



Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

Черв'яков В. Д., Леонтьєв П. В., Соколов С. В.

АВТОМАТИЗОВАНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ

Конспект лекцій

Суми
Сумський державний університет
2022

Автоматизовані електромеханічні системи : конспект лекцій / укладачі : Черв'яков В. Д., Леонт'єв П. В., Соколов С. В. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 253 с.

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗМІСТ

С.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
МОДУЛЬ 1. ОБ'ЄКТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ.....	8
Тема 1. Електромеханічні пристрої та системи.....	8
Тема 2. Розподіл функцій управління в технологічних системах.....	26
Тема 3. Багаторівневі електромеханічні системи.....	36
Тема 4. Функціональна структура комп'ютеризованого технологічного комплексу.....	49
МОДУЛЬ 2. ЗАСОБИ ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ.....	54
Тема 5. Електроприводи технологічних машин і механізмів.....	54
Тема 6. Засоби контролю та вимірювань.....	77
Тема 7. Комутаційна та захисна апаратура.....	89
Тема 8. Умови експлуатації електроустановок.....	96
Тема 9. Технічні та програмні засоби автоматизованих електроприводів.....	107
МОДУЛЬ 3. УПРАВЛІННЯ РУХОМ МЕХАНІЗМІВ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	131
Тема 10. Виробничий механізм як складова автоматизованої електромеханічної системи.....	131
Тема 11. Типові задачі управління електроприводами виробничих механізмів у технологічних системах.....	168
Тема 12. Енерго- і ресурсозбереження засобами електропривода.....	222
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	251

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АСУТП	Автоматизована система управління технологічним процесом
АЕМС	Автоматизована електромеханічна система
АЕП	Автоматизований електропривод
АТК	Автоматизований технологічний комплекс
ВМ	Виробничий механізм
ДСТУ	Державний стандарт України
ЕМС	Електромеханічна система
ЕМСАК	Електромеханічна система автоматичного керування
ЕП	Електропривод
РО	Робочий орган (технологічної машини, механізму)
САК	Система автоматичного керування
САР	Система автоматичного регулювання
САУ	Система автоматичного управління
СК	Система керування
СКРО	Система керування робочим органом (технологічної машини, механізму)
СУ	Система управління
СУТА	Система управління технологічного агрегату
СУТМ	Система управління технологічної машини
ТА	Технологічний агрегат
ТМ	Технологічна машина
ТО	Технологічний об'єкт

ВСТУП

У технологічних системах (об'єктах) різного призначення в промисловості, на транспорті, в сільському господарстві та інших галузях економіки здійснюються технологічні процеси, складовими яких є операції механічного оброблення матеріалів і переміщення робочих органів технологічних машин, матеріалів (твердих, рідких, газоподібних) і виробів. Механічні процеси здійснюються за допомогою приводів робочих органів технологічних машин, серед яких найбільш поширені електроприводи. Автоматизований електропривод (що має власну систему автоматичного керування) в сукупності з робочим органом (робочими органами) технологічної машини являє собою автоматизовану електромеханічну систему. Складний технологічний об'єкт (агрегат, машина) може містити кілька електроприводів робочих органів, що складають у сукупності взаємозв'язаний електропривод технологічного об'єкта, який також є електромеханічною системою (автоматизованою, якщо вона має власну систему координаційного керування локальними електромеханічними системами, тобто електроприводами в її складі).

Розвиток автоматизованих електромеханічних систем відбувається шляхом підвищення їх економічності та надійності, точності виконання заданих функцій. Засобами досягнення цієї мети є новітні серії електродвигунів, керованих перетворювачів і комплектних електроприводів, мікропроцесорні пристрої керування (промислові контролери) тощо. Розширення й ускладнення функцій, що виконуються електромеханічними системами, застосування в них сучасних способів і технічних засобів керування потребує високого рівня підготовки фахівців у галузі теорії і практики автоматизованих електромеханічних систем.

Навчальна дисципліна «Автоматизовані електромеханічні системи» є складовою професійної підготовки магістрів зі спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Навчальна дисципліна базується на знаннях з електротехніки, теорії автоматів, теорії автоматичного керування, основ електропривода, мікропроцесорних пристроїв і систем, технічних засобів автоматизації, проектування засобів і систем керування.

Метою дисципліни є вивчення технічних засобів і методів керування в електромеханічних системах технологічних машин і агрегатів.

Після засвоєння навчального матеріалу дисципліни студент повинен знати на продуктивно-синтетичному рівні:

- принципи керування електроприводами технологічних машин;
- принципи побудови автоматизованих електромеханічних систем заданого технологічного призначення.

На евристичному рівні цією дисципліною формуються такі уміння:

- розв'язувати задачі вибору елементів автоматизованих електромеханічних систем для конкретних застосувань;
- розв'язувати задачі розроблення програмного забезпечення автоматизованих електромеханічних систем;
- виконувати розрахунки статичних і динамічних характеристик систем електропривода;
- здійснювати експериментальні дослідження статичних і динамічних процесів в електромеханічних системах.

Знання та уміння, одержані студентом в результаті навчання з цієї дисципліни, необхідні для успішного

виконання кваліфікаційної роботи магістра з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Конспект складений із використанням відомих літературних навчальних видань та інтернет-ресурсів відкритого доступу, перелік яких наведений у списку літератури.

МОДУЛЬ 1. ОБ'ЄКТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ

Розглядаються поняття таких об'єктів вивчення як електромеханічний пристрій, електромеханічна система, електропривод, автоматизована електромеханічна система, їх функціональне призначення, ієрархічна підпорядкованість і структурна побудова.

Тема 1. Електромеханічні пристрої та системи

Енергетичну основу технологічних об'єктів становлять переважно джерела та споживачі електричної енергії (електричні генератори й двигуни, електромагнітні та електронні пристрої). Це обумовлено перевагами електричної енергії над іншими її видами. Основними з них є: можливість використання наявних енергоносіїв для ефективного виробництва електричної енергії та розподілу її між споживачами і перетворення в енергію інших видів, економічність передачі електричної енергії на великі відстані, можливість побудови високоякісних автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУТП). Основним видом обладнання для виробництва електроенергії та її використання в технологічних об'єктах є електромеханічні пристрої.

Електромеханічний пристрій – це технічний об'єкт, який за принципом роботи виконує функцію перетворювача електричної енергії в механічну або механічної в електричну. Основними енергоперетворювальними пристроями в технологічних об'єктах є електричні машини (двигуни та генератори). За типом механічних переміщень рухомої частини (ротора) існують конструкції електричних машин з обертальним та зворотно-поступальним видами руху. Найбільше застосування знаходять електричні

машини обертального руху. Завдяки властивості оберненості одна й та сама електрична машина може працювати в двигуновому або генераторному режимі. До категорії електромеханічних пристроїв належать також тягові електромагніти, що використовуються в підйомно-транспортних механізмах, релейно-контактній апаратурі та багатьох інших технічних пристроях і системах.

У галузі науки і техніки «Електромеханіка» технічні об'єкти, що містять у своєму складі електромеханічні пристрої, прийнято називати електромеханічними системами (ЕМС), з додаванням до назви функціонального (технологічного) призначення цих систем. Поняття електромеханічної системи багатогранне. Найперше, ЕМС – це технічна система, в якій здійснюються процеси перетворення електричної енергії в механічну або механічної енергії в електричну. Розглядаючи будь-який електромеханічний пристрій із позицій системного підходу, доходимо до висновку, що він є системою певного функціонального призначення, що містить декілька елементів (можливо, й підсистем), конструктивно і функціонально пов'язаних між собою. Електродвигун і електрогенератор як складні енергоперетворювальні пристрої є електромеханічними системами. Водночас вони є головними енергоперетворювальними підсистемами, що входять у склад ЕМС відповідного функціонально-технологічного призначення як структурні елементи. Широко поширені електромеханічні перетворювачі дискретної дії – електромеханічні системи контакторів і реле, штовхачів, муфт ковзання та інших технічних пристроїв. Комплекси комутаційних пристроїв (релейно-контактна апаратура) для вмикання/вимикання, контролю, сигналізації, блокування та захисту електротехнічних та електронних пристроїв також є електромеханічними системами. Якщо в наших судженнях ми не торкаємося

внутрішнього устрою технічної системи, а розглядаємо лише її функціональні властивості, то цю систему відносимо до класу пристроїв.

У технологічних об'єктах з виробництва електроенергії (стаціонарних і мобільних) електромеханічними системами найближчого вищого рівня ієрархії щодо електрогенераторів є перетворювальні агрегати (гідрогенератори, турбогенератори, дизель-генератори), в яких електромашинні генератори оснащені приводами їх роторів на базі турбін або двигунів внутрішнього згоряння. У промислових технологічних об'єктах електромеханічними системами найближчого вищого рівня ієрархії щодо електродвигунів є електроприводи (ЕП) робочих органів (РО) технологічних машин (ТМ). Автоматизовані технологічні об'єкти містять також ЕМС наступного, вгору за ієрархією, рівня. В енергогенерувальних об'єктах такими є ЕМС автоматичного регулювання параметрів електроенергії (напруги, частоти), а в технологічних об'єктах матеріального виробництва, трубопровідного транспорту та багатьох інших – ЕМС керування процесами руху робочих органів технологічних машин (механізмів). В автоматизованих ТМ формування заданих законів руху робочих органів та їх відпрацювання автоматизованими електроприводами цих РО здійснюється автоматично, без участі людини, тому ЕМС керування процесами руху робочих органів у складі таких ТМ є системами автоматичного керування (САК). Електромеханічні системи автоматичного керування (ЕМСАК) є окремим, специфічним і поширеним класом систем автоматичного керування.

Отже, ми дійшли до визначення поняття «Автоматизована електромеханічна система» (АЕМС). У найпростішому випадку це ЕМСАК процесами руху

робочого органу (за групового ЕП – кількох РО) технологічної машини. В загальному випадку АЕМС може являти собою комплекс ЕМСАК процесами руху робочих органів технологічної машини або технологічного агрегату (ТА), пов'язаними технологічним регламентом. Саме АЕМС у складі автоматизованих ТА і ТМ є предметом вивчення цієї навчальної дисципліни.

Оскільки будь-яка АЕМС містить, як головні складові, одну або кілька ЕМСАК процесами руху робочих органів технологічної машини (агрегата), кожна з яких являє собою САК, то має сенс нагадати основні поняття теорії автоматичного керування.

Керування (управління) – це цілеспрямована сукупність дій, які змушують об'єкт керування (наприклад, електропривід робочого органу ТМ) виконувати певний алгоритм функціонування з бажаним результатом. Лексикою української мови різницю термінів «управління» та «керування» чітко не визначено, однак зазвичай термін «управління» застосовують для позначення функцій управління вищого рівня, що містять операції «командного» (координаційного) управління складними технічними (технологічними) об'єктами, а термін «керування» використовують щодо безпосереднього керування функціонуванням об'єкта (проходженням процесу) для виконання завдань, що надходять від системи управління (СУ) вищого рівня ієрархії.

Система управління (керування) – це сукупність функціонально пов'язаних підсистем і пристроїв, що забезпечують виконання об'єктом управління (керування) певного (наприклад, технологічного) завдання. Якщо управління (керування) здійснюється без участі людини, то СУ (СК) називається автоматичною (САУ, САК). Прикладами автоматичних систем можуть бути САК робочим органом технологічної машини та САК

електроприводом, якщо не брати до уваги операції вмикання/вимикання, налагодження та ін., що виконуються людиною - оператором. Якщо окремі операції управління здійснює людина, то такі СУ (СК) називаються автоматизованими. До останніх можуть належати АСУТП, СУ технологічним агрегатом, СУ технологічною машиною. Що стосується технічних і технологічних об'єктів, то їх називають автоматизованими, якщо вони оснащені автоматичними або автоматизованими системами управління (керування).

Узагальнену структурну схему системи управління (керування) подано на рисунку 1.1. Згідно з концептуальними положеннями теорії автоматичного управління, СУ (СК) будь-яким об'єктом (процесом) являє собою систему функціонально пов'язаних задавального, керувального і виконавчого пристроїв, об'єкта управління та інформаційно-вимірювальної підсистеми (давачів вимірюваних змінних стану виконавчого пристрою та об'єкта управління). Функції задавального пристрою може виконувати СУ вищого рівня (за ієрархією). В автономній СУ, що не підпорядкована ніякій СУ вищого рівня ієрархії, задавальний пристрій являє собою пульт управління (як технічний засіб виконання функцій управління людиною – оператором). Якщо пристрій управління (керування) виконує свої функції без участі людини, то СУ (СК) належить до категорії САУ (САК).

Зазначимо, що об'єктом управління (керування) можуть бути технологічний процес, технологічна система, технічний об'єкт або пристрій. Узагальненість структурної схеми (рис. 1.1) полягає в тому, що вона відображає загальний випадок структурно-функціональної побудови будь-якої СУ (автоматизованої, автоматичної, автономної), як це буде показано в подальшому.

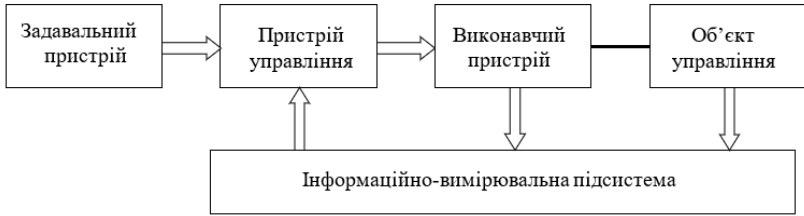


Рисунок 1.1 – Узагальнена структурна схема системи управління

Функціональні зв'язки між структурними блоками СУ є інформаційними, за винятком зв'язку між виконавчим пристроєм та об'єктом управління, який може бути енергетичним. В електромеханічних СУ виконавчий пристрій є енергоперетворювальним, саме цьому відповідає структурна схема (рис. 1.1), де енергетичний зв'язок показаний лінією без стрілки.

Крім основних структурних складових, перелічених у наведеному вище означенні СУ, в її склад входять пристрої (на рис. 1.1 не показані), що забезпечують захист, блокування, сигналізацію, операції ввімкнення/вимкнення пристроїв, а в сучасних системах – також діагностику, тестування і резервування, з конструктивним оформленням у вигляді пультів управління та схем електроавтоматики.

Об'єкт управління в процесі його функціонування підлягає діянню двох видів. Із боку виконавчого пристрою він зазнає *керувального діяння*, спрямованого на досягнення мети управління. З боку довкілля та суміжних об'єктів і систем об'єкт управління зазнає *збурювальних діянь*, які можуть мати як детермінований, так і випадковий характер. Основним завданням СУ (СК) є забезпечення заданого закону (алгоритму) функціонування об'єкта управління за будь-яких збурювальних діянь.

Завданням управління технічним (технологічним) об'єктом часто є забезпечення постійності деякої фізичної змінної (швидкості руху робочого органу ТМ, тиску, температури тощо), або її змінення в часі за певним законом (згідно з заданням). Такий окремий вид управління (керування) називається *регулюванням*. Узагальнена структура системи автоматичного регулювання (САР) відрізняється від загальної структури СУ (рис. 1.1) відсутністю задавального пристрою. Керувальний пристрій САР містить регулятори однієї або декількох фізичних змінних. Невід'ємною ознакою САР є наявність зворотних зв'язків з однієї чи кількох регульованих фізичних змінних (змінних стану об'єкта керування), причому обов'язково – з головної регульованої змінної в зовнішньому контурі регулювання. Формування керувального діяння є функцією деякого задавального пристрою, тому очевидно, що САР є структурною складовою системи керування об'єктом, змінні стану якого підлягають регулюванню. Якщо кількість регульованих змінних дорівнює двом і більше, то САР (будь-яка СУ) носить назву *багатовимірної*, а в протилежному разі – *одновимірної* системи.

