

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**



**РОБОЧА ПРОГРАМА,**  
**методичні вказівки та індивідуальні завдання**  
**до вивчення дисципліни**  
**«Автоматизований електропривод»**  
**для студентів спеціальності**  
**7.05070204 – електромеханічні системи**  
**автоматизації та електропривод**

**Дніпропетровськ НМетАУ 2013**

**РОБОЧА ПРОГРАМА,  
методичні вказівки та індивідуальні завдання  
до вивчення дисципліни  
«Автоматизований електропривод»  
для студентів спеціальності  
7.05070204 – електромеханічні системи  
автоматизації та електропривод**

**Затверджено  
на засіданні Вченої ради  
академії  
Протокол № 1 від 29.01.2013**

**Дніпропетровськ НМетАУ 2013**

УДК 62-83 (07588)

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Автоматизований електропривод» для студентів спеціальності 7.05070204 – електромеханічні системи автоматизації та електропривод / Укл.: В.Є. Кажан, В.І. Нежурін, А.В. Ніколенко, В.В. Стьопкін. – Дніпропетровськ: НМетА, 2013. – 85с.

Наведені робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Автоматизований електропривод», література, пояснення до виконання курсового проекту.

Призначена для студентів спеціальності – 7.05070204 – електромеханічні системи автоматизації та електропривод заочної форми навчання

Друкується за авторською редакцією.

Укладачі: В.Є. Кажан, канд. техн. наук, доц.  
В.І. Нежурін, канд. техн. наук, доц.  
А.В. Ніколенко, канд. техн. наук, доц.  
В.В. Стьопкін, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск А.В. Ніколенко, канд. техн. наук, доц.  
Рецензент А.М. Овчарук, д-р техн. наук, проф. (НМетАУ)  
Відповідальний за комп'ютерний набір В.І. Нежурін

Підписано до друку . Формат 60x84 <sub>1/16</sub>. Папір друк. Друк плоский.  
Облік.- вид. арк. . Умов. друк. арк. . Тираж 100 пр. Замовлення № .

Національна металургійна академія України  
49600, м. Дніпропетровськ-5, пр. Гагаріна, 4

---

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ

## ВСТУП

Якість продукції, що виробляється, продуктивність та надійність роботи металургійних механізмів, машин та технологічних комплексів металургійних підприємств залежить від ступеня автоматизації виробничих процесів та у значній мірі від ефективності автоматизованих електроприводів (АЕП). Сучасні електроприводи є основними споживачами електроенергії, що виробляється. Тому вдосконалення техніко-економічних показників електроприводів дозволяє вирішувати проблему енергозбереження засобами електропривода. Більшість металургійних машин та технологічних комплексів (прокатні стани, вантажопідйомні механізми, конвертери та ін.) працюють з частими перехідними процесами, ударним прикладанням знакозмінного навантаження, у складних умовах експлуатації тощо. Усе це впливає на ефективність і якість АЕП та механізм у цілому, що необхідно враховувати при розрахунку потужності та виборі приводного двигуна, забезпечуючи при цьому задані точність регулювання координат та якість протікання перехідних процесів без небезпечних динамічних перевантажень АЕП.

Характерною тенденцією розвитку АЕП є розробка та застосування нових типів електродвигунів та перетворювачів електроенергії, а також подальший розвиток систем керування приводами, побудованих на сучасній елементній базі з використанням програмованих контролерів та комп'ютерної техніки. Вдосконалення напівпровідникової техніки, засобів керування, розвитку теорії керування створює умови для розробки комплектих електроприводів третього покоління, що являють собою об'єктні-орієнтовані комплекси, які включають пристрої керування, діагностики та інтерфейси зв'язку локальних систем АЕП з системою керування вищого ступеня ієрархії. Намічається перехід до широкого застосування інтегральних схем підвищеного ступеня інтеграції до керування від мікро-ЕОМ, використання спеціальних мікропроцесорних пристроїв керування; пристроїв цифрового керування потужними силовими тиристорними перетворювачами та координатами електропривода у цілому.

Складовими успішного вивчення дисципліни є:

1) самостійна робота з відпрацюванням матеріалу згідно з програмою навчальної дисципліни та рекомендованою навчальною літературою;

- 2) самостійне розв'язання прикладів задач;
- 3) знання відповідей на контрольні запитання щодо теми розділу;
- 4) присутність на аудиторних заняттях згідно з графіком навчального процесу.

До екзамену допускається студент, який самостійно виконав лабораторні роботи та захистив звіти з цих робіт, виконав та захистив курсовий проект з дисципліни.

Протягом самостійної роботи рекомендується складати конспект при вивченні окремих електроприводів механізмів за їх схемами з урахуванням їх технологічного процесу, принципів положень, співвідношень та фізичної сутності процесів регулювання координат. Після вивчення розділу або теми студент повинен дати відповіді на контрольні запитання. Для більш успішного засвоєння теоретичного матеріалу рекомендується розглядати та вирішувати приклади наведених задач.

При вивченні дисципліни особливу увагу звернути на призначення привода та його елементів, особливості умов експлуатації та технологічного процесу функціональної схеми, теорії і практики використання АЕП металургійних механізмів.

Протягом сесій студенти повинні відвідувати усі види занять (лекції та практичні заняття); на консультаціях з'ясовувати питання, які виникли при самостійній роботі над навчальним матеріалом та курсовим проектом. Курсовий проект за оформленням та змістом повинен відповідати вимогам, що надаються у цих методичних вказівках та методичних вказівках до курсового проекту з дисципліни «Автоматизований електропривод металургійних цехів» [7].

Перед виконанням курсового проекту студент повинен ознайомитися з методичними вказівками до курсового проекту та рекомендованою літературою. Завдання до проекту надається у декількох варіантах. Вибір варіанта вихідних даних до курсового проекту здійснюється за вказівкою викладача (керівника проекту) за списочним номером студента у журналі групи.

# 1. РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД»

## 1.1. Розподіл навчальних годин (заочна форма навчання)

	Усього	Семестр
		1
Усього годин за навчальним планом, у тому числі:	216	216
Аудиторні заняття, з них:	32	32
Лекції	24	24
Лабораторні роботи	8	8
Самостійна робота	184	184
Підсумковий контроль	іспит	КП

## 1.2. Характеристика дисципліни

Навчальна дисципліна «Автоматизований електропривод» входить до циклу дисциплін професійної і практичної підготовки.

**Мета вивчення дисципліни** – формування у студентів системи знань з питань принципів побудови та практики використання автоматизованих електроприводів (АЕП), технологічних комплексів та механізмів в умовах металургійних цехів металургійної галузі.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен **знати**:

- електромеханічні властивості приводних двигунів, особливості їх використання, способи регулювання координат в різних режимах роботи;
- принципи побудови, схеми, склад та особливості роботи систем керування АЕП технологічних комплексів та механізмів;
- призначення, функціональні та узагальнені електричні схеми і роботу типових елементів та АЕП металургійних механізмів;
- особливості технологічних процесів, для реалізації яких використовуються АЕП, у тому числі прокатних і трубних станів та допоміжного технологічного обладнання;
- основні технічні дані та енергетичні показники АЕП;

- методику розрахунку параметрів та вибір елементів системи керування і силової частини на прикладі тиристорного електропривода постійного струму.

**вміти:**

- розраховувати, будувати та аналізувати графіки характеристик АЕП в усталеному та перехідному режимах;

- читати узагальнені схеми електричні принципів АЕП типових механізмів;

- розраховувати потужність та обирати приводні електродвигуни; розраховувати енергетичні показники, навантажувальні діаграми та будувати їх графіки;

- проводити експериментальне дослідження АЕП в різних режимах роботи та аналізувати отримані результати.

**бути ознайомленим з:**

- особливостями експлуатації типових металургійних механізмів та їх АЕП;

- узагальненими схемами електричними принципів типових АЕП та їх елементів;

- змістом та вимогами основної нормативно-технічної документації, довідкових джерел і держстандартів стосовно АЕП механізмів металургійних цехів;

- перспективами та тенденціями розвитку теорії і практики використання та напрямками удосконалення АЕП механізмів металургійних цехів.

**Критерії успішності** – отримання позитивної оцінки за результатами складання іспиту, захисту курсового проекту, захисту звітів з лабораторних робіт, виконання вимог навчальної програми дисципліни.

**Засоби діагностики успішності навчання** – комплекти тестових контрольних заходів та запитань при виконанні і захисту курсового проекту та звітів з лабораторних робіт.

**Зв'язок з іншими дисциплінами** – дисципліна є завершальною при підготовці магістрів за спеціальністю – електромеханічні системи автоматизації та електропривод. До забезпечуючих навчальних дисциплін, на яких ґрунтується викладання даної дисципліни, відносяться: «Теорія електропривода», «Теорія автоматичного керування», «Електричні машини», «Мікропроцесорна техніка», «Елементи АЕП» та ін.

Набуті знання і вміння використовуються при вивченні дисципліни «Напрями розвитку електроприводів» та інших спеціальних дисциплін, при виконанні випускних кваліфікаційних робіт.

### **1.3. Зміст дисципліни за темами та розділами**

#### **Розділ 1. Електромеханічні властивості та особливості процесів у металургійних електроприводах**

**Вступ. АЕП у системах автоматизації металургійних цехів.** Загальні відомості. Типова функціональна схема та вимоги до АЕП.

**Приводні електродвигуни (ПЕД) механізмів металургійних цехів.** Характеристики та режими роботи. Особливості конструкції, використання, вимоги та дані двигунів краново-металургійної серії.

**Регулювання швидкості АЕП постійного та змінного струму.** Особливості регулювання швидкості ДПС та АД.

**Типові системи АЕП постійного струму.** Системи Г-Д та ТП-Д. ЕП з електродвигунами із спеціальними характеристиками.

**Типові системи АЕП змінного струму.** Приводи з частотним регулюванням координат з АІН та АІС.

**Механіка та рівняння руху АЕП.** Основні співвідношення та рівняння руху. Зведення моментів та сил опору.

#### **Розділ 2. Електроприводи агломераційних та сталеплавильних механізмів**

**ЕП машин для виробництва агломерату та окатишів.** Технологічний процес виробництва агломерату. Функціональна схема ЕП агломашини.

**ЕП конвеєрної випалювальної машини.** Функціональна схема конвеєрної випалювальної машини. Основні механізми аглофабрик.

**ЕП механізмів сталеплавильних цехів.** Загальні відомості про обладнання сталеплавильних цехів. Функціональні схеми ЕП механізмів повороту конвертера та переміщення фурми.

**Машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).** Загальні відомості



про МБЛЗ. ЕП тягнучої кліті та механізму качання кристалізатора МБЛЗ.

### **Розділ 3. Електроприводи прокатних станів**

**ЕП реверсивних прокатних станів.** Загальні відомості про прокатні стани та їх обладнання. Функціональні схеми ЕП реверсивних прокатних станів.

**ЕП реверсивного стана гарячої прокатки.** Функціональна схема, склад та робота ЕП за схемою.

**ЕП широкосмугових станів гарячої прокатки.** Функціональні схеми, склад та робота ЕП за схемою.

**ЕП безперервних прокатних станів.** ЕП безперервного заготівельного стана з загальними шинами живлення та сортового стана. Функціональна схема, склад та робота за схемою.

**ЕП станів холодної прокатки.** Функціональна схема ЕП стана холодної прокатки, склад та робота за схемою.

**ЕП моталок та перемотувальних пристроїв.** Технологічний процес пристроїв. Функціональні схеми, склад та робота приводів.

### **Розділ 4. Електропривод прокатних станів**

**Загальні відомості про трубопрокатні агрегати (ТПА).** Технологічний процес виробництва труб. Характеристика обладнання ТПА.

**ЕП прошивних безперервних та пілігримових станів.** Функціональні схеми ЕП прошивного та безперервного станів. Характеристика пілігримових станів.

**ЕП калібрувальних та редукційних станів.** Характеристика та функціональні схеми приводів.

**ЕП трубозварювальних станів.** Загальні відомості та функціональні схеми ЕП формовочного та редукційно-калібрувального станів.

**ЕП допоміжних механізмів прокатних та трубних станів.**

**ЕП міксерів, сталевізків та шлаковізків.** Характеристика та функціональні схеми приводів.

## **Розділ 5. Технічні засоби та інжиніринг автоматизованих електроприводів**

**Технічні засоби систем автоматизації та АЕП.** Технологічні засоби силової частини та системи керування та їх елементна база. Програмовані контролери та датчики.

**Інжиніринг АЕП та систем автоматизації.** Задачі та зміст інжинірингу ЕМС. Системний та електротехнічний інжиніринг.

**Загальні положення про проектування АЕП.** Стадії проектування та склад проектів. Технічні завдання, вимоги та умови.

**Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень та вибір електрообладнання.** Оцінка ефективності проектних рішень. Методичні рекомендації з оцінки та аналізу показників ефективності.

**Система керування якістю виробництва труб.** Характеристика виробництва труб ВАТ "Інтерпайп НГЗ". Система керування якістю, задачі системи, технологія виробництва труб.

**Основні етапи розрахунку та дослідження АЕП. Закінчення.** Основні етапи розрахунку. Комп'ютерні технології дослідження АЕП.

### **2. ЗМІСТ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЗА ТЕМАМИ ДИСЦИПЛІНИ**

**2.1. Електромеханічні властивості приводних електродвигунів металургійних механізмів**

**2.1.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 1**

**2.1.1.1. Електромеханічні властивості двигунів постійного струму**

**Електродвигуни постійного струму з незалежним та паралельним збудженням.** Такі двигуни є основними у приводах профільних та трубних прокатних станів, металорізальних верстатів, допоміжних механізмів тощо. Електромеханічні властивості цих двигунів постійного струму (ДПС), у тому числі їх характеристики, практично однакові. Схеми вмикання ДПС наведено на рис.2.1.

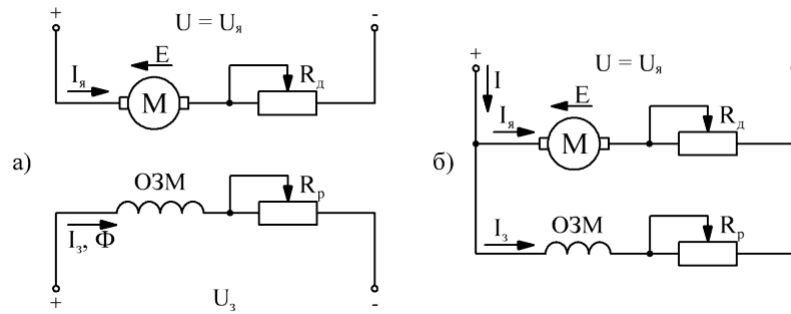


Рис.2.1. Схеми вмикання ДПС з незалежним (а) та паралельним (б) збудженням

Для отримання характеристик ДПС в усталеному режимі використовуються наступні співвідношення:

а) рівняння балансу напруг за колом якоря ДПС

$$U = E + I_{\text{я}} \cdot R; \quad (2.1)$$

б) вираз для ЕРС якоря

$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega; \quad (2.2)$$

в) вираз для електромеханічного обертового моменту ДПС

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}; \quad (2.3)$$

г) рівняння механічної рівноваги або моментів

$$M = M_{\text{с}} \pm J \frac{d\omega}{dt}, \quad (2.4)$$

для усталеного режиму

$$M = M_{\text{с}}, \quad (2.5)$$

де  $R_{\text{я}}$  – опір кола якоря;  $R_{\text{д}}$  та  $R_{\text{р}}$  – відповідно додаткові опори кіл обмоток якоря та збудження машини (ОЗМ);  $I$  та  $I_{\text{я}}$  – загальний струм ДПС та обмотки якоря;  $R = R_{\text{я}} + R_{\text{д}}$  – повний опір кола якоря;  $\Phi$  – магнітний потік ОЗМ;  $M_{\text{с}}$  – статичний момент опору, який створюється робочим механізмом або машиною (РМ), зведений до вала двигуна;  $J$  – момент інерції двигуна або привода у цілому;  $\omega$  – механічна кутова швидкість ДПС;  $k$  – конструктивний коефіцієнт машини, який визначається за формулою

$$k = p \cdot N / (2 \cdot \pi \cdot a), \quad (2.6)$$

де  $p$  – кількість пар полюсів;  $N$  та  $a$  – кількість активних провідників та паралельних гілок обмотки якоря.

На підставі співвідношень (2.1) – (2.5) після деяких перетворювань отримуються вирази або рівняння для електромеханічної (швидкісної) характеристики у вигляді

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - I_{я} \cdot \frac{R}{k \cdot \Phi}, \quad (2.7)$$

і механічної характеристики з урахуванням виразу (2.3)  $I_{я} = M/k \cdot \Phi$ :

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - M \cdot \frac{R}{(k \cdot \Phi)^2}. \quad (2.8)$$

Рівняння (2.7) та (2.8) у правій частині мають дві складові: перша не залежить від струму якоря та моменту та являє собою кутову швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = U/(k \cdot \Phi) \text{ або } \omega_0 = \omega_n \cdot U_n / (U_n - I_{ян} \cdot R_n), \quad (2.9)$$

де індекс «н» – номінальне значення параметра.

Друга складова рівнянь визначає нахил характеристик до осі абсцис, який характеризується коефіцієнтом жорсткості. Наприклад, для механічної характеристики величина цього коефіцієнта дорівнює

$$\beta = - \frac{k^2 \cdot \Phi^2}{R_{я} + R_{д}}. \quad (2.10)$$

Тоді рівняння (2.10) буде мати вигляд:

$$\omega = \omega_0 - M/\beta. \quad (2.11)$$

При зміні опору  $R_{д}$  змінюється нахил механічних характеристик, які є штучними реостатними. Зі збільшенням опору збільшується нахил характеристик, тобто їх жорсткість зменшується. Для заданих опору  $R_{д}$  та моменту  $M_c$  кутова швидкість визначається виразом:

$$\omega_R = \omega_0 [1 - I(R_{я} + R_{д})/U_{я.н}]. \quad (2.12)$$

Точка перетинання характеристики з віссю ординат (віссю швидкості) відповідає режиму холостого ходу, а з віссю абсцис – режиму короткого замикання. Останній режим характеризується струмом короткого замикання:

$$I_{кз} = \frac{U}{R_{я} + R_{д}}, \quad (2.13)$$

та моментом короткого замикання:

$$M_{кз} = k \cdot \Phi \cdot U / (R_{я} + R_{д}), \quad (2.14)$$

який залежить від опору  $R$  та магнітного потоку  $\Phi$ .

Для побудови графіка механічної характеристики, яка є лінійною, необхідно мати координати двох точок, що відповідають режимам холостого ходу ( $\omega = \omega_0$ ;  $I = 0$ ) і номінальному ( $\omega = \omega_n$ ;  $M = M_n$ ).

Для визначення орієнтованої величини номінального опору кола якоря використовується вираз:

$$R_{\text{я}} = 0,5 \cdot (1 - \eta_n) \cdot U_{\text{я.н}} / I_{\text{я.н}}, \quad (2.15)$$

де  $\eta_n$  – номінальне значення ККД, яке визначається за формулою

$$\eta_n = P_n / (U_n \cdot I_n), \quad (2.16)$$

де  $P_n$  – номінальна (паспортна) потужність ДПС.

Як відомо, енергетичний режим роботи електричної машини (ЕМ) визначається напрямом або знаком двох пар змінних: ЕРС  $E$  та струмом  $I_{\text{я}}$ , моментом  $M$  та швидкістю  $\omega$ , згідно з виразом для механічної потужності машини:

$$\pm P = (\pm M) \cdot (\pm \omega). \quad (2.17)$$

Якщо  $P < 0$ , то ЕМ працює у режимі генератора; якщо  $P > 0$ , то ЕМ працює у режимі двигуна. Генераторному режиму відповідають II і IV квадранти, а двигунному – I і III квадранти механічної характеристики.

До основних енергетичних режимів роботи ДПС відносяться:

- 1) холостого ходу;
- 2) короткого замикання;
- 3) двигунний;
- 4) генераторний ДПС паралельно з мережею або режим рекуперативного гальмування;
- 5) генераторний ДПС незалежно від мережі або режим динамічного гальмування;
- 6) генераторний ДПС послідовно з мережею або режим гальмування противмиканням.

**Гальмівні режими ДПС з незалежним та паралельним збудженням.**

До основних способів гальмування цих двигунів відносяться: рекуперативне гальмування з віддачею енергії у мережу, динамічне гальмування та гальмування противмиканням.

*Рекуперативне гальмування* можливо, якщо швидкість двигуна  $\omega > \omega_0$ . Тому ЕРС обмотки якоря стане більш живлячою напруги, тобто  $|E| > |U_{\text{я}}|$ . Під впливом ЕРС струм якоря змінює напрям:

$$I_{я,р} = -(U - E)/R < 0. \quad (2.18)$$

Відповідно змінює напрям (знак) і момент двигуна, який тепер буде гальмівним. Рівняння механічної характеристики приймає вигляд

$$\omega = U/(k \cdot \Phi) + M_{тор} \cdot R/(k \cdot \Phi)^2. \quad (2.19)$$

Механічна характеристика цього режиму починається у точці холостого ходу  $\omega_0$  і є продовженням відповідної характеристики двигунного режиму у квадрантах II та IV. Електрична енергія, що виробляється ДПС, повертається у мережу. Рекуперативне гальмування широко використовується в електроприводах (ЕП) постійного струму (прокатних станів, допоміжних механізмів), забезпечує високу плавність та економічність гальмування.

*Динамічне гальмування* здійснюється шляхом відмикання кола якоря двигуна від мережі та вмикання його на резистор динамічного гальмування  $R_{дин}$ . Тому струм якоря у цьому режимі визначається протиЕРС:

$$I_{я,дин} = -E/(R_я + R_{дин}). \quad (2.20)$$

Механічна енергія, що запасається у рухомих елементах механізму і якоря, перетворюється в електричну, яка у свою чергу розсіюється на елементах кола якоря у теплову енергію. Зі зменшенням швидкості зменшується струм якоря, а відповідно і гальмівний момент двигуна до повної зупинки. Механічні характеристики ДПС цього режиму проходять через початок координат у II або IV квадранті. Такий спосіб гальмування володіє високими плавністю та точністю дозування гальмівного моменту.

