій за допомогою зворотнього перетворення Карсона-Хевісайда, а саме запис оригінала за зображенням.

### Методи синтезу і аналізу релейних систем електроприводів.

Поміж методів дослідження релейних систем електроприводів в якості методу синтезу використовується метод гармонійного балансу та в якості методу аналізу – метод,

заснований з теореми запізнення операційного числення (метод припасування).

Метод гармонійного балансу дає можливість визначити, виникнуть чи не виникнуть автоколивання в нелінійній системі автоматичного керування, а якщо виникнуть, то з якою частотою та амплітудою.

Цей метод заснований на гармонійній лінеаризації нелінійних елементів системи та розповсюджують частотні методи синтезу та аналізу на нелінійні системи. Нелінійності, досліджувані цим методом, являють собою статичні характеристики релейного типу та типу посилювачів з обмеженням, повітряного отвору та гістерезиса.

Метод дозволяє оцінити поведінку системи за першою гармонікою коливального процесу.

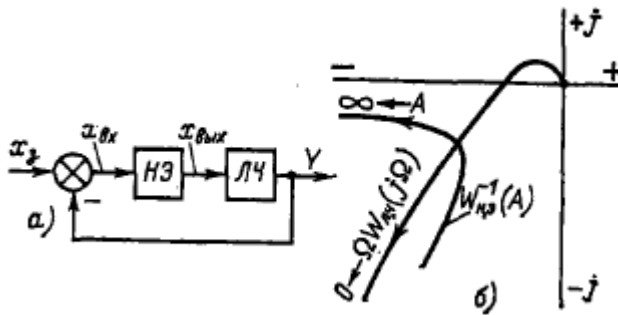


Рис.1.9.2. Структурна схема системи електроприводу з нелінійним елементом (а) та АФК лінійної частини системи та нелінійного елемента (б)

### Методи синтезу і аналізу аналогових систем електроприводів.

При описі структури та функцій складних систем, до яких відносяться системи електроприводу з використанням цифрової та аналогової обчислювальної техніки, використовується ряд рівней опису з різним ступенем деталізації її опису, розміщених

за ієрархічним принципом. Процес дослідження властивостей системи спрощується зі зменшенням спусною деталізації її опису, коли складний пристрій розглядається як функційно закінчений елемент, ще більш складного пристрою. Кожному з рівней опису цифрових систем відповідає свій математичний апарат дослідження. Розрахунок електричних параметрів цифрових елементів ґрунтується на теорії електричних кіл; розрахунок обчислювальних та логічних пристроїв, виконаних із цих елементів – на апараті мулевої алгебри та теорії кінцевих автоматів; розрахунок динаміки систем, виконаних з цих пристроїв – на загальних законах теорії автоматичного регулювання, спеціалізованих для аналізу цифрових та імпульсних систем у вигляді ряду операторних методів на базі z-перетворення або у вигляді метода змінних стану, коли опис динаміки системи здійснюється рядом різницевих рівнянь першого порядку.

### **Методи синтезу і аналізу цифрових систем електроприводів.**

Нелінійні спотворення є істотним чинником, обмежуючим роботу дротяних і бездротових каналів зв'язку. Для усунення нелінійності каналів зв'язку застосовують компенсатори, методи синтезу яких в рамках операційного підходу можна розділити на два класи: методи сліпий лінеаризації без "навчання" компенсатора, отже, без використання навчального сигналу і ідентифікації параметрів пристрою і методи лінеаризації з "навчанням" компенсатора. До методів сліпий лінеаризації відносяться: інверсія високого порядку, метод фіксованої точки, коренів рівняння Вольтерри, ітераційно-операторний метод. Лінеаризація виконується на основі функціональних рядів і поліномів, нелінійної авторегрессионной моделі, нейронних мереж (персептрон, рекурентних, радіально-базисних, сплайнів і ін.).

Порівняємо розглянуті нелінійні моделі, оцінивши область їх застосування, можливість вирішення завдання апроксимації оператора з заданою похибкою, труднощі знаходження оптимальних параметрів моделей.

В силу обмеженою області збіжності ряду Вольтерри даний математичний апарат застосовується для моделювання лише слабонелінійних ланцюгів. Інші розглянуті математичні моделі можуть бути використані для апроксимації операторів істотно нелінійних ланцюгів (в ситуації, коли функціональний ряд Вольтерри розходиться).

Побудова многочлена розщеплених сигналів пов'язано з розщепленням безлічі впливів. Дана операція дає можливість адаптувати поліном розщеплених сигналів до класу вхідних сигналів. Отже, зазначені моделі пристроїв можуть бути простіше (Містити менше число параметрів) в порівнянні з іншими відомими моделями. Нейронні мережі привабливі в ситуації, коли поліноміальна модель дає повільно зменшується з ростом ступеня полінома похибка апроксимації нелінійного оператора.

Многочлен розщеплених сигналів апроксимує нелінійний оператор із заданою похибкою в рівномірній, отже, в середньоквадратичній метриках. Інші розглянуті моделі є апроксиматорами лише в середньоквадратичній метриці (при цьому апроксимація оператора компенсатора із заданою похибкою в рівномірній метриці може бути нездійсненна). Рішення завдання апроксимації оператора компенсатора, отримане на основі поліноміальних моделей з лінійно входять параметрами, є глобально оптимальним. застосування нейронних мереж з нелінійно входять параметрами для знаходження глобальнооптимального рішення задачі апроксимації оператора надзвичайно утруднено через повільну збіжність алгоритму розрахунку до вирішення і появи великого числа локальних оптимумів.

## Основні положення статистичного аналізу систем автоматичного керування.

Найбільш загальний підхід до вирішення завдань аналізу і синтезу систем електроприводів дає статистична (ймовірнісна) теорія автоматично регулювання. У відповідності до неї вихідні впливи системи представляються як випадкові величини, приймаючі в кожному даному відліку одне з більшості можливих значень. Випадкові процеси і величини позначаються прописними літерами  $X(t)$  на відміну від їх реалізацій:  $x(t)$ . Так само, як розглядалися вище детерміновані процеси, які повністю визначаються як функції часу, випадкові процеси можуть кантуватися по рівню та дискретизуватися за часом. Дискретизований випадковий процес називається випадковою послідовністю. Він може бути утворений з випадкової безперервної функції  $X(t)$  (як і для детермінованих функцій) заміною аргумента  $t$  на  $nT_0$  і позначається  $X^*(t)$ .

Найбільш повними характеристиками випадкової величини є її закони розподілу. Для квантованої по рівню величини  $X_q$ , яка приймає значення  $x_{qi}$ , одномірний (в статиці) закон розподілу є функція  $p(x_{qi})$ , виражає ймовірність кожного даного значення  $x_{qi}$  та звана функцією розподілу або просто розподілом, при чому

$$\sum_{i=-\infty}^{\infty} p(x_{qi}) = 1.$$

## Тема 10. Функціональні системи електротехнічних комплексів.

### Системи програмного керування.

Контурні системи програмного управління призначені для управління спільним рухом двох і більше робочих органів верстата при наявності безперервної функціонального зв'язку між ними, що дозволяє обробляти заготовки складної конфігурації, обмежені криволінійними поверхнями. Даними системами оснащують переважно верстати токарної і фрезерної

груп, що значно розширює їхні технологічні можливості. Перевага цих систем полягає і в тому, що їх можна настроювати і на роботу в позиційному режимі.

Перфострічки застосовують у контурних системах програмного керування, при цьому для безперервності зчитування інформації з перфострічки зчитувальні пристрої забезпечують блоками пам'яті, службовцями для запам'ятовування інформації на час, необхідний для переміщення стрічки на наступну позицію для зчитування.

Для цих цілей була розроблена контурна система програмного управління, що здійснює управління рухом робочого столу електронно-променевої установкитипу ЕЛУРО-П.

Класифікація систем програмного управління СПУ за технологічними умовами. Залежно від виду обробки деталі контурні системи програмного управління може бути два - і трикоординатних.

Під час розробки програми для верстатів з контурними системами програмного керування необхідно виконати великий обсяг обчислювальних робіт, до зменшення якого слід прагнути. Наприклад, можна піти на збільшення відстані між опорними точками в порівнянні з мінімально допустимим. При збільшенні відстані між опорними точками оброблюваного профілю деталі значно знижується точність отриманого профілю деталі, отже, цей спосіб застосовується при обробці неточних профілів і непридатний для точних профілів.

Технологічність деталей при обробці на верстатах з ЧПК в окремих випадках значно відрізняється від технологічності деталей, оброблюваних на універсальних верстатах, так, наприклад, найбільш технологічними для фрезерних та токарних верстатів з контурною системою програмного керування є деталі з криволінійними поверхнями, заданими безпосередньо математичними рівняннями, в той час як для звичайних верстатів такі поверхні можуть задаватися з умови

технологічності тільки підбором радіусів або таблицею координат.

### **Системи керування з само налаштуванням.**

Самоналагоджувальна система управління може враховувати не тільки поточну інформацію, але й минулий досвід. У цьому випадку додається блок оперативної пам'яті, в якому накопичуються відомості про керований технологічний процес, і корекція програми проводиться на підставі узагальнення досвіду роботи машини-автомата. Самоналагоджувальні системи з оперативною пам'яттю називають іноді адаптивними системами.

Самоналагоджувальна система управління містить пристрій самонастроювання УС, яке вивчає процес, що протікає в системі, і впливає на параметри регулятора АР так, щоб процес задовольняв заданим показником якості.