У літературних джерелах, де розглядаються системи управління технічними об'єктами, іноді застосовують термін «система управління об'єкта». Цим терміном характеризується сукупність керувального пристрою та інформаційно-вимірювальної підсистеми, а також виконавчого пристрою, тобто тих складових СУ, що пов'язані між собою інформаційними зв'язками. Зокрема, таку термінологію застосовують в теорії електропривода для зазначення належності інформаційно пов'язаних підсистем (пристроїв) технічному об'єкту – автоматизованому електроприводу (АЕП).

Для систем управління і, зокрема, САР, застосовують таку класифікацію:

– *автоматичні системи стабілізації*, що забезпечують підтримання регульованої фізичної величини на заданому рівні з потрібною точністю. До таких систем належать, наприклад, система регулювання температури в нагрівальній печі, система регулювання швидкості обертання двигуна та багато інших. Системи стабілізації поділяють на статичні та астатичні. *Статичними системами* називають такі, в яких регульована величина в усталених режимах змінюється за змін збурювальної дії. *Астатичні системи* забезпечують підтримання регульованої змінної в усталених режимах на незмінному рівні незалежно від збурювальних діянь. Інакше кажучи, астатичні САР забезпечують регулювання фізичних змінних в усталеному режимі без похибки, тобто суворо на заданому рівні, а статичні САР – з деякою похибкою, викликаною збурювальним діянням;

– *системи стеження*, що здійснюють відпрацювання завдання регульованої величини в часі за законом, якій заздалегідь невідомий, наприклад, задається процесом руху іншого об'єкта. Прикладами систем стеження можуть бути система наведення артилерійської гармати на ціль, що рухається, система навігації радіоантени, що забезпечує зв'язок із космічним об'єктом, та багато інших;

– *системи програмного управління (керування)*, що здійснюють змінення регульованих величин у часі за законами, які заздалегідь запрограмовані (за визначеними програмами). До таких систем належать, зокрема, системи числового програмного управління металорізальними верстатами;

– *адаптивні системи*, що здійснюють оптимальне, за заданим показником якості, керування поточним станом об'єкта за змін умов його роботи. До класу адаптивних належать системи, що самоналаштовуються, самоорганізуються, самонавчаються.

На завершення розглянемо простіший приклад АЕМС у вигляді АЕП робочого органа деякої ТМ (або виробничого механізму), структурну схему якого подано на рисунку 1.2, де ДЕЕ – джерело електроенергії; КП – керувальний пристрій; П – електричний перетворювач; ЕД – електродвигун; ЕМП – електромеханічний перетворювач; ТР – тіло ротора двигуна; ПП – передавальний пристрій (механічний перетворювач); РО – робочий орган механізму; ДЕ – датчики електричних величин (напруги U , струму I та ін.); ДМ1 – датчики механічних координат руху ЕД (електромагнітного моменту M , швидкості обертання ω і кута повороту φ вала двигуна); ДМ2 – датчики механічних координат руху РО (моменту $M_{\text{мех}}$ або сили $F_{\text{мех}}$, кутової $\omega_{\text{мех}}$ або лінійної $V_{\text{мех}}$ швидкості обертання, кута повороту $\varphi_{\text{мех}}$ або лінійного переміщення $S_{\text{мех}}$).

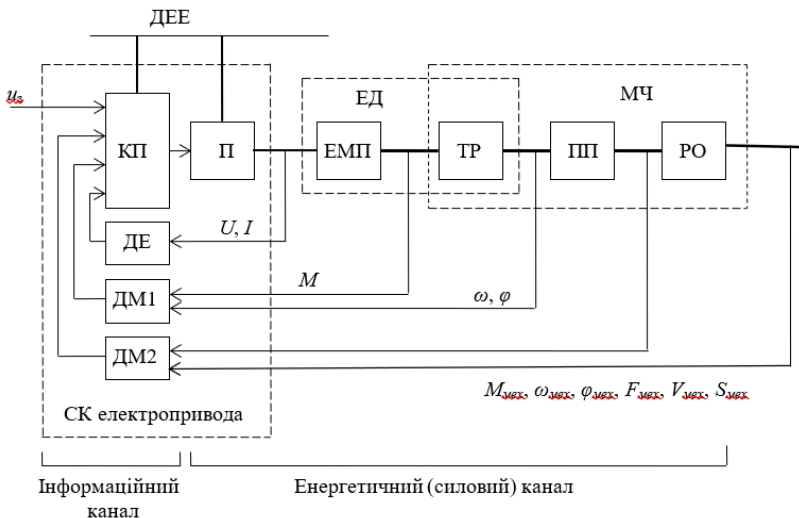


Рисунок 1.2 – Структурна схема автоматизованого електропривода

Передусім нагадаємо означення електропривода як ЕМС, що містить (рис. 1.2) енергетичний (силовий) канал перетворення і передавання енергії у вигляді послідовного ланцюга «електричний перетворювач – електродвигуновий пристрій – передавальний пристрій» та інформаційний канал, складовими якого є керувальний пристрій та інформаційно-вимірювальна підсистема електропривода. РО фізично належить технологічній машині (виробничому механізму), однак він є одночасно також частиною єдиної механічної системи «ротор двигуна – передавальний пристрій (механічний перетворювач) – РО і приєднана до нього маса матеріалу або виробу, що оброблюється».

Функція, що покладається на керувальний пристрій, полягає у відтворенні заданого закону змінення в часі керованих змінних стану (координат) електропривода або безпосередньо робочого органа технологічної машини (механізму). Задавальні (керувальні) діяння u_z керувальний пристрій електропривода отримує від спеціального задавального пристрою або СУ вищого рівня (СУ технологічної машини).

Головним енергоперетворювальним елементом електропривода є електричний двигун ЕД. Його основною задачею є перетворення електричної енергії в механічну, яка передається через передавальний пристрій ПП робочому органу РО технологічної машини. Для цього двигун повинен розвивати рушійний момент, якщо двигун обертального руху, або рушійну силу, якщо двигун поступального руху (лінійний двигун). У деяких випадках потік механічної енергії має зворотний напрямок, двигун здійснює перетворення механічної енергії, що надходить від РО, в електричну енергію. У цьому разі двигун розвиває гальмівний момент (або силу).

Передавальний пристрій ПП, який називають також механічним перетворювачем, використовують для змінення швидкості обертання вхідного вала РО або для зміни вигляду його руху (обертального в поступальний). Відзначимо, що двигун може бути з'єднаний з РО безпосередньо, без передавального пристрою. Іноді передавальний пристрій виконує функцію регулювання швидкості обертання двигуна. В такому разі він може являти собою керовану електромагнітну або гідравличну муфту, варіатор швидкості, коробку передач тощо.

Первинним джерелом ДЕЕ електричної енергії, яку споживають керувальний пристрій КП та електричний перетворювач П, зазвичай є електрична мережа змінного струму. Необхідність у перетворювачі може бути обумовлена необхідністю зміни роду струму (в електроприводі постійного струму), а в регульованому електроприводі (як постійного, так і змінного струму) – необхідністю змінення параметрів електроенергії (напруги, частоти) з метою регулювання координат стану електропривода. Як електричні перетворювачі використовують електромашинні та напівпровідникові (статичні) перетворювачі. Останні отримують все більшого поширення в зв'язку з розвитком сильнотрумової напівпровідникової електроніки.

Сигнал керування електричним перетворювачем П виробляється керувальним пристроєм КП шляхом оброблення за певним алгоритмом інформаційних сигналів, що надходять на його входи від задавального пристрою у складі ЕМСАК рухом робочого органа ТМ або з пульта оператора (сигнал u_3) та від датчиків ДЕ параметрів електричної енергії в електричній частині системи «перетворювач – двигун» та давачів ДМ1 параметрів механічної енергії, що виробляється (або споживається) двигуном, а можливо, й давачів ДМ2 параметрів

технологічного процесу. Сигналом u_3 задається закон змінення в часі основної регульованої координати, наприклад, швидкості обертання двигуна. Датчики електричних, механічних і технологічних параметрів надають керувальному пристрою інформацію не лише про поточне значення основної регульованої координати, а й про значення інших координат стану ЕМС, що також використовують в алгоритмі керування, який виконує КП.

Визначення ЕМСАК (рис. 1.2) як системи керування процесами руху робочого органу (робочих органів) ТМ з урахуванням функцій електропривода в її складі означає, що керувальний пристрій є частиною електропривода (у складі інформаційного каналу ЕП), тобто ЕП як підсистема ЕМСАК складається з двох функціонально пов'язаних частин: керувального та виконавчого пристроїв.

Електродвигун ЕД на рисунку 1.2 подано у вигляді механічно зв'язаних електромеханічного перетворювача ЕМП і тіла ротора ТР. Електромеханічний перетворювач являє собою електричну машину з невагомим ротором, яка відтворює процеси перетворення енергії в реальному двигуні. Тіло ротора ТР являє собою рухому масу, єдиним параметром якої є момент інерції (або маса) ротора реального двигуна. Завдяки такому поданню двигуна в енергетичному каналі ЕП чітко виділяються його електрична і механічна частини. Електричною частиною енергетичного каналу є система П – ЕМП «електричний перетворювач – електромеханічний перетворювач», а механічна частина являє собою систему зв'язаних мас тіла ротора ТР двигуна та передавального пристрою ПП. У сучасній теорії електропривода у склад механічної частини МЧ електропривода враховують також масу РО технологічної машини з приєднаної до нього масою матеріалу або виробу, що обробляється, хоча це суперечить класичному визначенню електропривода. Механічну

частину ЕП у такому розумінні правомірно вважати механічною частиною ЕМСАК. Єдиним параметром РО як елемента механічної частини є його момент інерції (маса), з урахуванням приєднаної до нього маси виробу, що переміщується цим робочим органом.

Інформаційний канал на рисунку 1.2 подано у повному складі у вигляді керувального пристрою КП електропривода, датчиків вимірюваних параметрів (координат) стану електропривода і РО технологічної машини та інформаційних зв'язків між елементами ЕМСАК.

Інформаційно пов'язані між собою керувальний пристрій КП, електричний перетворювач П, датчики ДЕ, ДМ1 і ДМ2 вимірюваних фізичних змінних об'єднані в єдиний технічний об'єкт, який у сучасній теорії електропривода носить назву «система керування електропривода». Система керування електропривода є структурно-функціональною частиною електропривода, що виконує функцію керування процесом обміну енергією між П і ЕМП, результатом якого є формування потрібного за технологією, заданого сигналом u_3 закону руху РО технологічної машини (виробничого механізму).

Порівняння структурних схем СУ (рис. 1.1) та АЕП (рис. 1.2) приводить до встановлення певних відповідностей, а саме: керувальним пристроєм ЕМСАК можна вважати КП електропривода, виконавчим органом – електричну частину П – ЕМП енергетичного каналу, а об'єктом керування є механічна частина електропривода, керованими параметрами якої є координати стану робочого органу ($M_{мех}$, $\omega_{мех}$, $\varphi_{мех}$, $F_{мех}$, $V_{мех}$, $S_{мех}$).

У літературних джерелах часто застосовується поняття «системи керування (автоматичного керування)» для систем вигляду (рис. 1.1) без задавального пристрою. Якщо погодитись із таким спрощеним поняттям системи

керування, можемо віднести АЕП (рис. 1.2) до цього класу систем, вважаючи підсистему П – ЕМП – виконавчим пристроєм, а МЧ – об’єктом керування.

Нарешті зауважимо, що поряд із назвою «електропривод» тому самому технічному об’єкту часто присвоюють назву «система електропривода». Це не викликає суперечності, оскільки цей об’єкт є системою.

Питання для самоперевірки

1. Які види технічних пристроїв становлять енергетичну основу технологічних об’єктів?

2. Назвіть вид (клас) технічних систем, які на цей час найбільш широко застосовують для виробництва електроенергії та її використання в технологічних об’єктах.

3. Дайте визначення технічного об’єкта «електромеханічний пристрій» за його функціональним призначенням.

4. Назвіть види електромеханічних пристроїв, найбільш поширених у технологічних і технічних об’єктах.

5. За якими ознаками технічний об’єкт може бути віднесений до класу «Електромеханічна система»?

6. Чи можна вважати електромеханічні пристрої «електрогенератор» і «електродвигун» такими, що також є електромеханічними системами? Якщо так, то наведіть обґрунтування.

7. В яких випадках електромеханічну систему можна вважати об’єктом класу «Електромеханічний пристрій»?

8. Під час виконання яких завдань діяльності (дослідження, проектування) електрична машина розглядається як електромеханічний пристрій?

9. Під час виконання яких завдань діяльності (дослідження, проектування) електрична машина розглядається як електромеханічна система?

10. Які технічні об'єкти є електромеханічними системами найближчого вищого рівня ієрархії щодо електрогенераторів у технологічних об'єктах із виробництва електроенергії?

11. Які технічні об'єкти є електромеханічними системами найближчого вищого рівня ієрархії щодо електродвигунів у промислових технологічних об'єктах?

12. Назвіть технічний об'єкт, який є електромеханічною системою найближчого вищого рівня ієрархії щодо енергоперетворювального агрегата в технологічних об'єктах із виробництва електроенергії.

13. Назвіть технічний об'єкт, який є електромеханічною системою найближчого вищого рівня ієрархії щодо електропривода технологічної машини в промислових технологічних об'єктах.

14. За яких умов ЕМС керування процесами руху робочих органів технологічних машин є системами автоматичного керування?

15. Наведіть визначення поняття «управління».

16. Наведіть визначення поняття «система управління».

17. Накресліть структурну схему системи управління, що відповідає визначенню останньої в теорії управління. Поясніть функціональне призначення її структурних блоків.

18. За яких умов система управління належить до класу систем автоматичного управління?

19. За яких умов система управління належать до класу автоматизованих систем управління (технологічними об'єктами, процесами)?

20. За яких умов технологічний об'єкт належить до класу автоматизованих?

21. Чи належить задавальний пристрій до елементного складу системи управління?

22. Які об'єкти (за функціональним призначенням) можуть виконувати функції задавального пристрою в системах управління?

23. Які функції покладаються на людину в автономних системах управління технічними і технологічними об'єктами?

24. Які структурні блоки системи управління пов'язані між собою інформаційними процесами?

25. Які структурні блоки системи управління можуть бути пов'язані між собою процесами передачі енергії?

26. Якими додатковими пристроями комплектуються системи управління для здійснення операцій, що не пов'язані безпосередньо з виконанням системою функцій управління об'єктом?

27. Назвіть види діянь, під впливом яких функціонує об'єкт управління (керування).

28. Який вид управління називається регулюванням?

29. Накресліть структурну схему одноконтурної САР вихідної координати об'єкта керування.

30. Які системи управління належать до категорій одновимірних та багатовимірних?

31. Сукупність яких елементів системи управління об'єктом (процесом) має умовну назву «система управління об'єкта»?

32. Назвіть основну функцію, яку виконує автоматична система стабілізації регульованої координати об'єкта управління. Наведіть приклади систем стабілізації.

33. Внаслідок якої властивості автоматична система стабілізації належить до категорії статичних систем?

34. Внаслідок якої властивості автоматична система стабілізації належить до категорії астатичних систем?

35. Назвіть основну функціональну характеристику САР як системи стеження. Наведіть приклади систем стеження.

36. Назвіть основну функціональну характеристику САУ як системи програмного управління. Наведіть приклади таких систем.

37. Які САУ належать до категорії адаптивних? Назвіть три види адаптивних систем.

38. Наведіть перелік структурних складових ЕМСАК процесами руху робочого органу технологічної машини.

39. Наведіть загальноприйняте (тобто класичне) визначення електричного привода.

40. Накресліть структурну схему автоматизованого електропривода. Виділіть у неї інформаційний та енергетичний (силовий) канали, електродвигун, механічну та електричну частини. Поясніть елементний склад механічної частини електропривода. Поясніть елементний склад системи керування електропривода. Поясніть елементний склад інформаційного каналу електропривода.

41. За яких умов електропривод є автоматизованою електромеханічною системою?

42. Які функції виконує керувальний пристрій в автоматизованому електроприводі? Які види інформації він споживає та вироблює?

43. Які функції в автоматизованому електроприводі зберігаються за людиною?