*Гальмування противмиканням* здійснюється двома способами.

1. Введенням у коло якоря двигуна реостата з великим опором. При цьому обертовий момент ДПС знижується і стає менше статичного моменту опору, тобто  $M < M_c$ . Двигун гальмується та зупиняється, а потім під впливом моменту  $M_c$  починає обертатися у зворотному напрямку і розвивати обертовий момент протилежного напрямку (тобто ДПС буде реверсувати).

2. Зміною полярності напруги обмотки якоря при введенні у коло якоря додаткового резистора противмикання  $R_{п}$ . При цьому струм якоря змінює напрям і дорівнює:

$$I_{я,п} = -\frac{U + E}{R_я + R_{п}}. \quad (2.21)$$

Тому момент ДПС також змінює напрям, стає гальмівним і двигун зупиняється. Для виключення реверсування ДПС його відмикають від мережі.

Цей спосіб гальмування є найбільш ефективним, але і складним з точки зору теплового режиму (викликає різке зростання струму якоря та моменту двигуна). Такий спосіб гальмування, наприклад, використовується в ЕП підйомно – транспортних механізмів та у приводах у разі екстреної зупинки механізму.

**Електродвигуни з послідовним та змішаним збудженням.** У ДПС з послідовним збудженням обмотка збудження машини (ОЗМ) вмикається послідовно відносно обмотки якоря, тому струм збудження дорівнює струму якоря і тому залежить від навантаження двигуна. При збільшенні моменту навантаження швидкість двигуна буде знижуватися, так як при цьому зростає потік збудження. Рівняння механічної характеристики має вигляд:

$$\omega = C_1' \cdot U / \sqrt{M} - C_2(R). \quad (2.22)$$

Це є рівняння гіперболи, тому характеристика ДПС буде м'якою і не має точки, що відповідає швидкості  $\omega_0$  ідеального холостого ходу. При навантаженнях на 15 – 20 % нижче номінального швидкість двигуна неприпустимо зростає, а при навантаженні  $M_c \approx 0$ , швидкість  $\omega \rightarrow \infty$ , що може привести до аварії (до механічного руйнування двигуна). Тому ДПС з послідовним збудженням неможливо пускати вхолосту. Такі двигуни мають широкий діапазон регулювання швидкості і використовуються у приводах електро транспорту (міксерів, конвертерів та інших механізмів).

*Гальмівні режими ДПС з послідовним збудженням.* Такий двигун має два способи електричного гальмування: динамічне та противмиканням, що здійснюється, як і у двигунах з паралельним та незалежним збудженням.

*Електродвигуни постійного струму зі змішаним збудженням.* Вони мають дві обмотки збудження: послідовну та паралельну, які створюють загальний магнітний потік ОЗМ. Механічна характеристика такого ДПС має точку зі швидкістю  $\omega = \omega_0$  при  $M_c = 0$ , а властивості двигуна визначаються співвідношенням магніторухомих сил обмоток збудження.

*Гальмівні режими ДПС зі змішаним збудженням.* У двигунах можливі усі три принципові способи електричного гальмування: рекуперативне, динамічне та противмиканням. Механічні характеристики таких ДПС у режимах гальмування практично лінійні і аналогічні характеристикам двигунів з паралельним збудженням.

### 2.1.1.2. Електромеханічні властивості асинхронних та синхронних двигунів

**Асинхронні двигуни.** Асинхронні двигуни (АД) отримали в промисловості широке застосування завдяки ряду переваг у порівнянні з іншими типами двигунів. Асинхронний двигун простий і надійний в експлуатації, дешевше і легше за двигуна постійного струму, володіє хорошою керованістю, має високий ККД та інші переваги.

Для виведення рівняння механічної характеристики асинхронного двигуна користуються спрощеною схемою заміщення з наступними позначеннями:

$U_\phi$  – первинна фазна напруга;  $I_1$  – фазний струм статора;  $I_2'$  – приведений струм ротора;  $X_1$  і  $X_2'$  – первинне і приведенне вторинне реактивні опори кіл статора і ротора;  $R_0$  і  $X_0$  – активний і реактивний опори контура намагнічення;  $S$  – ковзання двигуна

$$S = (\omega_0 - \omega) / \omega_0, \quad (2.23)$$

де  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість двигуна

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot n_0 / 60 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / p, \quad (2.24)$$

де  $R_1$  і  $R_2'$  – первинне і приведенне вторинне активні опори статора та ротора;  $f_1$  – частота напруги мережі;  $p$  – число пар полюсів;  $n_0$  – синхронна частота обертання АД

$$n_0 = 60 \cdot f_1 / p. \quad (2.25)$$

Механічна характеристика АД, що є залежністю обертового моменту двигуна від ковзання, тобто  $M = f(S)$ , визначається виразом

$$M = \frac{3 \cdot U_\phi^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + (X_1 + X_2')^2 \right] \cdot S}, \quad (2.26)$$

згідно з яким будується її графік (рис.2.2, а).

Крива моменту  $M = f(S)$  має два максимуми: один – у генераторному режимі, інший у двигунному режимі. Оскільки величини  $S$  і  $\omega$  зв'язані між собою, то на практиці широко використовується другий варіант механічної характеристики у вигляді  $\omega = f(M)$ , графік якої наведений на рис.2.2, б.



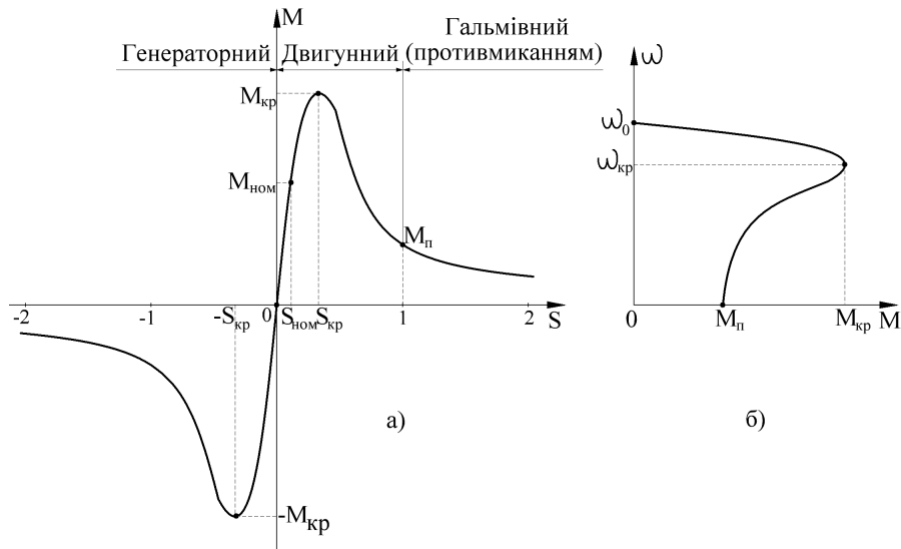


Рис.2.2. Механічні характеристики асинхронного двигуна

На практиці для розрахунку електромагнітного моменту АД використовується співвідношення:

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр} (1 + a \cdot s_{кр})}{\frac{s_{кр}}{s} + \frac{s}{s_{кр}} + 2 \cdot a \cdot s_{кр}}, \quad (2.27)$$

де  $M_{кр}$  – максимальний або критичний момент двигуна;

$s_{кр}$  – критичне ковзання, відповідне максимальному моменту.

$$a = R_1 / R_2'. \quad (2.28)$$

Якщо у рівнянні (2.28) нехтувати активним опором статора, то виходить зручніша для розрахунків моменту формула (формула Клосса):

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр}}{s_{кр}/s + s/s_{кр}}, \quad (2.29)$$

де  $s_{кр} = \pm R_2' / X_k$ ;  $M_{кр} = 3 \cdot U_{\phi}^2 / (2 \cdot \omega_0 \cdot X_k)$ .

Підставивши у вираз (2.27) замість поточних значень  $M$  і  $s$  їх номінальні значення і позначивши кратність максимального моменту  $M_{кр}/M_{ном}$  через  $\lambda$ , отримуємо співвідношення:

$$s_{кр} = s_{ном} (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad \lambda = 1,8 \dots 3,5. \quad (2.30)$$

Як видно з графіка (рис.2.2,б), при збільшенні навантаження на валу частота обертання (швидкість) АД падає, а досягши моменту  $M = M_{max} = M_{кр}$

двигун переходить на нестійку ділянку характеристики, де зменшуються і момент, що розвивається двигуном, і швидкість аж до зупинки АД. Згідно з наведеними співвідношеннями розраховують і будують графіки механічних характеристик АД.

Момент АД з короткозамкненим ротором (КЗР) пропорційний магнітному потоку і активній складовій струму ротора:

$$M = k' \cdot \Phi \cdot I_2' \cdot \cos\varphi_2, \quad (2.31)$$

де  $k'$  – конструктивна постійна АД;  $\varphi_2$  – кут зсуву між ЕРС і струмом ротора.

**Пуск асинхронних двигунів.** Пуск асинхронних двигунів має бути простим, при достатньо великому пусковому моменті і найменшому пусковому струмі. На практиці використовується три основні способи пуску:

- прямий пуск, безпосереднє підключення статора двигуна до мережі;
- пониженням напруги на статорі;
- включенням в коло ротора пускового резистора (реостатний пуск, використовується при пуску АД з фазним ротором).

З метою збільшення пускового моменту АД випускають ротори з подвійною білячою кліткою, що дозволяє підвищити пусковий момент і знижувати пусковий струм двигуна. Ці ж цілі переслідуються і в АД з глибоким пазом. У пази ротора такого двигуна закладаються прямокутні стрижні, що мають велику висоту по радіусу ротора і малу товщину. При пуску двигуна підвищений реактивний опір викликає витіснення струму ротора у верхню частину обмотки, що рівнозначно збільшенню активного опору ротора і пускового моменту машини. Збільшення індуктивного опору у момент пуску двигуна викликає зменшення пускового струму.

Пуск АД з КЗР при зниженій напрузі здійснюється за допомогою автотрансформатора або перемиканням обмотки статора при пуску з трикутника на зірку, при цьому напруга фазних обмоток і фазних струмів зменшується у  $\sqrt{3}$  раз, а лінійний струм у 3 рази. Проте, пусковий момент при цьому також зменшується у 3 рази, що є недоліком розглянутих способів. Після розгону АД обмотки статора перемикають на трикутник, при цьому напруга на ній збільшиться у  $\sqrt{3}$  раз. Найбільш поширеним способом пуску АД з фазним ротором є реостатний пуск по колу ротора машини, що дозволяє зменшити

пусковий струм до необхідної величини і одночасно збільшити пусковий момент аж до максимального  $M_{кр}$ .

**Гальмівні режими АД.** АД може працювати в трьох гальмівних режимах: генераторному (рекуперативному) режимі гальмування з віддачею електроенергії у мережу, динамічного гальмування з розсіюванням енергії на додатковому резисторі, гальмування противмиканням.

*Рекуперативне гальмування* з віддачею енергії в мережу здійснюється при виконанні умови  $\omega > \omega_0$ . У міру збільшення частоти обертання двигуна і при русі до швидкості холостого ходу обертовий момент двигуна зменшується, а при швидкості  $\omega = \omega_0$  момент  $M = 0$ . При подальшому підвищенні швидкості ротора він обганяє ( $\omega > \omega_0$ ) обертове магнітне поле (ОМП) статора двигуна, яке перетинає обмотку ротора в напрямі, протилежному у порівнянні з двигунним режимом, тому ЕРС ротора змінює знак на протилежний. Швидкість вище за синхронну швидкість обертання поля може бути отримана під дією моменту, що створюється навантаженням на валу машини (приклад, електровізка, який рухається вниз по похилому шляху). Механічна характеристика АД при рекуперативному гальмуванні буде продовженням характеристики двигунного режиму.

*Динамічне гальмування* здійснюється шляхом відключення статора АД від мережі і підключенні його на час гальмування до джерела постійного струму. Постійний струм, протікаючи по обмотці статора, створює у середині машини постійне магнітне поле. Ротор двигуна під дією запасеної кінетичної енергії в рухомих ланках механізму продовжує обертатися, але вже у постійному магнітному полі, і в його обмотці індукціюється ЕРС, під дією якої потече струм ротора. Взаємодія магнітного потоку і струму ротора приводить до появи моменту, який буде направлений проти напрямку обертання ротора. Механічні характеристики АД в режимі динамічного гальмування проходять через початок координат.

*Гальмування противмиканням* найчастіше використовується у випадках, коли АД разом з приводним у рух механізмом вимагає швидкої зупинки. Цей режим використовується для економії часу при частому реверсуванні виробничих механізмів і виконується шляхом зміни порядку чергування фаз напруги, що живить статор машини.

З цією метою триполюсний контактор відключає двигун від мережі (з чергуванням фаз А-В-С), а інший такий же контактор підключає статор АД до тієї ж мережі, але з іншим порядком чергування фаз, наприклад А-С-В. При цьому ОМП статора міняє напрям свого обертання на протилежне, але ротор двигуна під дією запасеної кінетичної енергії продовжує обертатися у колишньому напрямі, що приводить до появи гальмівного моменту, під дією якого двигун буде зменшувати швидкість до  $\omega = 0$ .

Інший спосіб гальмування противмиканням може бути використаний при активному характері моменту опору на валу машини, який має місце, наприклад на валу вантажопідйомного механізму. При такому гальмуванні АД шляхом включення у коло ротора додаткового резистора перекладається на реостатну характеристику. У результаті такого переходу момент, що розвивається машиною, стає менше моменту опору. Двигун гальмується і зупиняється. Якщо у цей момент АД не відключити від мережі, то ротор міняє напрям обертання, тобто двигун буде реверсувати.

**Синхронні двигуни.** Синхронні двигуни (СД) знаходять все більше застосування в електроприводах виробничих механізмів, що обумовлене їх високими техніко – економічними показниками. СД володіють високим коефіцієнтом потужності, близьким до одиниці; може використовуватися як компенсатор реактивної потужності і покращує якість роботи системи електропостачання; високим ККД, що становить до 98 %; володіє абсолютно жорсткою механічною характеристикою; має можливість регулювання перевантажувальної здатності СД за рахунок регулювання струму збудження.

Принцип роботи СД заснований на електромагнітній взаємодії магнітного поля статора і явновираженими полюсами ротора, обмотки яких отримують живлення від джерела постійного струму. Полюси поля статора, що обертається, притягають до себе різнойменні полюси ротора, і ротор обертається з такою ж швидкістю, як і поле статора синхронної машини, тобто синхронно формула (2.24).

СД володіє абсолютно жорсткою механічною характеристикою у межах максимального моменту, яка є прямою лінією, паралельною осі моментів, що проходить на рівні  $\omega = \omega_0$ .

Для визначення максимального моменту, до якого зберігається синхронна залежність моменту М, що розвивається машиною, від внутрішнього

кута СД  $\theta$ , який є кутом зсуву між ЕРС статора  $E$  і напругою живлячої мережі  $U_{\phi}$ . Вираз для кутової характеристики СД має наступний вигляд:

$$M = 3 \cdot U_{\phi} \cdot E \cdot \sin\theta / (\omega_0 \cdot X_1) = M_{\max} \cdot \sin\theta, \quad (2.32)$$

де  $M_{\max}$  – максимальний момент СД

$$M_{\max} = 3 \cdot U_{\phi} \cdot E / (\omega_0 \cdot X_1). \quad (2.33)$$

З виразу (2.33) виходить, що момент СД являє собою синусоїдальну функцію внутрішнього кута машини. Максимального значення момент СД досягає при  $\theta = \pi/2$  і характеризує собою перевантажувальну здатність двигуна. При великих значеннях кута СД випадає з синхронізму, а при менших кутах  $\theta$  його робота стійка. Номінальний кут  $\theta_{\text{ном}}$  має значення  $25 - 30^\circ$ , якому відповідає номінальний момент  $M_{\text{ном}}$ . Тоді величина  $\lambda$ :

$$\lambda = M_{\max} / M_{\text{ном}} = 2 \dots 2,5. \quad (2.34)$$

У СД спеціального виконання для металургійних ЕП коефіцієнт перевантажувальної здатності досягає  $3 \dots 4,5$ .

**Пуск і гальмування СД.** Для пуску СД використовується спеціальна пускова обмотка ротора, виконана у вигляді білячої клітки. Завдяки цій обмотці СД має достатньо великий пусковий момент. Пуск двигуна може здійснитися безпосереднім включенням обмотки статора в мережу або від пониження напруги за допомогою реактора або автотрансформатора. У початковий період пуску поле статора наводить в обмотці збудження значну ЕРС, яка може викликати пробій ізоляції. Тому обмотку збудження під час пуску закорочують на резистор, опір якого в  $8 \dots 10$  разів перевищує власний опір обмотки.

Досягши частоти обертання ротора, близькою до синхронної ( $\omega = 0,95 \cdot \omega_0$ ), обмотка збудження ротора підключиться до джерела постійного струму. Завдяки взаємодії поля статора і струму збудження ротора, що обертається, останній набирає обороти і починає обертатися зі швидкістю, що дорівнює швидкості обертання поля, тобто синхронно з полем. Такий пуск називається асинхронним пуском синхронного двигуна.

За умовами, які можуть мати місце при роботі синхронного приводу, розрізняють легкий і важкий пуск СД. Легкий пуск СД здійснюється при малих моментах навантаження і моментах інерції і є найбільш сприятливим відносно синхронізації СД з мережею. Важкий пуск має місце при відносно великих моментах навантаження і інерції. В цьому випадку для синхронізації

СД потрібний значний вхідний момент СД і його синхронізація з мережею ускладнюється.

При пуску СД використовуються два основні способи його збудження. При відносно невеликих моментах навантаження ( $M_c < 0,4 \cdot M_{ном}$ ) обмотка збудження СД протягом всього часу пуску постійно (глухо) підключена до джерела збудження – збудника, який в процесі пуску самозбуджується і забезпечує втягування СД в синхронізм в кінці пуску.

При пуску СД з відносно великими моментами навантаження ( $M_c > 0,4 \cdot M_{ном}$ ) обмотка збудження СД спочатку замикається через активний резистор (в якості якого може використовуватися розрядний резистор обмотки збудження), а досягнувши СД підсинхронної швидкості обмотка збудження підключається до збудника.

Окрім різних способів підключення обмотки збудження пуск СД може здійснюватися при повній або зниженій напрузі мережі. В більшості випадків СД потужністю до декількох сотень кВт, а іноді і більше, пускаються прямим підключенням до мережі. Кратність пускового струму при прямому пуску  $I_p/I_{ном} = 4 \dots 5$ .

Для обмеження пускових струмів і зменшення «провалів» напруги в мережі при пуску СД використовують реактори або автотрансформатори. Обмеження пускових струмів захищає мережа від поштовхів струмів, а також обмотки двигуна від підвищених динамічних навантажень, що мають місце при безпосередньому включенні в мережу.

СД може працювати у всіх гальмівних режимах. Проте слід зазначити, що режим рекуперативного гальмування можливий для СД тільки при синхронній швидкості, коли момент навантаження на його валу матиме негативне значення. Для цілей гальмування такий режим неприйнятний, оскільки при цьому не можна отримати зниження швидкості.

Режим гальмування противмиканням використовується рідко через те, що перехід СД в цей режим супроводиться значними стрибками струму і вимагає застосування складних схем керування.

Найбільш поширеним гальмівним режимом для СД є динамічне гальмування. Для реалізації такого режиму обмотка статора машини відключається від мережі і включається на додатковий резистор, а обмотка збудження продовжує отримувати живлення від свого джерела. Механічні

характеристики СД при динамічному гальмуванні подібні до механічних характеристик асинхронного двигуна в аналогічних режимах.

У металургійній промисловості навантаження СД часто носить різкозмінний характер (приводи безперервних прокатних станів, ножиці, пили для метелу, скипові лебідки для доменних печей). У таких приводах необхідно забезпечувати швидке регулювання струму збудження, що нездійсненно при використанні електромашинних збудників із-за їх великої інерції. Для вирішення цього завдання в синхронних приводах використовуються напівпровідникові збудники тиристорів, оскільки їх швидкодія на декілька порядків вища за електромашинних збудників.

### **2.1.1.3. Система генератор-двигун постійного струму**

Система електропривода генератор-двигун (Г-Д) постійного струму часто використовується у прокатних станах, важких металорізальних верстатах, екскаваторах, що крокують, та інших механізмах. У такій системі якір ДПС, швидкість якого регулюється, жорстко пов'язаний з якорем генератора постійного струму (ГПС), що разом із приводним двигуном М1 утворюють електромашинний перетворювач (П) електричної енергії трифазного змінного струму в енергію постійного струму. Регулювання напруги на якорі, відповідно і швидкості ДПС здійснюється за рахунок зміни магнітного потоку двигуна або струму (потoku) обмотки збудження ГПС.

Схему електричну принципову включення двигуна постійного струму з незалежним збудженням за системою Г-Д наведено на рис.2.3. Тут генератор Г з постійною кутовою швидкістю приводиться в обертання трифазним асинхронним двигуном М1 з короткозамкненим ротором; живлення кіл збудження ГПС Г і виконавчого двигуна М здійснюється від незалежних джерел постійного струму, тобто обмотки збудження генератора LG і двигуна LM живляться від тиристорних перетворювачів UZ і UZ1 відповідно. Керування двигуном М, а також регулювання швидкості здійснюється шляхом зміни величини й полярності ЕРС генератора за рахунок зміни струму збудження  $I_{зг}$  й відповідно потоку  $\Phi_r$  генератора (I зона регулювання) і зміни струму  $I_{зд}$  (потoku  $\Phi$ ) обмотки збудження LM двигуна М (II зона регулювання). Реверсування виконується шляхом зміни полярності ЕРС генератора при зміні

напрямку його магнітного потоку на протилежне.