Самоналагоджувальні системи управління проектуються з таким розрахунком, щоб вони були в змозі зберігати необхідні характеристики при зміні навколишніх умов. Слід нагадати, що розрахунок коригуючих пристроїв та коефіцієнта підсилення лінійних систем майже завжди пов'язаний з припущенням, що передавальна функція об'єкта регулювання незмінна. У ряді випадків параметри об'єкта регулювання піддаються деяким, досить малим змінам, тому припущення про їх сталості практично справедливо. Однак у тих випадках, коли параметри об'єкта регулювання змінюються в широких межах, постійний коефіцієнт підсилення розімкнутої ланцюга або незмінний коригувальний контур можуть легко призвести до серйозного погіршення характеристик і навіть до нестійкості системи. Польоти літаків на надзвукових і гіперзвукових швидкостях відносяться до подібних випадків. З огляду на те, що літак літає в різних зовнішніх умовах: щільна атмосфера на низькій висоті і розріджена - на великій висоті, аеродинамічні параметри

змінюються в широких межах. При цих умовах неможливо досягти задовільного управління при наявності постійного коефіцієнта посилення і незмінних постійних часу коригувальних пристроїв. Коефіцієнти підсилення елементів системи управління необхідно змінювати у відповідності із змінами навколишніх умов.

Самоналагоджувальні системи управління, розраховані на принципі високого лінійного посилення в поєднанні з нелінійним елементом, володіють трьома важливими властивостями: по-перше, вони володіють дуже високою якістю перехідного процесу, по-друге складаються з простих елементів і, по-третє, володіють надійністю, що є особливо важливим властивістю. Але, з іншого боку, їм притаманні недоліки, пов'язані з необхідністю допускати незатухаючі коливання під час роботи. Крім незначних спотворень амплітуди вихідної величини, вводиться обмеження викликає підвищеної знос деяких частин обладнання.

Комбіновані самоналагоджувальні системи управління, за визначенням, містять, крім основного контуру управління розімкнені і замкнуті контури самонастроювання параметрів. Вони застосовуються в тих випадках, коли не тільки характеристики обурення, але й характеристики об'єкта змінюються в широких межах.

### **Елементи позиційних та спостерігаючих систем.**

В позиційних та спостерігаючих електроприводів безперервної дії використовують наступні вимірювальні, перетворюючі, посилюючі та виконуючі пристрої. Вимірювальні пристрої забезпечують вимірювання похибки кутових або лінійних переміщень виконуючого органу робочої машини в порівнянні з задаючим сигналом керуючого впливу і забезпечують на виході електричний сигнал у вигляді напруги, пропорційного похибці. За принципом взаємодії вимірювальні пристрої поділяються на потенціометричні, індуктивні, ємнісні

та пристрої з принципом дії, засновані на взаємній індуктивності, до яких відносяться сельсини та обертові трансформатори. Найбільше поширення отримали потенціометри та синусно-косинусні обертові трансформатори.

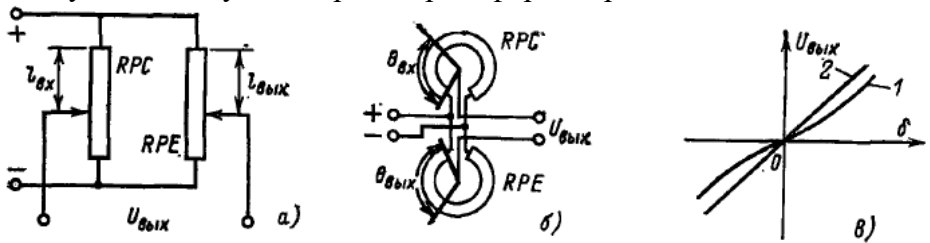


Рис.1.10.1 Електричні схеми вимірювальних пристроїв потенціометричних (а) та кутових (б) та їх характеристики (в).

Сельсинний пристрій використовується для вимірювання кутових переміщень. Воно складається з датчика ВС та приймача ВЕ, працюючих в трансформаторному режимі.

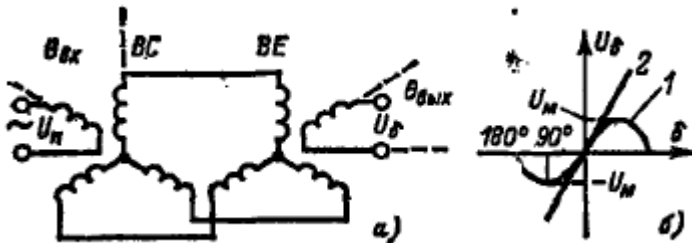


Рис.1.10.2. Електрична схема вимірювального пристрою на сельсинах (а) та його характеристики (б).

Напруга на виході ВЕ залежить від кутів неузгодження вісей роторів ВС та ВЕ, та навантаження ВЕ:

$$u_{\text{ВЫХ}} = u_{\delta} = \frac{U_{m \max}}{1 + \frac{z_{\text{ВЫХ}}}{z_{\text{Н}}}} \sin \delta,$$

Вимірювальний пристрій з обертовими трансформаторами використовується також для вимірювання кутових переміщень. Воно містить датчик ТС та приймач ТЕ.

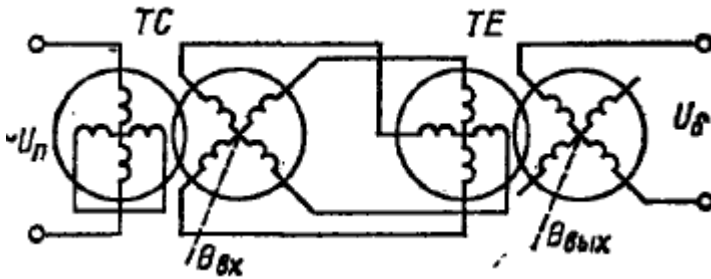


Рис.1.10.3. Електрична схема вимірювального пристрою на обертових трансформаторах.

Література: [1].

## Тема 11. Дослідження питань надійності електротехнічних комплексів.

### Основні поняття.

Розвиток електричних двигунів в даний час йде в наступних напрямках:

1. поліпшення енергетичних і експлуатаційних характеристик;
2. підвищення ККД, зниження матеріаломісткості і шуму, підвищення надійності і довговічності роботи;
3. краще узгодження двигунів і живлять їх силових напівпровідникових перетворювачів;
4. розширення парку електродвигунів спеціалізованого виконання, об'єктно-орієнтованих для конкретних умов застосування.

Сучасні електродвигуни постійного струму удосконалюються завдяки застосуванню в щітково-колекторному вузлі металолокністих і металокерамічних

матеріалів, що дозволяє істотно підвищити окружну швидкість колекторів цих двигунів. Однак необхідність застосування щітково-колектор вузла і пов'язані з цим недоліки двигунів постійного струму традиційних виконань привели в наступні роки до скорочення частки їх випуску в порівнянні з двигунами змінного струму.

Асинхронні електродвигуни є конструктивно найбільш простими і надійними, тому вони отримали останнім часом широке поширення в частотно-регульованих електроприводах з автономними інверторами (перетворювачами частоти), що здійснюють широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ). Удосконалення цих двигунів відбувається за рахунок використання нових матеріалів і більш ефективних способів інтенсивного охолодження.

Перспективи застосування асинхронних електродвигунів з фазним, ротором, пов'язані з їх використанням в системах машин подвійного живлення.

Синхронні електродвигуни традиційно застосовуються в діапазоні потужностей від сотень кіловат і вище. Їх вдосконалення відбувається за рахунок виключення контактів шляхом переходу на обертові випрямлячі і застосування постійних магнітів.

Безумовну перспективу мають вентильні двигуни, які, будучи по суті синхронними двигунами, розглядаються часто як двигуни постійного струму в зв'язку з тим, що харчування їх виробляється від мережі постійного струму через автономний інвертор, керований сигналами від датчиків положення ротора.

Вентильні двигуни з висококоерцитівніе магнітами на роторі мають мінімальну питому масу в порівнянні з будь-якими іншими машинами. Тому з їх використанням ефективно вирішуються питання конструювання мехатронних модулів.

В даний час інтенсивний розвиток отримали вентильно-індукторного електродвигуни та електродвигуни з кігтеподібні

полюсами. Такі електродвигуни мають найбільш простий ротор, виконаний з магнітомягкого сердечника. Тому вони допускають високі частоти обертання ротора і мають високу надійність.

У діапазоні малих потужностей традиційно продовжують розвиватися крокові електродвигуни, які в силу своїх конструктивних особливостей забезпечують створення компактних багатокоординатних мехатронних модулів з дискретним характером переміщень.

Технічний стан електродвигунів в сучасних системах регульованого електроприводу постійно піддається контролю і діагностики. У зв'язку з цим крім датчиків швидкості, положення ротора, датчиків Холла в двигуни вбудовуються також датчики температури і вібрацій, що дозволяє підвищити експлуатаційну надійність електродвигунів.

Іншим напрямком підвищення надійності роботи електродвигунів в виробничих умовах є перехід на конструктивно закриті варіанти їх виконання з використанням методів інтенсивного поверхневого охолодження. Це дозволяє виключити дисбаланс обертових частин двигунів за рахунок електростатичного осідання на них виробничого пилу при самовентиляції і усунути передчасне руйнування підшипникових вузлів і опор через їх вібрацій.

### **Показники надійності.**

Кількість відмов електродвигунів і показник середнього часу відновлення отримані за матеріалами ВО «Союзтехенерго». Показник параметра потоку відмов розрахований як відношення кількості відмов до кількості встановлених електродвигунів і усереднені за даними за 5 років (з 1977 по 1981 р). Показник середнього часу відновлення наведено як середнє значення часу відновлення електродвигунів за 5 років (з 1977 по 1981 р).