44. Який технічний пристрій у складі електропривода є перетворювачем виду енергії? Які технологічні функції він виконує? Які фізичні процеси відбуваються під час виконання цих функцій?

45. Які функції виконує передавальний пристрій у складі електропривода? Чи можливе виконання електропривода без нього?

46. Які функції виконує електричний перетворювач у складі системи електропривода? Чи можливе виконання електропривода без нього? Назвіть варіанти технічного виконання електричних перетворювачів.

47. Для чого потрібні датчики електричних, механічних і технологічних параметрів у складі електропривода?

48. Назвіть можливі джерела сигналу задання для керувального пристрою електропривода.

49. У чому полягає різниця понять «Електропривод робочого органа», «Електропривод виробничого механізму», «Електропривод технологічної машини», «Електропривод технологічного агрегата»?

50. Чому АЕМС класу «Автоматизований електропривод» являє собою САР? (Підставою відповіді є аналіз відповідності АЕМС усім характеристичним ознакам САР).

Тема 2. Розподіл функцій управління в технологічних системах

В автоматизованих ТМ до складу кожної ЕМСАК входять робочий орган технологічної машини (механізма) та його електропривід із власною системою управління електропривода, функціонально пов'язані технологічним процесом. Тому ЕМСАК, як підсистеми автоматизованих технологічних об'єктів, не можуть розглядатися відокремлено від технологічних процесів, для реалізації яких вони призначені. Цю обставину ілюструє узагальнена структурна схема автоматизованого технологічного комплексу, що подана на рисунку 2.1.

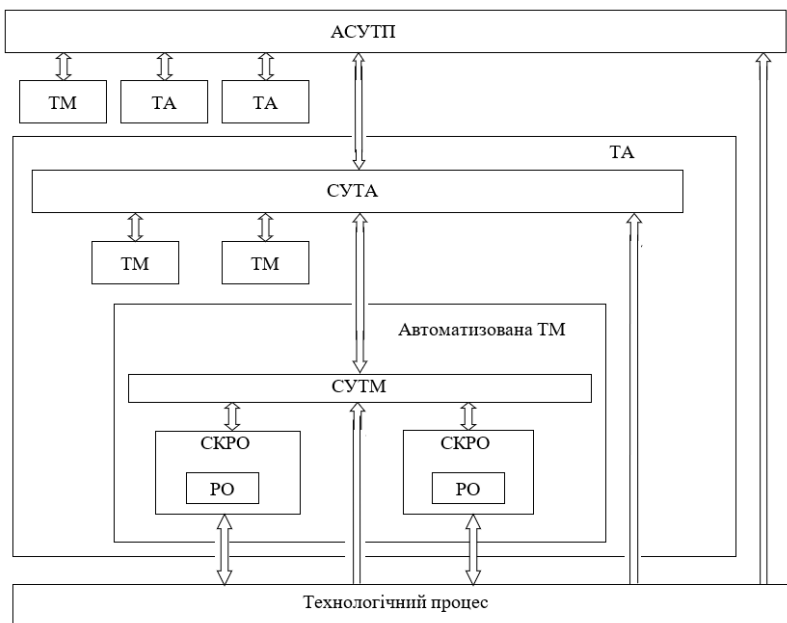


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованого технологічного комплексу

Автоматизований технологічний комплекс (АТК) із виробництва певного виду продукту (рис. 2.1) функціонує під управлінням АСУТП, яка виконує функції управління технологічними агрегатами й окремими технологічними машинами в складі цього комплексу, тобто здійснює функцію координаційного управління цими технологічними об'єктами. АСУТП здійснює формування команд (сигналів) управління згаданими ТА і ТМ шляхом виконання певних алгоритмів оброблення команд, що надходять від СУ виробництвом (вищої за ієрархією, на рисунку 2.1 не показана), інформації про поточні значення контрольованих параметрів технологічного процесу та про стан усіх підсистем технологічного комплексу. Звертаючись до означення системи управління, нескладно бачити такі аналогії: СУ виробництвом є аналогом задавального пристрою, АСУТП виконує функції керувального пристрою, сукупність ТА і ТМ технологічного комплексу є аналогом виконавчого пристрою, а об'єктом управління є технологічний процес виробництва продукту певного виду. Зазначені чотири структурні складові прямого тракту управління та інформаційно-вимірвальна підсистема з функціональними зв'язками між ними створюють СУ технологічним процесом, який здійснюється цим АТК.

Автоматизований ТА (рис. 2.1) містить власну систему управління – систему управління технологічного агрегата (СУТА), яка виконує функцію координаційного управління технологічними машинами у складі цього ТА. Формування команд (сигналів) управління технологічними машинами здійснюється шляхом виконання певних алгоритмів оброблення команд, що надходять від АСУТП, інформації про поточні значення контрольованих параметрів технологічного процесу та інформації про

поточний стан усіх підсистем ТА. Отже, щодо СУТА, як аналога керувального пристрою з інформаційно-вимірювальною підсистемою в узагальненій структурі СУ (рис. 1.1, тема 1), АСУТП виконує функції задавального пристрою для кожної з СУ технологічних агрегатів і відокремлених ТМ, підпорядкованих до АСУТП безпосередньо. Аналогом виконавчого пристрою є сукупність ТМ і механізмів, які створюють цей ТА, а об'єктом управління є технологічний процес, що здійснюється саме цим ТА (частина технологічного процесу, що виконується всім технологічним комплексом). Зазначені чотири складові з функціональними зв'язками між ними створюють систему управління технологічним процесом, який здійснюється цим ТА.

Автоматизована ТМ містить кілька РО (можливо, єдиний) і власну систему управління – систему управління технологічної машини (СУТМ), що виконує функції управління механічними процесами (оброблення, переміщення) шляхом координаційного управління приводами робочих органів з метою взаємного погодження часових, швидкісних, силових, траєкторних та інших параметрів руху РО щодо технологічного регламенту. Формування команд (сигналів) координаційного управління здійснюється шляхом виконання певних алгоритмів оброблення команд, що надходять від СУТА, інформації про поточні значення контрольованих параметрів технологічного процесу та інформації про поточний стан усіх підсистем ТМ. Безпосереднє керування процесами виконання робочими органами корисної роботи здійснюють системи керування процесами руху робочих органів (СКРО). Результатом функціонування СУТМ є сигнали командного рівня, якими задаються цільові установки керування рухом робочих органів (величини переміщень, швидкості руху, обмеження силових

параметрів та ін.), які передаються на входи СКРО. Отже, для СУТМ як аналога управляючого пристрою з інформаційно-вимірювальною підсистемою об'єктом управління є сукупність механічних процесів, які має виконувати ця ТМ (частина технологічного процесу, що виконується всім ТА), виконавчим пристроєм є комплекс СК процесами руху робочих органів, а СУТА виконує функції задавального пристрою.

Розглянута функціональна структура автоматизованого технологічного комплексу (рис. 2.1) є узагальненою. В часткових випадках ТК подається єдиним ТА, а ТА являє собою єдину ТМ. Технологічна машина може являти собою єдиний виробничий механізм із приводом його робочого органу (можливо, кількох РО з груповим приводом). У такому разі правомірно називати ТМ агрегатом, а виробничий механізм – машиною.

У промислових виробничих системах трапляються автономні ТА і ТМ, не підпорядковані АСУТП, а також ТМ, які не входять до складу ТА. В таких часткових випадках СУ технологічного об'єкта (агрегата, машини, виробничого механізму) є людино-машиною, функції управління командного рівня виконує оператор за допомогою пульта управління. Пульт управління являє собою ЕМС у вигляді комплексу комутаційних пристроїв, засобів контролю і сигналізації.

Залежно від виду застосованого привода, СКРО можуть бути електро-, гідро-, або пневмомеханічними. Здебільшого у практичних реалізаціях приводи робочих органів технологічних машин, як згадувалось вище, виконуються електричними. Відповідно і СКРО типу ЕМСАК належать до найбільш поширених. Функціональну структуру ЕМСАК процесами руху робочого органу технологічної машини пояснює рисунок 2.2.

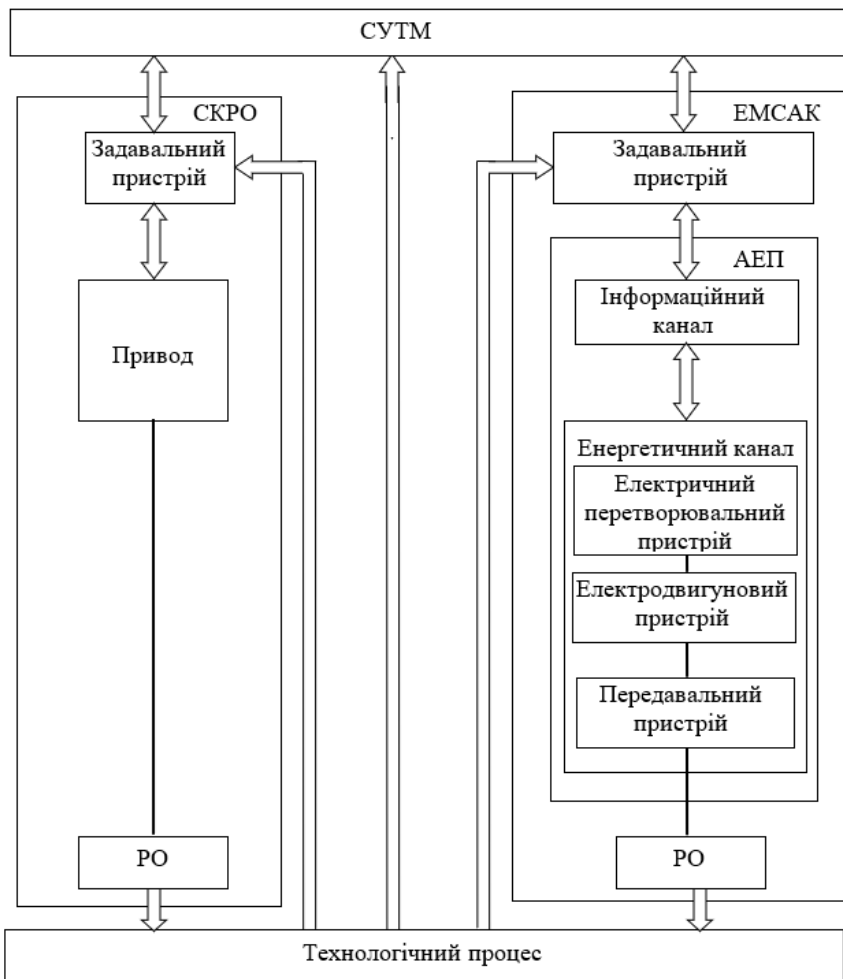


Рисунок 2.2 – Структурна схема автоматизованої технологічної машини

Найбільш складною за структурно-функціональною організацією, підсистемою ЕМСАК є електропривод

робочого органу технологічної машини (можливо, кількох РО за групового привода). Електропривод РО технологічної машини містить (рис. 2.2) енергетичний (силовий) канал перетворення і передачі енергії у вигляді послідовного ланцюга «перетворювальний пристрій – електродвигуновий пристрій – передавальний пристрій», та інформаційний канал, складовими якого є керувальний пристрій та інформаційно-вимірювальна підсистема електропривода.

Задавальний пристрій у складі ЕМСАК здійснює формування сигналів керування електроприводом шляхом виконання певних алгоритмів оброблення команд, що надходять від СУТМ, інформації про поточні значення контрольованих параметрів технологічного процесу та про поточний стан підсистем ЕМСАК. Результатом функціонування задавального пристрою є сигнали, якими задаються потрібні за умов технології поточні значення механічних змінних стану електропривода, а можливо, і робочого органу (положення, швидкості руху, моменту, сили). Вихідні сигнали задавального пристрою є вхідними (задавальними) для електропривода. Електропривод здійснює безпосереднє керування процесами руху РО (одного РО за індивідуального, або кількох – за групового привода). ЕП є автоматизованим, тобто таким, що оснащений САР змінних (координат) стану, тому він являє собою автоматизовану ЕМС, що належить до категорії ЕМСАК. Отже, в ЕМСАК (у загальному випадку – в СКРО) функції керувального і виконавчого пристроїв виконує електропривід, а об'єктом керування є процес руху (поточний стан) РО технологічної машини (виробничого механізму).

Потрібно мати на увазі, що керувальний пристрій електропривода містить не лише елементи, в яких здійснюються інформаційні процеси, а й електромеханічні пристрої для виконання дискретних у часі операцій

вмикання/вимикання, захисту та ін. Якщо ЕП не є автоматизованим, тобто керувальний пристрій електропривода не містить регуляторів координат (змінних стану) енергетичного каналу, а електродвигуновий пристрій (електродвигун) того самого роду струму, як і джерело живлення (живильна мережа), то електричний перетворювальний пристрій може бути відсутнім. Такий випадок має місце, наприклад, коли автономна ТМ являє собою єдиний механізм з електричним приводом РО, задавальним пристроєм є пульт управління, а керувальний пристрій електропривода виконаний у вигляді релейно-контактної схеми управління двигуном.

У літературних джерелах часто використовують термін «СК електроприводом». Зіставлення цього терміна з визначеннями об'єктів класів «Система управління (керування)», «ЕМСК» і «Електропривід» не дає підстав вважати ЕМСАК (рис. 2.2) системою керування електроприводом, тому що в прямому значенні ЕМСАК між задавальним пристроєм і електроприводом відсутній керувальний пристрій, а функцію керування електроприводом виконує, по суті, задавальний пристрій. Проте, оскільки ЕМСАК здійснює керування процесом руху РО шляхом формування певного закону руху електропривода, то її можна вважати системою, яка виконує функції керування електроприводом.

Подання СУТМ як системи, що виконує лише функції координаційного управління робочими органами ТМ, є певною мірою умовним. До функцій СУТМ можна віднести також формування заданих законів руху приводів РО, що здійснюється відповідними підсистемами СУТМ (у вигляді підпрограм роботи промислового контролера, на базі якого виконана СУТМ). Виділення підсистем формування заданих законів руху приводів як окремих структурно-функціональних блоків (задавальних пристроїв) дає

можливість, по-перше, подати структурну схему автоматизованої ТМ із чітким розподілом функцій, що виконуються її структурними елементами, а по-друге, врахувати сучасну тенденцію модульної побудови мікропроцесорних контролерів у складі комплектних електроприводів, яка дозволяє комплектування контролера спеціальним модулем – так званою «технологічною платою». Така «технологічна плата» як раз і виконує функцію формування заданого закону руху РО, а виходить, і електропривода, тобто вона є технічним і програмним засобом реалізації задавального пристрою в ЕМСАК.

Щодо використання термінів «управління» та «керування» потрібно зауважити, що підставою для присвоєння системам АСУТП, СУТА, СУТМ (рис. 2.1) саме таких назв (система управління) є виконання функцій організаційних систем (координації роботи підпорядкованих об'єктів), а назву «система керування» ми використовуємо для систем ЕМСК, ЕМСАК, СКРО, що здійснюють функції управління локальними об'єктами.

Питання для самоперевірки

1. Накресліть на рисунку узагальнену структурну схему автоматизованого технологічного комплексу. Розшифруйте абrevіатурні позначення структурних блоків.
2. Назвіть у порядку ієрархічної підпорядкованості структурні елементи автоматизованого технологічного комплексу: СУТА, СКРО, АСУТП, СУТМ.
3. Накресліть на рисунку узагальнену структурну схему автоматизованого технологічного агрегата. Розшифруйте абrevіатурні позначення структурних блоків.
4. Накресліть на рисунку узагальнену структурну схему автоматизованої технологічної машини. Розшифруйте абrevіатурні позначення структурних блоків.