Якір двигуна М жорстко приєднується до якоря генератора G безпосередньо. Електрорушійна сила генератора визначається за формулою

$$E_2 = K_2 \cdot \Phi_2 \cdot \omega_r, \quad (2.35)$$

де  $K_2$  – коефіцієнт, що залежить від конструктивних даних генератора.

Отже, при постійній кутовій швидкості  $\omega_r$  генератора його ЕРС буде визначатися магнітним потоком, що регулюється струмом збудження обмотки LG. Якщо скористатися схемою заміщення для розглянутої схеми системи Г-Д, то можна скласти рівняння рівноваги для ЕРС

$$E_r - E = I \cdot (R_r + R_d) \text{ або } E_r - k\Phi\omega = I \cdot (R_r + R_d), \quad (2.36)$$

де  $E$  та  $I$  – ЕРС двигуна й струм якірного кола машин;  $R_r, R_d$  – відповідно опори кіл якоря генератора й двигуна.

Звідси рівняння електромеханічної та механічної характеристик мають наступний вигляд відповідно

$$\omega = E_r/k\Phi - I \cdot (R_r + R_d)/k\Phi; \quad (2.37)$$

$$\omega = E_r/k\Phi - M \cdot (R_r + R_d)/(k\Phi)^2. \quad (2.38)$$

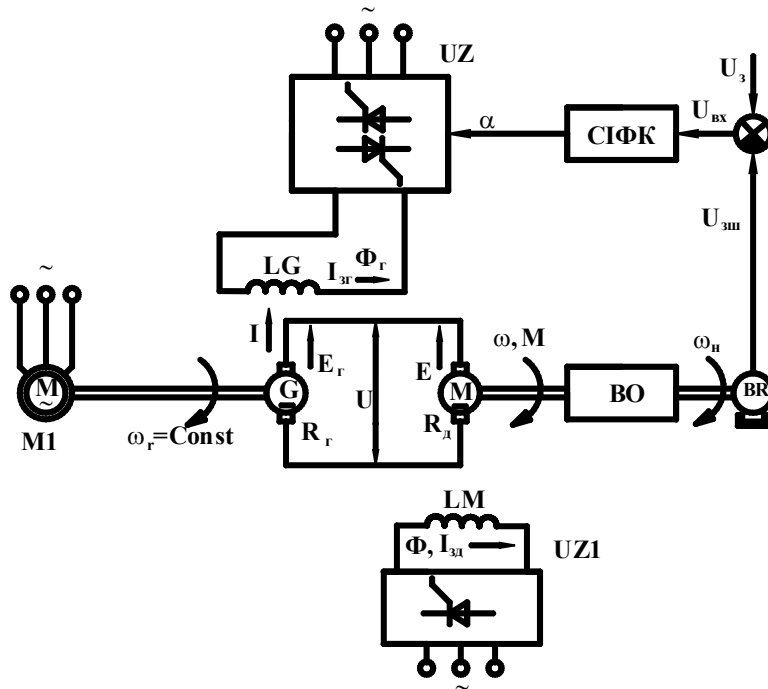


Рис.2.3. Схема вмикання ДПС за системою Г-Д



Механічні характеристики двигуна при незмінному потоці двигуна й зміні потоку генератора (без урахування реакції якоря) являють собою сімейство лінійних характеристик, нахил яких залишається постійним і визначається загальним опором якірних кіл машин. Швидкість ідеального холостого ходу визначається за формулою:

$$\omega_0 = E_T / k\Phi, \quad (2.39)$$

і може змінюватися у діапазоні від  $+\omega_0$  до  $-\omega_0$ . Негативне значення ЕРС генератора легко може бути отримано при реверсуванні струму збудження зміною полярності напруги на обмотках збудження генератора. Механічні характеристики двигуна розташовуються у чотирьох квадрантах.

У системі Г-Д реалізуються три способи регулювання швидкості: зміною напруги кола якоря, зміною магнітного потоку обмотки збудження робочого двигуна й реостатне.

Основними перевагами системи Г-Д є:

- великий діапазон і висока плавність регулювання швидкості;
- можливість реверсування;
- плавність безреостатного пуску й гальмування з віддачею енергії у мережу;
- висока жорсткість і лінійність механічних характеристик.

Система Г-Д може забезпечити двозонне регулювання кутової швидкості до основної швидкості - зміною ЕРС генератора при постійному потоці двигуна, а вище основний - регулюванням струму збудження двигуна при постійній ЕРС генератора, що дорівнює номінальному значенню.

Верхня межа кутової швидкості при регулюванні з постійним потоком двигуна обмежується номінальним значенням ЕРС генератора й тим перепадом швидкості, що обумовлений навантаженням і опором якірного кола. Нижня межа регулювання визначається завданням відносним перепадом кутової швидкості при певній зміні навантаження. Цей відносний перепад, названий статизмом, визначається для мінімальної кутової швидкості при змінному моменті навантаження від нуля до  $M_{ном}$  як:

$$\delta = \Delta\omega_{ном} / \omega_{0min} = I_{ном} \cdot (R_r + R_d) \cdot \omega_{0max} / E_{T.ном} \cdot \omega_{0min} \quad (2.40)$$

Звідси допустимий діапазон регулювання швидкості дорівнює

$$D_{доп} = \omega_{0max} / \omega_{0min} = E_{T.ном} \cdot \delta / I_{ном} \cdot (R_r + R_d) = \delta / \Delta\omega_{*ном}, \quad (2.41)$$

де  $\Delta\omega_{*ном}$  — відносний перепад кутової швидкості при  $E_{T.ном}$ .

До недоліків системи Г-Д відносяться:

1) необхідність у трикратному перетворенні енергії (з електричної енергії змінного струму у механічну, з механічної знову в електричну постійного струму регульованої напруги, а потім електричної у механічну у двигуні М), що приводить до значного зниження ККД;

2) наявність двох машин у перетворювальному агрегаті, установлена потужність кожної з яких практично дорівнює встановленій потужності регульованого двигуна;

3) висока інерційність і невисока надійність.

4) високі капітальні й експлуатаційні витрати;

5) значні габарити й маса установки, фактор шуму;

Принципово у системі Г-Д можливі усі три гальмівних режими, але практично використовується лише режим рекуперативного гальмування з віддачею електроенергії у мережу. Цей режим реалізується за умови, коли ЕРС двигуна більше ЕРС генератора ( $E > E_r$ ). При цьому струм у якірному колі міняє напрямок, генератор Г переходить у двигунний режим і таким чином буде обертати (підганяти) приводний двигун М1. Останній перейде у режим рекуперативного гальмування з віддачею електроенергії у мережу.

З метою підвищення жорсткості механічних характеристик, розширення діапазону регулювання швидкості, отримання необхідних характеристик, формування заданих перехідних процесів у системі Г-Д вводяться зворотні зв'язки. Як відомо, розрізняють зворотні зв'язки зі швидкості, ЕРС генератора, струму, навантаження й ін. Найбільше поширення одержали негативні зворотні зв'язки, що дозволяють стабілізувати швидкість електропривода, обмежувати робочий струм у припустимих межах тощо. Схема Г-Д на рисунку 2.3 містить зворотний зв'язок зі швидкості привода. Тут керування приводом здійснює система імпульсно-фазового керування (СІФК) перетворювача UZ. На вході СІФК зрівнюються два керуючі сигнали  $U_3$  і  $U_{3ш}$ . Сигнал завдання  $U_3$ , що надходить від командоапарата SA, задає необхідну швидкість привода. Сигнал  $U_{3ш}$  є сигналом негативного зворотного зв'язку зі швидкості, що надходить від тахогенератора BR. Результуючий сигнал на вході СІФК дорівнює  $U_{вх} = U_3 - U_{3ш}$  й визначає кут керування ТП UZ, а отже й значення ЕРС генератора в остаточному підсумку.

#### 2.1.1.4. Система електропривода ТП – Д з підпорядкованим регулюванням швидкості

Основним недоліком ЕП з підсумовуючим підсилювачем є складність налаштування параметрів кіл зворотних зв'язків. Налаштування носить компромісний характер стосовно кожного параметра, який налагоджують, і не є оптимальною. Цей недолік виключається у системі підпорядкованого регулювання (СПР), що знаходить широке застосування у регульованих електроприводах, які мають декілька незалежних регуляторів, котрі оптимізують кожний параметр привода.

Система підпорядкованого регулювання являє собою багатоконтурну систему з каскадним включенням регуляторів. При цьому число регуляторів і контурів регулювання дорівнює числу регульованих координат. Назва системи пояснюється тим, що вихідний сигнал регулятора, який вмикається у зовнішній контур, є сигналом завдання для регулятора, що вмикається у внутрішній контур, тобто один регулятор підпорядковується іншому.

Важливою перевагою такої системи є те, що налаштування регуляторів виконується незалежно й послідовно від внутрішнього контура до зовнішнього. Стосовно до привода постійного струму СПР містить основний контур регулювання швидкості й внутрішній, підпорядкований контур регулювання струму при керуванні за колом якоря.

Функціональну схему електропривода ТП – Д, який виконується за системою підпорядкованого регулювання, зображено на рис.2.4. Двигун постійного струму М з незалежним збудженням живиться від тиристорного перетворювача (ТП) і регулюється напругою кола якоря. Сигнал зворотного зв'язку зі струму знімається з датчика струму ВА, який вмикається у коло якоря двигуна, і надходить на регулятор струму (РС).

Реально сигнал, що пропорційний струму якоря, знімається з шунта, який вмикається у коло якоря. Оскільки напруга шунта невелика, вона підсилюється попереднім підсилювачем. Зворотний зв'язок зі швидкості здійснюється за допомогою тахогенератора ВР, напруга якого подається на вхід регулятора швидкості (РШ). На цей же регулятор подається керуюча напруга  $U_3$ . Схему електричної системи ТП-Д з підпорядкованим регулюванням швидкості наведено на рис.2.5.

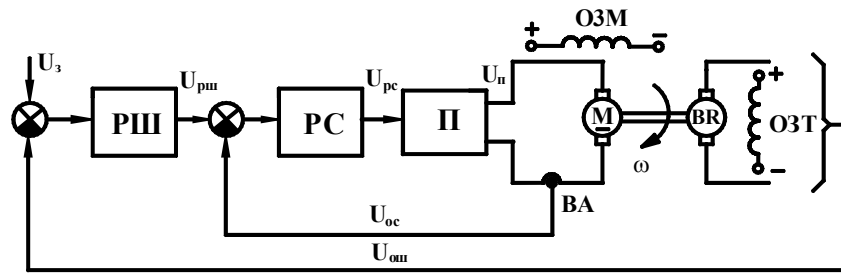


Рис.2.4. Функціональна схема ЕП системи ТП-Д з підпорядкованим регулюванням швидкості

СПР забезпечує високі статичні й динамічні характеристики електропривода. Вона відрізняється високим ступенем стандартизації й уніфікації структури й елементів привода, що спрощує його виготовлення, налагодження й ремонт.

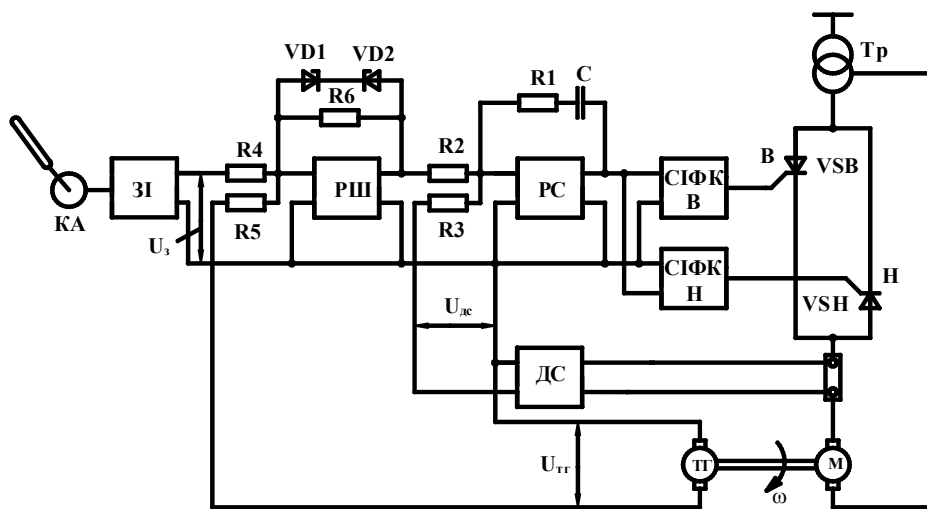


Рис.2.5. Схема електрична ЕП системи ТП-Д з підпорядкованим регулюванням швидкості

Структурну алгоритмічну схему системи підпорядкованого регулювання швидкості зображено на рис.2.6. Тут видно два контури регулювання, які замкнені незалежними зворотними зв'язками: контур струму і контур швидкості. Перший, внутрішній, складається з об'єкта регулювання (коло якоря двигуна), силового перетворювача й регулятора струму. Контур замикається

зворотним зв'язком з напруги, що знімається з датчика струму, який вмикається у коло якоря. Коефіцієнт перетворення кола зворотного зв'язку зі струму дорівнює  $K_c$ . Ускладнення структурної схеми контура пов'язане із проявом внутрішнього зворотного зв'язку з ЕРС. У багатьох випадках цим внутрішнім зв'язком зневажають і розглядають спрощену структуру контура струму (показано пунктиром на рис.2.6).

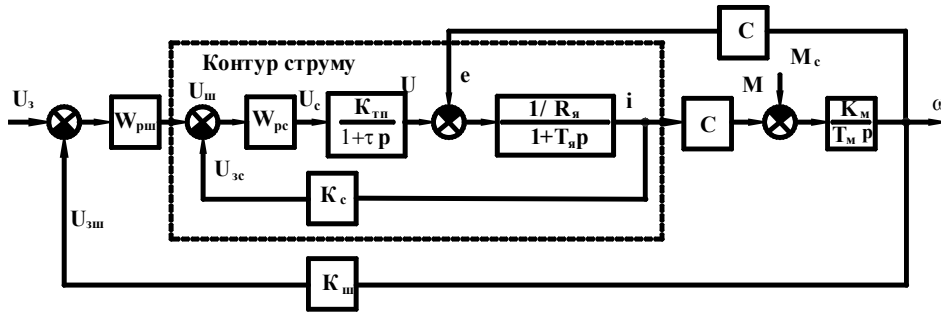


Рис.2.6. Структурна алгоритмічна схема системи ТП-Д з підпорядкованим регулюванням швидкості

Об'єктом регулювання другого, зовнішнього, контура швидкості є замкнений контур струму й ланка, що описує механічний опір двигуна. Контур замикається безінерційним зворотним зв'язком зі швидкості з коефіцієнтом перетворення  $K_{ш}$ . У системі підпорядкованого регулювання застосовують стандартні регулятори й методики настроювання цих регуляторів.

Найчастіше застосовують у контурі струму й контурі швидкості ПІ-регулятори. Такі системи привода називають дворазово інтегруючими. Вони забезпечують широкий діапазон регулювання швидкості й практично нульову статичну помилку при збурюванні з моменту опору. СПР з ПІ-регулятором швидкості (рис.2.5) є однократно інтегруючими. Вони мають досить високу швидкодію й мале перерегулювання перехідних процесів, однак володіють значним статизмом, тому такі системи не забезпечують великого діапазону регулювання швидкості.

Якщо умови роботи виробничого механізму допускають зниження моменту опору, наприклад, при останніх пропусках заготовки у валках прокатного стана, то з метою підвищення швидкості й продуктивності реалізують двозонне регулювання швидкості. Швидкість двигуна додатково збільшують вище основної шляхом ослаблення магнітного потоку машини. При

цьому недоцільно одночасно змінювати напругу на якорі двигуна й магнітний потік збудження, тому що це знижує допустимий момент  $M_{\text{доп}}$  і жорсткість механічних характеристик.

Тому регулювання швидкості від нуля до основної або якірне керування здійснюється зміною ЕРС перетворювача  $E_n$  при повному номінальному магнітному потоці двигуна ( $\Phi = \Phi_k$ ). Регулювання у зоні I здійснюється при постійному моменті  $M = \text{const}$  й змінному значенні потужності. Регулювання швидкості вище основної у зоні II виробляється при номінальній величині ЕРС ( $E_n = E_{\text{нн}}$ ) перетворювача й ослабленому магнітному полі ( $\Phi < \Phi_n$ ), тобто регулювання здійснюється при постійній потужності  $P = \text{const}$  й змінному моменті. Ступінь ослаблення поля двигуна зазвичай не перевищує 0,5 від номінального значення потоку. У другій зоні діапазон регулювання швидкості складає  $(2 \div 2,5):1$ . Керування полем двигуна або полюсне керування виконується залежно від величини напруги на якорі. При прискоренні двигуна ослаблення потоку починається тільки при номінальному значенні напруги на двигуні, а при сповільненні напруга на якорі повинна знижуватися тільки при номінальному потоці двигуна.

У системі двозонного регулювання швидкості коло якоря ДПС живиться від ТП, а його обмотка ОЗМ, як правило – від тиристорного збудника. Вона складається з двох взаємозалежних СПР, що здійснюють регулювання швидкості у першій і другій зонах відповідно:

1) системи регулювання швидкості з регулятором швидкості (РШ), що впливає на напругу ТП, і підлеглим контуром регулювання струму якоря з регулятором струму якоря (РСЯ);

2) системи регулювання ЕРС з регулятором ЕРС (РЕ) і підлеглим контуром регулювання струму збудження з регулятором струму збудження (РСЗ).

Функціональну схему системи двозонного регулювання швидкості зображено на рис.2.7. Основні елементи кола обмотки якоря машини (ОЯМ): регулятори швидкості (РШ) і струму (РСЯ), тиристорний перетворювач (ТПЯ) і датчики зворотних зв'язків зі швидкості (ДЗШ) і струму якоря (ДСЯ). Елементи кола обмотки збудження машини (ОЗМ): регулятори ЕРС (РЕ) і струму збудження (РСЗ), датчики зворотних зв'язків ЕРС (ДЕ) і струму (ДСЗ). Завдання необхідних напруги і ЕРС якоря виробляється задавачами відповідно ЗНЯ й

ЗЕРС.

У замкнених САР швидкості перехід від режиму регулювання швидкості напругою якоря до режиму регулювання потоком збудження забезпечується регулятором на швидкостях  $\omega > \omega_{\text{осн}}$ , що впливає на коло ОЗМ і підтримує ЕРС двигуна, яка дорівнює номінальному значенню.

Таким чином, двозонне регулювання швидкості ДПС виконується двома системами підпорядкованого регулювання за колами обмотки якоря й обмотки збудження.

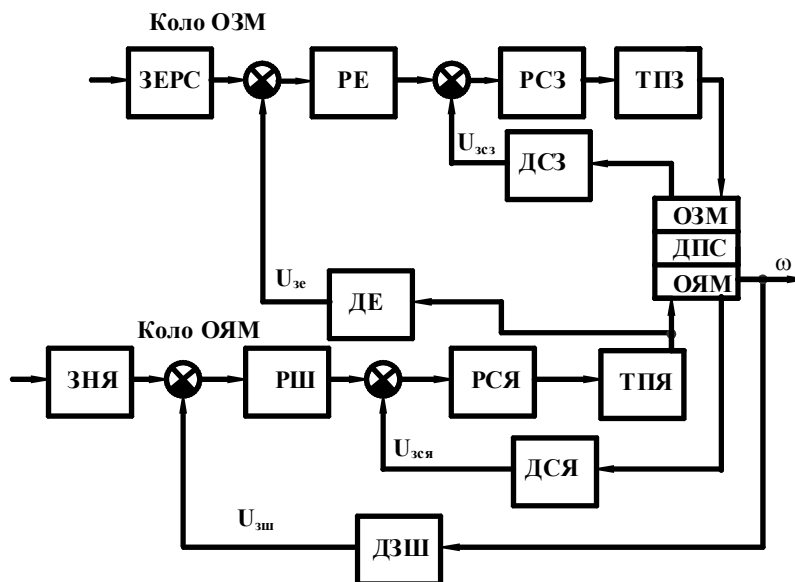


Рис.2.7. Функціональна схема системи ТП-Д з двозонним регулюванням швидкості

#### 2.1.1.5. Особливості процесів та електрообладнання електроприводів

До особливостей роботи ЕП металургійних механізмів відносяться наступні: ПЕД, що піддаються впливу високих температур; працюють в умовах великої кількості вологи, активних газів та струмопровідного пилу; в умовах великих знакозмінних перевантажень; робота з частими перехідними процесами та ударним прикладанням навантаження; в умовах необхідності синхронізації у роботі елементів робочого механізму або комплексу, підвищеної тряски тощо.

Тому ПЕД випускаються у захисних оболонках, які забезпечують захист обслуговуючого персоналу та самого двигуна від збурюючих впливів. Як приводні використовуються двигуни загальнопромислової та спеціальної краново-металургійної серій. Останні характеризуються великими перевантаженнями, пусковими струмами, температурою зовнішнього середовища (до 70 °С), частотою перемикачів (до 3000 у годину), дозволяють регулювати швидкість у широкому діапазоні з високою плавністю, механічною міцністю, надійністю та іншими перевагами.

У крупних прокатних станах використовуються двигуни постійного струму граничної потужності, яка обмежується наступними основними параметрами:

- 1) напругою між сусідніми колекторними пластинами, яка складає 10...20В;
- 2) величиною лінійного струмового навантаження (200...2000 А/см);
- 3) механічним напруженням на якорі за рахунок лінійної швидкості (до 70 м/с);
- 4) умовами нормальної комутації (величина реактивної ЕРС у комутуючій секції 5...8 В).

Основним показником технічного прогресу прокатних двигунів є збільшення одиничної потужності у одному якорі. На сьогодні потужність окремих прокатних двигунів складає до 20000 кВт. Збільшення потужності двигунів постійного струму останнім часом забезпечується за рахунок використання новітніх технологій при виготовленні нових марок сталі, сплавів, хімічних полімерів, а також за рахунок створення нової електромагнітної геометрії електричної машини, зокрема, використання двоходових та триходових обмоток якоря. Поліпшення комутації забезпечується використанням компенсаційної обмотки. Одним із способів збільшення встановленої потужності прокатного стану є створення двоякорних (Україна, Росія), або три- та чотирякорних прокатних двигунів (США, Західна Європа, Японія).