Для електродвигунів напругою 1 кВ потужністю до 320 кВт показники  $\omega$  і  $T_v$  наведені за літературними даними. Показник частоти капітальних ремонтів  $\mu_k$  наведено на підставі експертних даних Мосенерго; тривалість капітального ремонту

Тр, до отримана відповідно до «Норм часу на ремонт електродвигунів змінного і постійного струму» (М .: СПО «Союзтехенерго», 1978).

Показники надійної роботи енергоблоків з паротурбінними установками і їх основного обладнання. Як показники роботи енергоблоків з паротурбінними установками і їх обладнання (табл. 3.10, 3.11) прийняті:

- параметр потоку відмов  $\omega', 1 / \text{Агрегати-рік}$ ;
- середній час відновлення  $T_{\text{в}}, \text{ч}$ ;
- питомий число зупинок блоку  $n, 1 / \text{Агрегати-рік}$ ;
- середній час планових простоїв  $T_{\text{пл}}, \text{ч}$ .

#### **Дослідження надійності функціонування.**

Побудова адаптивного захисту АД можлива тільки на базі мікропроцесорної техніки. Пропонований спосіб адаптивного захисту заснований на зміні максимального електромагнітного моменту залежно від напруги прямої і зворотньої послідовностей. При реалізації цього способу використовується матриця даних, яка складається з  $U_1, U_2$  і  $M_{\text{max}}$ . Для оптимального використання пам'яті мікроконтролера залежність  $M_{\text{max}} = f(U_1, U_2)$  записується в матрицю даних не значеннями  $M_{\text{max}}$ , а коефіцієнтами кубічної функції

$$M_{\text{max}} = a + b \cdot U_1 + c \cdot U_1^3.$$

... 3 Коефіцієнти  $a, b, c$  визначаються для кожного  $U_2$ , а потім зазначена залежність визначається для типорозміру електродвигуна серії 4А. Отримане розрахункове значення  $M_{\text{max}}$  рівняється з поточним електромагнітним моментом ( $M$ ), що визначається за формулою:

$$M = \frac{i_a u_a + i_b u_b + i_c u_c - r(i_a^2 + i_b^2 + i_c^2) - \frac{1}{3} x' \frac{d}{dt} (i_a^2 + i_b^2 + i_c^2)}{\omega_c},$$

де  $x' = x_s - \frac{x_m}{x_r}$  — перехідна індуктивність контуру статора. Похибка вимірювання  $M$  за формулою становить 7...8 % при ковзанні в межах від номінального до критичного.

Захист електродвигуна від несиметричних навантажень здійснюється на основі контролю струму зворотної послідовності і порівняння його за критерієм термічної стійкості до струмів зворотної послідовності:

$$A = I_2^* \cdot t = \text{const},$$

де  $I_2^* = \frac{I_2}{I_n}$  — відносна величина струму зворотної послідовності. При цьому  $I_2$  — середньоквадратичне значення струму зворотної послідовності. Постійна  $A$  визначається дослідним шляхом і задається заводом-виготовлювачем. Захист ЕД від перевантаження здійснюється на основі непрямого контролю температури поверхні ЕД:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{\text{уст}}(1 - e^{-t/T}) + \Delta\vartheta_{\text{поч}}e^{-t/T},$$

де  $T = \frac{c}{\alpha F}$  — постійна часу нагрівання;

$$\Delta\vartheta_{\text{уст}} = \frac{\Delta P}{\alpha F}$$

— стале перевищення температури у випадку нескінченно тривалого протікання по ньому струму  $I$ ;

$\Delta\vartheta_{\text{поч}}$  — вихідне перевищення температури провідника в початковий момент часу.

Методика визначення неодночасності розмикання контактів заснована на вимірюванні неодночасності розмикання контактів при номінальній напрузі живлення котушки

електромагніту комутаційного апарата, також на 10 % нижче номінального. Надалі, при порівнянні отриманих результатів з величиною 0,005 с, приймається рішення про необхідність регулювання контактів.

В даному дослідженні встановлено залежності впливу неодночасності замикання контактів низьковольтного комутаційного апарата, яким керується асинхронний двигун, на рівні комутаційних перенапруг. Встановлено, що максимальні перенапруги виникають при наступних умовах: третій контакт комутаційного апарата розмикається з затримкою щодо першого, які розмикаються одночасно; розмикання третього контакту відбувається після згасання струмів, що протікають через другий і третій контакти. Для цього запропоновано методику визначення неодночасності розмикання контактів комутаційних електричних апаратів, що, в свою чергу, дасть змогу визначати рівні несиметрії, несинусоїдальності напруги, а також комутаційних перенапруг в системі електропостачання 0,4 кВ при комутації вакуумними контакторами.

## **Тема 12. Конструювання комплектних пристроїв керування електротехнічними комплексами.**

### **Види та класифікація комплектних пристроїв.**

Низьковольтним комплектним пристроєм (НКП) називається електротехнічний пристрій заводського виготовлення зі змінним напругою до 1000 В і постійним 1200В, що представляє собою сукупність електричних апаратів, приладів та іншого електрообладнання, змонтованих на одній конструктивній основі і призначених для виконання хоча б однієї або декількох наступних функцій керування, розподілу, трансформації, захисту, вимірювання та сигналізації.

За конструктивним формам:

- Станції і щити з відкритих рам і каркасів (відкриті комплектні пристрої);

- Станції та щити в підлогових шафах (захищені комплектні пристрої);
- Посади, пульти, ящики навісні, щити многоящичні (комплектні пристрої, що встановлюються вертикально на стіні);
- Пульти, столи підлогові;
- Панелі сигналізації і управління (мнемосхеми, табло).

По складу комплектуючих виробів становлять основу НКУ:

- З релейно-контакторною апаратурою
- З силовим електромагнітним обладнанням (трансформатори, дроселі, Реактори);
- З безконтактною слаботочною електронною апаратурою (напівпровідникові прилади, інтегральні компоненти);
- З безконтактною потужнострумовою апаратурою (силові діоди, тиристори).

По електричним параметрам:

- По роду струму (постійного, змінного, постійного і змінного);
- По номінальному струмі силового ланцюга (до 2500А, понад 2500А);
- По номінальній напрузі силового ланцюга (змінного до 360В і 660В частотою 50 і 60 Гц; постійного до 440В і 1200В);
- По номінальній напрузі силового ланцюга (змінного 24, 36, 42, 110, 127, 220, 380 частотою 50 і 60 Гц; постійного 24, 42, 48, 60, 110, 220, 440В).

За виконанням щитів і шаф:однорядні; дворядні.

За способом обслуговування:одностороннього обслуговування; двостороннього обслуговування.

За способом установки апаратури: на панелях і блок-панелях; на рейках і куточках; на нерухомих об'ємних блоках; на висувних блоках і осередках.

За призначенням для різних галузей промисловості:металургійної промисловості; гірничодобувної;

нафтовидобувної; хімічної; папероробної;  
верстатострументальної; сільського господарства та інших  
галузей промисловості.

### **Загальні технічні вимоги до комплектних пристроїв.**

До загальних технічних вимогам до НКП відносяться міцність ізоляції електричних ланцюгів, стійкість конструкції до ударних струмів короткого замикання, безпеку при експлуатації, зручність обслуговування і ремонту, надійність пристрою.

Опір електричної ізоляції всіх електрично ізольованих ланцюгів НКП при нормальних кліматичних умовах повинне бути не менш 1мОм. Ізоляція елементів і апаратів НКП в холодному стані повинна протягом 1 хв витримувати випробувальну напругу змінного струму частотою 50 Гц, зазначений у таблиці 1.3. НКУ, що мають апарати та електричні кола з потенціалом щодо землі напругою 1000-1300В, випробовуються напругою 3500В. Якщо в НКУ встановлені апарати та радіоелектронні елементи, випробувальна напруга яких відрізняється від наведеного у таблиці 3, то такі ланцюга випробовуються напругою відповідно до технічних умов або стандартів на ці апарати та елементи. У всіх видах НКП при напругах ланцюгів вище 36 В обов'язкове застосування заземлення.

Допускається не заземлювати:

Апаратуру, встановлену на заземлених металевих конструкціях, якщо при цьому на опорних поверхнях є зачищені і незафарбовані місця для забезпечення електричного контакту.

## **Змістовий модуль 2. Системи електротехнічних комплексів промислових підприємств.**

### **Тема 1. Підйомно-транспортні електротехнічні комплекси.**

#### **Характеристики та умови використання електротехнічних комплексів.**

Підйомно-транспортні машини (ПТМ) — пристрої, що призначені для механізації вантажно-розвантажувальних робіт та переміщення вантажів (матеріалів, сировини, виробів, товарів) і людей у вертикальній, горизонтальній чи похилій площині; також, — назва навчальної дисципліни у навчальних програмах підготовки фахівців інженерних спеціальностей у вищих навчальних закладах. Підйомно-транспортні машини є основним засобом механізації підйомно-транспортних і вантажно-розвантажувальних робіт у промисловості, будівництві, на транспорті, гірничій справі та сільському господарстві. Підйомно-транспортні машини застосовують також для переміщення людей у багатоповерхових житлових, громадських й адміністративних будівлях, шахтах, на станціях метрополітенів тощо. За характером виконуваних переміщень і призначенням підйомно-транспортні машини можуть бути умовно розділені на три укрупнених групи:

- вантажопідйомні машини і механізми призначені для переміщення окремих штучних вантажів великої маси по довільній просторовій траєкторії, що включає вертикальні, похилі і горизонтальні ділянки, циклічним методом, при якому періоди роботи перемежуються з періодами пауз. Вони можуть виконувати і монтажні операції, пов'язані з підйомом і точним встановленням елементів чи обладнання, що монтується, а також підтриманням їх у підвищеному стані до закріплення у проектному положенні;
- транспортуючі машини призначені для переміщення безперервним потоком масових однотипних, переважно

навалювальних вантажів певною, зазвичай лінійною трасою, яка може мати як горизонтальні, так і похилі, а також, вертикальні ділянки. Транспортуючі машини можна застосовувати на складально-монтажних операціях при виготовленні різних за складністю виробів, використовувати для переміщення людей (ескалаторами, пасажирськими конвеєрами, підйомниками безперервної дії) тощо;

- вантажно-розвантажувальні машини призначені для розвантаження матеріалів, напівфабрикатів і виробів з транспортних засобів та зі складів і перевантаження їх у транспортні засоби — залізничний рухомий склад, на судна тощо. Їх храктерною особливістю є наявність захоплювального (зачерпувального) органу. Вантажно-розвантажувальні машини застосовують для перевантаження будь-яких вантажів, але у гірничій справі — переважно сипучих навалювальних вантажів (вугілля, руди, сипучих матеріалів).