5. Які функції управління виконує АСУТП?
6. Які функції управління виконує СУТА?
7. Які функції управління виконує СУТМ?
8. Які функції управління виконує СКРО?
9. Які технологічні об'єкти може містити технологічний агрегат?
10. Які технологічні об'єкти може містити технологічна машина?
11. Поясніть функції, що виконує АСУТП. Яким чином вони виконуються?
12. Назвіть функції, що виконує СУТА. Яким чином вони виконуються?
13. Поясніть функції, що виконує СУТМ. Яким чином вони виконуються?
14. Назвіть функції, що виконує СКРО. Яким чином вони виконуються?
15. Управління якими підсистемами, об'єктами або процесами здійснює АСУТП?
16. Управління якими підсистемами, об'єктами або процесами здійснює СУТА?
17. Управління якими підсистемами, об'єктами або процесами здійснює СУТМ?
18. Керування якими підсистемами, об'єктами або процесами здійснює СКРО?
19. Назвіть типи СКРО залежно від виду застосованого привода.
20. Чому СКРО типу ЕМСАК відносять до найбільш поширених?
21. Накресліть на рисунку структурну схему ЕМСАК процесами руху робочого органу технологічної машини. Розшифруйте абrevіатурні позначення структурних блоків.
22. Яка підсистема ЕМСК здійснює перетворення електричної енергії в механічну?

23. Накресліть на рисунку структурну схему енергетичного каналу ЕМСК процесами руху робочого органу технологічної машини. Розшифруйте абrevіатурні позначення структурних блоків.

24. За яких умов об'єкт класу «Електропривід» являє собою автоматизовану ЕМС типу «Автоматизований електропривід»?

25. Чи можна вважати СУТМ задавальним пристроєм ЕМСАК?

26. Яку функцію виконує електропривод у складі ЕМСАК?

27. Яка структурна складова ЕМСАК є об'єктом керування?

28. Яка структурна складова ЕМСАК є виконавчим органом?

29. Поясніть структурний склад об'єкта «Інформаційний канал» у складі електропривода.

30. Чому ЕМСАК формально не відповідає визначенню об'єкта «Система управління електроприводом»?

31. Який об'єкт у структурній схемі ЕМСАК можна вважати таким, що виконує функції керування електроприводом?

32. Чи можлива реалізація задавального пристрою електропривода у вигляді функціональної складової СУТМ? Якщо так, то яким чином?

Тема 3. Багаторівневі електромеханічні системи

Розглянемо подану на рисунку 3.1 структурну схему автономного (не підпорядкованого до АСУТП) роботизованого технологічного агрегата (наприклад, металорізального верстата з обслуговувальним промисловим роботом, прилеглими транспортними та накопичувальними пристроями).

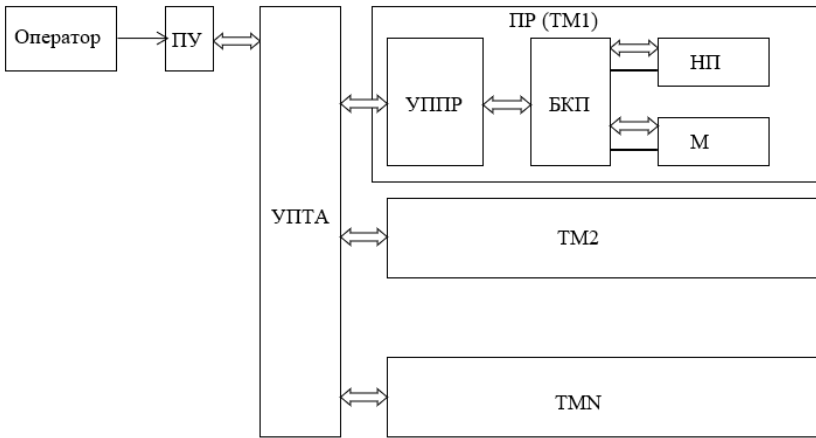


Рисунок 3.1 – Структурна схема роботизованого технологічного агрегата

Технологічний агрегат (рис. 3.1) можна вважати таким, що складається з двох функціональних частин: виконавчої та керувальної. Виконавча частина – це сукупність всіх технологічних машин у кількості N (верстат, промисловий робот, суміжні технологічні машини), що входять до складу цього ТА. Промисловий робот (ПР) позначений на рисунку 3.1 як ТМ1 (перша ТМ за їх умовною нумерацією). Керувальна частина ТА

територіально відокремлена від технологічного обладнання, за винятком датчиків параметрів технологічного процесу та змінних стану приводних пристроїв робочих органів (датчики є елементами інформаційно-вимірювальної підсистеми керувальної частини, однак розміщені в середовищі технологічного обладнання та приводних пристроїв). Крім інформаційно-вимірювальної підсистеми (сукупності датчиків контрольованих і регульованих змінних з каналами передачі інформації), керувальна частина ТА містить: пульт управління (ПУ), з якого оператор здійснює виконання технологічного завдання; керувальний пристрій технологічного агрегата (УПТА), що координує роботу технологічних машин (функції СУТА в структурній схемі рис. 2.1, тема 2); керувальні пристрої промислового робота (УППР) та інших ТМ. У відносно простих ТА керувальні пристрої (системи управління) технологічних машин і механізмів можуть бути реалізовані програмно в УПТА, що виконується на базі достатньо потужного промислового контролера. В складних ТА керувальні пристрої технологічних машин і механізмів виконують на базі окремих (локальних) контролерів. Керувальні пристрої технологічних машин, що виконують алгоритми координаційного управління робочими органами (функції СУТМ у структурній схемі рис. 2.2, тема 2), одночасно можуть виконувати функції формування законів руху приводів РО (функції задавальних пристроїв у схемі рис. 2.2, тема 2).

Прикладом автоматизованої ТМ є промисловий робот. Промисловий робот (ПР, рис. 3.1) також конструктивно складається з двох частин: виконавчої та керувальної. Виконавчу частину ПР складають маніпуляційна система (М) і несуча платформа (НП), на якій розміщена маніпуляційна система. Ланки маніпуляційної системи та

несуча платформа мобільного робота є його робочими органами. Вони оснащені приводними пристроями переміщення у вигляді двигунів (електричних, гідравлічних, пневматичних) і передавальних пристроїв (у загальному випадку, а частіше без них).

Керувальна частина ПР містить керувальний пристрій робота (УППР), який виконує функції системи управління технологічної машини і задавальних пристроїв для приводів робочих органів робота, та блок БКП керування приводними пристроями робочих органів робота, який містить керувальні пристрої інформаційних каналів і перетворювальні пристрої енергетичних каналів приводів. Керувальні пристрої можуть бути програмно інтегровані в алгоритм роботи УППР. Структурні блоки УППР та БКП мають інформаційні зв'язки з УПТА і датчиками траєкторних, швидкісних, енергетичних і механічних змінних стану приводів і робочих органів ПР.

Аналогічно ПР структури інших ТМ і механізмів технологічного агрегата поділяються на виконавчі та керувальні частини, останні мають інформаційні зв'язки з УПТА і датчиками технологічних параметрів і змінних стану приводів робочих органів, а двигунові пристрої приводів отримують енергію (електричну, стиснутого газу або рідини) від перетворювальних пристроїв у складі відповідних блоків керування приводними пристроями.

Зазначимо, що системи управління технологічних машин і агрегатів широкого застосування в сучасних умовах можуть оснащуватися специфікованими керувальними пристроями на базі промислових контролерів, які носять назву систем числового програмного управління (ЧПУ).

Розглянемо приклад структурно-функціональної побудови ЕМСАК процесами руху робочих органів технологічної машини. Предметом розгляду виберемо ПР

(рис.3.1, 3.2), як представника технологічних машин, що ставлять до приводів РО найбільш високі вимоги. До основних технічних характеристик ПР належать мобільність (за наявності механізму переміщення НП), кількість маніпуляторів на НП, кількість координат руху (в іншій термінології – рухомих елементів, ступеней рухомості, ступеней свободи) маніпулятора, види приводів робочих органів (які в робототехніці називають координатними приводами). На рисунку 3.2 схематично показаний ПР, який має 6 ступеней рухомості.

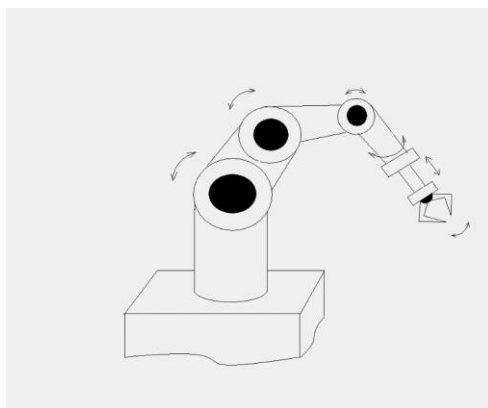


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд промислового робота

Найбільше поширення мають ПР з електричними приводами елементів маніпуляційної системи (електромеханічні ПР), завдяки їх перевагам порівняно з гідро- і пневмоприводами, до яких належить менша складність монтажу двигуна у вузлах маніпуляційної системи, відсутність трубопроводів, низький рівень шуму під час роботи, вища точність відтворення заданих рухів. Гідроприводи застосовують у роботах великої

вантажопідйомності (більше ніж 100 кг). Пневмоприводи застосовують переважно в механізмах захоплювальних пристроїв. Зрозуміло, що електроприводи не можна застосовувати в роботах, що працюють у вибухо- та пожежонебезпечних середовищах.

Переваги електромеханічних систем привода роботів (і багатьох інших ТМ) зростають завдяки створенню високоякісних комплектних електроприводів на базі електромеханічних модулів (виконавчий двигун – механічний перетворювач – датчики швидкості та положення). Водночас основну роль відводить виконавчому двигуну, так як електроприводи на базі двигунів загальнопромислового виконання мають низьку швидкість та великі габарити, невисоку потужність на одиницю ваги. Для роботів застосовують спеціальні малоінерційні та високомоментні двигуни постійного та змінного струму.

Електропривод промислового робота – це комплекс координатних електроприводів, кожний з яких керує певним ступенем рухомості (координатою) робота. На прикладі робота, зображеного на рисунку 3.2, розглянемо структурну схему його електропривода (рис. 3.3) в припущенні, що всі рухомі ланки, крім схоплювача, оснащені електричними приводами, а схоплювач – пневмоприводом.

Керувальний пристрій промислового робота (УППР) вирішує траєкторні завдання руху ланок маніпуляційної системи робота і видає на входи керувальних пристроїв приводів сигнали $\theta_{1зад}$, ..., $\theta_{6зад}$ завдання положень відповідних ланок, а приводи ланок (координатні приводи) відпрацьовують ці завдання. Кожен з координатних електроприводів (ЕП1, ..., ЕП5) являє собою систему спостереження, зовнішній контур якої містить цифровий регулятор положення (ЦРП), датчик вимірюваної координати положення (ДП) відповідної ланки робота та

сервопривод (СП). Останній відпрацьовує завдання швидкості руху ланки, що видає регулятор положення. Функціональні структури СП і координатного ЕП відповідають структурі об'єкта «Електропривод» згідно рисунка 1.3. Інформаційний канал сервопривода з додаванням ЦРП, ДП та їх інформаційних зв'язків створює інформаційний канал координатного ЕП. Енергетичний канал сервопривода є одночасно енергетичним каналом координатного ЕП.

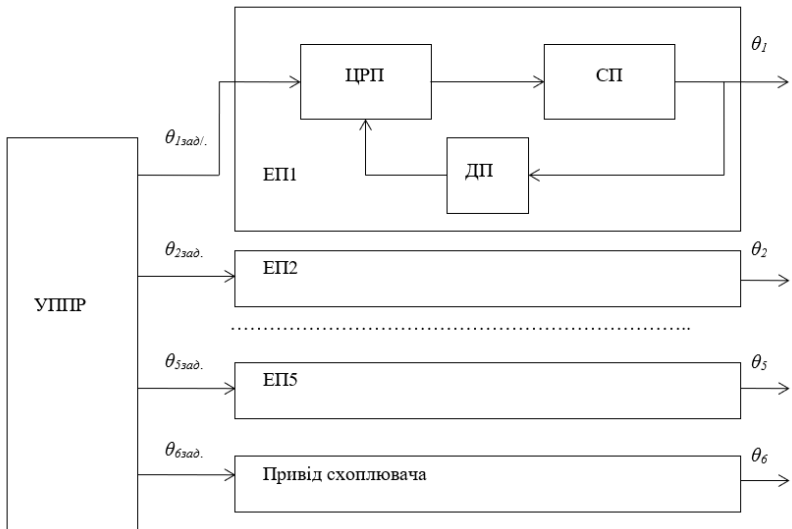


Рисунок 3.3 – Структурна схема системи приводів промислового робота

Система управління роботом є багаторівневою. Її нижньому рівню у вигляді координатних приводів відводиться особлива роль, оскільки саме на цьому рівні вирішуються завдання забезпечення потрібної якості відпрацювання рухів, що задаються. Ці завдання

ускладнюються тим, що процеси функціонування приводів у маніпуляційних роботах мають специфічні особливості. По-перше, статична і динамічна складові навантаження двигуна можуть сильно змінюватись у зв'язку зі зміною конфігурації маніпуляційної системи робота. По-друге, можливі режими роботи двигуна в загальмованому стані («на упор»), що приводить до погіршення умов його охолодження. По-третє, як згадувалося вище, до приводів роботів ставлять зазвичай найбільш високі вимоги порівняно з приводами РО інших технологічних машин. До вимог відносять такі:

- необхідність забезпечення аперіодичного, без перерегулювання, відпрацювання заданих переміщень схоплення для виключення ударів по обладнанню, що обслуговується;

- забезпечення широкого діапазону регулювання по швидкості та позиціонуванню;

- забезпечення високої точності слідкування.

За результатами обговорення структурної побудови автоматизованої технологічної машини – промислового робота та ієрархічного розподілу функцій управління в складних технологічних системах (за темою 2) можемо дійти висновку, що структурну схему системи управління будь-якого технологічного об'єкта (комплекса, агрегата, машини, механізма) можна подати у вигляді трирівневої ієрархічної системи, що наведена на рисунку 3.4.

Нижній рівень (Рівень 1) являє собою взаємозв'язану електромагнітну підсистему ВЕП, вхідними змінними є сигнали u управління електричними (напівпровідниковими) перетворювачами, а вихідними змінними є електромагнітні моменти N електродвигунів.

Другий рівень (Рівень 2) містить взаємозв'язану механічну підсистему (ВМП), що має зворотні зв'язки з ВЕП за ланцюгами електромагнітної індукції. Вихідними

змінними ВМП є змінні q , що характеризують рухи механізмів (переміщення, швидкості, сили і моменти). Підсистеми ВМП і ВЕП створюють взаємозв'язану електромеханічну систему (ВЕМС).

Третій рівень (Рівень 3) містить функціональну підсистему (ФП), що забезпечує формування показників ε технологічного процесу. Ці показники є вихідними змінними технологічного об'єкта (ТО).