Згадані вище заходи дозволяють збільшити номінальну потужність на полюс. Однак при збільшенні потужності двигуна його момент інерції зростає швидше від обертового моменту (потужності). Тому не випадково, що модернізація головних електроприводів прокатних станів у бік зростання



потужності на сьогодні досить обмежена й зазвичай супроводжується зміною на двигун такої ж потужності і фундаменту.

Основними заводами-виготівниками двигунів є концерн «Електромеханічні заводи KLG», куди входять ВАТ «Електромашина» (м.Харків, Україна), ВАТ «Південелектромарш» (м.Нова Каховка, Україна), ЗАО «Завод крупних електричних машин» та «Неваелектромарш» (Росія), «Siemens», «AEG» (Германія), «Мітцубіші» (Японія), «Дженерал електрик» (США). Наприклад, ВАТ «Електромашина», випускає електричні машини загальнопромислового і спеціального призначення постійного струму серії 4П габаритів 200-280, 315-355, 4ПФ габаритів 200-250, серії 5П габаритів 100-160. Фірма «Siemens» випускає двигуни постійного струму потужністю 0,55...1500 кВт, номінальним моментом 5...40900 Н·м.

*Асинхронні двигуни* у складі частотного електропривода переважно використовуються для регулювання швидкості різних металургійних механізмів, наприклад, рольгангів. Найбільш характерним типом АД з короткозамкненим ротором є двигун серії 4А (концерн «Електромеханічні заводи KLG», «Південелектромарш»). Серед закордонних двигунів поширеними є двигуни фірми «Siemens» типу 1LA як для роботи з перетворювачами частоти, так і без них.

Характерною особливістю рольгангових АД серії 4АМСУ є значне номінальне ковзання, яке суттєво перевищує номінальне ковзання краново-металургійних двигунів. Такі спеціальні механічні характеристики відповідають тяжким режимам роботи рольгангів з індивідуальним приводом роликів: а) пробуксовування, проковзування металу; б) заклинювання металу; в) тимчасові зупинки під струмом окремих перевантажених двигунів при роботі інших.

Останнім часом для прокатних станів виготовляються потужні АД. Наприклад, фірмою «Siemens» виготовляються високовольні двигуни типу H-modup на потужність до 20 МВт (2-х полюсні), до 35 МВт (4-х полюсні), до 40 МВт (6-ти полюсні), до 30 МВт (4-х полюсні). При цьому напруга живлення складає 10 кВ (50 Гц) або 13,2 кВ (60 Гц).

Синхронні двигуни знайшли своє використання у приводах повітродувок, насосних установок та компресорів доменного виробництва, нерегульованих прокатних станів (чорнова група клітей). Потужність СД

досягає значень 50 МВА. Слід сказати, що СД традиційної конструкції та вентильні двигуни при інших рівних умовах мають момент інерції на 30...35 % більше, ніж у двигуна постійного струму.

*Вентильні перетворювачі.* Найбільш розповсюдженим у прокатному виробництві є електропривод постійного струму за системою «тиристорний перетворювач – двигун» (ТП – Д).

Силові схеми тиристорних перетворювачів розрізняються за наступними ознаками.

1. Кількістю вторинних фаз після трансформатора: а) одинарне число вторинних фаз (трифазне випрямлення); б) подвоєне число вторинних фаз (шестифазне випрямлення); в) збільшене у чотири рази число вторинних фаз (дванадцятифазне випрямлення).

Найчастіше зустрічаються 18-, 24-, 36-ти фазні схеми. Збільшення фазності викликано необхідністю зменшення пульсацій випрямленої напруги, збільшення при цьому використання трансформатора, зниження числа та рівня гармонік у первинному колі.

2. Способом включення тиристорів у блоці: нульові (однотактні) або мостові (двотактні) схеми включення. На сьогодні нульові схеми зустрічаються тільки в малопотужних приводах (вторинні струми не перевищують 100 А), тому що вони створюють потік однонаправленого підмагнічування, що є недоліком.

3. Способом з'єднання обмоток трансформатора: а) зірка (трикутник) – зірка; б) зірка (трикутник) – зигзаг (подвоєний зигзаг); в) зірка (трикутник) – подвоєна зірка з реактором, що урівнює.

При з'єднанні за схемою «зигзаг» співвідношення між напругою і струмом такі ж, що і при з'єднанні «зіркою», але для отримання такої ж фазної напруги число витків трансформатора повинно бути збільшене у 1,16 разів.

4. Реверсивна або нереверсивна схема з'єднання блоків (мостів) тиристорів. Існують декілька типів з'єднання мостів.

До силової схеми тиристорів додаються інші блоки: реактори або трансформатори, комутаційна апаратура, збуджувач двигуна, пристрої керування, системи керування тощо. Все це обладнання поєднують у комплектному електроприводі. Якщо комутаційна апаратура у колі навантаження та пристрої керування комутаційною апаратурою відсутні, а

також система керування існує у спрощеному вигляді або також відсутня, то такі силові пристрої називаються тиристорними агрегатами.

Силова частина комплектного тиристорного електропривода (КТЕ) має:

- реверсивний або неревверсивний тиристорний міст для живлення якоря двигуна;

- анодні реактори й автоматичний вимикач чи низьковольтний трансформатор при напрузі живлення 380 В (1-й варіант), або силовий трансформатор і шафа високовольтного вводу при 6-ти, 10-ти кВ напрузі живлення (2-й варіант);

- тиристорний міст з реакторами або діодний міст однофазного живлення обмоток збудження двигуна;

- силову комутуючу апаратуру;

- систему керування та регулювання.

Серед вітчизняних комплектних електроприводів найбільш розповсюдженими у металургійній промисловості є електроприводи типу КТЕ (ВАТ Запорізький завод «Перетворювач») та КТЕ (ВО «ХЕМЗ», м.Харків).

Комплектні тиристорні електроприводи з природним повітряним охолодженням типу КТЕ застосовуються для основних і допоміжних механізмів, що вимагають автоматичного регулювання частоти обертання, положення вала, потужності, випрямленої напруги й ЕРС двигуна, натягу матеріалу. Діапазон номінальних напруг 220...930 В, діапазон номінальних струмів 25...12500 А. Напруга живлення власних потреб:  $3 \times 380 \text{ В} + 10 \dots 15 \%$  змінного струму. Глибина регулювання випрямленої напруги 100...0...100 %. Максимально припустимий струм перевантаження протягом 15 с складає рівень двох номінальних струмів. Випускаються в трансформаторному і реакторному варіантах. Спосіб керування електроприводами імпульсно-фазовий. Діапазон регулювання зі зворотним зв'язком за ЕРС 25:1. Діапазон регулювання швидкості (із застосуванням прецизійного тахогенератора) 100:1. Час реверсування струму в якорному колі двигуна не більше 30 мс.

Похибка обмеження струму якоря не більше 10 %. Регулювання темпу наростання струму якоря від 40 до 100 номінальних значень, А/с. Похибка стабілізації швидкості обертання (при зворотному зв'язку за ЕРС) не більше 4%, при зворотному зв'язку за швидкістю – не більше 1 %. Діапазон

регулювання статичного струму якоря електроприводів, регульованих за потужністю і положенню, складає 10:1 при незмінній швидкості обертання.

КТЕ мають наступні типи виконання.

1. За кількістю двигунів, що живляться: а) однодвигуновий без лінійного контактора; б) дводвигуновий із загальним живленням якірного кола; в) багатодвигуновий; г) однодвигуновий з лінійним контактором; д) електроприводи (тиристорні збудники) для керування у колі збудження.

2. По режиму роботи: а) нереверсивний; б) реверсивний з реверсуванням струму в обмотці збудження; в) реверсивний з реверсуванням струму в якірному колі.

3. По зв'язку з живлячою мережею: а) реакторного виконання; б) трансформаторного виконання.

4. По наявності вбудованих пристроїв: а) пристрій динамічного аварійного гальмування; б) пристрій живлення обмотки збудження тахогенератора; в) пристрій живлення електромагнітного гальма; г) пристрій живлення обмотки збудження двигуна.

5. По типу системи автоматичного регулювання (САР): а) без САР; б) САР швидкості однозонна; в) САР швидкості двозонна з лінеаризацією; г) САР положення однозонна; д) САР положення двозонна; е) САР швидкості двозонна; ж) САР потужності однозонна; з) спеціальна САР; і) САР швидкості з пристроєм синхронізації по положенню; к) цифрова САР положення; л) САР швидкості з реверсуванням поля; м) САР головного приводу, наприклад, обтискного стана, а також Г-Д системи; н) САР натягу (потужності) з системою керування швидкісними режимами; о) цифрова САР положення з цифровою синхронізацією; п) САР швидкості з системою керування швидкісними режимами; р) САР міжклітьового натягу; с) САР вільної прокатки; т) цифрова САР швидкості; у) САР швидкості дводвигунового приводу з впливом по збудженню; ф) САР швидкості і натягу (без пристрою обчислення радіуса); х) САР швидкості зі спрощеною структурою; ц) САР швидкості з системою керування станом холодної прокатки; ч) САР швидкості зі ступінчастим завданням; ш) САР швидкості кліті товстостісового стана гарячої прокатки; щ) САР натягнення міжкліті з пристроєм виділення статичних струмів; є) САР швидкості однозонного багатодвигунового приводу на 5, 10, 15 або 20 двигунів

з виділенням максимально навантаженого; ю) САР швидкості кліті стана гарячої прокатки з груповим приводом валків.

Нова серія комплектних тиристорних електроприводів постійного струму КТЕ 4-го покоління розроблена на базі виробів 3-го покоління з повною заміною систем керування.

Нова система керування виконана у вигляді малогабаритного моноблока, що вбудовується у силові шафи перетворювачів на струми до 1000 А і в шафи керування для перетворювачів на струми 1600...12500 А. Застосовано елементну базу провідних світових виробників – Intel, Burr Brown, Motorola, Texas Instruments і ін.

Особливістю нових систем є наявність двопровідної швидкодіючої мережі.

Блок керування уніфікований для усіх типів КТЕ на струми 10...12500 А. Він дозволяє модифікувати застарілі вироби споживачів заміною тільки систем керування, зі збереженням силової, трансформаторно-реакторної і релейно-контакторної частини перетворювачів.

Прикладом закордонних комплектних електроприводів постійного струму є електроприводи типу SIMOREG DC MASTER фірми SIEMENS. Діапазон потужностей як для реверсивних, так і для нереверсивних приводів складає від 6,3 до 2000 кВт. Діапазон номінальних струмів лежить у межах від 15 А до 2000 А і може бути збільшений до 10000 А шляхом рівнобіжного з'єднання перетворювачів (до 5 блоків). Діапазон напруг – від 400 В до 830 В.

Відмінними рисами АЕП SIMOREG DC MASTER є висока точність і швидкодія, обумовлені застосуванням цифрової мікропроцесорної техніки: цифрова система імпульсно-фазового керування (СІФК) реверсивного тиристорного перетворювача кола струму якоря, цифрова СІФК нереверсивного тиристорного перетворювача кола струму збудження, цифрові контури струму якоря, швидкості та ЕРС.

В одному комплектному мікропроцесорному пристрої об'єднані функції двох систем системи керування – власне електроприводом і технологічною системою.

Вентильні електроприводи змінного струму використовуються у металургійній промисловості в основному для допоміжних механізмів. Перш за все це електроприводи за системою «перетворювач частоти – асинхронний

двигун», побудовані на основі інверторів напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Інвертори будуються на основі IGBT транзисторів з максимальними параметрами щодо напруги та струму відповідно 3,3 кВ, 1200 А, 2400 А; 4,5 кВ, 3,6 кА; 6 кВ, 1,2 кА. Крім того, використовуються також IGBT – транзистори на 4,5 кВ і струмом до 4кА.

Серед вітчизняних частотних електроприводів розповсюджений електропривод на IGBT транзисторах типу ПЧ (ВАТ Запорізький завод «Перетворювач») на потужності у діапазоні 1,5...400 кВт, номінальний струм 8...630 А. Діапазон зміни вихідної частоти 0,1...50(400) Гц, діапазон зміни вихідної напруги 0...220 В, 0...380 В. Тактова частота ШІМ 1...16 кГц. Коефіцієнт потужності не менше 0,93.

Відомими в Україні є електроприводи корпорації «Тріол»:

- АТ03 – високовольтні (трансформаторні) електроприводи потужних машин і механізмів на основі ПЧ з напругою 0,4 кВ та потужністю від 160 до 1600кВт;

- АТ07 – високовольтні (безтрансформаторні) електроприводи мережних і циркуляційних насосів великої продуктивності з потужностями (1600 – 5000 кВт, 6 кВт);

- АТ09 – високовольтний (трансформаторний) електропривод на основі ПЧ з напругою 0,66 кВ і вище, з потужностями 400-1600кВт;

- СТ10 – високовольтний синхронний електропривод для регулювання частоти обертання й автоматичного керування режимами насосів, вентиляторів, димососів і інших механізмів з потужностями 320-1600кВт;

- АТ04 – універсальні електроприводи широкого спектра виробничих машин і механізмів, у тому числі з підвищеними статичними і динамічними вимогами, з потужностями 5,5-315кВт;

- АТ05 – високодинамічні електроприводи механізмів з високими вимогами до регулювання параметрів при чотириквadrантному керуванні з потужностями 5,5-1600кВт;

- АТ06 – об'єктно-орієнтовані електроприводи насосних станцій тепло- і водопостачання з потужностями 5,5-37кВт.

Прикладом закордонних електроприводів може бути частотний електропривод фірми SIMENS типу SIMOVERT masterdrives Vector Control з повітряним охолодженням і 6-пульсною діодною схемою на вході для

постійного і квадратичного моменту навантаження. Статичний перетворювач частоти з проміжним контуром постійної напруги номінальною потужністю від 2,2 до 2300 кВт поставляється як у шафовому так і у виконанні, що вбудовується, зі ступенем захисту від IP00 до IP54 (повітряне охолодження) чи IP65 (водяне охолодження).

### 2.1.2. Розрахунок автоматизованого електропривода шнекового живильника

Регульовальний АЕП шнекового живильника, що призначений для подачі вугілля із бункера у систему пілозбирання (кінематична схема привода наведена на рис.2.8), повинен відповідати наступним технічним вимогам з такими можливими реальними параметрами:

- нереверсний з тривалим режимом роботи;
- діапазон робочих частот обертання ПЕД: від мінімальної  $n_{p \text{ min}} = 500$  об/хв до максимальної  $n_{p \text{ max}} = 1900$  об/хв;
- електропривод повинен забезпечувати кратності пускового моменту та максимального моменту не менше  $k_{m \text{ ep}} \gg 2$ ;
- похибка підтримки заданої швидкості не більше 10%;
- максимальна продуктивність живильника  $Q = 50$  кг/с;
- передаточне число редуктора  $I = 16$ ;
- еквівалентний коефіцієнт корисної дії механізму при роботі живильника з максимальною продуктивністю  $\eta_{\text{ред}} = 0,8$ ;
- момент інерції шнека  $J_{\text{ш.пр}} = 4,66$  кг · м<sup>2</sup>.

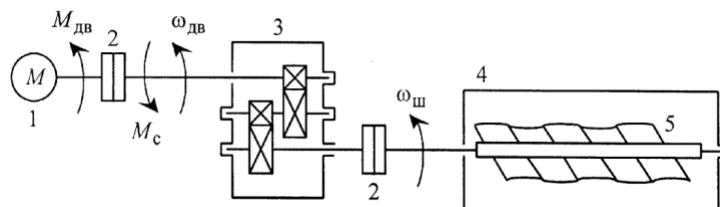


Рис.2.8. Кінематична схема механізму живильника:

- 1 – електродвигун; 2 - жорстка муфта; 3 – редуктор;
- 4 – бункер; 5 – шнек.

Момент інерції шнека, приведений до валу двигуна:

$$J_{ш.пр} = \frac{J_{ш}}{I^2} = \frac{4.66}{16^2} = 0,0182 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.42)$$

Видається перспективним перейти до використання асинхронних електроприводів з частотним регулюванням, котрі за функціональними можливостями і експлуатаційними характеристиками можуть відповідати пред'явленим технічним вимогам, у тому числі, наприклад, діапазон регулювання сучасних асинхронних електроприводів з перетворювачем частоти при найпростішому скалярному керуванні може бути у межах (5...10:1), що є цілком достатнім.

Електропривод живильника працює у режимі S1 – тривала робота з постійним навантаженням. Тому двигун для живильника вибирається з умов роботи механізму з максимальною продуктивністю.

Максимальна статична потужність живильника:

$$P_{с.мах} = \frac{9,81 \cdot Q \cdot L \cdot K_1 \cdot K_2}{\eta_{ред}} = \frac{9.81 \cdot 50 \cdot 3.6 \cdot 4.1 \cdot 1.5 \cdot 10^{-3}}{0.8} = 13,575 \text{ кВт}, \quad (2.43)$$

де 9,81 м/с<sup>2</sup>- прискорення вільного падіння;

Q= 50 кг/с – максимальна продуктивність живильника;

L= 3,6 м - горизонтальна проекція шляху;

K<sub>1</sub> = 4,1 – коефіцієнт опору переміщенню;

K<sub>2</sub> = 1.5 · 10<sup>-3</sup> – коефіцієнт, який враховує втрати у механізмі.

Максимальна продуктивність живильника має місце при максимальній швидкості обертання. Тоді приведений до валу двигуна максимальний момент опору навантаження з урахуванням втрат в механізмі і редукторі:

$$M_{с.мах} = \frac{P_{с.мах}}{\omega_{р.мах}} = \frac{13575}{198,95} = 68,25 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.44)$$

$$\omega_{р.мах} = \frac{\pi \cdot n_{р.мах}}{30} = \frac{3,14 \cdot 1900}{30} = 198,95 \text{ рад/с}. \quad (2.45)$$

Можливі два варіанти вибору електродвигуна:

-на синхронну частоту обертання  $n_0 = 1500$ об/хв з регулюванням швидкості вище синхронної за рахунок збільшення частоти напруги більше, ніж 50Гц;

-на синхронну частоту обертання  $n_0 = 3000$ об/хв з регулюванням швидкості вниз від основної за рахунок зменшення частоти менше, ніж 50Гц.



Тоді умови вибору електродвигуна по моменту та потужності у першому випадку:

$$M_{\text{двн}} \geq M_{\text{с max}} \cdot \frac{100}{73} = 68,25 \cdot 1,37 = 93,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$P_{\text{двн}} \geq M_{\text{двн}} \cdot \omega_0 = 93,5 \cdot 157,07 = 14682,1 \text{ Вт}.$$

а у другому випадку:

$$M_{\text{двн}} \geq M_{\text{с max}} \cdot \frac{100}{51} = 68,25 \cdot 1,96 = 133,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$P_{\text{двн}} \geq M_{\text{двн}} \cdot \omega_0 = 133,7 \cdot 314,159 = 42012,7 \text{ Вт}.$$

Аналіз отриманих результатів показує, що правильним є перший варіант вибору двигуна з синхронною частотою  $n_0 = 1500$  об/хв. Вибираємо електродвигун типу АИР160М4, паспортні параметри якого зведені до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Технічні дані двигуна АИР160М4

Типорозмір двигуна	Синхронна частота обертання $n_0$ , об/хв	Потужність $P_H$ , кВт	При номінальному навантаженні			
			Ковзання $S_H$ , %	ККД $\eta_H$ , %	$\cos\phi$	
АИР160М4	1500	18,5	3	90,5	0,89	
$m$ $n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_H}$	$m_k = \frac{M_{\text{max}}}{M_H}$	$m_n = \frac{M_{\text{min}}}{M_H}$	$k_{i.\text{об}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_H}$	Ступінь захисту	Кліматичне виконання	Момент інерції $J_{\text{об}}$ , кг/м <sup>2</sup>
1,9	2,9	1,8	7	IP44	УХЛ4	0,1

З урахуванням даних таблиці 2.1 розраховуються такі параметри двигуна:

Синхронна кутова швидкість обертання вала двигуна:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,07 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номінальна частота обертання вала двигуна:

$$n_H = (1 - s_H) \cdot n_0 = (1 - 0,03) \cdot 1500 = 1455 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Кутова швидкість:

$$\omega_H = (1 - s_H) \cdot \omega_0 = (1 - 0,03) \cdot 157,07 = 152,35 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номінальний струм двигуна:

$$I_{iH} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,905} = 34,8 \text{ А.}$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_H} = \frac{18,5 \cdot 10^3}{152,35} = 121,43 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Розрахункова заступна схема механічної системи електропривода живильника може бути представлена у вигляді одномасової системи (рис.2.9).

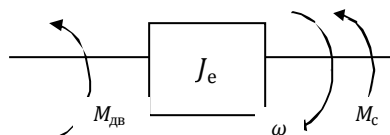


Рис.2.9. Розрахункова схема механічної системи привода

На схемі прийняті наступні позначення:  $M_{дв}$  – обертовий момент, що розвивається на валу електродвигуна,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;  $M_c$  – момент навантаження з урахуванням втрат у механізмі, приведений до вала двигуна,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;  $\omega$  – кутова швидкість,  $\text{рад/с}$ ;  $J_e$  – еквівалентний момент інерції привода, зведений до вала двигуна,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

Еквівалентний момент інерції:

$$J_e = J_{дв} + k \cdot J_{дв} + J_{ш.пр} = 0,1 + 0,2 \cdot 0,1 + 0,0182 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де  $k = 0,2$  – коефіцієнт, що враховує момент інерції з'єднуючої муфти і першої шестірні редуктора.

Для розрахунку електромеханічних і механічних характеристик асинхронного двигуна користуються його математичною моделлю, простою та зручною для інженерних розрахунків асинхронного двигуна, T-образною заступною схемою.