Машини та пристрої, що застосовуються на вантажно-розвантажувальних, складських і транспортних операціях, за характером переміщення вантажу поділяються на дві групи:

- безперервної дії — машини, робочий орган яких (стрічка, канат, гвинт, скребок, лоток тощо) рухається безперервно, не зупиняючись для прийому і віддачі вантажу, та переміщує вантаж до місця призначення безперервним потоком. Групу машин безперервної дії становлять конвеєри різних типів, у тому числі пасажирські (рухомі тротуари), елеватори, ескалатори, ліфти безперервної дії (патерностери) тощо;

- періодичної (циклічної) дії — машини, у яких вантажозахоплювальний орган (гак, ківш, напівавтоматичний і автоматичний захват тощо) переносить вантаж окремими порціями і після кожного переміщення порції вантажу повертається назад порожнім. До механізмів і машин періодичної дії належать прості неприводні вантажопідйомні

пристрої: блоки, поліспасти та ін., а також вантажо-підйомні машини, головним чином електричні підйомні крани, штабелери, вантажні і пасажирські ліфти, підйомники.

За родом перероблюваного вантажу розрізняють підйомно-транспортне обладнання:

- для переміщення тарно-штучних вантажів у ящиках, бочках, мішках (вантажопідйомні крани, електронавантажувачі, автонавантажувачі);

- обладнання для переміщення масових насипних і навалочних вантажів (ковшеві навантажувачі, стрічкові транспортери);

- обладнання для перекачування й транспортування трубопроводами наливних вантажів

Підйомно-транспортні машини можуть мати електричний, гідравлічний, пневматичний привод чи отримувати енергію від двигуна внутрішнього згорання.

До підйомно-транспортних відносять такі різновиди машин:

#### **Вантажопідйомні машини**

- домкрати;
- лебідки: підйомні (талі) і тягові;
- крани: консольні та мостові;
- ліфти;
- підйомачі: шахтні, щоглові, ковшеві тощо;
- столи;
- тельфери.

#### **Транспортуючі машини**

- канатні дороги;
- конвеєри;
- елеватори;
- ескалатори;
- машини підвісного монорельсового транспорту
- машини наземного транспорту (тягачі, візки)

#### **Вантажно-розвантажувальні машини**

- навантажувачі: вилкові, ковшеві, платформні тощо;
- розвантажувачі: вагоперекидачі, автомобілерозвантажувачі, розвантажувально-штабелювальні машини тощо;

### **Системи керування електротехнічними комплексами. особливості проектування, синтезу та аналізу електротехнічних комплексів.**

Електротягачі, електровізки та електронавантажувачі являють собою сукупність вузлів, агрегатів і систем, функції яких визначені в залежності від їх загального призначення. З цієї причини кожен тип машини необхідно розглядати окремо. Це полегшує засвоєння різних систем і в той же час дозволяє виявити загальні риси.

Шасі Електротягач (рис. 2.1.1) укріплено в задній частині для того, щоб тягове зусилля сприймалося буксирним пристроєм. Водіння здійснюється пристроєм рульового управління. Акумуляторна батарея, контакторних табло, звуковий сигнал і фари, являють собою електричне обладнання машини. Пристрій рульового управління забезпечує рух електровізки на поворотах, так як обертальний рух керма передається керованим колесам.

Гальмівна система здійснює гальмування, а буфера оберігають шасі від зустрічного удару. Акумуляторна батарея і контакторних табло є складовими частинами електричного обладнання.

Шасі пов'язує всі вузли і пристрої і приймає навантаження, яка за допомогою ресор, переднього і заднього мостів передається підлозі. На платформі встановлюється вантаж, а буксирний пристрій дозволяє брати на буксир при аварії Іншу машину.

На електровізків з низьким підйомом, керованої з підлоги, (Рис. 2.1.2) є провідна і керована колона, яка призначена для пересування електровізки по прямій і на повороті. Пристрій управління і гальмування б забезпечує повороти і гальмування. За допомогою ручного командоконтроллера, закріпленого на важелі, запускається тяговий електродвигун.

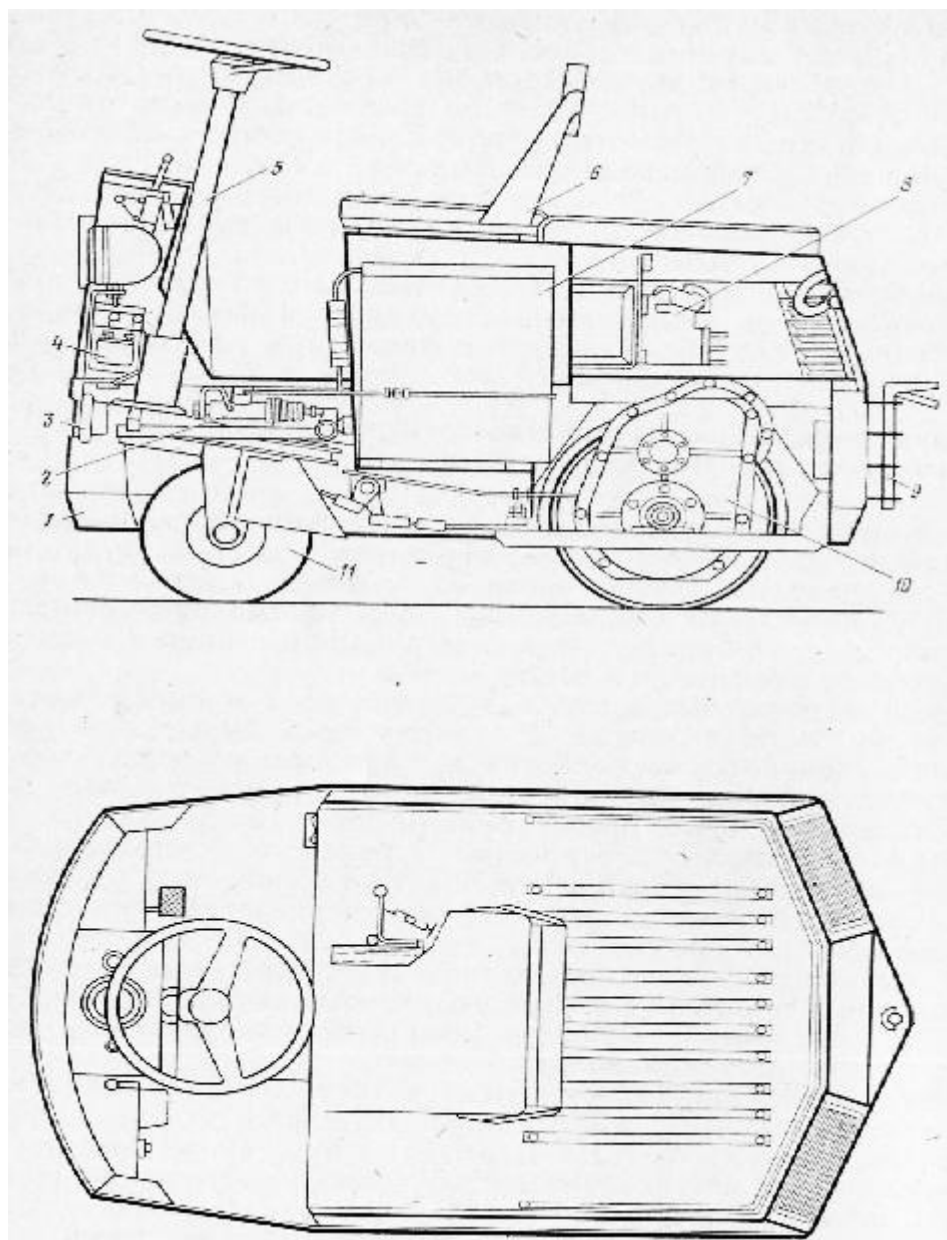


Рис.2.1.1. Электротягач

Шасі (металева рама) служить основою, до якої прикріплені всі пристрої. Акумуляторна батарея, щит тяговий і насосний електродвигуни та ручної командоконтроллер разом зі зв'язують їх приводами входять в електросистему машини. Колеса служать додатковими опорами при русі і повороті. Так як підйомний пристрій має передні опорні ролики, то передній міст як самостійний вузол не існує. Шасі електровізки з низьким підйомом і рульовим управлінням має конфігурацію, що забезпечує місце для водія.

Рульове управління, важіль поворотного кулака і поздовжнє тяга, шліцьовий важіль і обмежувальний болт складають частину елементів системи управління, яка управляє електровізків при повороті.