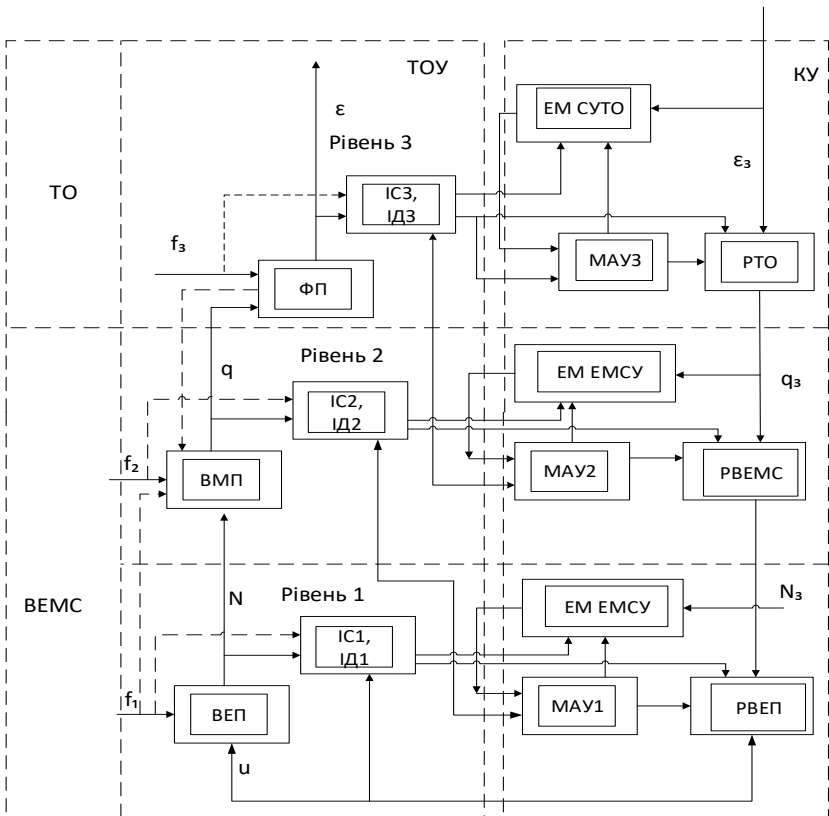


Рисунок 3.4 – Структурна схема тривірневої системи управління технологічним об'єктом

У кожній із підсистем є регулятори РВЕП, РВЕС, РТО, що перебувають у міжрівневій підпорядкованості в комплексі управління (КУ) взаємозв'язаної системи аналогічно тому, як це відбувається в технологічному об'єкті управління (ТОУ). В регулятори надходять сигнали задання змінних N_3 , q_3 , ε_3 та виміряні або обчислені значення цих змінних. На кожну з підсистем діють збурення f_1 , f_2 , f_3 . Підсистеми кожного рівня містять інформаційні засоби (ІЗ) та ідентифікатори (ІД), що видають інформацію для здійснення процесу управління на кожному рівні та в системі управління в цілому.

У загальному випадку системи управління кожного рівня являють собою адаптивні системи, що здійснюють адаптацію через модулі адаптивного управління (МАУ) відповідно з еталонними моделями процесів управління в електромагнітній (ЕМ ЕМСУ), електромеханічній (ЕМ ЕМСУ) і в системі управління технологічним об'єктом (ЕМ СУТО).

Функції адаптації використовують у режимах налагодження кожної з підсистем та їх робочого функціонування як реакція на зміни параметрів і впливів. Еталонні моделі можуть містити математичні описи об'єкта або системи та узагальнені показники нормованих динамічних характеристик, відповідно з якими виконується автоматичне настроювання підсистем і системи управління в цілому на оптимальні режими.

Взаємозв'язані електромагнітні підсистеми. У тому разі, коли багато електродвигунів та електричних перетворювачів створюють єдину складну систему електропривода технологічного комплексу, можливі різні варіанти взаємозв'язків між сепаратними (локальними) електроприводами (ЕП) окремих механізмів.

Взаємозв'язок електромагнітних процесів у сепаратних ЕП через спільну мережу живлення в промислових системах слабкий (велика потужність мережі), але він може бути істотним під час живлення від автономних джерел енергії.

Взаємозв'язані механічні підсистеми. Агрегати і комплекси, призначені для оброблення та переміщення стрічкових матеріалів, роботи, маніпулятори, металообробні верстати, преси та інші об'єкти мають взаємозв'язані багатомасові механічні підсистеми, управління якими здійснюється багатодвиговими ЕП. Якщо виходити з припущення, що взаємозв'язок механічної та електромагнітної підсистем слабкий (за оцінкою впливу зворотних зв'язків за е. р. с. двигунів на динаміку сепаратних систем управління), то механічну підсистему можна розглядати незалежно від електромагнітної.

Механічну підсистему можна подати у вигляді багатьох інерційних мас, з'єднаних безмасовими пружними механічними зв'язками. Під впливом вхідних змінних ВМП здійснює основний рух і коливальні рухи відносно основного. Коливання завжди є загасаючими через демпфувальний вплив внутрішнього в'язкого тертя в механічних зв'язках. Урахування дисипативних властивостей ВМП можливе лише після спрощення її вихідної моделі, оскільки повна модель ВМП може бути за складністю такою, що поводження з нею в завданнях аналізу взаємозв'язаних систем управління стає неможливим. Тому доцільно спочатку скласти математичний опис ВМП без урахування дисипації енергії в механічних зв'язках, а потім у спрощеній моделі врахувати вплив сил демпфування.

Функціональні підсистеми. Математичний опис функціональної підсистеми містить описи фізичних

процесів, що відбуваються в конкретній технології. Вони часто містять імперичні формули з коефіцієнтами, значення яких залежать від багатьох чинників технологічного процесу. Управління технологічними змінними викликає необхідність управління механічними змінними і через них – електромагнітними змінними.

У загальному вигляді математичний опис кожної з підсистем може бути виконаним у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь вигляду

$$\dot{x} = F(x, u, f, t),$$

де x, u, f – вектори змінних стану, управління, збурень

або в матричній формі:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A(x, t)x + B(x, t)u + D(x, t)f, \\ y &= Cx,\end{aligned}$$

де $A(x, t), B(x, t), D(x, t)$ – відповідно матриці стану, управління, збурення;

C – масштабна матриця;

y – вектор змінних виходу (вимірюваних змінних).

Питання для самоперевірки

1. Накресліть структурну схему роботизованого ТА. Розшифруйте аббревіатурні позначення структурних блоків.

2. Які конструктивні складові створюють виконавчу частину промислового робота (будь-якої ТМ)? Поясніть їх функціональне призначення.

3. Які структурні складові створюють керувальну частину промислового робота (будь-якої ТМ)? Поясніть їх функціональне призначення.

4. Якими причинами обумовлено переважну поширеність в робототехніці електричних приводів порівняно з приводами інших видів?

5. В якому разі неприпустиме застосування електродвигунів у системах привода технологічних машин?

6. Що являє собою електромеханічний модуль?

7. Чому в електроприводах роботів застосовують переважно малоінерційні та високомоментні електродвигуни?

8. Поясніть сенс поняття «електропривід робота».

9. Поясніть сенс поняття «електропривід технологічної машини».

10. Накресліть структурну схему електропривода технологічної машини (на прикладі промислового робота). Розшифруйте абrevіатурні позначення структурних блоків.

11. Які функції виконує керувальний пристрій промислового робота (будь-якої ТМ)?

12. Які функції виконує координатний привід промислового робота?

13. Поясніть структуру інформаційного каналу координатного електропривода промислового робота.

14. Поясніть структуру енергетичного каналу координатного електропривода промислового робота.

15. Поясніть специфічні особливості функціонування приводів промислових роботів. Чи стосуються вони інших ТМ?

16. Назвіть три рівні управління технологічними об'єктами та відповідні підсистеми в порядку ієрархії. Які завдання вирішуються в цих підсистемах? Які підсистеми створюють у сукупності взаємозв'язану електромеханічну систему?

17. Накресліть структурну схему системи управління електромагнітної підсистеми в трирівневій структурі системи управління технологічного об'єкта. Поясніть функціональне призначення структурних блоків цієї підсистеми.

18. Накресліть структурну схему дворівневої системи управління електромеханічної підсистеми в структурі системи управління технологічного об'єкта. Поясніть функціональне призначення структурних блоків цієї підсистеми.

19. Накресліть структурну схему трирівневої системи управління технологічного об'єкта. Поясніть функціональне призначення структурних блоків цієї системи. Які структурні блоки належать: технологічному об'єкту; комплексу управління?

Тема 4. Функціональна структура комп'ютеризованого технологічного комплексу

Будь-який сучасний технологічний об'єкт (комплекс, агрегат, машину, виробничий механізм) потрібно розглядати як автоматизований. У ході виконання заданої програми роботи технологічного об'єкта (ТО) здійснюється регулювання електромагнітних, механічних і технологічних змінних, контроль стану електротехнічного, механічного і технологічного обладнання та показників якості готової продукції.

Автоматизація технологічних об'єктів здійснюється з використанням великої кількості електромеханічних систем, за допомогою яких вирішуються завдання підвищення ефективності технологічних процесів. У багатьох випадках комплекс електроприводів технологічного об'єкта являє собою взаємозв'язану ЕМС, що містить кілька (можливо десятки) електроприводів, об'єднаних по колах живлення, навантаження і керування.

Оснащення одного виробничого механізму або технологічної машини сучасним комп'ютеризованим ЕП не дає помітного ефекту в технологічному процесі. Ефективним заходом є комплексна автоматизація ТО, що об'єднує в технологічному процесі багато машин і механізмів. Це враховується провідними електротехнічними корпораціями світу, які випускають комп'ютеризовані комплектні ЕП з розвинутими мережевими та іншими засобами, що перетворюють ЕП в ефективний інструмент автоматизації технологічних процесів. До складу комп'ютерно-інтегрованих систем електропривода технологічних об'єктів входять засоби середнього (технологічного) рівня автоматизації, які раніше відносилися до АСУТП (верхнього рівня автоматизації).

Аналіз світового досвіду створення та модернізації діючих технологічних систем (комплексів, машин, механізмів) показує високу динаміку розвитку систем електропривода, засобів контролю і вимірювання електромагнітних, механічних і технологічних змінних, комп'ютерних засобів автоматизації. Це обумовлено прагненням до підвищення продуктивності та якості продукції, що виробляється. Електротехнічні корпорації випускають регульовані електроприводи комплектно з комп'ютерними засобами автоматизації у вигляді програмованих систем широкого застосування. Регульовані ЕП спільно з робочими органами машин і механізмів використовують як засоби регулювання технологічних змінних – рівня, тиску, вологості, температури та ін.

Беручи до уваги, що основними засобами управління в регульованих ЕП є програмовані контролери (можливо й промислові комп'ютери), можна вважати сучасні ЕП комп'ютеризованими. Таке означення підходить до комп'ютерно-інтегрованих систем багатодвигунових ЕП, об'єднаних інформаційними мережами у складі багатомашинних технологічних комплексів або технологічних машин із кількома локальними ЕМСАК. Сучасні комп'ютеризовані ЕП оснащуються великою бібліотекою програмних засобів, за допомогою яких можна вирішувати функціональні завдання управління технологічним обладнанням на нижньому (управління виробничим механізмом) і середньому (координоване управління обладнанням) рівнях управління та здійснювати зв'язок із верхнім (адміністративним) рівнем.

Відзначені тут характерні риси автоматизованих технологічних систем відображені в функціональній схемі комп'ютеризованого технологічного комплексу, що наведена на рисунку 4.1. Механізми (виконавчі органи технологічних машин у складі технологічних агрегатів)

оснащують індивідуальними ЕП з електродвигунами М, керованими перетворювачами П, програмованими контролерами приводів КП. Спільну роботу механізмів та їхніх приводів координує технологічний контролер КТ. Координацію спільної роботи агрегатів здійснює один із контролерів КТ або спеціалізований персональний комп'ютер ПК у складі станції оператора СО. Через магістральний перетворювач МП здійснюється зв'язок із системою управління технологічним процесом (на рис. 4.1 не показана). Управління агрегатами може здійснюватися з периферійних пультів операторів ПО.

Контролер привода КП виконує такі основні функції:

- управління силовою частиною (енергетичним каналом) електропривода;
- регулювання координат стану ЕМС (електромагнітного моменту двигуна, швидкості й положення робочого органа механізму та ін.);
- управління режимами роботи привода (пуск, гальмування, реверс та ін.);
- контроль стану компонентів ЕП і діагностування несправностей;
- захист компонентів привода від перевантажень;
- сигналізацію.

Технологічний контролер КТ вироблює та передає контролерам приводів КП команди, відповідні алгоритму координованої роботи приводів агрегата, задання значень регульованих координат приводів, контроль стану й діагностування несправностей в компонентах агрегата.

Можна відзначити тенденції розвитку технологічних систем, що мають сталий характер:

- розширення сфери застосування регульованих електроприводів у промисловості, на транспорті, в медицині, побутовій техніці, житлово-комунальному господарстві для досягнення нових якісних результатів;

- заміна нерегульованих ЕП регульованими в енергоємному обладнанні (насоси, вентилятори, димососи, компресори тощо) з метою енергозбереження;
- розвиток блоково-модульних принципів побудови електроприводів і систем управління;
- комп'ютеризація електроприводів, технологічних комплексів, агрегатів і машин;
- розвиток методів каскадного (підпорядкованого) керування, які широко застосовують у системах автоматичного регулювання координат стану електроприводів і параметрів технологічних процесів;
- розвиток та активне втілення систем автоматичного діагностування, обслуговування та візуалізації технологічних процесів і процесів управління.

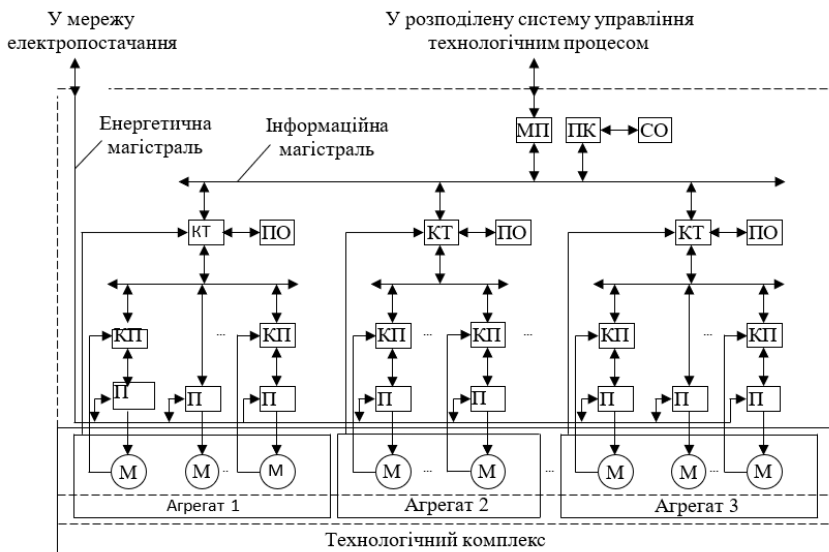


Рисунок 4.1 – Функціональна схема комп'ютеризованого технологічного комплексу

Питання для самоперевірки

1. Назвіть захід/заходи, метою якого/яких досягається підвищення продуктивності та якості продукції, що виробляється в технологічній системі.

2. Які завдання виконує технологічний об'єкт завдяки застосуванню регульованих електроприводів?

3. Назвіть основні засоби керування в регульованому електроприводі.

4. Чому сучасні регульовані електроприводи є зазвичай комп'ютеризованими?

5. Які функції виконують технологічні контролери в автоматизованому технологічному комплексі?

6. Поясніть призначення контролера привода. Наведіть перелік функцій, які він виконує.

7. Поясніть призначення технологічного контролера. Наведіть перелік функцій, які він виконує.

8. Поясніть призначення персонального комп'ютера у складі станції оператора.

9. Поясніть призначення магістрального перетворювача.

10. Назвіть тенденції розвитку технологічних систем.

МОДУЛЬ 2. ЗАСОБИ ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

Тема 5. Електроприводи технологічних машин і механізмів

5.1. Нерегульовані електроприводи

Практично у всіх галузях економіки широко поширені електроприводи із живленням двигунів безпосередньо від живильної мережі, системи управління якими побудовані за розімкненим принципом. Системи нерегульованого ЕП становлять більше ніж 80 % від усіх систем електропривода. Зазвичай у цих системах використовують лише релейно-контактну апаратуру (контактори, реле) для організації процесів пуску, гальмування, реверсу, дискретного змінення швидкості обертання двигуна. Схеми управління таких ЕП конструктивно реалізують у вигляді станцій управління. В схемах станцій управління використовують типові вузли управління, захисту й блокування. Командні сигнали на пуск, зупинення, реверсування або зміну швидкості двигунів можуть надходити в систему управління також від різних датчиків (шляхових і кінцевих вимикачів, датчиків тиску, температури та інших технологічних змінних), що контролюють роботу технологічних машин. Оскільки в електроприводах цієї групи частина операцій (захисту, блокування тощо) здійснюються автоматично (без участі людини), то їх відносять до категорії автоматизованих.