Струм холостого ходу асинхронного двигуна:

$$I_0 = \frac{\sqrt{I_{11}^2 - \left[ \frac{p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - S_H)}{1 - p_* \cdot S_H} \right]^2}}{\sqrt{1 - \left[ \frac{p_* \cdot (1 - S_H)}{1 - p_* \cdot S_H} \right]^2}} = \frac{\sqrt{27,01^2 - \left[ \frac{0,75 \cdot 34,8 \cdot (1 - 0,03)}{1 - 0,75 \cdot 0,03} \right]^2}}{\sqrt{\left[ \frac{0,75 \cdot (1 - 0,03)}{1 - 0,75 \cdot 0,03} \right]^2}} = 11,48 \text{ А;} \quad (2.46)$$

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_1}{3 \cdot U_{11} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 18500}{3 \cdot 220 \cdot 0,86 \cdot 0,905} = 27,01 \text{ A}, \quad (2.47)$$

де  $I_{11}$  – струм статора двигуна при частковому завантаженні;

$p_* = \frac{P}{P_H}$  – коефіцієнт завантаження двигуна,  $p_* = 0,75$ ;

$\eta_{p_*}$  – ККД двигуна при частковому завантаженні, відповідно

$$\eta_{0,75} = 0,905;$$

$\cos \varphi_{p_*}$  – коефіцієнт потужності при частковому завантаженні,

$$\cos \varphi_{0,75} = 0,86.$$

Зведений до обмотки статора активний опір обмотки ротора:

$$R_2 = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{дв.н} \cdot (\beta + \frac{1}{S_k})} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,03)}{2 \cdot 2,9 \cdot 18500 \cdot 1,023^2 \cdot (1 + \frac{1}{0,191})} = 0,201 \text{ Ом}, \quad (2.48)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, значення якого знаходиться в діапазоні  $0,6+2,5$ ,

попередньо приймається  $\beta = 1$ ;

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{i дв} \cdot I_{1н}} = 1 + \frac{11,48}{2 \cdot 7 \cdot 34,8} = 1,024 \text{ – розрахунковий коефіцієнт};$$

$$S_{кр} = S_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} = 0,03 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{[1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,191, \quad (2.49)$$

де  $S_{кр}$  – критичне ковзання двигуна.

Активний опір обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1,024 \cdot 0,201 \cdot 1 = 0,206 \text{ Ом},$$

де  $X_{квн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 5,137 \cdot 1,024 \cdot 1,021 = 1,057 \text{ Ом}$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{кр}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{1,191^2} - 1^2} = 5,137.$$

Знайдене значення коефіцієнта  $\gamma = 5,137$  практично визначає відношення індуктивного опору короткого замикання в номінальному режимі

до приведенного активного опору обмотки ротора (коефіцієнт  $C_1 \approx 1$ ), для двигуна потужністю 18,5 кВт є сприятливим.

Приведений до обмотки статора індуктивний опір розсіювання обмотки ротора

$$X_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_R}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{1,057}{1,024} = 0,599 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір розсіювання обмотки статора

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_R = 0,42 \cdot 1,057 = 0,444 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір контуру намагнічування

$$X_\mu = \frac{E_\mu}{I_\phi} = \frac{206,85}{11,48} = 18,021 \text{ Ом,}$$

$$\begin{aligned} E_\mu &= \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos\varphi_H - I_{1H} \cdot R_1)^2 + (U_{1H} \cdot \sin\varphi_H - I_{1H} \cdot X_{1\sigma})^2} \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,89 - 34,8 \cdot 0,206)^2 + (220 \cdot \sin(\arccos(0,89)) - 34,8 \cdot 0,444)^2} \\ &= 206,85 \text{ В.} \end{aligned}$$

Тоді ЕРС вітки намагнічування, що наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора у номінальному режимі, дорівнює

Отримані розрахункові параметри Т-образної заступної схеми електродвигуна наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахункові параметри заступної схеми АД

$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$X_{\text{мш}}, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$X_{2\sigma}, \text{Ом}$	$X_\mu, \text{Ом}$
0,206	0,201	1,057	0,444	0,599	18,021

У простому випадку частотне регулювання швидкості обертання асинхронного електродвигуна здійснюється за допомогою розімкненої системи скалярного керування шляхом зміни частоти та амплітуди трифазної напруги. Векторне керування являється більш складним, але дозволяє отримати більш високі якісні показники керування. Аналіз технічних вимог до електропривода живильника показує, що достатнім являється використання розімкненої системи скалярного керування. Проте, враховуючи необхідність забезпечення запасу по моменту не тільки у нижній, але і у верхній частині діапазону регулювання швидкості, остаточний вибір способу частотного керування АД здійснюється за результатами розрахунку механічних та електромеханічних характеристик системи перетворювач частоти – асинхронний електродвигун.

У відповідності з технічними вимогами до електропривода, обирається перетворювач частоти 3G3RV-A4185 компанії Omron. Практична експлуатація таких перетворювачів підтвердила їх гарні технічні, експлуатаційні та енергетичні характеристики [1]. Технічні характеристики перетворювача наведено у таблиці 2.3.

Допустимий струм перетворювача ( протягом 1 хвилини) складає

$$I_{п макс} = k_1 \cdot I_{п н} = 1,5 \cdot 39 = 58,5 \text{ А.}$$

Функціональна схема частотно-регульованого асинхронного електропривода живильника зі скалярним керуванням наведена на рис. 2.10. До складу електропривода входять: задатчик інтенсивності швидкості на вході, перетворювач частоти 3G3RV-A4185 (технічні характеристики наведені в таблиці 2.3), асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором АИР160М4. Настроувальними параметрами електропривода є: тип і параметри задатчика інтенсивності швидкості (ЗІС), значення мінімальної частоти перетворювача  $f_{п мин}$ , закон частотного регулювання  $U_1/f_1$  та корекція вольт-частотної характеристики.

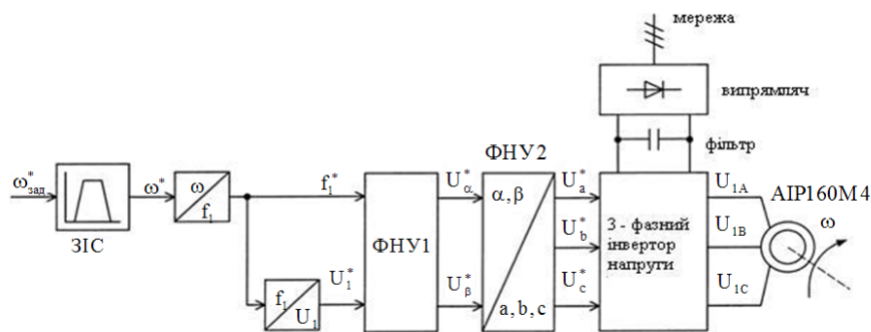


Рис.2.10. Функціональна схема частотно-регульовального асинхронного електропривода живильника зі скалярним керуванням

Таблиця 2.3

Технічні характеристики перетворювача частоти 3G3RV-A4185

Найменування параметра	Значення
1	2
Номінальна вихідна потужність, кВа	30
Максимальна потужність двигуна, кВа	18,5
Номінальний вихідний струм, А	39

Максимальний вихідний струм протягом 1 хвилини, %	150 (0,5 Гц)
Максимальна вихідна напруга, В	380 -480
Діапазон регулювання частоти,	0,01 -150 Гц

Продовження таблиці 2.3

1	2
Кількість фаз мережі	3
Частота мережі, Гц	(50 : 60) <sup>+3</sup>
Захисне виконання	IP20
Споживана потужність, Вт	634
Діапазон регулювання швидкості	1;40 – скалярне керування 1;100 – векторне розімкнене керування
Дозвіл по вихідній частоті, Гц	0,001
Час прискорення/уповільнення, с	0,01 - 6000
Захист від перенавантаження по струму, %	200

### 2.1.3. Контрольні запитання до розділу 1

1. Що таке електропривод?
2. Що таке автоматизований електропривод?
3. Наявність яких елементів системи електропривода є обов'язковим, а яких – необов'язковим?
4. У чому різниця індивідуального й групового електроприводів?
5. Що таке замкнута система керування електроприводом і в чому її перевага перед розімкнутою системою?
6. Які види зворотних зв'язків використовуються в електроприводі і яке їхнє призначення?
7. Які основні напрямки розвитку автоматизованого електропривода?
8. Що таке перехідний процес, у яких випадках він має місце?
9. Як змінюється рівняння руху електропривода при переході від статичного режиму роботи до перехідного й назад?
10. З якою метою здійснюють приведення моментів?
11. Які умови необхідно дотримувати у випадку приведення статичних моментів і моментів інерції?

12. У якому режимі роботи привода к.к.д. переходить у чисельник формули приведення статичних моментів?
13. Що таке наведений момент інерції?
14. У випадку приведення до вала двигуна момент інерції механізму, як правило, зменшується або збільшується? У якому випадку він міг би збільшуватися?
15. Яка форма механічної характеристики буде оптимальною для привода робочого валка прокатного стана; для привода сталевоза?
16. Що таке екскаваторна механічна характеристика; на яких механізмах доцільно її застосування?
17. При якій умові робота привода буде стійкою в даній точці механічної характеристики?
18. У чому переваги електричного гальмування привода перед механічним?
19. Які види електричного гальмування використовуються в електроприводі?
20. При ослабленні магнітного потоку двигуна знизиться його обертаючий момент або кутова швидкість?
21. Як зміниться рівняння механічної характеристики двигуна постійного струму при переході від номінального навантаження до режиму холостого ходу?
22. Що впливає на твердість механічної характеристики двигуна постійного струму: напруга, момент навантаження або опір кола якоря?
23. Який із двигунів постійного струму може «піти» у рознос»; у якому режимі і з якої причини?
24. Що зміниться у випадку зниження напруги, що підводиться до двигуна: обертаючий момент або швидкість холостого ходу?
25. У якого із двигунів постійного струму відсутній режим рекуперативного гальмування?
26. З яких причин будується механічна характеристика двигуна постійного струму з незалежним збудженням? Як визначають ці точки?

27. Як реверсується двигун постійного струму?
28. Як здійснюється режим рекуперативного гальмування з віддачею енергії в мережу двигуна постійного струму?
29. Як здійснюється режим динамічного гальмування двигуна постійного струму з послідовним збудженням?
30. Які переваги асинхронних двигунів є причиною їхнього широкого застосування в промисловості?

## **2.2. Розділ 2. Електроприводи агломераційних та сталеплавильних механізмів**

### **2.2.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 2**

**Агломераційні машини.** Система електропривода агломераційної машини повинна задовольняти наступним основним вимогам: діапазон регулювання швидкості 5:1; точність підтримки швидкості у всьому діапазоні регулювання 5%. Система регулювання швидкості автоматична, у функції сигналів технологічних датчиків.

Вказаним вимогам задовольняє електропривід постійного струму, виконаний в системах Г-Д, МП-Д (магнітний підсилювач-двигун), і найбільшою мірою – тиристорний електропривід постійного струму (система ТП-Д).

**Машини для виробництва окатишів.** У сучасних обпалювальних машинах, як і в агломераційних, використовується тиристорний електропривід постійного струму, який забезпечує плавне регулювання швидкості візків в діапазоні: 5:1 з постійним моментом на валу головного привода; безударний спуск візків, що знаходяться на зірочці завантажувальної частини привода, без розриву між ними, автоматична підтримка величини гальмівного моменту для спуску обпалювальних візків, а також плавний спуск машини з попереднім скороченням зазору між візками у верхній гілці завантажувальної частини і тому подібне.

У технологічному процесі агломерації і окомкування окрім агломераційної і обпалювальної машин, бере участь також ряд інших



механізмів: дозатори, живильники, змішувачі, окомкувачі, гранулятори, охолоджувачі, вентилятори та ін.

Привід постійного струму використовується на механізмах, що вимагають широкого і плавного регулювання швидкості. До них відносяться, поряд з агломераційними і конвеєрними машинами, також окомкувачі, змішувачі, що подають шихту на конвеєри, охолоджувачі і тому подібне.

**Електроприводи доменних печей.** Доменна піч є значним споживачем електроенергії, її обслуговують близько 400 електрифікованих механізмів. До приводу механізмів, що обслуговують доменний процес, пред'являють цілий ряд вимог, основними з яких є надійність і безперебійність роботи, можливість повної автоматизації процесу завантаження печі.

**Електропривід механізмів завантаження печі при скіповій подачі шихти на колошник.** Електропривід головного скіпового підйомника повинен забезпечувати регулювання швидкості в межах 7:1—8:1, плавна зміна швидкості на початку і в кінці шляху скіпа, точну зупинку скіпа на колошнику, незалежно від маси завантаженого скіпа; необхідні блокування. Регулювання швидкості повинне здійснюватися при постійному моменті, тобто зміною постійної напруги, що підводиться до двигуна. Ці вимоги задовольняє привід постійного струму за системою Г—Д, яка і знайшла найбільш широке використання в приводі головних скіпових підйомниках. Розробляється привід за системою ТП—Д.

Піч обладнується двома зондовими лебідками.

До електропривода зондової лебідки пред'являються наступні вимоги: обмеження швидкості опускання зондів; безперервне натягнення каната при опущених зондах; слідування зондів за рівнем шихти при його опусканні; швидкий підйом і утримання зондів у верхньому положенні.

**Розподільна воронка доменної печі.** Вимогам задовольняє електропривід з двигуном постійного струму паралельного збудження. Двигун весь час ввімкнений і працює в режимі противмикання.

Привід розподільної воронки, що обертається, може працювати в двох режимах: 1) швидкого обертання воронки в час висипання матеріалів з бункерів на конус; 2) розподілення матеріалів по фракціях, що виконується автоматично (для кожної подачі) відповідно до заздалегідь встановленої програми.

До електропривода пред'являється вимога плавного підйому і опускання розподільної «спідниці».

**Електроприводи сталеплавильних цехів.** Основними механізмами конвертера є механізм повороту, а також механізми підйому і переміщення фурми.

**Механізм повороту конвертера.** Механізм повороту забезпечує обертання конвертера навколо осі цапф на  $360^\circ$  зі швидкістю 0,1 — 1 м/хв. Поворот конвертера необхідний для заливки чавуну, завалення лому, зливу сталі та шлаку і тому подібне.

До електропривода повороту конвертера пред'являють наступні основні вимоги: надійність; широкий діапазон регулювання швидкості (25:1 і більше); висока плавність і точність (2%) регулювання швидкості; мінімальний час розгону і останову; постійна величина прискорення і уповільнення.

**Киснева фурма.** Широкий діапазон зміни швидкості опускання і підйому (15: 1), висока точність зупинки фурми при подачі її на продування, необхідність плавних пусків і гальмувань (прискорення не вище  $2 \text{ м/с}^2$ ) і інші технологічні вимоги зумовили вибір для механізму підйому фурми електропривода постійного струму за системою ТП—Д із замкнутою системою автоматичного регулювання швидкості, зі зворотнім зв'язком по е. д. с. двигуна.

**Машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).** Сучасна МБЛЗ — це складний багаторуховий агрегат з великим числом електроприводів. До електрообладнання МБЛЗ пред'являється ряд вимог, найважливішою з яких є надійність. Вимоги, які стосуються надійності, аналогічні тим, які пред'являлися до електрообладнання конвертерів, оскільки навіть короточасне припинення розливання може призвести до втрати всієї плавки або значної її частини. Більшість приводів МБЛЗ вимагає широкого і плавного регулювання швидкості в діапазоні до 20: 1; окремі механізми вимагають синхронізації швидкостей і підтримки заданої швидкості з точністю 2% і менше у всьому діапазоні швидкостей; приводи роликів і рольгангів вимагають рівномірного розподілу навантажень між двигунами, регулювання темпу прискорення і уповільнення витягування зливка; струмообмеження двигунів і т.д.

Електроприводи кристалізаторів, клітей, і агрегатів всіх нових МБЛЗ виконують по системі ТП—Д з підлеглим регулюванням параметрів або з

паралельною корекцією. Електроприводи повинні забезпечувати плавний пуск (час пуску 10—20с), регулювання швидкості в діапазоні до 20 : 1 і автоматичну підтримку заданої швидкості з високою точністю (до  $\pm 2\%$ ).

**Міксери, сталевози, шлаковози.** До електропривода механізму повороту міксера пред'являють певні вимоги. Для регулювання струменя чавуну, який видається, і точного дозування його кількості в чавуновозному ковші привід повинен забезпечувати плавне регулювання швидкості в широких межах, а також швидко і точно зупинку, мати великий момент при рушанні з місця, бути надійним. При зникненні напруги і припиненні управління міксер повинен автоматично повертатися у вихідне положення. Діапазон регулювання швидкості повороту міксера місткістю 2500 т складає 100:1. Вимогам, що пред'являються, якнайповніше задовольняє електропривід постійного струму.

Електроприводи пересування сталевозів і шлаковозів повинні мати наступні властивості:

- 1) високу плавність пуску і гальмування, що виключає виплеск металу і шлаку;
- 2) регулювання швидкості в діапазоні 5:1;
- 3) зниження швидкості при маневрах, під час зливу сталі для підвищення точності зупинки сталевозу і забезпечення безпеки в кінці шляху;
- 4) високу надійність. Затримки, а тим більше відмови в роботі електропривода сталевоза недопустимі, оскільки злив сталі з конвертера має бути здійснений в заданий час. Крім того, при затримці подачі ковша на розливання знижується температура рідкої сталі, і безперервне розливання на МБЛЗ стає неможливим.

### **2.2.2. Функціональна схема та особливості електропривода механізму нахилу кисневого конвертера**

На рис.2.11 наведена схема електропривода механізму повороту конвертера, виконана за системою ТП—Д (одна пара двигунів). Оскільки управління конвертером здійснюється з декількох місць (з головного поста, поста управління на стороні зливу сталі, поста управління на стороні зливу шлаку), то передбачається можливість задавання швидкості повороту з усіх постів управління. В якості апарата, який задає величину швидкості повороту

конвертера, в даний час застосовують сельсинні командоапарати типу ЕКАР, які дозволяють плавно (безступінчато) задавати швидкість повороту у всьому діапазоні регулювання.

Виходячи з вимог, що пред'являються до електропривода повороту конвертера в статичних і динамічних режимах роботи, витікає необхідність побудови замкнутої системи регулювання електропривода із застосуванням зворотних зв'язків і спеціальним формуванням керуючого сигналу завдання.

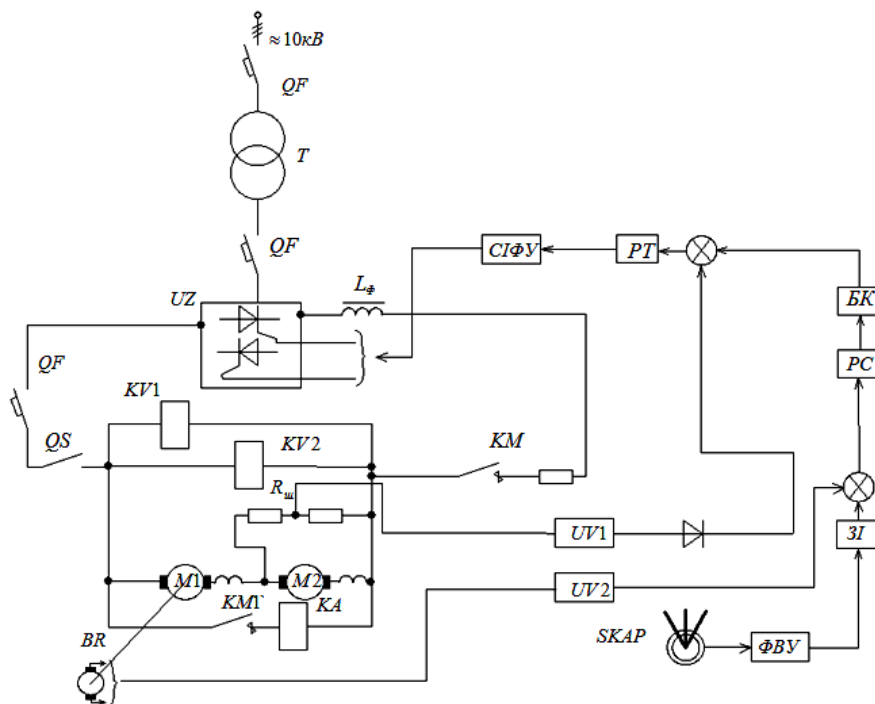


Рис. 2.11. Електропривод механізму нахилу конвертера

В якості основного зворотнього зв'язку вибраний негативний зворотній зв'язок за швидкістю двигунів, яка потрібна для стабілізації заданої швидкості повороту конвертера при моменті статичного навантаження, який змінюється. Для цього кола призначаються регулятор швидкості РШ, тахогенератор ВГ і датчик напруги UV2.

Для обмеження максимальної величини струму якоря приводних двигунів без відключення лінійних контакторів передбачається регулятор струму РС, шунт Rш і датчик напруги UV1.

Задача рівномірного розподілу навантаження між двигунами привода повороту вирішується таким чином: група двигунів, що живляться від індивідуального перетворювача, має свій регулятор струму, завдання якому поступає від одного і того ж регулятора швидкості. Враховуючи, що кутова швидкість всіх двигунів однакова, одне і те ж завдання, що поступає на вхід підлеглому регулятору струму, забезпечує однакові струми груп.

Обмеження прискорення в період розгону і гальмування здійснюється шляхом формування вхідного керуючого сигналу у вигляді лінійної функції часу за допомогою задатчика інтенсивності ЗІ.

Для узгодження вихідної напруги змінного струму безконтактного командоконтролера SKAP, для зміни полярності постійного струму при зміні фази змінного струму слугує фазочутливий випрямний пристрій ФВП. Число командоконтролерів і фазочутливих випрямних пристроїв визначається кількістю місць керування. На схемі (див. рис.2.11 ): QF — автомат; Т — силовий трансформатор; UZ — реверсивний тиристор перетворювач; L — згладжуючий реактор; QS – роз'єднувач.