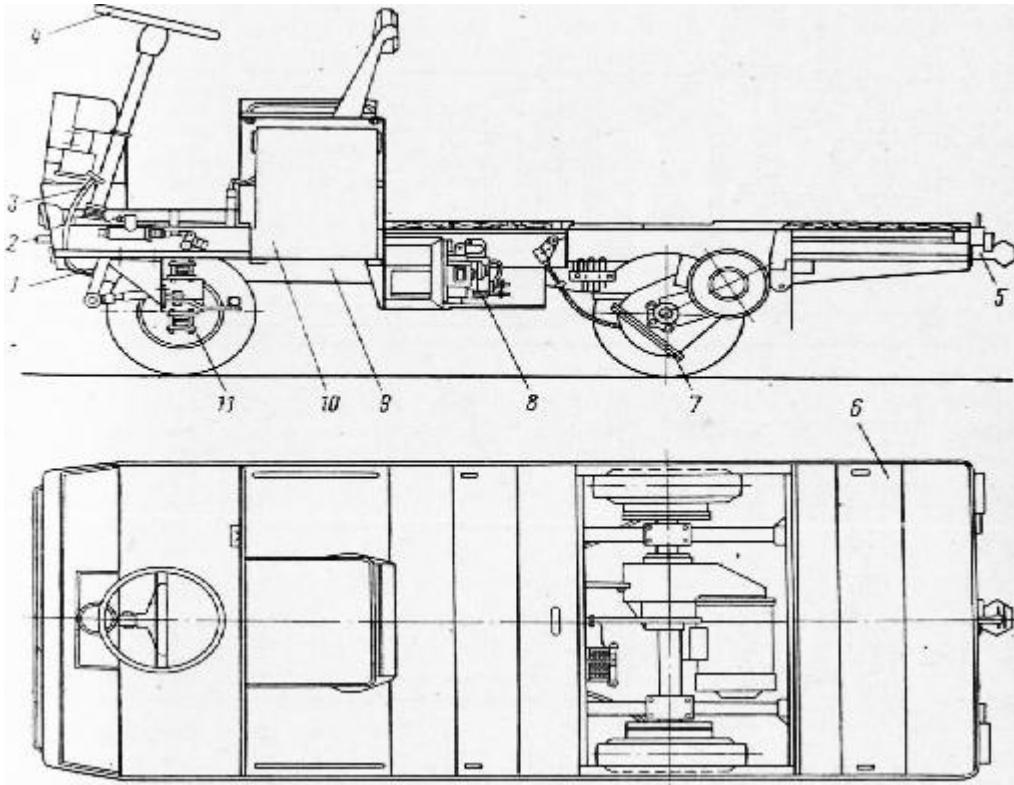


Рис. 2.1.2. Електровізок:

1 - гак; 2 - буфера; 3 - гальмівна система; 4 - пристрій рульового управління; 5 - буксирний пристрій; 6 - платформа; 7 - задній міст; 8 - контакторних табло; - Шасі; 10 - акумуляторна батарея; 11 - передній міст.  
 До електроустаткування електровізки відноситься електродвигун насоса, щит, акумуляторна батарея і тяговий електродвигун.

## **Тема 2. Верстатні електротехнічні комплекси.**

### **Характеристики та умови використання електротехнічних комплексів.**

Процес підготовки верстатного комплексу до експлуатації на виробництві незалежно від його призначення включає етапи монтажу та налагодження. Нижче представлена загальна послідовність робіт з монтажу автоматичних ліній (АЛ) та гнучких виробничих систем (ГВС), що відносяться до обладнання найвищого ступеня автоматизації та конструктивної складності, у зв'язку з чим наведену послідовність можна використовувати як універсальну методику при підготовці до експлуатації верстатних комплексів з ручним керуванням, з ЧПК та напівавтоматів. Слід однак врахувати, що залежно від конкретних умов монтажу перелік операцій може вимагати уточнень як за обсягом, так і за послідовністю їх виконання. Послідовність монтажу включає такі основні операції.

1. Підготовка приміщення для монтажу на заводі-споживачі. Перш ніж почати монтувати АЛ або ГВС замовнику необхідно закінчити всі будівельні та санітарно-технічні роботи, в тому числі: підготувати фундамент для установавання обладнання відповідно до вимог технічної документації; нанести на колонах цеху їх номери, а також базові відмітки (плашки та репери); виконати в підлозі цеху канали для розташування конвеєра, що забезпечує збирання та видалення стружки; установити транспортні підстанції та розподільні щити; підвести від централізованих установок та випробувати цехові магістральні комунікації електро- та повітропостачання, подачі води, газу, ЗОР, що забезпечують нормальне функціонування обладнання; змонтувати та пустити в роботу підйомнотранспортні засоби необхідної вантажопідйомності для монтажу та експлуатації обладнання.

2. В раніше підготовлених каналах підлоги цеху монтують конвеєри для збирання та видалення стружки; за

допомогою тимчасової підводки вмикають приводи конвеєрів у електромережу; проводять обкатку та випробовування конвеєрів у роботі; усувають виявлені недоліки.

3. Завозять обладнання АЛ (ГВС) та установлюють його на загальній бетонному полотні підлоги цеху або на індивідуальних фундаментах, підготовлених раніше відповідно до вимог установлювальних креслень, з урахуванням прив'язки до попередньо нанесених на колонах цеха бокових позначок. При цьому спочатку завозять та монтують основне металообробне та інше технологічне обладнання, а лише потім – допоміжне обладнання: промислові роботи (ПР), контрольні пристрої, магазини - накопичувачі, стелажі, транспортні пристрої тощо. В останню чергу установлюють допоміжне обладнання, що не потребує точної прив'язки до АЛ (ГВС), в тому числі: гідрообладнання (насосні установки гідроприводів та централізованої подачі мастила); електрообладнання (генератори постійного струму, шафи та пульти керування), короби 8 трубопроводів централізованої подачі ЗОР, стисненого повітря, води, газу; оснащення робочих місць обслуговуючого персоналу (інструментальні шафи, стелажі, столи тощо). Послідовність монтажу обладнання АЛ (ГВС) на заводі-виробнику та на заводі-споживачі в основному однакова. Спочатку складають та за необхідністю випробовують усі комплектуючі агрегати та вузли, які надходять з інших цехів заводу та інших підприємств. У послідовності, що описана у відповідному керівництві або інструкції розконсервують верстат. Перевіряють стан трубопроводів систем гідро- та пневмоприводів, змащення, подачі ЗОР; усувають сплющення та ум'ятини трубопроводів; установлюють відсутні скоби; перевіряють стан поверхонь тертя.

4. З використанням гасу та технічних серветок ретельно видаляють з поверхонь обладнання антикорозійні змащувальні матеріали.

5. Підготовлені до монтажу трубопроводи гідро- і пневмосистем очищують від бруду, промивають гасом, після чого прокачують по них на спеціальній установці під заданим тиском робоче середовище.

6. За допомогою вимірювальних пристроїв та регулювальних елементів вивіряють положення обладнання за висотою (від чистої підлоги) в повздовжній та в поперечних площинах; у попередньо виконані в фундаментах отвори заводять фундаментні болти та заливають їх рідким цементним розчином; до каркасів блокових фундаментів приварюють опорні пластини та установлюють кріпильні болти. Після затвердіння розчину та перевірки надійності приварювання пластин затягують кріпильні болти та гайки. При необхідності заливають станину цементним розчином.

7. Змащують всі рухомі вузли та механізми згідно із картами та схемами змащення обладнання.

8. З'єднують трубопроводи гідро- та пневмосистем, пристроїв подачі ЗОР, води, газу з машинами та апаратами обладнання; заливають в гідросистему через фільтр робочу рідину, випускають з неї нерозчинене повітря; опресовують гідро- та пневмосистеми на тиск, вказаний у кресленнях, при цьому вихід масла, ЗОР, води, повітря або іншого робочого середовища не допускається (наявність витоків рідини встановлюють візуально, а витоків повітря та газу - змочуючи мильною водою місця з'єднань).

9. Перевіряють правильність монтажу трубопроводів гідро- та пневмосистем в роботі.

10. Після монтажу трубопроводів систем подачі ЗОР перевіряють безперебійність надходження останньої до всього ріжучого та абразивного інструмента в заданих кількостях та під потрібним тиском. Впевнюються у виконанні таких вимог: трубопроводи та крани систем подачі ЗОР не повинні заважати доступу до оброблюваної заготовки та інструмента; всі горизонтальні ділянки напірних трубопроводів повинні мати

нахил 1:500 у бік бака для забезпечення витікання з них робочої рідини на етапах 9 відключення подачі ЗОР; для проведення періодичного очищення трубопроводів в них необхідно передбачити отвори, що мають закриватись пробками.

11. Виконують верхній монтаж електропроводки, що з'єднує шафи електроживлення та керування обладнанням. Для цього зібрану в джгути електропроводку, ізоляцію якої попередньо змащують солідолом, заводять в трубопроводи, кінці дротів з'єднують із затискачами електроапаратури, після чого правильність з'єднання перевіряється прозвонюванням; станини та інші базові елементи обладнання АЛ (ГВС) з'єднують із загальною заземленою шиною цеху.

12. Перевіряють відповідність установаження верстатів нормам точності, що вказані в їх паспортах; в разі необхідності усувають виявлені відхилення.

13. Короткочасним натисканням на кнопки „Пуск” перевіряють правильність напрямку обертання валів електродвигунів приводів, а також безвідмовність ввімкнення кнопок керування на пультах.