У цій групі електроприводів автоматизація процесу пуску простіше всього здійснюється для асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором, оскільки після подачі команди на пуск операції управління зводяться зазвичай до прямого вмикання двигуна на повну напругу мережі змінного струму. Потужні синхронні та асинхронні

двигуни іноді запускають за зниженої напруги з наступним автоматичним переключенням на повну напругу. Для двигунів постійного струму та асинхронних із фазовим ротором у процесі пуску автоматично, за допомогою контакторів прискорення, поступово вмикаються ступені пускового реостата. Автоматизація процесу гальмування двигуна передбачає виконання двох операцій: після подачі команди на гальмування здійснюються необхідні переключення в силових колах двигуна із введенням, за необхідності, додаткових резисторів у ці кола, а наприкінці процесу гальмування за швидкості, близької до нуля, двигун автоматично або вимикають від мережі (під час зупинення), або в силових колах роблять перемикавання, необхідні для наступного пуску двигуна в протилежному напрямку (під час реверсування).

Як приклад нерегульованого ЕП розглянемо електричну схему електропривода вентилятора на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (рис. 5.1).

Функції вмикання/вимикання та захисту реалізуються за допомогою нереверсивного магнітного пускача. Схема магнітного пускача (рис. 5.1) складається з силового кола і кола керування, де QF – автоматичний вимикач, що працює для подачі живлення в схему і захисту від струмів короткого замикання; KM – котушка силового контактора, KK – теплові реле захисту від перевантаження; SB1 і SB2 – кнопки управління, відповідно «Пуск» і «Стоп».

Після вмикання автоматичного вимикача QF і натискання кнопки SB1 подається живлення на котушку контактора KM, який своїми силовими контактами під'єднує обмотку статора двигуна M до живильної мережі. Після повернення кнопки SB1 у вихідне положення котушка KM одержує живлення через свій допоміжний (блокувальний) контакт KM. Під час переривань живлення

або глибоких зниженнях напруги контактор КМ відмикається, завдяки чому зникає можливість самозапуску двигуна. Під час натискання на кнопку SB2 двигун вмикається від мережі і здійснюється гальмування привода в режимі вільного вибігу.

Чутливі елементи (біметалеві пластини) КК теплового реле вмикають у дві фази кола статора, завдяки чому забезпечується захист двигуна не лише від перевантаження, а й від розриву будь-якої фази. Під час спрацювання теплового реле розмикається його контакт КК в колі котушки контактора КМ. Повернення контакта КК у вихідне положення виконують натисканням кнопки на корпусі реле КК після зниження температури двигуна.

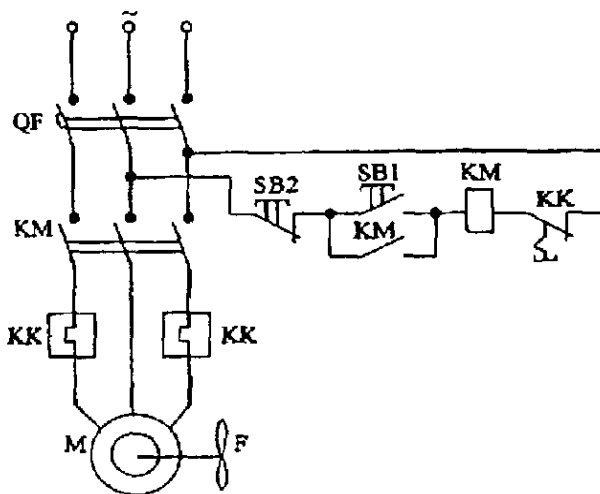


Рисунок 5.1 – Релейно-контакторна система керування електроприводом вентилятора

Зазначимо, що релейно-контакторні системи керування електроприводами по суті є скінченними

автоматами з пам'яттю, а саме – автоматами Мура. В розглянутому прикладі входними змінними автомата є стани кнопок SB1 і SB2 та контакта КК, а сигналом вихода – напруга на котушці контактора КМ. Блок пам'яті містить єдиний тригер у вигляді контакта SB1, зашунтованого блокувальним контактом КМ.

Механізми з важкими умовами пуску (наприклад, за великого моменту опору при зрушуванні) можуть бути оснащені системами плавного пуску. Наприклад, на рисунку 5.2 показана схема силової частини системи плавного пуску на базі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

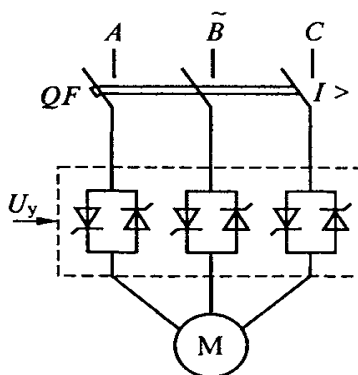


Рисунок 5.2 – Схема під'єднання асинхронного двигуна до мережі через тиристорний перетворювач напруги

У такій системі ЕП за допомогою тиристорного перетворювача напруги здійснюється повільне зростання напруги в колі статора двигуна, завдяки чому обертальний момент і швидкість обертання двигуна зростають з обмеженим темпом, чим забезпечується безударне закриття зазорів у кінематичному ланцюзі привода.

Системи керованого пуску електропривода (системи плавного пуску і релейно-контакторні) можуть також виконувати функції плавного або ступінчастого регулювання швидкості в обмеженому діапазоні. Проте, вони мають низькі енергетичні показники через великі втрати електроенергії. Використання таких систем доцільно лише для короткочасного зниження швидкості і рідко для плавного регулювання швидкості в широкому діапазоні.

Ступінчасте регулювання швидкості можна здійснювати також у системах електропривода на базі багатошвидкісних асинхронних двигунів, зокрема двошвидкісного, в якому секції трифазової обмотки статора можуть з'єднуватися трикутником або подвійною зіркою. Такі електроприводи також належать до категорії нерегульованих.

Як резюме відмітимо, що в скінченно-автоматних системах електропривода, зразками яких є релейно-контакторні, дискретно в часі здійснюються переходи від однієї швидкості до іншої (в режимах пуску, гальмування, реверсу та ступінчастого змінення швидкості обертання двигуна). Такі ЕП, а також ЕП із реалізацією плавного (м'якого) пуску вважають нерегульованими на тій підставі, що в робочих режимах не здійснюється автоматичного регулювання координат руху ЕП, а швидкість обертання двигуна в усталених режимах зазначається жорсткістю механічної характеристики електропривода і величиною статичного моменту.

5.2. Регульовані електроприводи

Елементний склад будь-якого регульованого електропривода впливає з його визначення як електромеханічної системи, що містить керувальний пристрій (контролер привода), електричний перетворювач, електродвигуновий пристрій, механічний перетворювач

(може бути відсутнім), датчики фізичних змінних (координат стану), пов'язані між собою енергетичними та інформаційними зв'язками.

Робочі органи технологічних машин та окремі виробничі механізми, які потребують, за умов технології, плавного регулювання швидкості в певному діапазоні, оснащуються регульованим ЕП за системою «Керований перетворювач – Двигун» (КП–Д).

Керовані перетворювачі виконуються зазвичай у вигляді напівпровідникових випрямлячів і перетворювачів частоти. Види керованих перетворювачів та їх схемотехнічні рішення визначаються типом двигуна та його потужністю, діапазоном регулювання швидкості, необхідністю рекуперації енергії в мережу, завданнями керування (рис. 5.3).

В електроприводах постійного струму як КП застосовують керовані випрямлячі (рис. 5.3 а). Для підвищення швидкодії застосовують системи з некерованим випрямлячем та широтно-імпульсним перетворювачем (рис. 5.3 б).

У системах частотного керування асинхронними двигунами частіше всього застосовуються інвертори напруги (рис. 5.3 в, г). Якщо немає необхідності в рекуперації енергії в мережу змінного струму, то використовують некерований випрямляч (рис. 5.3 г). Перетворювач частоти з інвертором струму (рис. 5.3 д) складається з двох ланок. Перша з них містить керований випрямляч і реактор, а друга містить автономний інвертор струму. Для керування синхронними двигунами і машинами подвійного живлення можуть використовуватись схеми перетворювачів рис. 5.3 в, г. Розглянуті схеми перетворювачів охоплюють діапазон потужностей від сотень Вт до десятків МВт. Найбільш поширене застосування мають схеми рис. 5.3 б, г.

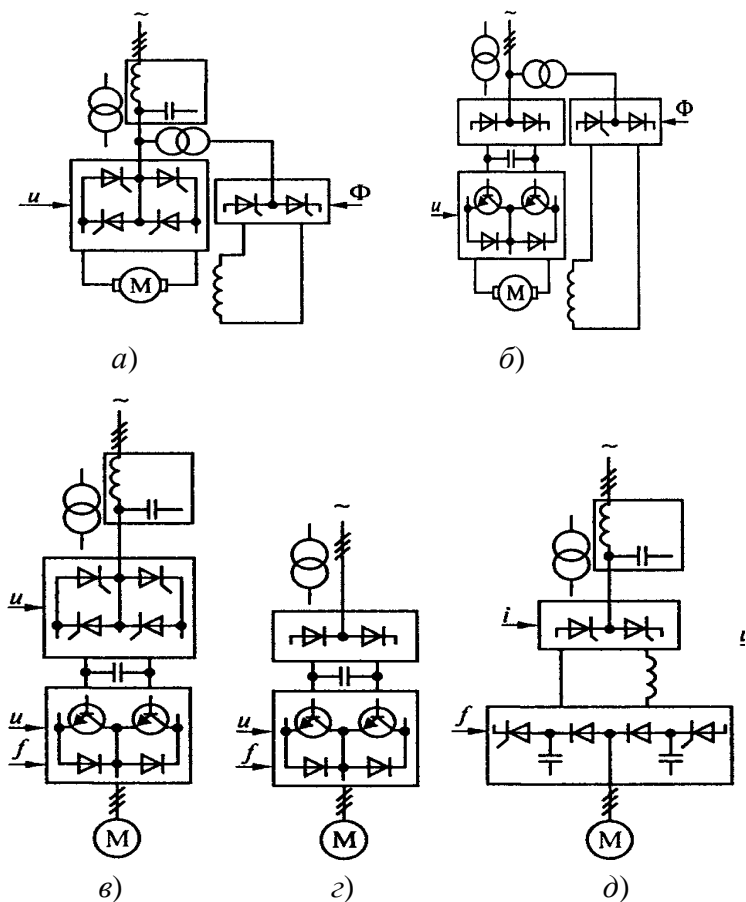


Рисунок 5.3 – Електричні схеми систем «Керований перетворювач – двигун»

У системах багатодвигунових ЕП можна використовувати спільні випрямлячі для групи широтно-імпульсних перетворювачів або автономних інверторів, що дає можливість заощаджувати електроенергію за рахунок

передавання енергії гальмування від одного двигуна іншому.

Сфера застосування регульованих електроприводів змінного струму дуже широка. Для вирішення завдань автоматизації простих виробничих механізмів в об'єктах житлово-комунального господарства застосовують ЕП загального призначення. Як приклади таких ЕП змінного струму можна назвати серії: Micromaster та Sinamics G110 компанії Siemens, Altivar 11, 28, 38 фірми Schneider Electric, FR-S 500 та FR-E 500 фірми Mitsubishi.

Приводи, що належать до класу високодинамічних, використовують для вирішення складних завдань автоматизації технологічних об'єктів. Вони мають гнучко програмовану систему керування, широкий набір дискретних та аналогових входів/виходів і дозволяють розширювати свої функції за рахунок додаткових (технологічних) модулів (плат). Основними постачальниками високодинамічних ЕП є компанії АВВ, Siemens, SEW Eurodrive, Rockwell, Lenze. Значну частку ринку в цьому сегменті становить продукція компанії Siemens, що подана перетворювачами частоти Simovert Master Drives Control (Simovert VC). Як приклади високодинамічних ЕП змінного струму можна назвати серії: Mitsubishi FR-V 520/540, Schneider Altivar 58, Siemens Micromaster 440.

Окрему категорію регульованих ЕП складають високовольтні. Галузі застосування високовольтних ЕП різноманітні: насосні станції, системи тепло-, газо- і водопостачання, машинобудування, харчова промисловість, суднобудування, цементна промисловість, добування корисних копалин у кар'єрах, підземні гірничі виробки, прокатне виробництво, паперова промисловість. До механізмів у цих галузях виробництва, які оснащуються високовольтними ЕП, належать такі: насоси, вентилятори,

димососи, центрифуги, компресори, млини, екструдери, преси, загібні гвинти суден, транспортери, вібратори, прокатні валки та ін.

Високовольтні ЕП оснащують асинхронними і синхронними електродвигунами з номінальною напругою 2,4 кВ, 3,3 кВ, 4,8 кВ, 6,6 кВ, 7,2 кВ. Концерн Siemens пропонує перетворювачі частоти Simovert MV для керування двигунами в діапазоні потужностей 660 – 7 200 кВА з напругою 6,0 і 6,6 кВ. Широке поширення отримали також високовольтні перетворювачі частоти фірм Mitsubishi Electric, Allen Bradley, АВВ, Alston.

В електроприводах змінного струму найбільш поширені низьковольтні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Це обумовлено високою надійністю, простотою експлуатації, порівняно низькою вартістю та хорошими регульовальними властивостями таких двигунів у системах ПЧ–АД (перетворювач частоти – асинхронний двигун). Вітчизняні електромашинобудівні підприємства випускають асинхронні двигуни загальнопромислового призначення різного конструктивного виконання (серії 4А, 5А, 6А, АІР та ін.), вибухозахищені двигуни (ВА, ВРА, АІМ та ін.), кранові та ліфтові (МТФ, МТН, МТКФ, МТКН, 4МТМ, 5АН та ін.), високовольтні двигуни (А4, ДА304 та ін.). Серед закордонних виробників найбільш широкий набір типів асинхронних двигунів пропонує компанія Siemens.

Застосування асинхронних двигунів із фазовим ротором вважається перспективним лише в машинах подвійного живлення. Синхронні двигуни застосовуються переважно в нерегульованих ЕП потужністю від 100 кВт і вище. В діапазоні малих потужностей широко застосовують шагові двигуни, які дозволяють створювати компактні мехатронні модулі з дискретними переміщеннями.

Для багатьох механізмів із позиціонуванням робочого органа (ліфти, підйомні крани, ескалатори) для забезпечення високого рівня безпеки двигун повинен бути оснащений механічним гальмовим пристроєм. Наприклад, в підйомних механізмах, коли робочий орган зупиняється в певному положенні методом електричного гальмування, для його фіксації на вал двигуна накладається стоянкове гальмо. За подачею напруги на котушку гальма воно відпускається, а під час зняття напруги автоматично накладається за допомогою пружин.

У складі регульованих ЕП можуть використовуватися так звані мехатронні модулі, які являють собою конструктивну єдність двигуна, електричного та механічного перетворювачів, датчиків координат стану привода. Інтелектуальний мехатронний модуль містить також і контролера привода. Мехатронні модулі широко використовуються в транспортних засобах (як тягловий привід) і в роботах. Це перспективний напрямок прогресу в галузі регульованого електропривода.

Наявність щітково-колекторного вузла в двигунах постійного струму традиційного виконання приводить до скорочення частки їх випуску порівняно з двигунами інших видів. Існують багато діючих ЕП, що експлуатуються 15 і більше років та оснащені аналоговими системами керування. Під час модернізації силову частину ЕП зазвичай зберігають, а керувальну – замінюють програмованим контролером. Компанія Siemens пропонує готове рішення – модуль SIMOREG CM. Це економічний спосіб створення модернізованого ЕП постійного струму, який володіє всіма функціями тиристорного перетворювача з мікропроцесорною системою керування. Всі функції керування електроприводом, а також усі функції обміну даними за мережевими протоколами здійснюються за допомогою двох мікропроцесорних модулів. Контролер

може комплектуватися додатковими платами розширення входів/виходів і мережевими картами.

У регульованих ЕП перспективним є застосування вентильних двигунів. По суті – це синхронні двигуни, але спеціалістами з електропривода вони розглядаються як двигуни постійного струму, оскільки їх живлення здійснюється від джерела постійного струму через автономний інвертор, керований сигналами від датчика положення ротора. Вентильні двигуни з магнітами на роторі мають мінімальну питому масу на одиницю потужності порівняно з двигунами інших видів, тому їх використання дозволяє вдало вирішувати питання конструювання мехатронних модулів.