### 2.2.3. Контрольні запитання до розділу 2

1. Які механізми металургійного цеху вимагають регулювання швидкості? Яка мета регулювання?
2. Що таке діапазон регулювання швидкості?
3. Що таке плавне регулювання швидкості?
4. У якого із двигунів стабільність швидкості вище: у двигуна з незалежним або з послідовним збудженням?
5. Якими показниками характеризується економічність регулювання швидкості?
6. Які зі способів регулювання швидкості двигуна постійного струму забезпечують найбільш високі значення діапазону, плавності, стабільності регулювання?
7. Які недоліки резистора способу регулювання швидкості, а також регулювання зміною потоку двигуна?
8. Як регулюється швидкість, запускається і реверсується двигун у системі перетворювач-двигун?

9. Як змінюється механічна характеристика приводу при зміні напруги перетворювача?

10. Коли твердість природної механічної характеристики буде вище: у двигуна, що живиться від мережі, або в системі перетворювач-двигун?

11. Як регулюється швидкість і реверсується двигун в системі Г-Д?

12. Які недоліки привода в системі Г-Д?

### **2.3. Розділ 3. Електроприводи прокатних станів**

#### **2.3.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 3**

Основним призначенням прокатного стану є одержання заготовок або готових виробів пластичною деформацією металу між обертовими валками. Все устаткування прокатного стану можна умовно розділити на основне і допоміжне. Основне устаткування стану служить безпосередньо для деформації металу; до нього відносяться кліті із прокатними валками, електродвигуни робочих валків, редуктори і шестеренні кліті. Все інше устаткування, необхідне для здійснення технологічного процесу прокатки, вважається допоміжним; сюди відносяться натискні пристрої, рольганги, шлепери, кантувачі, ножиці, пилки, моталки й ін.

У зв'язку з надзвичайно широкою номенклатурою продукції прокатного виробництва (сляби, блюми, сортовий прокат, дріт, труби, рейки, балки, товстий і тонкий лист, спеціальні профілі й т.п.) прокатні стани відрізняються більшим розмаїттям конструкцій і режимів роботи. Прокатні стани можна класифікувати за різноманітними ознаками: за призначенням, числом й розташуванням робочих валків, числом й розташуванням робочих клітей, режимом роботи.

За призначенням прокатні стани діляться на обтискні (блюмінги, слябінги), заготовочні, рейкобалочні, сортові, дровові, листові, трубні, спеціальні (колесопркатні, бандажні, трубоварювальні та ін.). За кількістю й розташуванням робочих клітей вони діляться на одноклітьові, багатоклітьові лінійні, послідовні, зигзагоподібні, шахові. Розрізняють стани гарячої й холодної прокатки; періодичні, безперервні, напівбезперервні.

Прокатні стани можна класифікувати незалежно від конкретного призначення за типом застосовуваного електропривода, що може бути

реверсивним й нереверсивним, регульованим й нерегульованим, постійного струму й змінного струму, індивідуальним і груповим.

Для прокатних і трубних станів знайшли застосування дві системи привода робочих валків - груповий і індивідуальний. При груповому приводі один двигун забезпечує обертання обох (верхнього і нижнього) робочих валків через шестеренну кліть і універсальні шпинделі. При індивідуальному приводі кожний робочий валок одержує обертання від свого шпинделя через універсальні шпинделі.

Індивідуальний електропривод валків має наступні переваги перед груповим:

- 1) більш можлива потужність електропривода;
- 2) менший сумарний наведений момент інерції привода, завдяки чому забезпечуються більш високі динамічні властивості;
- 3) забезпечується висока точність регулювання незалежно від ступеня зношення того або іншого валка;
- 4) не потрібно точного підбирання валків по діаметру, різко скорочується парк валків;
- 5) відсутня громіздка шестеренна кліть і пов'язані з нею втрати енергії, ремонти, обслуговування, зокрема - змашення й т.і.

Відповідно до режиму роботи й пропонованих вимог всі головні приводи прокатних станів можна розділити на наступні групи.

- I. Привід реверсивних клітей гарячої прокатки. (Реверсивні стани).
- II. Привід нереверсивних чистових клітей гарячої прокатки. (Безперервні стани).
- III. Привід нереверсивних чорнових клітей безперервних станів.
- IV. Привід реверсивних клітей станів холодної прокатки.
- V. Привід нереверсивних клітей станів холодної прокатки.
- VI. Привід трубозварювальних станів.

На головних і допоміжних механізмах прокатних станів поряд із приводом постійного струму використовується привід змінного струму. Однак численним і серйозним вимогам, пропонованим до електропривода механізмів прокатних станів, найбільшою мірою задовольняє привід постійного струму по системі тиристорний перетворювач - двигун (ТТ-Д).

У більшості приводів схема керування містить дві двоконтурні системи регулювання, що здійснюють двозонне регулювання швидкості за допомогою взаємозалежного регулювання напруги якоря й потоку збудження двигуна.

Вимоги до електропривода прокатних станів обумовлюють схеми керування. Зокрема, вона повинна забезпечити: оптимальне по швидкодії регулювання швидкості приводу за умови повного використання потужності й перевантажувальної здатності двигунів; автоматичний плавний пуск приводу, його вповільнення з максимально припустимими прискореннями; робоче й аварійне гальмування приводу; автоматичне керування роботою приводу й усього стана; точне (часто  $\geq 0,5\%$ ) узгодження швидкостей взаємозалежних приводів механізмів; формування необхідних статичних і динамічних характеристик приводу; розгін з постійним прискоренням, з постійним динамічним струмом і зі зниженням величини динамічного струму в міру ослаблення поля; забезпечення стійкої "повзучої" швидкості.

При стопорінні електропривода під дією статичного моменту час стояння двигуна під струмом обмежується до  $5 \div 10$  с.

В електроприводі прокатних, трубокатних станів, допоміжних механізмів зустрічаються різні структури систем регулювання.

1. Регулятор швидкості з підлеглим регулятором струму якоря (однофазне регулювання).

2. Регулятор швидкості з підлеглим регулятором струму якоря й залежним керуванням потоком збудження двигуна (двофазне регулювання).

3. Регулятор положення з підлеглими регуляторами швидкості і струму.

4. Регулятори структур 1 і 2 з вирівнюванням навантажень, із впливом на поле двигуна.

5. Регулятор потужності (для намотувальних пристроїв).

6. Регулятор струму, уставка якого регулюється відповідно до заданого натягу і т.п.

При індивідуальному приводі валків необхідно забезпечити рівномірне завантаження й узгодження швидкостей двигунів.

Вирівнювання навантаження між двигунами й окружними швидкостями валків стана здійснюється за допомогою спеціальних зрівняльних схем. За



принципом роботи зрівняльні схеми індивідуального привода валків можна розбити на дві групи:

1. Схеми, у яких характеристики двигунів регулюються зміною магнітних потоків двигунів (вирівнювання потужностей, що розвиваються двигунами).

2. Схеми, у яких характеристики двигунів регулюються зміною напруги, що підводиться до якоря двигунів (вирівнювання моментів двигунів).

**Електродвигуни прокатних станів.** Для привода робочих валків клітей більшості станів використовуються двигуни постійного струму, що одержують живлення від перетворювачів, в основному тиристорних.

Потужні прокатні електродвигуни постійного струму конструюються так, щоб забезпечити найкращі динамічні характеристики при заданій номінальній потужності. Зокрема, широко застосовуються прокатні двигуни постійного струму із багатоходовою обмоткою. Застосування багатоходових обмоток дозволяє зменшити діаметр якоря й відповідно момент інерції двигуна даної потужності; підвищити окружну швидкість якоря, підвищити к.к.д., розширити діапазон регулювання швидкості шляхом зміни напруги й т.п.

**Електропривод реверсивних станів гарячої прокатки.** У цю групу входять обтискні стани (блюмінги, слябінги), кліті заготовочних станів гарячої прокатки, універсальні кліті крупносортовних, листових реверсивних станів гарячої прокатки, реверсивні чистові кліті товстолистових станів гарячої прокатки й т.п.

У реверсивній кліті стана прокатка йде в обох напрямках за кілька пропусків. Після кожного пропуску двигун реверсується.

Необхідний за технологією діапазон регулювання швидкостей (від повзучої до максимальної) становить  $(10\div 25):1$ . Вимоги, що стосуються точності регулювання швидкості невисокі, й становлять 1-2%.

Із усього різноманіття електроприводів зазначеним вимогам задовольняє, в основному, індивідуальний електропривод постійного струму, виконаний по системі: реверсивний тиристорний перетворювач-двигун із системою підлеглого керування на базі УБСР, із двозонним регулюванням швидкості.

**Електропривод чистових клітей безперервних станів гарячої прокатки.** До групи чистових клітей безперервних станів гарячої прокатки відносяться головні приводи чистових клітей безперервних широкосмугових листових станів, заготовочних, сортових станів гарячої прокатки, а також безперервних каліброваних і редуційних станів трубокатних агрегатів. Режим роботи приводів клітей цієї групи - нереверсивний, з ударним додатком навантаження в момент захоплення металу валками, з рідким регулюванням швидкості. Діапазон регулювання швидкості не перевищує  $(10 \div 20):1$ .

У зв'язку із твердими вимогами до синхронізації електроприводів декількох клітей, до електроприводів пред'являється вимога мінімального статичного (до 0,2 %) і динамічного (2-3 %) перепаду швидкості за 0,1-0,3 с.

В електроприводах чистових клітей безперервних широкосмугових станів використовують зазвичай груповий привід, коли один двигун приводить в обертання два робочі валки. У цьому випадку використовується блокове живлення, коли обмотка якоря кожного приводного двигуна підключається до індивідуального перетворювача.

**Електропривод безперервних заготівельних станів.** На безперервних заготівельних станах прокочують заготовки для сортових, трубних, дровових станів.

Тому високих вимог до точності регулювання швидкості, діапазону регулювання швидкості не пред'являється. Тут можливе застосування групового привода, при якому робочі валки декількох клітей приводяться від одного двигуна. У якості приводних можуть використовуватися двигуни змінного струму (синхронні, асинхронні). При груповому приводі питання, пов'язані з ударним падінням швидкості, відпадають. Однак у сучасних заготовочних станах ще використовується індивідуальний тиристорний привід постійного струму, що дозволяє регулювати співвідношення швидкостей робочих клітей у певних межах.

**Електропривод безперервних сортових станів.** Сортіві стани призначені для прокатки різноманітних сталевих профілів як простих, так і фасонних (смуги, куточка, квадрата, шестигранника, дроту і т.п.), усього близько 600 профілів і понад 5000 розмірів.

По розташуванню клітей сортові стани діляться на лінійні, послідовні, зигзагоподібні або шахові безперервні, напівбезперервні й т.п. Найбільш поширеними є безперервні стани, особливо безперервні дрібносортні стани, що мають чорнову й чистову групи клітей.

Режим роботи приводу стана – нереверсивний, тривалий, з ударним додатком навантаження.

Відповідно до цього привід клітей стана повинен забезпечувати строге (з точністю 0,1-0,2%) співвідношення між швидкостями клітей для різних програм прокатки; мале динамічне падіння швидкості ( $\leq 2\%$ ) і недостатній час врегулювання ( $\approx 0,1\text{с}$ ); незначний натяг або стиск смуги при вході металу у валки; можливість утворення петлі металу між клітями й підтримка величини в заданих межах; можливість одержання механічних характеристик різної твердості для кожної кліті стана, що забезпечують саморегулювання режиму прокатки в чистових групах клітей; можливість здійснення автоматичного незалежного регулювання швидкості двигунів кожної кліті.

Відповідно до перерахованого вище досить твердими вимогами для клітей безперервних сортових станів є індивідуальний нереверсивний тиристорний привід постійного струму із двозонним регулюванням швидкості, з багатоконтурною системою підлеглого регулювання параметрів.

**Електропривод станів холодної прокатки.** Стани холодної прокатки підрозділяють на безперервні (багатоклітьові) і реверсивні (одноклітьові).

Робочі валки реверсивних станів гарячої прокатки мають тиристорний привід постійного струму. Схема управління - підлегла, із двозонним регулюванням швидкості. Діапазон регулювання швидкості  $(30\div 50):1$ ; точність підтримки швидкості в сталому режимі 1 %.

Відповідно до технологічних умов до електропривода робочих клітей безперервних станів пред'являються наступні вимоги: точне узгодження швидкостей прокатки між клітями й намотувальними пристроями з точністю близько 1%; забезпечення необхідних величин натягу смуги у всіх режимах роботи стана з точністю 3-5%; створення натягу спокою; плавне й у широких межах - від 10:1 до 25:1 для реверсивних і від 50:1 до 100:1 - для безперервних станів регулювання швидкості.

Перерахованим вище твердим вимогам у цей час задовольняє привід постійного струму по системі ТП-Д.

### 2.3.2 Функціональна схема та особливості головного привода чистової групи широкосмугового стану

Функціональна схема головного привода чистової групи широкосмугового стану представлена на рис.2.12. Робочі валки приводяться в обертання двоякірним двигуном постійного струму М1, М2, що живиться від двох комплектів тиристорного реверсивного перетворювача UZ1, UZ2, включених за восьмеричною схемою.

Для поліпшення енергетичних показників у процесі глибокого регулювання швидкості первинні обмотки трансформаторів Т1, Т2 включені по схемах трикутника й зірки з автоматичним перемиканням відпайок.

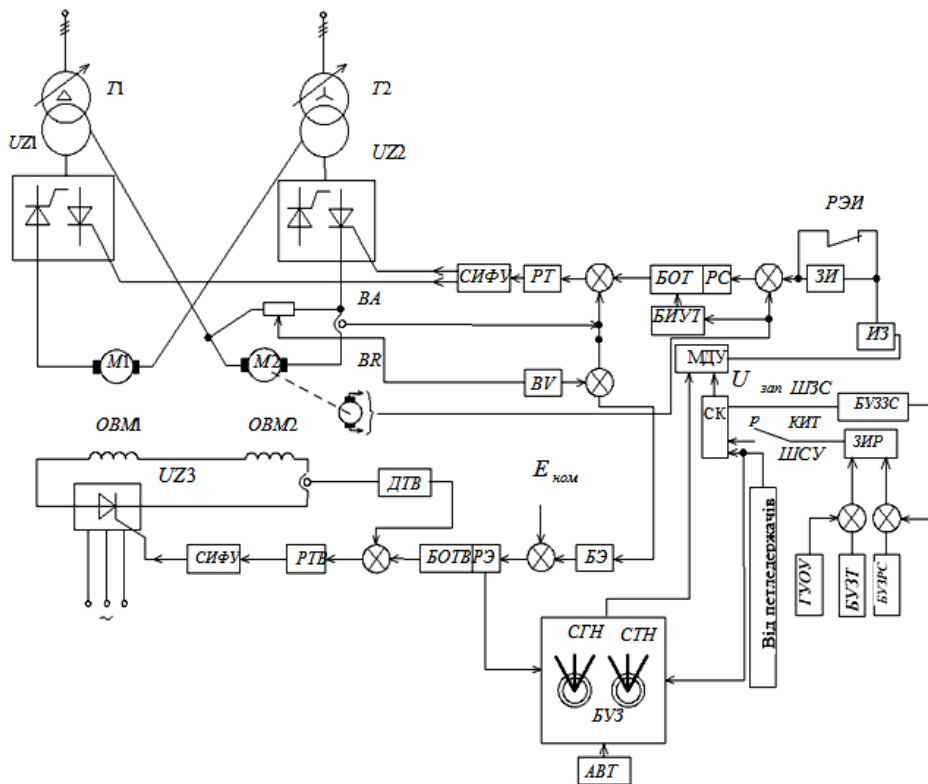


Рис. 2.12. Електропривод широкосмугового стану гарячої прокатки

Для живлення обмоток збудження ОЗМ1, ОЗМ2, з'єднаних послідовно, використовується тиристорний перетворювач UZ3. Система керування приводом — багатоконтурна, підлегла, із двотонним регулюванням швидкості; вона багато в чому аналогічна представленій на рис.2.12. Схема керування містить три взаємозалежних компоненти: регулювання напруги в якірному колі двигуна, регулювання струму збудження й завдання швидкості. Перші дві із цих схем — двоконтурні. Контур швидкості містить тахогенератор ВК, регулятор швидкості РС і т.п. Підлеглий йому контур струму якоря містить датчик струму UA1, блок обмеження струму БОС; регулятор струму РТ, СІФК; БВВС - блок виміру вставки струму. Система керування струмом збудження також двоконтурна (контур струму збудження й контур е.р.с). Контур е.р.с. містить датчик напруги UV, датчик е.р.с. UE, регулятор е.р.с. РЕ. У контур регулювання струму збудження входять датчик струму збудження UA2, РТВ, БОТВ, СИФУВ.

На вході регулятора РЕ порівнюються два сигнали: сигнал заданого значення проти ЕРС  $E_{ном}$  і сигнал  $E$ , пропорційний дійсному значенню проти ЕРС, що надходить від датчика UE. Вихідний сигнал РЕ є завданням для регулятора струму збудження РТВ.

На вході РТВ він порівнюється із сигналом, пропорційним дійсному значенню струму збудження від датчика струму UA2.

Схема завдання швидкості також містить ряд елементів. БУЗ — блок установки завдання; МДП – множинно-подільний пристрій, що здійснює узгодження швидкостей клітей, який виконує операцію множення двох напруг: суми двох еталонних напруг  $U_{зап}$  і  $U_p$  і індивідуального для кожної кліті сигналу БУЗ. Вихідна напруга МДП в певному масштабі представляє задане значення швидкості кожної із клітей. Суматор СК – підсумовує сигнали, що надходять від шин заправної швидкості ШЗШ, шин спільного прискорення ШЗШ.

Завдання на рівень швидкості й грубе регулювання здійснюється за допомогою БУЗ, шин СЗС і ШСУ. БУЗ здійснює «грубе» настроювання швидкості кліті від сельсина грубого настроювання СГН; для тонкого настроювання в межах  $\pm 10\%$  використовується сельсин тонкого настроювання СТН.

Після захоплення металу задатчик інтенсивності ЗИ вимикається з кола керування за допомогою спорогенезу контакту РЗИ, що забезпечує можливість швидкої зміни швидкості при переміщенні рукоятки тонкого настроювання СТН. Для зниження ривка в початковий момент розгону двигуна на вході задатчика інтенсивності включена інерційна ланка З.

Швидкість прокатки чистової групи клітей визначають дві незалежних еталонних напруги -  $U_{зап}$  від шин заправної швидкості ШВС і  $U_p$  від шин спільного прискорення ШСУ.  $U_p$  подається із задатчика інтенсивності розгону ЗИР на суматор СК після входу металу в усі кліті, через ключ індивідуального гальмування КИГ і його сигнал лінійно зростає від нуля до заздалегідь заданого значення, що визначає робочу швидкість прокатки.

Напруга  $U_{зап}$  знімається із блоку установки завдання заправної швидкості БУЗРС. Темп прискорення чистової групи залежить від вихідного сигналу блоку установки темпу прискорення БУЗТУ. Робоча швидкість прокатки задається блоком робочої швидкості БУЗРС. Обмеження ЗИР залежить від різниці між напругою завдання робочої й заправної швидкостей. Вузол обмеження прискорення УОУ обмежує темп прискорення аж до повного його припинення при перевантаженні будь-якого двигуна чистової групи.

### 2.3.3. Контрольні запитання до розділу 3

1. Який із способів регулювання швидкості знайшов найбільше застосування в приводі прокатних станів і з яких причин?
2. У чому полягають переваги індивідуального привода валків перед груповим?
3. Які елементи містять індивідуальний привід постійного струму з багатоконтурним підлеглим, двозонним регулюванням швидкості?
4. Як змінюється момент, потужність, струм двигуна в двозонному регулюванні?
5. При яких умовах допускається зниження магнітного потоку двигуна у випадку двозонного регулювання?
6. Як залежать момент та магнітний потік від швидкості в другій зоні регулювання?
7. Як розділяються режими регулювання напруги й поля двигуна?

8. Як працює контур регулювання ЕРС у зонах I і II?
9. Яким чином виходить сигнал, пропорційний ЕРС двигуна?
10. У якому випадку характер протікання перехідного процесу може вважатися оптимальним?
11. З якою метою використовуються коригувальні елементи і що вони собою представляють?
12. Які основні вимоги висуваються до схеми керування прокатним станом?

## **2.4. Розділ 4. Електроприводи трубопрокатних станів**

### **2.4.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 4**

Найбільше поширення для виробництва труб гарячої прокатки одержали трубопрокатні агрегати ТПА з автоматичним станом, з безперервним станом, з пілігримовим станом і із тривалковим розкатним станом.

Прошивні стани входять практично в усі трубопрокатні агрегати. Вони призначені для одержання із круглої заготовки порожньої гільзи й мають у більшості випадків двовалкову кліть із нахиленими відносно осі заготовки валками, що забезпечують одночасно обертальний і поступальний рух заготовки.

Режим роботи головного приводу стана – тривалий, нереверсивний при практично постійному статичному моменті й ударному додатку навантаження. Розгін відбувається з металом у валках; гальмування використовується з метою скорочення часу зупинки. Технологія прошивання вимагає регулювання швидкості прокатки в межах 2:1. Регулювання швидкості передбачається також для налагодження устаткування й при заправленні заготовки в кліть із наступним підвищенням швидкості до номінальної. Точність підтримки швидкості в режимі холостого ходу – 0,1 %; припустиме статичне падіння

швидкості – до 1,2%; динамічне падіння швидкості при накиді навантаження 8,5%; тривалість перехідного процесу – до 1,5 с.

На багатьох промислових станах використовуються однорухові приводи із шестеренними клітьми-редукторами. У нових прошивних станах застосовуються індивідуальні безредукторні приводи валків із двигуном постійного струму по системі ТП-Д.

Автоматичний стан використовується для розкочування гільзи в трубу методом поздовжньої прокатки з використанням короткого нерухливого оправлення, установленого між валками в калібрі.

Режим роботи автоматичного стану – тривалий, безперервний з ударним додатком навантаження. Швидкість регулюють лише при зміні сортаменту труб, що прокочуються. Твердих вимог до стабілізації швидкості не пред'являються.

Реверс головного привода використовується лише як аварійний; він здійснюється в колі обмотки збудження.