14. Проводять обкатку обладнання на холостому ходу; усувають виявлені при цьому недоліки та відпрацьовують рекомендації для подальшого налагодження. Для проведення монтажних робіт необхідно мати установлювальні (фундаментні) креслення АЛ (ГВС), вимірювальні прилади для вивірення правильності установаження обладнання (контрольні лінійки, металеві рулетки, кутники, рівні тощо).

**Системи керування електротехнічними комплексами. особливості проектування, синтезу та аналізу електротехнічних комплексів.**

Монтаж, налагодження та експлуатацію електроприводів та електропристроїв повинні виконувати електрики IV - V розряду, з класифікаційною групою техніки безпеки не нижчою III. В електроприводах верстатів-автоматів потрібно використовувати тільки мідні проводи у полівінілхлоридній або

поліетиленовій ізоляції різних кольорів: чорного - для силових кіл; червоного - для кіл керування змінного струму; синього - для кіл керування постійного струму. Під час монтажу слід звертати увагу на цілісність ізоляції (відсутність пошкоджень), якість паяння дротів та надійність приєднання їх до затискувачів. Необхідно ретельно контролювати стан проводів в джгутах в та наявність на них маркувань. Джгути прокладаються у металевих трубах, металорукавах, гнучких пластмасових трубах та спеціальних коробах, внутрішні поверхні яких для полегшення протягування джгутів злегка змащуються солідолом.

Загальна послідовність перевірки електродвигунів постійного струму головного руху та рухів подачі включає операції зовнішнього огляду, вимірювання опору обмоток постійного струму, вимірювання опору ізоляції обмоток відносно корпусу та відносно одна одної, випробування ізоляції обмотки якоря, спробного пуску. Зовнішній огляд двигуна починається з вивчення паспортних характеристик, вказаних на щитку та перевірки відповідності їх заданим. Далі перевіряють надійність ізоляції обмоток. Особливу увагу звертають на щітковий механізм (між його пластинами не повинно бути бруду, пилу від графітних щіток, масла, лаку тощо), а також на колектор, биття якого має знаходитись в межах 0,02...0,025 мм (перевіряється індикатором). Щітки в обоймах повинні переміщуватись вільно без хитання. Зазор між щіткою та обоймами в напрямку обертання має складати 0,1...0,4 мм, а в поздовжньому напрямку - 0,2...0,5 мм. Нормальний тиск графітних щіток на колектор повинен бути не меншим 0,015...0,018 МПа, мідно-графітових - 0,022...0,025 МПа. Перед ввімкненням двигуна щітки ретельно притирають до колектора.

Під час перевірки асинхронних електродвигунів головного руху та подачі верстатних комплексів здійснюють: огляд щітків, підшипникових вузлів, вихідного кінця вала, вентилятора, контроль кріплень проводів, затискачів, величини

осьового переміщення вала, яке не повинне перевищувати 2 мм, цілісності та опору ізоляції обмоток. Опір ізоляції вимірюють мегаомметром перед пробним пуском двигуна на холостому ході, а потім періодично під навантаженням в процесі його роботи (навантаження повинно бути не нижчим вказаного в паспортних даних двигуна). Під час роботи електродвигуна перевіряють також відсутність вібрації корпусу, поштовхів струму, нагрівання підшипників та обмоток. Електродвигуни приводів подачі та стеження можна перевірити не знімаючи їх з верстата на холостому ході при розімкненому 84 кінематичному колі або на стенді; випробування під навантаженням проводять на стенді, оснащеному електромагнітним гальмом та динамометричним пристроєм. Перед випробуванням визначають відповідність привода паспортній технічній характеристиці, контролюють якість складання, правильність маркування, наявність запасних комплектуючих частин тощо. Працездатність привода перевіряють під напругою, що складає  $0,85 \cdot U_n$ , ( $U_n$  - номінальна напруга) - контроль здійснюють за допомогою регульованого трифазного трансформатора. Визначають можливість обертання двигуна в обидві сторони при подачі на вихід перетворювача сигналу керування різних полярностей. Напругу вимірюють вольтметром з точністю до 1,5%. Перевіряють працездатність двигуна при тривалому навантаженні, максимальній частоті обертання, номінальній напрузі живлення та температурі навколишнього середовища ( $20 \pm 5$ ) 0С. При номінальній частоті обертання встановлюють навантаження привода струмом, значення якого  $T$  відповідає максимально допустимому тривалому моменту  $M_d$ ; методом опору визначають зростання температури обмотки електродвигуна. Частоту обертання вимірюють за допомогою лічильника обертів або цифрового вольтметра, приєднаного до вмонтованого тахогенератора. Значення струму навантаження вимірюють амперметром з точністю не нижчою 1,5%.

Максимальну частоту  $n_{max}$  обертання двигуна визначають при номінальній напрузі живлення, напрузі керування  $+10 - 10$  В, температурі навколишнього середовища  $(20 \pm 5)$   $^{\circ}\text{C}$  і навантаженні струмом, значення якого складає  $0,5 \cdot I_d$ ; перевірку виконують протягом 1 хв. Значення вимірюваної частоти обертання не повинне відрізнятись від величини  $n_{max}$ , вказаної в паспорті, більше ніж на  $\pm 2\%$ . Після загального контролю перевіряють якісні характеристики привода на статичних режимах, похибки частоти обертання при зміні значення струму навантаження, напруги живлення, температури, сумарні похибки, похибки при зміні напрямків обертання, коефіцієнт нерівномірності обертання. Після перевірки та регулювання електродвигунів з використанням вищеописаних методів контролюють їх роботу в складі всього електропривода, що може включати також перетворювач, підсилювач, пульт керування, пускач тощо.

### **Тема 3. Металургійні електротехнічні комплекси.**

#### **Характеристики та умови використання електротехнічних комплексів.**

Безумовні переваги регульованих електроприводів з вентильними перетворювачами призвели до їх широкого використання в різних галузях хазяйнування, в тому числі у верстатобудуванні.

На сьогоднішній час регульований електропривід з тиристорним перетворювачем у поєднанні з широкорегульованим при постійній потужності ДПС у механізмах головного руху та високомоментними ДПС у механізмах подання є одним з основних технічних засобів підвищення ефективності та якості технологічних процесів в станках з ЧПВ.

#### **Системи керування електротехнічними комплексами.**

Двоканальні структури з незалежним методом ослаблення потоку внаслідок невисоких динамічних показників,

необхідності обмеження швидкості наростання потоку для усунення перенапруги на якорі двигуна в перехідних режимах, використання двох задатчиків швидкості не знайшли застосування в верстатах з ЧПВ.

Регулятор збудження повинен забезпечувати досягнення максимальних частот обертання, допустимих для даного типу електродвигуна. В даний час двигуни постійного струму серій П, 2П, ПБСТ забезпечують збільшення частоти обертання ослабленням магнітного потоку в діапазоні до 4: 1, що з урахуванням насичення кривої намагнічування для сучасних вітчизняних електродвигунів вимагає зміни напруги на о (5мотке збудження в діапазоні не менше 1: 6. Для ДПС серії 2ПФШ з діапазоном регулювання частот обертання вище номінальної до 10: 1 потрібне істотне рас-опфеніє діапазону регулювання напругеііа ка обмотці збудження. Регулятор повинен мати обмеження ми мінімальними значення потоку, що виключає можливість ослаблення магнітного потоку нижче допустимого рівня при будь-яких можливих збурень.

При залежному принципі ослаблення поля коефіцієнт посилення регулятора потоку визначає зростання якірного напруги при регулюванні частоти обертання вище номінальної. Для отримання зміни ЕРС не більше 6% коефіцієнт посилення регулятора збудження повинні бути не менше 100. Пульсації струму збудження мінімальні, щоб не впливати негативно на комутацію струму якоря. У зв'язку з цим для харчування ланцюгів збудження ДПС, особливо потужністю понад 20 кВт. за двозонного регулювання слід вибирати багатофазні схеми перетворювачів: трифазні, а в деяких випадках і шестифазіє. При цьому поліпшуються і динамічні характеристики реверсивних електропрінодов.

Специфікою роботи головного приводу, як правило, є робота з великими наведеними моментами інерції і наявністю значних моментів статичного навантаження механізму.

Для електроприводів потужністю понад 20 кВт, або стислістю моментів інерції більше п'яти найбільш доцільно здійснювати реверсування в ланцюзі порушення двигуна.

### **Особливості проектування, синтезу та аналізу електротехнічних комплексів.**

До теперішнього часу найбільш розповсюдженим двигуном для головного руху верстатів були АД з короткозамкненим ротором. Але останнім часом у зв'язку з ростом вимог до приводів механізмів головного руху верстатів дедалі ширше застосування знаходять різні ДПС з електромагнітним збудженням, компенсовані двигуни з широким діапазоном регулювання зміною потоку, безколекторні двигуни постійного струму (вентильні) з електромагнітним збудженням.

Найбільш широко поширені ДПС з регулюванням зміною потоку з діапазоном регулювання до 4: 1, які використовуються в механізмах головного руху в поєднанні з дво-, чотириступінчастою коробкою скоростей. В універсальних верстатах потрібно порівняно невисока потужність різання, тому при регульованому приводі виявляється можливим завищення встановленої потужності електрошпинделя, яка визначається режимами обробки на нижній швидкості діапазону регулювання. Таке завищення потужності виправдано винятком або зниженням числа змінних Електрошпинделі (у варіанті зі змінними шпинделями). У верстатах-автоматах необхідні юшності, близькі до максимальних потужностей Електрошпинделі, що виготовляються заводами (табл. 14.12), тому отримання діапазону регулювання 4: 1 для більшості верстатів не може бути виконано з одним Електрошпинделі. Раціональним діапазоном плавного електричного регулювання верстатів-автоматів може бути прийнятий  $D = 1,5 - fr 2$ . Для

отримання регулювання в ширшому діапазоні (4: 1) необхідно застосовувати два-три змінних електрошпіделя.