Стан двигунів у процесі експлуатації постійно контролюється. Для цього в двигуни вбудовують датчики швидкості, положення ротора, індукції магнітного поля (датчики Холла), температури і вібрації.

Під час проектування технологічного обладнання намагаються застосовувати короткі механічні передавання та безредукторні ЕП. Це дає істотний ефект у досягненні високих показників якості систем керування рухом робочих органів машин і технологічними змінними, оскільки механічне передавання обмежує смугу пропускання частот через виникнення пружних коливань. А якщо врахувати ще необхідність використання пристроїв вибирання люфтів, то можна вважати, що тенденція переходу до безредукторних приводів буде зберігатися і надалі.

За неможливості безредукторного виконання електроприводів широко застосовують мотор-редуктори. Мотор-редуктор – це електродвигун і знижувальний редуктор, що становлять єдину конструкцію. Мотор-редуктори є також складовою мехатронних модулів. Галузь застосування мотор-редукторів обмежена зазвичай потужністю 200 кВт. Типи мотор-редукторів, що

випускаються електротехнічними компаніями, та принципи їх вибору найбільш докладно наведені в каталогах компанії SEW–Eurodrive.

Застосування пневмо- та гідروприводів обмежене такими технічними системами, де неприпустиме використання електроприводів із міркувань вибухо- і пожежобезпеки. Відбувається тенденція переходу в маслостанціях гідроприводів на насоси змінної продуктивності, що дозволяє регулювати тиск. Тому гідроприводи можна розглядати як електроприводи з гідродинамічним передаванням зусилля або моменту. Традиційна область застосування гідроприводів – механізми з малими переміщеннями та великими зусиллями.

5.3. Сервоприводи

Система управління сервопривода містить 3 контури регулювання (рис. 5.4): моменту (струму), швидкості та положення. Залежно від завдання, що вирішується, сигнал керування може бути поданий у відповідний контур регулювання від системи управління вищого рівня (наприклад, системи ЧПУ).

Основними галузями застосування сервоприводів є верстатобудування (приводи подач) та робототехніка (приводи осей ланок маніпуляційної системи). Проте сервоприводи часто застосовують і в інших технологічних машинах для виконання точних переміщень робочих органів. Сервоприводи широкого застосування подані продукцією компаній Indgramat, Omron, Rockwell, Lenze, Siemens, Mitsubishi Electric, Schneider Electric та ін.

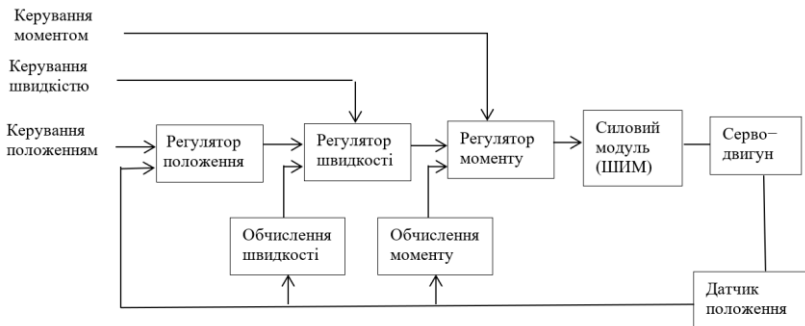


Рисунок 5.4 – Структурна схема системи керування сервоприводом

Зовнішнє управління сервоприводом може здійснюватися локальною мережею. Для цього існують спеціальні модулі мереж DeviceNet, ProfiBus-DP та ін., а також модулі для організації розподілених систем управління з використанням послідовних каналів обміну інформацією RS422, RS485.

5.4. Мехатронні модулі руху

Останнім часом у побудові машин нового покоління спостерігається тенденція передачі все більшої кількості функцій від механічних вузлів до інтелектуальних (електронних, комп'ютерних, інформаційних), з яких складається система управління машиною. Інтелектуальні вузли легко перепрограмувати під нове завдання, що розширює функціональні можливості машини. Водночас із розвитком техніки вузли машин різної фізичної природи (механічні, електричні, електромеханічні, електронні, інформаційні) поступово об'єднуються в єдине конструктивне ціле. Такі інтелектуальні машини та вузли називають мехатронними модулями. Конструктивне поєднання електродвигуна із комп'ютерними засобами

керування прийнято називати мехатронним модулем руху (ММР). Саме мехатронними модулями руху комплектуються сучасні ТМ та засоби транспорту.

Мехатронні модулі призначені для реалізації заданих рухів робочих органів технологічних машин (наприклад, інструменту для механічного оброблення). Вони виконують рухи зазвичай по одній керованій координаті (швидкості руху, кутовому положенню валу двигуна). Водночас необхідно координувати управління просторовим переміщенням із управлінням різними зовнішніми процесами. Прикладами таких процесів можуть бути регулювання силової взаємодії робочого органу з об'єктом механічного оброблення, контроль і діагностика поточного стану критичних елементів (інструменту, силового перетворювача), управління додатковими технологічними діями (тепловими, електричними, електрохімічними) на об'єкт оброблення під час комбінованих методів оброблення, управління допоміжним устаткуванням технологічного комплексу (конвеєрами, завантажувальними пристроями і т. п.), видавання і приймання сигналів від пристроїв електроавтоматики (клапанів, реле, перемикачів та ін.).

Застосування мехатронних модулів дозволяє отримувати компактні й надійні багатокоординатні мехатронні машини і системи з децентралізованим управлінням. Одним із найперших електромеханічних модулів став свого часу мотор-редуктор (рис. 5.5), що поєднав у собі приводний електричний двигун та індустріальний механічний редуктор. Мотор-редуктори умовно відносять до мехатронних модулів, хоча за строгим визначенням вони ними не є. Використання ММР значно спрощує розроблення та виготовлення машин, підвищує їхню надійність.

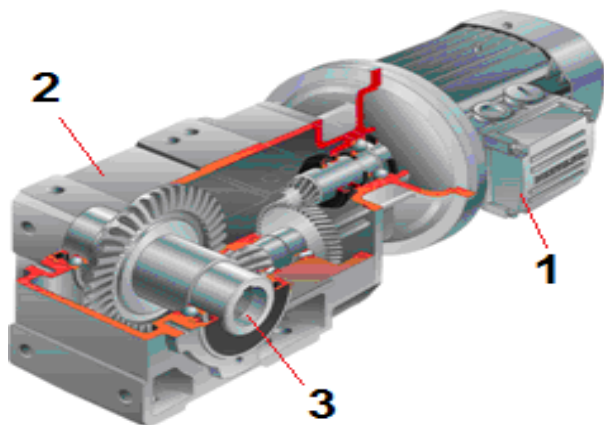


Рисунок 5.5 – Мотор-редуктор: 1 – електричний двигун;
2 – редуктор; 3 – вихідний вал редуктора

Для потреб машинобудування (насамперед для верстатів із числовим програмним управлінням і промислових роботів) розроблені мехатронні модулі, які поєднують не лише електромеханічні вузли, а й сам робочий орган машини (рис. 5.6).

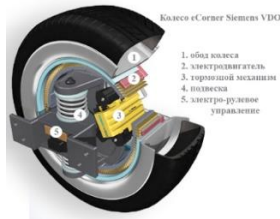
Подальша мініатюризація засобів силової та керувальної електроніки надала змогу конструктивно об'єднати з електромеханічними вузлами ще й електронні. З'явилися мехатронні модулі руху у вигляді двигунів і мотор-редукторів із силовими перетворювачами на борту (рис. 5.7). Подібні ММР, завдяки наявності в їх складі керувальних пристроїв, здатні автономно виконувати переміщення робочих органів машин без постійного контролю з боку системи автоматизації верхнього рівня.



а)



б)



в)

Рисунок 5.6 – Мехатронні модулі з інтегрованим робочим органом:

- а) електрошпиндель (електродвигун + шпиндельний вузол для закріплення ріжучого інструменту;
- б) поворотний стіл для закріплення оброблюваної деталі;
- в) мотор-колесо

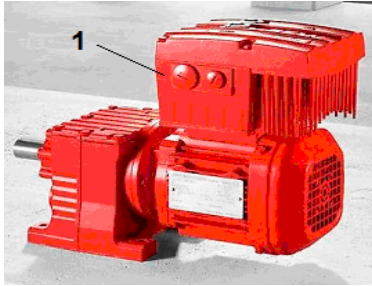


Рисунок 5.7 – Мотор-редуктор із перетворювачем частоти

У зв'язку з розвитком нових електронних технологій, які дозволяють створювати мініатюрні датчики й електронні блоки для оброблення сигналів, у мехатронних модулях руху з'явилися електронні та інформаційні пристрої, що є ознакою їх інтелектуалізації. Інтелектуальний мехатронний модуль руху (ІММР) складається з таких основних елементів:

- електродвигуна (хоча можливе використання рушіїв інших типів, наприклад, гідравлічних);
- механічного перетворювача;
- датчиків зворотного зв'язку і сенсорних пристроїв;
- контролера управління;
- силового перетворювача;
- пристроїв зв'язку.

У сучасних ІММР використовують різні типи електродвигунів: кутового й лінійного руху, змінного й постійного струму, колекторні, вентильні та крокові. Як перетворювачі руху застосовують зубчасті, гвинтові та інші передачі. У конструкціях деяких ІММР, побудованих на базі високомоментних двигунів, перетворювачі вигляду руху відсутні.

В інтелектуальних мехатронних модулях використовують різні датчики положення і швидкості (фотоімпульсні, обертові трансформатори, тахогенератори) і сенсори (датчики струму й моменту, температури й вібрації), що передають інформацію про фактичний стан підсистем модуля в контролер управління.

Використанням сучасних технічних і програмних засобів забезпечується здатність ІММР виконувати складні рухи самостійно, без звернення до верхнього рівня управління, що підвищує автономність модулів, гнучкість і живучість мехатронних систем, що працюють у невизначених умовах зовнішнього середовища.

Вбудовування інтелектуальних пристроїв у ММР породжує і низку обмежень. До них необхідно віднести складність модернізації, збільшення масогабаритних показників модуля порівняно з електромеханічними модулями, де Керувальні та інші електронні пристрої розміщені окремо.

На рисунку 5.8 показаний ІММР «Simodrive Posmo SI» компанії Siemens.



Рисунок 5.8 – Інтелектуальний мехатронний модуль компанії Siemens

Відмінною рисою цього модуля є те, що силовий перетворювач і керувальний пристрій конструктивно об'єднані з двигуном. За допомогою штекерів здійснюється під'єднання сигналів задання і зворотних зв'язків до входів керувального пристрою. Зв'язок із пристроєм управління вищого рівня та іншими модулями здійснюється через стандартну шину «PROFIBUS».

Застосування інтелектуальних мехатронних модулів надає можливості розвитку електромеханічних і технологічних систем у таких напрямках:

- спрощення комунікацій між модулями і центральним пристроєм управління (можливо з використанням бездротових комунікацій), що дозволяє домагатися підвищеної заводозахисності мехатронної системи та її здатності до швидкого реконфігурування;

- підвищення надійності й безпеки мехатронних систем завдяки комп'ютерній діагностиці несправностей і автоматичного захисту в аварійних і позаштатних режимах роботи;

- створення на основі ІММР розподілених систем управління із застосуванням мережевих технологій, апаратно-програмних платформ на базі персональних комп'ютерів і відповідного програмного забезпечення;

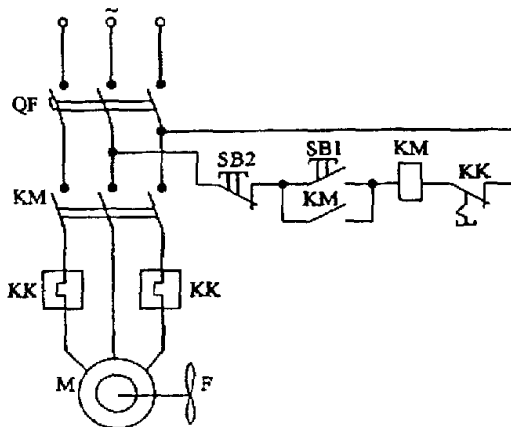
- використання сучасних методів теорії управління (програмного, адаптивного, інтелектуального, оптимального) безпосередньо на виконавчому рівні, що істотно підвищує якість процесів управління в конкретних реалізаціях;

- інтелектуалізація силових перетворювачів, що входять до складу ІММР, для реалізації в мехатронних модулях інтелектуальних функцій з управління рухом, захисту модуля в аварійних режимах і діагностики несправностей;

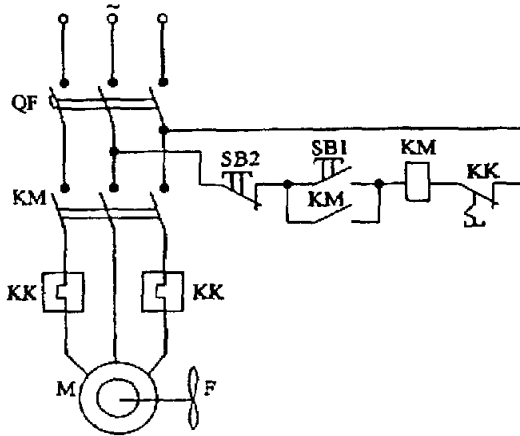
– інтелектуалізація сенсорів для мехатронних модулів, що дозволяє домогтися більш високої точності вимірювань, програмним шляхом забезпечивши в самому сенсорному модулі фільтрацію шумів, калібрування, лінеаризацію характеристик «вхід-вихід», компенсацію перехресних зв'язків, гистерезиса та дрейфу нуля.

Питання для самоперевірки

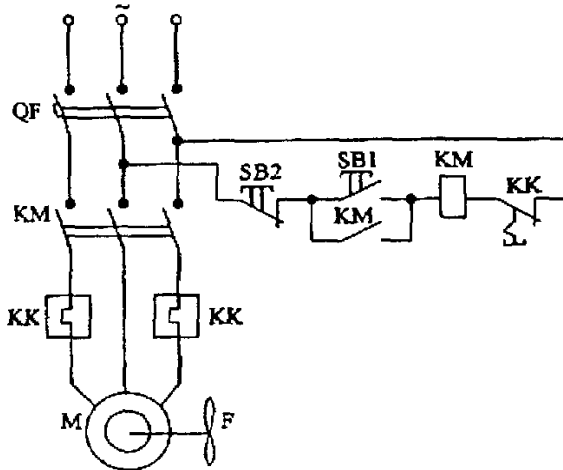
1. Які функції зазвичай виконуються в релейно-контактних схемах керування електроприводів?
2. На якій підставі електроприводи з релейно-контактними схемами керування відносять до категорії автоматизованих?
3. Для чого потужні синхронні та короткозамкнені асинхронні двигуни пускають за зниженої напруги з наступним автоматичним переключенням на повну напругу?
4. Поясніть функціональне призначення елементів наведеної тут схеми керування асинхронним двигуном.



5. Опишіть процес пуску електропривода в поданій схемі.



6. Які функції захисту двигуна виконуються в наведеній тут схемі?



7. Накресліть схему силової частини системи плавного пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором і поясніть, який корисний ефект досягається в цієї системі електропривода.

8. Поясніть призначення систем керованого пуску електропривода (систем плавного пуску і релейно-контакторних). Чому використання таких систем доцільно лише для короткочасного зниження швидкості й недоцільно для плавного регулювання швидкості в широкому діапазоні?

9. Чому скінченно-автоматні системи електропривода, зразком яких є релейно-контакторні, а також ЕП з реалізацією м'якого пуску, вважають нерегульованими?

10. Назвіть відомі вам види керованих перетворювачів, що застосовуються в системах регульованого електропривода.

11. За якими типовими схемами виконують силову частину регульованих електроприводів постійного струму?

12. Які заходи здійснюють під час модернізації електроприводів постійного струму?