У більшості автоматичних станів використовується привід постійного струму по системі ТП-Д. Реверс здійснюється зміною напрямку струму в колі обмотки збудження. Потужність двигуна агрегатів 140, 250 і 400 становить відповідно 880, 1320 і 1840 кВт; частота обертання від 70 до 160 об/хв. Система керування двигуном – двоконтурна підлегла із двохзонним регулюванням швидкості.

Обкатний стан входить до складу різних трубних агрегатів. Обробку на обкатному стані роблять для додання трубам круглої форми, поліпшення зовнішньої й внутрішньої поверхні, зменшення різновтовщинності стінок. Багато експлуатованих станів є двовалковими із груповим головним приводом. Значне застосування знаходять тривалкові кліті з індивідуальним приводом валків. Режим роботи головного привода обкатного стану неперервний з ударним додатком навантаження. Реверсування використовується лише при настроюванні або в аварійних ситуаціях - зміною полярності обмотки збудження.

Регулювання швидкості досить обмежено і здійснюється зміною магнітного потоку двигуна.

**Електропривод безперервних, пілігримових станів.** Безперервний стан складається з декількох послідовно розташованих двовалкових клітей, установлених під кутом  $45^\circ$  до площини підлоги таким чином, що обтиснення труби відбувається з усіх сторін. Для привода валків розроблені спеціальні



електродвигуни, що допускають експлуатацію при установці їх під кутом  $45^\circ$  до ободу. Режим роботи привода – тривалий неререверсивний при наявності ударних навантажень при захопленні гільз. Швидкість прокатки постійна. Вона встановлюється при налаштуванні й залежить від марки металу, що розгортається.

Припустимо падіння швидкості при ударному додатку навантаження — не більше 7-8 %. Для робочих валків безперервного стана в основному використовується індивідуальний тиристорний електропривод постійного струму.

Пілігримові стани служать для одержання труб з гільз методом послідовної прокатки (з елементами малодоходні) у кліті із двома валками змінного радіуса при кроковій поступально-обертальній подачі гільзи в моменти відсутності обтиснення. Стан може мати дві-чотири пілігримові кліті. Режим роботи головного привода – тривалий, неререверсивний з ударним додатком навантаження. Припустимо статичне падіння швидкості 3-5 %. Заправляють гільзи на зниженій швидкості з наступним її підвищенням.

Для клітей використовується в основному індивідуальний тиристорний привод постійного струму. Потужність двигуна досягає 5 МВт.

**Електропривод калібрувальних і редуційних станів.** На калібрувальних і редуційних станах формуються остаточні розміри й форма труб – їхній діаметр, товщина стінки й т.п. Ці стани є завершальними в технологічних лініях виготовлення труб.

Режим роботи головних приводів – тривалий, неререверсивний з повторюваними піками навантаження. Ревєрс використовується лише в аварійних ситуаціях, після зупинки привода. Для багатоклітьових станів при зупинці з металом у валках доцільне гальмування, що запобігає переповненню калібрів і ушкодження валків. Припустимо статичне падіння швидкості не повинне перевищувати 2%, час відновлення швидкості - 0,1с.

Калібрують труби в 3-11 клітях, причому, труба знаходиться одночасно в декількох клітях.

Важливою вимогою до електропривода редуційних і калібрувальних станів є синхронізація робочих клітей. Щоб уникнути розривів, утворення петель потрібна швидкодіюча система стабілізації швидкості.

Редукційні стани мають індивідуальний, груповий або диференційно-груповий привод валків.

Найкращим для калібрувальних і редукційних станів є індивідуальний привід валків, що дозволяє до того ж різко скоротити парк валків, відпадає потреба у валках різних діаметрів. Використання привода постійного струму по системі ТП-Д дозволяє встановлювати різні швидкості прокатки залежно від сортаменту труб, по розмірах і марках сталі, підвищити продуктивність агрегатів.

Реверсування двигуна при настроюванні й гальмуванні забезпечується використанням двокомпонентного перетворювача кола збудження.

**Електропривод трубозварювальних станів.** На трубозварювальних агрегатах використовується безперервний технологічний процес виготовлення труб шляхом формування зварювання (дуговий, індукційної і т.п.). В основному використовуються одно- і двошовні, прямо- і спіральні шовні агрегати.

До складу безперервного трубозварювального агрегату зазвичай входять розмотувач, правильна машина, ножиці, стикозварювальна машина, петлюотворювач, піч, формувально-зварювальний стан, редукційно-калібрувальний стан, летюча пилка й т.п.

Прямошовні формувально-зварювальні стани мають від 6 до 12 клітей. Режим роботи приводів – тривалий, неререверсивний з повторно-короткочасним додатком навантажень, а в ряді випадків, зокрема, на великих формувальних станах мають яскраво виражений ударний характер навантаження. Виріб перебуває одночасно в декількох клітях, що вимагає узгодження швидкостей при стабілізації заданої швидкості валків.

Найбільше застосування у формувальних станах знаходить тиристорний привод постійного струму з неререверсивними перетворювачами. Часто використовується один тиристорний перетворювач для живлення якорів всіх двигунів з індивідуальними перетворювачами для живлення обмоток збудження. Використовується двозонне регулювання швидкості.

**Електропривод чорнових клітей і окалиноломачів станів безперервної прокатки.** До цієї групи відносяться чорнові кліті середньосортних, дрібносортних, листових станів гарячої прокатки, прошивних,

розкатних, пілігримових станів трубопрокатних агрегатів, а також чистових нереверсивних клітей крупносортових (рейкобалочних) станів. Режим роботи електроприводів даної групи - нереверсивний тривалий, з ударним додатком навантаження й рідко регульованою швидкістю. У зв'язку з відсутністю необхідності строго підтримувати співвідношення швидкостей валків суміжних клітей і нечастим регулюванням швидкості до електропривода даної групи не висувають спеціальних вимог відносно точності регулювання швидкості і її відновлення при зміні навантаження.

Однак у ряді випадків тут використовується також привод постійного струму по системі ТП-Д. При використанні привода постійного струму застосовується наступна структура керування: нереверсивний тиристорний привід з регулятором швидкості й підлеглим регулятором струму, із залежною системою керування потоком збудження двигуна, або з постійним магнітним потоком двигуна.

#### **Електропривод допоміжних механізмів прокатних і трубних станів.**

Розрізняють два основних класи допоміжних механізмів.

1. Обробні механізми, робота яких пов'язана зі зміною форми матеріалу. Це – механізми різання, виправлення, змотування, обробки поверхні, обв'язки, упакування й т.п. Сюди відносять ножиці, пилки, правильні машини, моталки, розмотувачі, натискні пристрої, агрегати зачищення й т.п.

2. Транспортні механізми, що здійснюють переміщення металу, його подачу до валків, транспортування, зміна положення, кантування й т.п. Сюди відносять рольганги, штовхальники, зливковози, поворотні столи, штовхачі, кантувачі, витягувачі, шлепери.

Основна вимога до привода допоміжних механізмів – надійність і забезпечення високопродуктивної роботи стана. Більшість допоміжних механізмів (натискні пристрої, робочі рольганги, маніпулятори, кантувачі, ножиці) вимагають швидкого розгону й уповільнення механізму, тому що кожний з механізмів повинен швидко виконати свою операцію, не знижуючи загального темпу роботи стана.

Приводи таких механізмів, як натискні гвинти, ножиці, маніпулятори, повинні забезпечити стопорну (екскаваторну) механічну характеристику з метою захисту механізму й двигуна від поломок при роботі на упор.

Механізми натискних пристроїв, летючих ножиць, кантувачів, маніпуляторів і т.д. здійснюють строго певні переміщення робочого органу. Тут потрібна точна фіксація вихідного або кінцевого положень двигуна. До систем регулювання положення допоміжних механізмів прокатних і трубних станів пред'являється вимога швидкого відпрацьовування заданого переміщення без перерегулювання, тому що перерегулювання по переміщенню може призвести до ударів у механічних передачах при наявності люфтів.

До складу електроприводів натискних пристроїв лінійок маніпуляторів і інших механізмів, що вимагають позиційного регулювання поряд з іншими регуляторами, входить регулятор положення.

**Електропривод намотуючих пристроїв.** Електропривод моталок служить для створення й підтримки постійного натягу, а також для намотування і змотування стрічки, що прокочується.

Система керування приводом моталок повинна забезпечувати два режими роботи: регулювання швидкості й натяги смуги, причому, перший із цих режимів допоміжний. Швидкість привода намотувального пристрою повинна змінюватися залежно від натягу стрічки; повинне бути забезпечене: підтримка сталості натягу на всіх ділянках стана як у перехідних, так і в сталих режимах, а також при зупинці. Точність підтримки сталості натягу становить 3-12%, а в статичному режимі 1-4% від номінального значення. Час відпрацьовування ступінчастого завдання натягу  $\leq 0,2$  з перерегулюванням  $\leq 10\%$ . Діапазон регулювання швидкості від 10:1 до 30:1; плавне, у заданому темпі прискорення й уповільнення при швидкому протіканні перехідних процесів; роздільне й спільне (із приводом клітей) керування; можливість електричного гальмування й т.п.

На сучасних моталках використовується привід постійного струму з живленням двигунів від індивідуальних тиристорних перетворювачів.

**Електропривод рольгангів, кантувачів, ножиць, натискних пристроїв.** Електроприводи робочих рольгангів, кантувачів, маніпуляторів, зливковозів працюють у повторно-короткочасному реверсивному режимі з великою частотою включень, що досягає 2000 на годину при ПВ-59÷70%. Великою частотою включень обумовлені високі вимоги до динаміки електропривода. Час реверса не повинний перевищувати 25—40мс. Діапазон регулювання швидкості  $(10\div 20) : 1$ .

Рольганги працюють в основному в повторно-короткочасному режимі з динамічним гальмуванням. Більшість таких механізмів мають індивідуальний безредукторний привід роликів від асинхронних короткозамкнених електродвигунів. При необхідності регулювання швидкості використовується привід по системі тиристорний перетворювач частоти - двигун, а також тиристорний реверсивний електропривод постійного струму. Структура електропривода в цьому випадку така: тиристорний реверсивний перетворювач - двигун постійного струму з регулятором швидкості або е.р.с. і підлеглим регулятором струму якоря.

#### **2.4.2. Функціональна схема та особливості електропривода прошивного стана**

На рис.2.13 представлена схема головного електропривода прошивного стана з індивідуальним приводом по системі ТП-Д. Якорі електродвигунів М1, М2 одержують живлення від тиристорних перетворювачів  $UZ1$ ,  $UZ2$ . Кожний з перетворювачів містить два послідовно з'єднаних шестиполосних мостових випрямлячі, які підключені до різних обмоток трансформаторів 71 і 72. Цим забезпечується 12-пульсне випрямлення, характерне малими пульсаціями випрямної напруги й малих амплітуд вищих гармонік.

Індивідуальний привід валків двовалкової кліті вимагає синхронізації швидкостей обох двигунів і рівномірного розподілу навантаження між ними.

З метою створення швидкодіючої системи синхронізації швидкостей прийнята блокова система підключення двигунів у системі ТП-Д. Обмотки збудження підключені до тиристорних збудників  $UZ3$ ,  $UZ4$ . Керування двигунами - загальне, на базі апаратури УБСР.

Динамічне гальмування здійснюється за допомогою резисторів  $R_{дт}$  і контакторів КМ1, КМ2. Завдання швидкості  $u_3$  - від сельсинного командоапарата ЗА, за допомогою блоку завдання швидкості БЗС, через ЗІ - задатчик інтенсивності. Вихідний сигнал загального регулятора швидкості РС надходить на входи індивідуальних регуляторів струму РТ1, РТ2. Для вирівнювання швидкості двигунів на вхід регулятора струму РТ2 двигуна М2 надходить сигнал, відповідної різниці куткових швидкостей  $\omega_2 - \omega_1$ , пристрою порівняння швидкостей УСС.

Тиристорні збудники  $UZ3$ ,  $UZ4$  керуються регуляторами ЕРС РЕ1, РЕ2, що утворюють контури, замкнені за ЕРС кожного двигуна з підлеглими регуляторами струму збудження РТВ1, РТВ2. Сигнали ЕРС формуються в блоках датчиків ЕРС ДЕ1, ДЕ2, на які надходять сигнали від датчиків напруги ДН1, ДН2 і датчиків струму якоря ДС1, ДС2. Схема живлення й керування обмоткою ОЗМ2 не наведена.

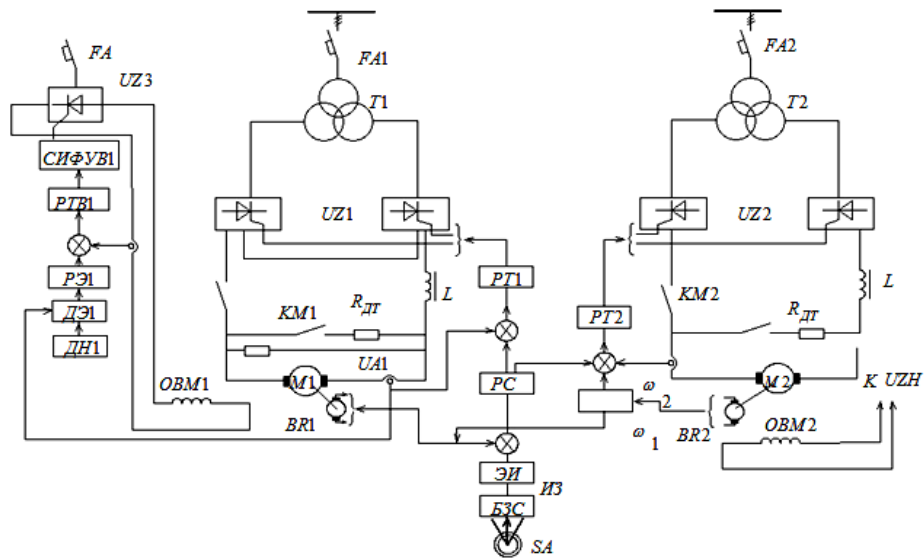


Рис.2.13. Схема електропривода прошивного стану

#### 2.4.3. Контрольні запитання до розділу 4

1. У яких механізмах прокатних станів використовується синхронний і асинхронний електропривод?
2. Які особливості роботи привода чорнових нереверсивних клітей?
3. Який режим роботи універсальних чорнових клітей і який привід там використовується?
4. Яким вимогам повинен задовольняти привід моталок?
5. Які елементи містить система керування електропривода намотувальних пристроїв?

6. Який параметр повинен підтримуватися постійним у приводі моталок?
7. Який режим роботи привода натискного пристрою і який тип привода там використовується?
8. Які вимоги пред'являються до привода правильних машин?

## **2.5. Розділ 5. Технічні засоби та інжиніринг автоматизованих електроприводів**

### **2.5.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 5**

Об'єктами електротехнічного інжинірингу є електроприводи виробничих механізмів, машин та комплексів; електротехнологічне обладнання (зварювальне, термічне, гальванічне); електроустановки для виробництва, перетворення, трансформації, передачі та розподілення електричної енергії; електроосвітлювальні прилади та мережі; електроперетворювальні та зарядні станції, призначені для живлення спеціальних пристроїв та заряджання акумуляторних батарей електротранспорту.

Проектування силового електрообладнання є найбільш містким та складним унаслідок його різноманітності і, як правило включає проектування системи розподілу електроенергії від джерела живлення до споживачів, розташованих уздовж технологічного обладнання, що використане для конкретного виробництва.

При використанні проектів силового електроустановки дотримуються наступних положень.

1. Дотримання вимог нормативно-технічних документів.
2. Забезпечення електромагнітної сумісності надійності та зручності експлуатації електрообладнання. Максимальна його відповідність технологічному обладнанню та технологічному процесу. Облік досвіду експлуатації електрообладнання на підприємствах.
3. Використання блочно-модульних принципів комплектації електрообладнання. Максимальне використання типових уніфікованих виробів, наявних на підприємстві.

4. Забезпечення на підприємствах методики виконання електромонтажних робіт, наближених до термінових робіт. Використання великих вузлів, блоків та комплектів електрообладнання та мереж, що призводить до зменшення обсягу електромонтажних робіт. Максимальний облік вимог виконання ніш, лотків, отворів в міжповерхових перекриттях капітальних стінах для прокладення кабелів при будівництві будівель та споруд.

5. Забезпечення економічності прийнятих рішень на основі аналізу можливих варіантів. Вибір найбільш економічного із варіантів, рівноцінних за іншими оцінками, а також вибір оптимального запасу за основним показником електроустаткування (потужності, струму навантаження. Температурі та інші).

Розробка проекту починається з ознайомлення з будівлями споруд, технологічне та механічне обладнання. Рішення основних питань при проектуванні виконується у відповідності з ТЗ у наступному порядку:

- розрахунок та вибір електрообладнання;
- вибір живлючих і розподільних мереж;
- вибір системи керування та автоматизації;
- прийняття конструктивних рішень у відношенні установки електрообладнання, монтажу інформаційних та електричних мереж.

Принципи побудови автоматизованих електроприводів механізмів, машин, агрегатів та комплексів, засновані на блочно-модульній ідеології і типізації структур систем керування.

Виконавчі органи робочих машин та технологічних агрегатів, які оснащені індивідуальними електроприводами з електродвигунами (М), керуючими перетворювачами (КП), та контролери приводів, які програмуються (КП). Спільно ці пристрої складають основу комплектного електропривода. Роботу приводів та механізмів, що входять до складу технологічного агрегату, координує технологічний програмований контролер (КТ). Координацію спільної роботи агрегатів технологічного комплексу виконує один з мікроконтролерів (КТ), або промисловий комп'ютер (ПК), що входить до складу станції оператора (СО). Через магістральний перетворювач (МП) здійснюється зв'язок автоматизованого технологічного комплексу (АТК) з розподіленою системою керування технологічним процесом.



*Розрахунок автоматизованого електропривода пов'язаний з розрахунком потужності електродвигуна, який виконується у відповідності з режимами S1...S8 роботи механізмів технологічного обладнання на основі навантажувальних та швидкісних діаграм.*

*Вибір системи електропривода виконується у відповідності з даними живлючої електромережі, потужністю, швидкістю, режимах S1...S8 роботи та перевантажувальної здатності електродвигуна, а також на основі вимог до регулювання швидкості (робочого діапазону, плавної зміни, а також підтримки заданої швидкості) і динамічним показникам якості процесу регулювання (швидкодії, перерегулюванню та інші).*

На вибір системи електропривода можуть впливати також умови пуску механізмів. Багато механізмів (наприклад, конвеєри) вимагають забезпечення пуску під навантаженням, а деякі (наприклад, відцентрові вентилятори головного провітрювання шахт) мають значні інерційні маси. У випадку використання асинхронних короткозамкнених двигунів або синхронних з асинхронним пуском може бути, що час пуску механізму неприпустимо великий та за цей час двигун буде перегріватися. Завищення потужності та моменту обертання двигуна за вимогами пуску призведе до його недовикористання у режимі робочого функціонування та погіршенню енергетичних показників.

Можливо застосування редукторного або без редукторного привода з тихохідним двигуном. Раціональний вибір може бути виконано на основі техніко-економічного порівняння, яке повинно враховувати не тільки різну вартість тихохідного або швидкохідного (з додатковим редуктором) двигунів, але й їх масу та габарити, які впливають на необхідні розміри приміщення, фундаменту та затрати на несучі конструкції при його розміщенні.

При номінальній швидкості виконавчого органу не менш 300рад/с переважним є безредукторний привод з прямим з'єднанням вала двигуна з валом робочої машини (насоса, вентилятора). При меншій швидкості робочого органу вибір неоднозначний, але частіше редукторний привод має меншу масу та габаритні розміри. Для механізмів, не вимогливих до регулювання швидкості, досить порівняння тільки за цими показниками.

Для механізмів з частими пусками та реверсами важливо порівняння двигунів за динамічними показниками. Безредукторні електроприводи більш

динамічні та кращі для регулюючих електроприводів, оскільки їх простіше розігнати, гальмувати, регулювати швидкість. Тому вони широко використовуються для шахтних підйомних установок а також прокатних станів.

Безперечною перевагою безредукторних електроприводів є їх високі динамічні властивості. При цьому забезпечуються високі частоти механічних коливань у кінематичних трактах приводів.

При обиранні системи електропривода необхідно враховувати характер навантаження, що здійснює робочий механізм. Вирівнювання моменту двигуна для нерегульованих електроприводів з нерівномірним або пульсуючим навантаженням досягається збільшенням інерційних мас електропривода, хоча це може ускладнювати його пуск.

У випадках, коли можливе перевантаження, яке не може здолати привод, необхідно передбачити відповідно налагоджений захист або систему керування, що забезпечує обмеження струму та моменту двигуна, а також динамічне навантаження у механічних передачах (наприклад, у екскаваторних приводах).

Для систем з великим числом електроприводів та великою сумарною потужністю доцільно використання структури розподільної силової мережі з декількома груповими джерелами електроживлення.

Проекти нового технологічного обладнання виконуються узагалі з використанням систем автоматизованого електропривода змінного струму. Доля електроприводів постійного струму у нових проектах незначна.

Існує чотири основних варіанти проектів модернізації діючого обладнання у автоматизованих електроприводах.

1. Заміна аналогових та релейно-контактних систем керування на цифрове з використанням промислових комп'ютерів, технологічних та логічних контролерів, інтелектуальних модулів, відповідних нижчому та середньому рівню автоматизації.

2. Те ж, та заміна аналогових блоків керування комплектних електроприводів постійного струму цифровими з використанням контролера привода.

3. Те ж, та заміна силових блоків комплектних електроприводів. При цьому електродвигуни та мережі електроживлення залишаються незмінними.

4. Повна модернізація автоматизованих електроприводів. Заміна електроприводів постійного струму на електроприводи змінного струму.

Найбільш витратним, але найбільш ефективним тут є четвертий варіант модернізації. Основна складова ефективності модернізації полягає у наступному: зниження енерговитрат за рахунок деякого збільшення ККД прокатного стана та збільшення коефіцієнта потужності до одиниці без використання додаткових витрат; збільшення продуктивності завдяки скороченню часу технологічного циклу прокатки та часу переналадки стана при зміні сорту прокату; збільшення якості керування та відповідно стабільності характеристик високоякісних марок сталі, що виробляються, а також виключення браку.