У зв'язку зі значними успіхами у створенні абразивних матеріалів конструкції верстатів автоматів безперервно вдосконалюються з метою суттєвого збільшення продуктивності, тому потужність виготовлених нині Електрошпінделі виявляється недостатньою.

**Література: [1].**

**Тема 4. Гірничо-видобувальні електротехнічні комплекси.**

**Характеристики та умови використання електротехнічних комплексів.**

Сучасний одвоковшовий екскаватор - маневрена та рухома гірська машина, призначена для землерийних робіт на будівництві та розробці корисних копалин відкритим способом. Екскаватор містить комплект електрифікованих механізмів, розрахованих на тривалу роботу в важких умовах. Ці машини, починаючи з ковшів в 2,5 м, виготовляються як електричні лопати, і як драглайни.

Основна відмінність екскаваторів-лопат драглайнов полягає в конструктивному зв'язку ковша з робочим обладнанням в способі екскавації ґрунту. Ківш лопат з'єднаний з рухомих руків'ям, а ківш драглайнов підвішений на канатах. Крім того, драглайни обладнуються довгими направляючими стрілами, а найбільші великі з них з ковшами ємністю 6 м \* і більше - крокуючим механізмом переміщення. Інші екскаватори мають гусеничний механізм пересування. У їх числі кар'єрні прямі лопати, розкривні лопати з подовженим робочим обладнанням, кар'єрно-будівельні моделі, виготовлені в серії модифікацій: пряма і зворотна лопата, драглайн, кран і ін.

До складу механічного обладнання екскаватора-лопати входять: робоче обладнання, поворотна платформа і ходовий

візок. Рабоже обладнання включає в себе стрілу, рукоять з ковшом і механізм відкривання дна ковша. Механізм пересування екскаватора розташований на ходовому візку.

Екскаватор живиться змінним трифазним струмом від кар'єрних або будівельної мережі електропостачання. Енергія подається гнучким шланговим кабелем, який підключений до ввідної скрині, встановлені на нижній рамі. Через кільцевий струмоприймач електроенергія передається в високовольтну розподільну шафу, розташовану на поворотній платформі. Споживачами енергії високої напруги є приводні двигуни перетворювальних агрегатів і понижуючий трансформатор власних потреб. З боку нижчої напруги трансформатора підключені допоміжні електроприводи екскаватора.

Формування заданих механічних характеристик головних електроприводів забезпечується індивідуальним електроприводом, виконаним за системою Г-Д з керуванням від статичних збудників. Генератори електродвигуна спільно з приводним високовольтним двигуном скопновані в електромашинний перетворювальний агрегат. Екскаватором управляє оператор за допомогою трьох командоконтролерів, встановлених в кабіні керування. В кабіні розташовані також пульти дистанційного керування допоміжними системами і електроприводами.

Робоче обладнання крокуючих драглайнов містить стрілу, ківш, підйомний та тяговий канати, з'єднані з відповідними лебідками через головний блок та блок наведення. Розвантаження ковша здійснюється перекиданням за допомогою розвантажувального каната. Як основне, так і допоміжне механічне та електричне обладнання розташоване на поворотній платформі. На ній же змонтований механізм пересування з двома опорними лижами.

Підведення електричної енергії на платформу екскаватора виконаний аналогічно системі електропостачання лопат.

Електротехнічне обладнання управління зосереджено в шафах і пультах, встановлених в кузові екскаватора і частково - в кабіні машиніста.

### **Системи керування електротехнічними комплексами.**

Електропривод підйомного механізму призначений для управління швидкістю і напрямком переміщення ковша у вертикальній площині. Основні технологічні функції для лопат: підйом ковша в процесі копання в забої, підйом або опускання ковша для розвантаження в транспорт або відвал і опускання ковша при поверненні в забій. Відповідно для драглайна: підтримка малого натягнення канатів при черпанні ґрунту в забої, підйом ковша після заповнення до голови стріли, утримання в процесі розвантаження і опускання знову в забій.

Механізм складається з підйомної лебідки та канатів. Реверсивна лебідка наводиться в рух індивідуальними ДПС через редуктор. Режим роботи двигунів інтенсивний повторно-короткочасний. Двигун продувається типу з вентиляторами. Порухення незалежне. Конструктивне виконання двигунів - горизонтальне з двома кінцями валу для поєднання з муфтою редуктора і установки гальмівного щківа. Існують зразки екскаваторів з безредукторним тихохідним електроприводом, на валах двигунів якого безпосередньо встановлені барабани підйомної лебідки.

Регулювання швидкості двигунів зміною напруги якоря при живленні від індивідуальних генераторів електроприводу. Для прискореного опускання ковша до забою після розвантаження. Застосовується ослаблення потоку збудження. Оперативне гальмування приводу, включаючи режими утримання навантаженого ковша. Привід обладнаний стояночним колодковим гальмом і кінцевим командоапаратом обмеження шляху для виключення перепідйому ковша.

У групі головних електроприводів електропривод підйому є основним відповідно до заданого значенням навантаження,

швидкістю підйому ковша і продуктивністю екскаватора, яка визначається екскаваторним типажем.

Електропривод напірного механізму лопати забезпечує управління швидкістю і напрямом поступального переміщення рукояті з ковшем в горизонтальній площині. Призначений для управління становищем ковша при копанні в забої, виведення із забою, переміщення до транспорту або відвалу та повернення в забій. За допомогою електроприводу оператор задає необхідне напірне зусилля на забій, вибирає ступінь заглиблення ковша і трасу копання. Істотною є роль електроприводу при корекції положення ковша під час розвантаження в кузові транспортного засобу та інших маневрах, потребуючих точного управління.

### **Особливості проектування, синтезу та аналізу електротехнічних комплексів.**

Електрообладнання екскаваторів відрізняється специфічністю, великою різноманітністю і значною концентраціях потужностей. Так, на платформі екскаватора зосереджені: група потужних електричних машин, силове перетворювальне обладнання, високовольтна система електропрогрівання-постачання, різні допоміжні електроприводи, системи автоматичного і дистанційного керування, електрообладнання освітлення, вентиляції, обігріву та кондиціонування повітря та ін.

Найбільш складне з них відноситься до електроприводів головних робочих механізмів і однозначно визначає експлуатаційні показники екскаватора: продуктивність, маневреність і зручність управління, надійність і довговічність.

Сукупність електротехнічних виробів, наявних на екскаваторі, разом із зовнішнім трапляється високовольтним обладнанням системи електропостачання об'єднують в електротехнічний комплекс.

Застосовувані для екскаваторів електротехнічні вироби повинні мати підвищену перевантажувальну здатність і

механічною міцністю. Устаткування має задовольняти конкретним вимогам, які найбільш істотні для певних категорій екскаваторів, включаючи умови серійного або індивідуального виробництва, динамічні, конструктивні для економічні фактори, показники надійності, вартість і т. д.

До головних механізмів відносять ті, які безпосередньо здійснюють процес екскавації ґрунту: підйомний, поворотний, напірний лопат або тяговий драглайнов.

Процес екскавації полягає в розробці гірського масиву, т. е. його руйнуванні з циклічними режимами копати в забої, і транспортуванні ковша до місця розвантаження. Тривалість циклу малих машин з ковшами 2,5-5 м становить 5-32 с і зростає одночасно зі збільшенням геометричних розмірів ковша та робочого обладнання. Цикл містить такі технологічні операції: копання, підйом завантаженого ковша з одночасним поворотом платформи до місця вивантаження, разгрузка і повернення порожнього ковша в забій.

Оперативне переміщення ковша характеризується трикоординатної системою впливу з боку головних електроприводів. Періодично у міру відпрацювання забою виникає необхідність переміщення екскаватора. Цю операцію виконує механізм ходу або крокування. Умовно до головних примикає малопотужний електропривід механізму відкривання днища ковша, необхідний для розвантаження лопат.

**Література: [1].**

**Тема 5. Сільськогосподарські електротехнічні комплекси.**

**Характеристики та умови використання електротехнічних комплексів.**

Електрифіковані сільськогосподарські механізми діляться на наступні характерні групи і підгрупи, які мають подібну конструктивну побудову, характеристиками і режимами роботи.

1. Відцентрові механізми: насоси; відцентрові і осьові вентилятори; молочні та інші центрифуги; вакуумні насоси.

2. Установки з кривошипно-шатунним механізмом: поршневі насоси; поршневі компресори; поршневі преси сіна і соломи; лісопилльні рами.

3. Механічні транспортери: подачі продукту (стрічкові, ковшові, шнекові, тросошайбові, спіральні); роздачі кормів (скребкові); прибирання гною (цінні, штангові, скреперні).

4. Машини первинної переробки продуктів і приготування кормів: зернодробилки; подрібнювачі грубих кормів; змішувачі; гранулятори; молотарки-терки; теребільні машини; сортувальні та інші.

Для відцентрових установок характерні низькі моменти зрушення, вентиляторна або близькі до неї механічні характеристики, підвищений момент інерції. Навантаження має спокійний характер.

Установки з кривошипно-шатунний механізм характеризуються моментом зрушення, залежних від кута повороту кривошипного валу. Установки, як правило, забезпечені додатковими інерційними елементами. Навантаження має періодичний характер.

**Системи керування електротехнічними комплексами.**

**Особливості проектування, синтезу та аналізу електротехнічних комплексів.**

Електричний привід повинен забезпечувати виконання робочими органами машини заданого технологічного процесу. При цьому до нього і його елементів пред'являється ряд специфічних вимог.