#### **2.5.2. Розробка схеми автоматизованого електропривода насосної установки**

Розглянемо інжиніринг електроприводів та систем автоматизації, до складу якого входить: створення автоматизованих електроприводів механізмів, машин та комплексів на базі типових засобів; аналіз та вибір альтернатив оптимального варіанта системи; створення засобів електроприводів та автоматизації; створення розподільчих систем автоматизації.

Можливі два варіанти створення автоматизованих електроприводів: у складі заново створюваних механізмів, машин та комплексів; при реконструкції існуючих механізмів, машин та комплексів.

У якості прикладу розглянемо можливі варіанти автоматизації насосів та насосних станцій.

Автоматизація насосних установок дозволяє підвищувати надійність та безперебійність водопостачання, зменшувати витрати праці та експлуатаційні витрати, розміри регулюючих резервуарів.

Для автоматизації насосних установок, крім апаратури загального застосування (контакторів, магнітних пускачів, перемикачів, проміжних реле), застосовуються спеціальні апарати керування та контролю, наприклад, реле контролю рівня, реле контролю заливки відцентрових насосів, струминні реле, поплавкові реле, електродні реле рівня, різноманітні манометри, датчики ємнісного типу і т.д.

Автоматизація насосів та насосних станцій, як правило, зводиться до керування насосом занурення за рівнем води у баку або тиском у напорному трубопроводі.

Розглянемо приклади автоматизації насосних установок.

На рис.2.14,а наведена схема автоматизації насосної установки – дренажного насоса 11, а на рис.2.14,б наведена електрична схема цієї установки. Автоматизація насосної установки здійснюється за допомогою поплавкового реле рівня (контакт РУ). Ключ керування SA має два положення: для ручного та автоматичного керування.

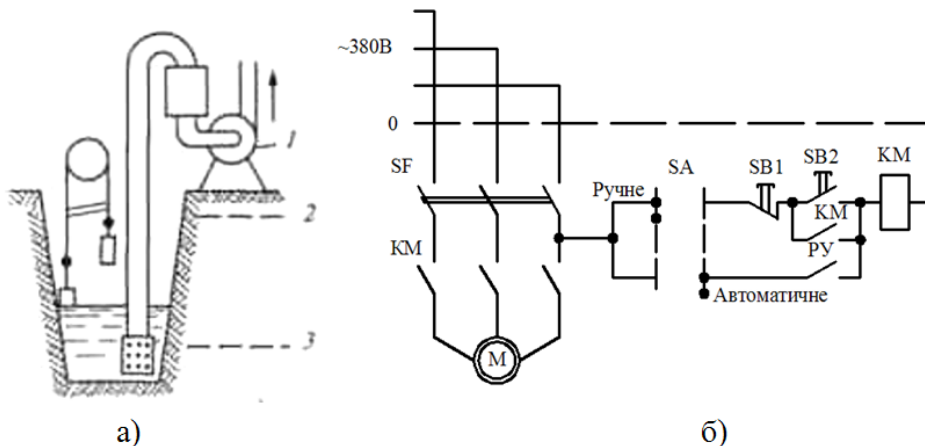


Рис.2.14. Конструкція дренажної насосної установки (а) та її електрична схема автоматизації (б):

1 – насос; 2, 3 – верхній та нижній рівні відповідно

На рис.2.15, у якості прикладу, наведена технологічна схема автоматизації двоагрегатної відкачувальної насосної станції.

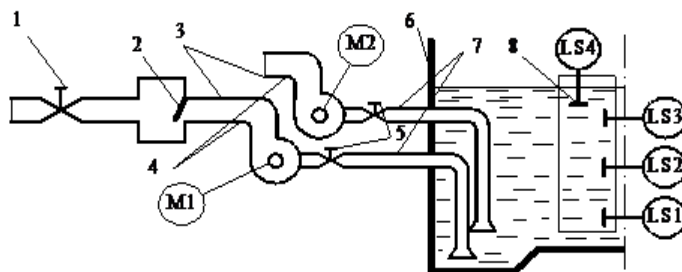


Рис.2.15. Технологічна схема автоматизації двоагрегатної відкачувальної насосної станції

Для відкачки стічних, дренажних і господарсько-лекальних вод використовують низьконапірні (8...95м) високопродуктивні (16...9000 м<sup>3</sup>/год) каналізаційні електронасоси. Такі насоси мають незабруднююче одно-трилопатеве розширене робоче колесо, яке з'єднує насос з напірним трубопроводом.

Зазвичай ці установки мають просту конструкцію, вони обладнані кнопковою станцією дистанційного керування електронасосним агрегатом за допомогою магнітних пускатрів.

Як приклад розглянемо електричну схему автоматичного керування двоагрегатною водовідливною насосною станцією (рис.2.16) паралельно з технологічною схемою автоматизації (рис.2.15). Вручну агрегати вмикають і вимикають кнопками SB1...SB4, а в автоматичному режимі — за допомогою електродних датчиків рівня SL1...SL4.

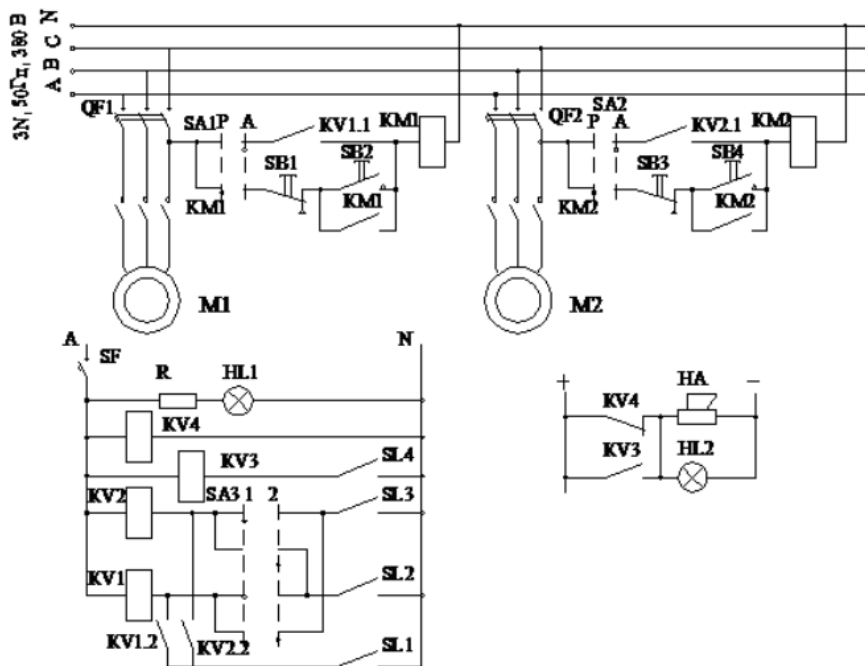


Рис.2.16. Електрична схема автоматичного керування двоагрегатною водовідливною насосною станцією

Засувки 1 і 5 (рис.2.15) з ручним приводом закривають при ремонті насосів. При роботі насосів вони відкриті. Зворотний потік рідини через

непрацюючий насос 4 та труби 3 і 7 закриває клапан 2. Стічні води і гнойова рідина збираються в резервуар 6. В міру підвищення рівня рідини вони перемикнуть проміжки електродів нижнього рівня SL1, SL2 і загальний електрод 8 (заземлена труба). Спочатку від датчика SL2 вмикається один насос. Якщо приплив стічних вод більше, ніж продуктивність насоса, то рівень с токів підвищується і датчиком SL3 вмикається другий електронасос.

Черговість вмикання агрегатів визначається перемикачем SA3. Наприклад, у положенні 1 перемикача SA3 спочатку від датчика SL2 спрацьовує реле KV1, що вмикає електродвигун M1 першого насоса, а потім від датчика SL3 – реле KV2 і другий електронасос M2. У положенні 2 перемикача черговість вмикання насосів буде зворотною. Другими парами контактів реле KV1 і KV2 шунтують через датчик SL1, кола датчиків SL2 і SL3. Завдяки цьому шунтуванню відключення реле KV1 і KV2, а потім і насосів при зниженні рівня стічної води відбудеться тільки тоді, коли розімкнеться ланцюг датчика SL1 нижнього рівня.

Якщо продуктивність двох агрегатів виявляється менше припливу стічних вод, то від підвищення рівня замикається ланцюг датчика SL4 і спрацьовує реле KV3, що включає аварійно-попереджувальну звукову НА і світлову HL2 сигналізації. Ця ж сигналізація спрацьовує від реле KV4 при зникненні напруги живлення. Кола аварійної сигналізації одержують живлення від незалежного джерела.

Розглянемо можливість автоматизації насосних установок з використанням мікроконтролерів типу МПЗК-50 (Росія). Прилад призначений для автоматичного керування і захисту відцентрових заглибних електронасосних агрегатів у режимі водопідйому чи дренажу. Автоматичне керування в режимах водопідйому або дренажу виконується по сигналах від датчиків рівня або інших датчиків. Аварійне відключення електронасосного агрегату відбувається при виникненні: неприпустимих перевантажень у момент пуску і робочому режимі; обриву однієї або двох фаз; асиметрії напруги мережі живлення; холостого ходу електродвигуна; короткого замикання в колі електродвигуна; неприпустимо низького дебету води в свердловині. Застосування приладу МПЗК-50 дозволяє крім того проводити контроль й індикацію робочого струму електродвигуна; контроль і індикацію аварійного стану.

На рис.2.17 наведена схема підключення електронасосного агрегату з приладом МПЗК-50. Підготовка установки до роботи здійснюється автоматичним вимикачем QF1.

*Робота в ручному режимі.* Натисканням кнопки "Режим", встановлюється режим роботи "Ручний", при цьому буде світитись світлодіод "Ручний". При обраному режимі "Ручний" керування електродвигуном здійснюється оператором від кнопочного поста SB1 "Пуск", SB2 "Стоп".

*Робота в автоматичному режимі.* При виключеному електродвигуні вибрати заданий режим роботи з необхідними датчиками (при цьому буде світитись відповідний світлодіод).

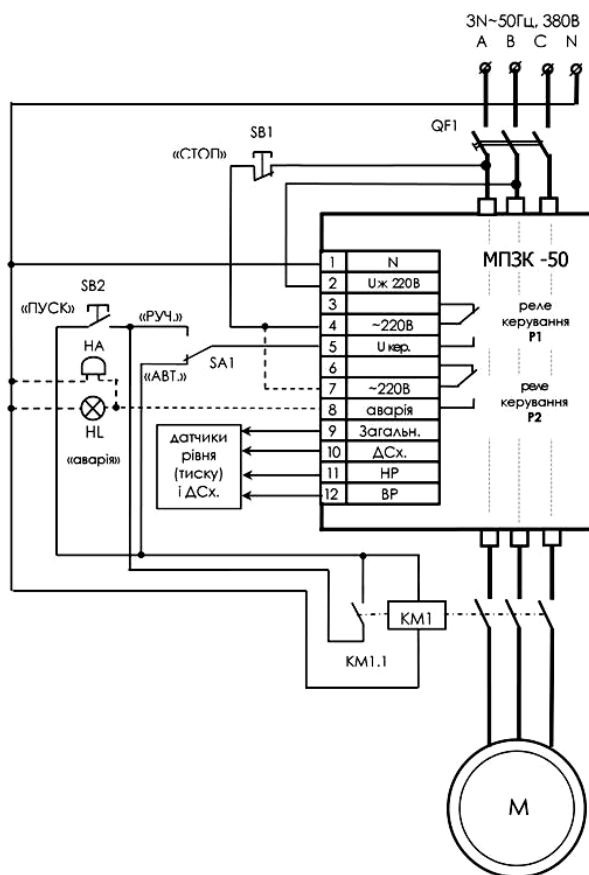


Рис.2.17. Схема підключення електронасосного агрегату з приладом МПЗК-50

В автоматичному режимі керування з датчиками рівня у випадку відсутності води в резервуарі, при подачі електроживлення відбувається автоматичне включення електродвигуна насоса шляхом замикання контактів 4-5 реле керування Р1. При досягненні рівня води в резервуарі до датчика верхнього рівня ВР відбувається автоматичне вимикання електродвигуна насоса шляхом розмикання контактів 4-5 реле керування Р1. При зниженні рівня води в резервуарі нижче датчика нижнього рівня НР відбувається автоматичне включення електродвигуна насоса для подачі води в резервуар і цикл повторюється. Датчики ВР і НР (верхнього і нижнього рівня) установлюються залежно від технічних характеристик резервуара.

Робота в автоматичному режимі керування з датчиками тиску у випадку відсутності тиску стовпа води на датчик тиску, при подачі електроживлення відбувається автоматичне включення електродвигуна насоса шляхом замикання контактів 4-5 реле керування Р1. При замиканні рухомого контакту електроконтактного манометра з контактом верхньої уставки "ВР" відбувається автоматичне вимикання електродвигуна насоса шляхом розмикання контактів 4-5 реле керування Р1. При замиканні рухомого контакту електроконтактного манометра з контактом нижньої уставки "НР" відбувається включення електродвигуна насоса, і цикл повторюється. Якщо у вихідному стані рухомий контакт "ЕКМ" перебуває між контактами "ВР" і "НР", то при подачі живлення електродвигун насоса не включиться. Включення електродвигуна насоса відбудеться по замиканню рухливого контакту з контактом датчика "НР".

Робота в автоматичному режимі керування при дренажі з датчиками рівня (прилад МПЗК-50) необхідно установити на режим роботи «Автоматичний – дренаж». При досягненні рівня води в каналі до датчика "ВР" відбувається автоматичне включення електродвигуна насоса. При падінні рівня води в каналі нижче датчика "НР" відбувається автоматичне вимикання електродвигуна насоса.

Захист електродвигуна глибинного насоса від неприпустимо низького рівня води в свердловині виконується датчиком "сухого ходу" - "ДСх". Робочому стану заглибного насоса відповідає замкнутий стан датчика сухого ходу "ДСх" відносно "Загального" провідника (датчик "ДСх" перебуває під водою). Аварійному стану заглибного насоса відповідає розімкнутий стан датчика сухого ходу "ДСх" відносно "Загального" провідника (датчик "ДСх"



перебуває вище рівня води). У випадку, коли датчик сухого ходу "ДСх" не використовується, необхідно встановити перемичку між выводами 9 і 10 клемного гвинтового затискача МПЗК-50.

При виникненні аварійної ситуації МПЗК-50 розімкне контакти 4-5, реле керування Р1, кола керування електродвигуна і на індикаторі струму зафіксує код аварії. По коду аварії оперативно можна визначити причину відключення електродвигуна. Для поновлення роботи електродвигуна необхідно усунути причину виникнення аварії і натиснути кнопку "Скидання".

Для дистанційного контролю роботи й аварії електродвигуна можна використати контакти реле керування Р2. У робочому режимі "МПЗК-50", контакти 6-7 замкнуті, а 7-8 розімкнуті. При виникненні аварії розмикаються контакти 6 -7 і замикаються контакти 7- 8.

### **2.5.3. Контрольні запитання до розділу 5**

1. Що таке електротехнічний інжиніринг?
2. Основні положення інжинірингу.
3. Принципи побудови АЕП.
4. Основні варіанти модернізації діючих АЕП.
5. Для чого призначена двоагрегатна водовідливна насосна станція?
6. Як технологічно працює двоагрегатна водовідливна насосна станція?

## **2.6. Розділ 6. Розрахунок параметрів та вибір устаткування електроприводів**

### **2.6.1. Зміст та методичні вказівки до виконання курсового проекту**

Метою курсового проекту є розширення, поглиблення і закріплення знань, отриманих студентами на лекціях і лабораторних заняттях, а також застосування отриманих знань для рішення практичних задач, що часто зустрічаються, з розрахунку параметрів електропривода.

Для повного охоплення матеріалу основних розділів дисципліни в кожному проекті розглядається варіант привода від двигуна постійного струму незалежного збудження.

При виконанні курсового проекту передбачається використання засобів обчислювальної техніки.

Студент цілком відповідає за прийняті в проекті рішення, правильність виконання розрахунків і літературний вклад пояснювальної записки.

Методичні вказівки складені з урахуванням існуючої тенденції збільшення частки й удосконалення організації самостійної роботи студентів.

У методичних вказівках даються практичні рекомендації з виконання завдання і формулюються вимоги до оформлення проекту.

Курсовий проект повинен містити 25-30 сторінок пояснювальної записки формату А4 і один лист графічної частини формату А2.

*Зміст пояснювальної записки:*

1. Титульний аркуш
2. Завдання на виконання курсового проекту (побудова навантажувальної діаграми і діаграми швидкості).
3. Розрахунок потужності і попередній вибір електродвигуна.
4. Приведення статичних моментів і моментів інерції до вала електродвигуна.
5. Перевірка двигуна по нагріванню і перевантажувальній здатності.
6. Вибір основного устаткування системи електропривода і перетворювача.
7. Розрахунок основних параметрів об'єкта регулювання електропривода.
8. Побудова механічних характеристик і фазової траєкторії пуску і гальмування привода.
9. Список літератури, що використовується.

*На кресленні представляються:*

1. Блокова принципова електрична схема автоматичного керування електродвигуном.
2. Механічні характеристики і фазова траєкторія пуску двигуна.
3. Навантажувальна діаграма електродвигуна.

Оформлення розрахункової пояснювальної записки і креслення виконується відповідно до вимог ЄСКД. Розмірності величин, що входять у розрахункові формули, повинні відповідати системі СІ .

### **2.6.2. Контрольні запитання до розділу 6**

1. Як виконується попередній вибір електродвигуна?
2. Як виконується приведення моментів інерції до вала двигуна?
3. Як перевіряється двигун по перевантажувальній здатності?
4. Як побудовані механічні характеристики?
5. Як вибирається перетворювач?
6. Що таке фазова траєкторія пуску та гальмування двигуна?

## **3. ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

1. Вступна лабораторна робота
2. Дослідження системи Г-Д у гальмівних режимах
3. Вивчення, випробування та дослідження асинхронного ЕП з перетворювачем частоти ТПГР
4. Вивчення, випробування та дослідження асинхронного ЕП з перетворювачем частоти АТЕ-2200
5. Вивчення та випробування асинхронного ЕП з тиристорним регулятором напруги ТСУ-2

## Література

### Основна

1. Фотиев М.М. Электроприводы и электрооборудование металлургических цехов: Учебн. 3-е изд. - М.: Металлургия, 1990. - 352 с.
2. Фотиев М.М. Электрооборудование прокатных и трубных станов. - М.: Металлургия, 1995. - 256 с.
3. Афанасьев В.Д. Автоматизированный электропривод: Учеб. пособие. - М.: Энергоатомиздат, Металлургия, 1977. - 280 с.
4. Попович М.Г. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.
5. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства: Учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 1987. - 312 с.
6. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод: Учебник. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 416 с.
7. Худолєєв Г.В., Ніколенко А.В. Методичні вказавки до виконання курсового проекту з дисципліни "Автоматизований електропривод металургійних цехів". – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2002. - 20 с.

### Додаткова

8. Колб Ант.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. - Д.: НГУ, 2006. - 511 с.
9. Белов М.П. и др. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: Учеб. пособие. - М.: Академия, 2006. - 368 с.
10. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под ред. В.А.Елисеева и А.В. Шинянского. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 616 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД».....	5
1.1. Розподіл навчальних годин (заочна форма навчання).....	5
1.2. Характеристика дисципліни.....	5
1.3. Зміст дисципліни за темами та розділами.....	7
Розділ 1. Електромеханічні властивості та особливості процесів у металургійних електроприводах.....	7
Розділ 2. Електроприводи агломераційних та сталеплавильних механізмів.....	7
Розділ 3. Електроприводи прокатних станів.....	8
Розділ 4. Електропривод трубопрокатних станів.....	8
Розділ 5. Технічні засоби та інжиніринг автоматизованих електроприводів.....	9
2. ЗМІСТ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ЗА ТЕМАМИ ДИСЦИПЛІНИ.....	9
2.1. Електромеханічні властивості приводних електродвигунів металургійних механізмів.....	9
2.1.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 1.....	9
2.1.1.1. Електромеханічні властивості двигунів постійного струму.....	9
2.1.1.2. Електромеханічні властивості асинхронних та синхронних двигунів.....	15
2.1.1.3. Система генератор-двигун постійного струму.....	22
2.1.1.4. Система електропривода ТП-Д з підпорядкованим регулюванням швидкості.....	26
2.1.1.5. Особливості процесів та електрообладнання електроприводів.....	30
2.1.2. Розрахунок автоматизованого електропривода шнекового живильника.....	38

2.1.3. Контрольні запитання до розділу 1.....	45
2.2. Розділ 2. Електроприводи агломераційних та сталеплавильних механізмів.....	47
2.2.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 2.....	47
2.2.2. Функціональна схема та особливості електропривода механізму нахилу кисневого конвертора.....	50
2.2.3. Контрольні запитання до розділу 2.....	52
2.3. Розділ 3. Електроприводи прокатних станів.....	53
2.3.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 3.....	53
2.3.2. Функціональна схема та особливості головного привода чистової групи широкосмугового стана.....	58
2.3.3. Контрольні запитання до розділу 3.....	61
2.4. Розділ 4. Електроприводи трубопрокатних станів.....	62
2.4.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 4.....	62
2.4.2. Функціональна схема та особливості електропривода прошивного стана.....	68
2.4.3. Контрольні запитання до розділу 4.....	69
2.5. Розділ 5. Технічні засоби та інжиніринг автоматизованих електроприводів.....	70
2.5.1. Зміст та методичні вказівки до розділу 5.....	70
2.5.2. Розробка схеми автоматизованого електропривода насосної установки.....	74
2.5.3. Контрольні запитання до розділу 5.....	80
2.6. Розділ 6. Розрахунок параметрів та вибір устаткування електроприводів.....	80
2.6.1. Зміст та методичні вказівки до виконання курсowego проекту.....	80
2.6.2. Контрольні запитання до розділу 6.....	82
3. ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	82
ЛІТЕРАТУРА.....	83