Потужність електродвигуна повинна бути достатньою для подолання опору робочої машини в заданому режимі її роботи без перевищення допустимої температури частин двигуна. При цьому напруга живлення електродвигуна може бути нижче-номінального на 7,5%.

Початковий пусковий момент електродвигуна повинен бути достатнім для подолання моменту опору зрушення робочої машини при зниженні напруги живлення на 20-30% номінального (велика величина відноситься до двигунів, які не мають паралельно включених струмоприймачів). При цьому переважним є прямий пуск двигуна. При необхідності допускається застосування способів полегшення пуску електродвигуна. Пускові пристрої вибираються на підставі техніко-економічних розрахунків.

Перевантажувальна здатність електродвигуна повинна забезпечувати статичну і динамічну стійкість роботи приводу при виникненні характерних для даного технологічного процесу підвищень моменту опору навантаження та зниженні напруги на 7,5% від номінального.

Електричний привід повинен мати досить високий ступінь завантаження: коефіцієнт завантаження повинен бути не нижче 0,7. Для підвищення коефіцієнта завантаження при випадковому характері навантаження рекомендується забезпечувати механічне вирівнювання подачі матеріалу або автоматичне регулювання завантаження.

Сільськогосподарське виробництво характеризується специфічними умовами. У зв'язку з цим до електричного приводу висуваються додаткові вимоги (ГОСТ 19348-74).

Відхилення напруги на висновках електродвигуна допускається в межах 7,5 - 10% від номінального значення.

Електродвигуни сільськогосподарського призначення повинні допускати короткочасну роботу з номінальним навантаженням при напрузі до 0,8 номінального протягом дня. Підвищення температури обмотки статора двигуна до кінця зазначеного періоду не обмовляється. Електричні двигуни повинні допускати тривалу роботу при зниженні напруги до 0,8 номінального значення зі зниженням потужності до 0,8 номінальної.

Електричний привід повинен бути розрахований для роботи при температурі до  $+40^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості  $95 \pm 3\%$  при  $+20^{\circ}\text{C}$ .

**Література: [1].**

## **Тема 6. Електротехнічні комплекси хімічної промисловості.**

### **Характеристики та умови використання електротехнічних комплексів.**

Хімічні виробництва зазвичай пов'язані з переробкою речовин, які є пожежо- та вибухонебезпечними, а також має руйнівальний вплив на ізоляцію і металеві частини електротехнічних установок.

При конструюванні електрообладнання для підприємств хімічної промисловості і при проектуванні електроприводів механізмів хімічної промисловості необхідно зважати на несприятливі умови навколишнього середовища, які можуть мати місце на тому чи іншому хімічному виробництві.

Слід підкреслити, що з розвитком хімічної та нафтопереробної промисловості збільшується число відкритих електроустановок. Все більше число хімічних виробництв має позацевову компоновку, при цьому механічне і пов'язане з ним електротехнічне обладнання встановлюється відкрито на рівні землі або на відкритих металоконструкціях. В цьому випадку на відкритому повітрі працюють електродвигуни, датчики і апарати оперативного управління електроприводами. Решта електрообладнання (високовольтні і низьковольтні розподільні пристрої, комплектні пристрої керування, шафи автоматики), що вимагає кваліфікованого обслуговування, як правило, встановлюється в довколишніх закритих опалювальних приміщеннях. Умови роботи електрообладнання на відкритому повітрі залежать від кліматичної зони даного підприємства.

Для внутрішніх електроустановок особливе значення мають умови навколишнього середовища в приміщеннях, які

визначаються технологічними ознаками. Це пилові приміщення, приміщення з хімічно активним середовищем, пожежонебезпечні та вибухонебезпечні.

До курних приміщень належать такі, в яких за умовами виробництва виділяється технологічний пил в таких кількостях, що може проникти всередину машин і апаратів і осідати на проводах, шинах і т. Д. Пил може бути як непровідним, так і електропровідний, наприклад фільтром сажі пил; остання становить найбільшу небезпеку для нормального функціонування електрообладнання.

До курних приміщень відносяться розмельні і дробильні цехи заводів з виробництва мінеральних добрив, пічні відділення карбідних цехів, сумішозаготівельні відділення шинних і гумотехнічних заводів і багато інших. Слід мати на увазі, що пилові приміщення можуть бути пожежо- та вибухонебезпечними.

Приміщення з хімічно активним середовищем- це такі, в атмосфері яких за умовами виробництва постійно або тривалий час утримуються пари і гази, руйнівні діють на ізоляцію електричних виробів і їх струмовідні частини. До приміщень з хімічно активним середовищем відносяться цехи азотної, сірчаної та фосфорної кислот, склади деяких хімічних матеріалів, заводи штучного волокна, калійні комбінати, цехи електролізу, нейтралізації і ін.

До пожежонебезпечних відносяться приміщення, в яких піддаються переробці матеріали і речовини, небезпечні в пожежному відношенні. Найбільшу складність з точки зору конструктивного виконання електрообладнання являють собою вибухонебезпечні приміщення і зовнішні установки. Приміщення та зовнішні установки, в яких за умовами технологічного процесу можуть утворитися вибухонебезпечні суміші горючих газів або парів з повітрям, киснем або іншими газами-окислювачами, а також суміш горючого пилу або

волокон з повітрям при переході їх у зважений стан, називають вибухонебезпечними.

Технологічні процеси в сучасних хімічних виробництвах протікають зазвичай в закритих апаратах і частина при високому тиску і температурі. Апаратура і комунікації виконуються з досить надійних ущільнювачів, щоб не допускати втрати і проникнення переробляються продуктів в навколишню атмосферу. Освіта вибухонебезпечних сумішей може мати місце в цих випадках при аварійних ситуаціях і порушення технологічної дисципліни. Є, однак, деякі установки, де під час завантаження або розвантаження апаратів можливе утворення вибухонебезпечних концентрацій під час нормальної експлуатації.

Зазвичай користуються трьома способами, що забезпечують безпечне і надійне використання електрообладнання на підприємствах хімічної промисловості з несприятливими умовами навколишнього середовища.

1. Максимальна герметизація виробничих хімічних процесів, що виключає проникнення в атмосферу цехів і виробничих приміщень агресивних і вибухонебезпечних парів і газів, пилу н волокон. Суворе дотримання норм виробничої санітарії, забезпечення необхідної вентиляції приміщень, механічне їх прибирання.

2. Винести електрообладнання в окремі електротехнічні приміщення сприятливими умовами навколишнього середовища. Его найбільш радикальний засіб захисту електрообладнання, хоча в ряді випадків воно пов'язане зі збільшенням капітальних вкладень на будівництво спеціальних приміщень.

Слід мати на увазі, що при цьому не можуть бути винесені електродвигуни, апарати, сигнальні пристрої оперативного управління (кнопки, ключі, сигнальні лампи) і датчики.

**Системи керування електротехнічними комплексами.**

### **Особливості проектування, синтезу та аналізу електротехнічних комплексів.**

Електрообладнання центрифуг зазвичай працює в умовах вибухонебезпечного, хімічно агресивного середовища з підвищеною вологістю і запиленістю. Крім того, апаратура, встановлена на самих центрифугах, подається значним вібраціям. Найбільшу потужність електродвигунів мають центрифуги періодичної дії, що застосовуються у виробництві цукру.

Центрифуги безперервної дії зазвичай виконуються з нерегульованим електроприводом. Для свержцентрифуг на підвищенні швидкості потрібні перетворювачі частоти для живлення електродвигунів напругою підвищеної частоти.

Для центрифуг періодичної дії момент інерції центрифуг може в 50 разів перевищувати момент інерції двигуна, причому в процесі роботи центрифуги значення його змінюється в широких межах в зв'язку з виділенням рідкої фази з оброблюваного продукту. Це характерно для всіх центрифуг періодичної дії.

Основні вимоги до електроприводу таких центрифуг: забезпечити оптимальні динамічні режими при постійних прискореннях і уповільненнях центрифуги і стабілізувати її частоти обертання при завантаженні, вивантаженні і фугуванні. Часто з технологічних міркувань необхідна зміна значень максимальної швидкості і швидкостей завантаження і вивантаження. Потужності електродвигунів сучасних швидкодіючих центрифуг періодичної дії досягають 160 кВт.

Якщо врахувати великі моменти інерції центрифуг, то питання застосування економічного електроприводу, що забезпечує рекуперацію енергії в мережу при гальмуванні тут займає важливе місце.

**Література: [1].**

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Островерхов М.Я., Пижов В.М. Моделювання електромеханічних систем в Simulink: Навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: ВД «Стилос», 2008. – 528 с.
2. Чорний О.П., Титюк В.К. Особливості дослідження моделей систем електроприводу в Simpowersystems із ключовими елементами // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 3/2013 (23). – С. 33–48.
3. Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й., Сисюк Г. Ю., Садовой О. В. Моделювання електромеханічних систем: підручник. Кременчук, 2001. 410 с.
4. Чорний О. П., Толочко О. І., Титюк В. К., Родькін Д. Й., Чекавський Г. С. Математичні моделі та особливості чисельних розрахунків динаміки електроприводів з асинхронними двигунами : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2016. 300 с.
5. Wang Xi-Fan Modern Power Systems Analysis / Xi-Fan Wang, Yonghua Song, Malcolm Irving. – New York, NY, USA: Springer Science+Business Media, LLC, 2008. – 559 p.
6. Watson N. Power systems electromagnetic transients simulation / Neville Watson, Jos Arrillaga. – London: Institution of Engineering and Technology, 2007. – 449p.