13. Чому скорочується частка випуску двигунів постійного струму традиційного виконання порівняно з двигунами інших видів?

14. За якими типовими схемами виконують силову частину регульованих електроприводів змінного струму?

15. В яких системах електропривода переважно застосовують або вважають перспективним застосування двигунів постійного струму, асинхронних двигунів із короткозамкненим і фазовим ротором, синхронних і вентильних двигунів?

16. Чим обумовлено прагнення до застосування саме безредукторних приводів у нових проєктах автоматизованого технологічного обладнання?

17. Чому сучасні гідроприводи можна розглядати як електроприводи з гідродинамічною передачею зусилля або моменту?

18. Назвіть основні галузі застосування сервоприводів.

19. Які контури регулювання координат містить система керування сервоприводом?

20. Завдяки яким особливостям структурної побудови сервоприводи виділяються як окремий клас електроприводів механізмів переміщення?

21. Що може бути джерелом сигналів зовнішнього управління сервоприводом?

22. Дайте визначення мехатронного модуля руху.

23. Що конструктивно являють собою мехатронні модулі?

24. Що являє собою мотор-редуктор?

25. Чи належить простий мотор-редуктор до категорії мехатронних модулів?

26. Опишіть склад інтелектуального мехатронного модуля.

27. За наявності яких додаткових засобів у конструкції мехатронного модуля руху він є інтелектуальним?

28. В яких напрямках можна спостерігати розвиток електромеханічних і технологічних систем завдяки застосуванню інтелектуальних мехатронних модулів?

29. Назвіть основні галузі застосування комплектних електроприводів загального призначення.

30. Завдяки яким властивостям низьковольтні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором найбільш поширені в електроприводах змінного струму?

31. Яким чином працює механічний гальмовий пристрій? Якими обставинами і в яких механізмах обумовлюється необхідність його використання?

Тема 6. Засоби контролю та вимірювань

6.1. Датчики фізичних змінних

Програмні засоби перетворення, зберігання і видачі інформації реалізуються в модулях програмованих контролерів. Одержання інформації в технологічних системах здійснюється пристроями контролю та вимірювань. У галузі створення та використання цих пристроїв спостерігаються такі тенденції:

- використання методів прямого вимірювання контрольованих фізичних змінних;
- встановлення датчиків технологічних змінних у безпосередньої близькості від робочих органів технологічних машин;
- використання інформації про стан електротехнічного, механічного та технологічного обладнання, яку видають засоби контролю та вимірювань, для діагностування та сповіщення операторів через комп'ютерні мережі.

У сучасних технологічних системах контролю належать:

- температура в комутаційних апаратах, вузлах електродвигунів і керованих перетворювачів;
- рівень вібрації в механічних вузлах;
- люфти в механічних передачах;
- зусилля та пружні моменти в механізмах;
- зношення обладнання та ін.

Як основні контрольно-вимірювальні засоби використовують датчики, що безпосередньо сприймають зміни контрольованих параметрів і перетворюють їх в електричні сигнали. Датчик являє собою цілісний виріб, який видає на виході уніфікований електричний сигнал: релейний (дискретний), неперервний струмовий (0–5 мА, 0–20 мА), неперервної напруги постійного струму (0–10 мВ,

0–50 мВ, 0–1 В, 0–10 В, 0–12 В, 0–24 В), неперервної напруги змінного струму частотою 50 Гц (0–1 В, 0–2 В), неперервний частотний (1500–2500 Гц, 4000–8000 Гц) та інші згідно державних стандартів (ДСТУ).

Показниками якості датчиків є точність, лінійність характеристики «вхід-вихід», роздільна здатність, частотна характеристика, характеристика шуму, вхідний і вихідний імпеданси (повний опір) та ін.

До датчиків електромагнітних змінних належать:

- датчики струму;
- датчики напруги;
- датчики магнітного потоку та магнітної індукції.

Датчики електричних та електромагнітних змінних

Для одержання сигналів, пропорційних струму, використовують шунти і трансформатори струму. Напругу змінного струму вимірюють за допомогою трансформаторів напруги. Основними завданням під час створення датчиків струму та напруги є гальванічне розділення силових кіл і кіл керування, швидкодія, точність. В аналогових датчиках напруги для гальванічного розділення ланцюгів застосовують модуляцію вхідної напруги, трансформацію та наступну демодуляцію і підсилення вихідної напруги.

Як датчики струму все ширше застосовують перетворювачі, принцип дії яких базується на ефекті Холла. Конструктивно такі датчики являють собою магнітопровід із зазором. Магнітопровід з обмоткою намагнічується вимірюваним струмом в цієї обмотці. У зазорі розміщений датчик Холла, який живиться постійним струмом від стабілізованого джерела. Датчики струму з використанням ефекту Холла мають гальванічну розв'язку між силовим і вимірювальним колами за напруги до кількох кіловольт, точність 1 % і менше, смугу пропускання до 1 кГц.

Для вимірювання магнітного потоку та магнітної індукції також застосовують датчики Холла. Використання датчиків Холла дає можливість вимірювати параметри постійних і змінних магнітних полів за малих розмірів датчиків. Недоліком є залежність постійної Холла (а отже, і е. р. с. Холла) від температури.

Датчики механічних змінних

До механічних змінних належать параметри руху елементів механічної частини електропривода і технологічного об'єкта, а також величин зусиль, моментів та деформацій. Основними вимогами до датчиків цих змінних є: висока точність вимірювань, швидкодія, надійність, завадостійкість, малі нелінійні викривлення.

Основними класифікаційними ознаками датчиків переміщень є вигляд переміщення (лінійне, кутове), фізичний принцип дії чутливого елемента, структура побудови, вигляд вихідного сигналу.

За фізичним принципом дії чутливого елемента (ЧЕ) всі датчики переміщень можна поділити на такі:

- фотоелектричні (оптоелектронні), що реагують на зміну освітленості ЧЕ;
- електростатичні (ємнісні), що реагують на зміну ємності ЧЕ;
- п'єзоелектричні, що ґрунтуються на ефекті виникнення електричного заряду на поверхні матеріалу під час його деформації;
- електромагнітні, в яких використовується ефект зміни індуктивності або взаєміндуктивності;
- електроакустичні, що реагують на величину енергії акустичної хвилі;
- реостатні, що реагують на зміну опору ЧЕ під впливом, наприклад, температури;
- лазерні (інтерферометричні).

Електростатичні датчики, зокрема ємнісні, мають високу чутливість, малу нелінійність характеристики «вхід-вихід», малі теплові втрати. Однак вони мають високий вихідний опір і підпадні під вплив паразитних ємностей.

Електромагнітні індуктивні датчики поступаються ємнісним із чутливості та лінійності характеристик, але перевершують їх із вихідної потужності, завадостійкості, надійності в умовах виробництва.

Електромеханічні електроконтактні датчики прості за конструкцією, мають велику потужність і амплітуду вихідних сигналів. Проте порівняно з іншими датчиками вони мають гірші метрологічні характеристики.

Фотоелектричні датчики характеризуються найбільшою точністю, високою чутливістю та швидкодією, простотою конструкції, малою інерційністю, відсутністю механічного зв'язку з контрольованим об'єктом. До недоліків потрібно віднести чутливість до зовнішніх випромінювань, невисоку стабільність характеристик.

Датчики швидкості

Тахогенератори постійного та змінного струму застосовують у регульованих ЕП для вимірювання швидкості обертання двигуна з невисокою точністю. За способом монтажу тахогенератори мають фланцеве виконання зі станиною без лап. Комплектні електроприводи мають вбудовані тахогенератори на валу двигуна. Вони володіють невисокими обертальними та полюсними пульсаціями, високою лінійністю та стабільністю характеристик. Проте високі точнісні та експлуатаційні вимоги, що ставляться до промислових систем автоматики, приводять до того, що все більше застосовують фотоелектричні та електромагнітні датчики переміщення і швидкості з цифровим обробленням сигналів.

Датчики зусилля і моменту

У цих датчиках застосовують магнітострикційні (магнітопружні) та п'єзоелектричні перетворювачі. Робота магнітопружного датчика зусилля або крутного моменту основана на явищі магнітострикції. Якщо на сердечник котушки із феромагнітного матеріала діє зовнішня сила, то його магнітна проникність змінюється, внаслідок чого змінюється і повний опір котушки. Отже, механічне зусилля перетворюється в електричну величину. Для магнітопружних датчиків сили (моменту) характерно: слабе потворне діяння на вимірювану величину, висока надійність, задовільна лінійність, значна чутливість до температури та паразитних магнітних полів, обмеженість полоси пропускання.

Робота п'єзоелектричних перетворювачів основана на зміні електричної поляризації анізотропного діелектрика, коли він деформується під дією зовнішньої сили. Якщо розмістити пару обкладинок на протилежних боках п'єзоелектричної пластини і прикласти до неї силу, то на обкладках з'являться заряди протилежних знаків, унаслідок чого виникає різниця потенціалів, пропорційна силі. Такий конденсаторний пристрій являє собою п'єзоелектричний датчик зусилля.

Датчики деформації

Основою цих датчиків є тензорезисторні перетворювачі (металеві, напівпровідникові). Тензорезистори змінюють свій опір під час деформації розтягу або стиснення, що приводить до зміни його повного опору. Тензорезистори наклеюють на об'єкт і вони деформуються сумісно з ним. Такі датчики забезпечують досить точне вимірювання деформацій. Будь-які фізичні діяння, які викликають деформацію об'єкта, можуть бути

перетворені в електричну величину (напругу, струм). Це стосується до сили, моменту, тиску, прискорення.

Датчики технологічних параметрів

До технологічних змінних належать параметри стану технологічних процесів, керування якими здійснюється шляхом формування відповідних законів руху електроприводів робочих органів технологічних машин. До переліку технологічних змінних належать: температура (повітря, матеріалу, виробу), тиск (газу в газопроводі, води у водогоні), витрата (газу, води, палива), рівень (рідини в ємності) та ін. Ми обмежимося оглядом засобів вимірювання перелічених видів технологічних змінних як таких, що часто трапляються в технологічних системах.

Датчики температури

Вибір датчика температури визначається в основному діапазоном вимірюваної температури та умовами експлуатації. Вимірювання температури здійснюється за допомогою термопар, терморезисторів, термісторів, пірометрів. Термопари мають широкий робочий діапазон температур і високу надійність. Недоліками термопар є нелінійність і нестабільність характеристики «вхід-вихід». Для лінеаризації характеристик застосовують спеціальні схеми.

Кращими властивостями володіють термометри опору, в яких чутливим елементом є терморезистор. Найбільш застосовними в промисловості є платинові термометри, які володіють високою точністю та механічною і електричною стабільністю. Інший вигляд термометрів опору – це термістори. В них чутливим елементом є металокерамічна пластина, що має великий від'ємний температурний коефіцієнт опору. Під час вимірювання температури за допомогою таких датчиків

зазвичай потрібно перетворювати зміну опору в зміну напруги та лінеаризувати залежність напруги від температури.

У тому разі, коли можливе лише візуальне оцінювання температури (середовища, матеріалу, виробу), застосовують оптичні пірометри. Діапазон вимірюваних температур оптопірометрів досягає 1 000 °С і більше. Він обмежується діапазоном спектральної чутливості датчика.

Датчики тиску і витратоміри

Для вимірювання тиску та витрати рідини або газу раніше використовувалися потенціометричні прилади. Низька вартість і високий рівень вихідної напруги забезпечили широке застосування таких приладів у простих системах. Проте вони чутливі до вібрацій та ударів і мають нелінійні характеристики «вхід-вихід», чим обмежується їх застосування. Меншу погрішність і більшу стабільність мають безконтактні тензометри (погрішність 0,5 % повної шкали вимірювання), основані на використанні діафрагм з напиленим п'єзорезистором.

Витрата рідини зазвичай вимірюють датчиками перепаду (різниці тисків) або механічними контактними датчиками (наприклад, турбінами). Датчики перепаду називають диференціальними манометрами (дифманометрами). Вимірювання витрати рідини або газу дифманометрами-витратомірами здійснюється за методом перепаду тисків. Дифманометр-витратомір працює сумісно із звужувальним пристроєм, що встановлюється паралельно трубопроводу і використовується для створення перепаду тиску. За допомогою дифманометра вимірюється різниця тисків до і після звужувального пристрою (сопла, витратомірної труби), і ця різниця тисків перераховується в швидкість потоку та величину витрати рідини (газу).

До витратомірів із механічним контактом належать турбінні та гіроскопічні перетворювачі, що вимірюють швидкість потоку за моментом опору, і термоелектричні перетворювачі швидкості.

До витратомірів належать також датчики, що вимірюють швидкість потоку з використанням радіовипромінювання.

Датчики рівня

Для вимірювання рівня рідини широко застосовують поплавкові, ультразвукові та радіоактивні датчики. Поплавкові датчики відрізняються простотою, різноманітністю методів перетворення вимірних рівня у покази відлічного пристрою. Однак під час вимірювання рівня в'язких рідин вони працюють незадовільно. У тому разі, коли відома щільність рідини, можна використати дифманометр, який повинен фіксувати різницю гідростатичного тиску на рівнях поверхні та дна ємності. Такі спеціалізовані дифманометри поділяють на поплавкові, кільцеві, колокольні, мембранні та сильфонні.

Ультразвукові датчики можуть входити в склад локаційних установок, зручних під час вимірювання рівня рідини в високих цистернах. Рівень важких сумішей, таких як цемент, паперова маса краще вимірювати радіопроменевими датчиками.

Крім розглянутих, до датчиків технологічних параметрів належать і багато інших, наприклад, датчики вологості повітря, змісту вуглецю в димі на виході труби котельні, датчики товщини стрічкового матеріалу (металу, папера, синтетичної плівки).

6.2. Датчики в системах електропривода

У комплектних електроприводах змінного та постійного струму широко застосовують датчики

швидкості. Аналогові тахогенератори сьогодні замінюють більш точними і надійними цифровими датчиками – абсолютними та інкрементальними енкодерами, а також оптоелектричними налаштовувальними датчиками з реєстрацією відрізків шляху, кутів повороту і кількості обертів – резольверами. Під час використання інкрементальних (відносних) датчиків після кожного вимикання живлення за наступного вмикання необхідно проводити установку механізму у вихідне положення (реферування), оскільки після вмикання його рухи не реєструються. Абсолютні датчики, навпаки, реєструють рухи механізму після вимикання живлення і після вмикання живлення показують дійсне положення механізму (реферування не потрібне).

Під час вибору датчика положення необхідно визначити пріоритетні критерії: точність, лінійність, умови застосування, надійність, вартість. Необхідно також враховувати, потрібно визначити абсолютне чи відносне положення контрольованого об'єкта. Абсолютний датчик виробляє сигнал як функцію положення однієї з його частин, зв'язаних з рухомим об'єктом, а зміна цього сигналу відображає переміщення. Це резистивні (потенціометричні), індуктивні з рухомим сердечником, ємнісні з рухомими обкладинками та цифрові кодові датчики.

Відносний (інкрементальний) датчик генерує одиничний імпульс на кожному елементарному переміщенні, а положення об'єкта визначається сумою імпульсів з урахуванням напрямку переміщення. Перевагами відносних датчиків порівняно з абсолютними є простота і низька вартість, а недоліком – необхідність періодичного калібрування мікропроцесорного оброблення даних.

Питання для самоперевірки

1. Які тенденції розвитку засобів контролю та вимірювань спостерігаються на цей час?

2. Наведіть приклади фізичних і технологічних змінних та якісних характеристик технологічного обладнання, що підлягають контролю.

3. Яку функцію виконують датчики фізичних змінних у технологічних системах?

4. Назвіть види уніфікованих електричних сигналів, що видають датчики згідно державних стандартів.

5. Наведіть перелік показників якості датчиків фізичних змінних у технологічних системах.

6. Назвіть види датчиків електричних та електромагнітних змінних.

7. Назвіть способи вимірювання постійного та змінного струмів.

8. Назвіть способи вимірювання напруги в колах постійного та змінного струму.

9. Які датчики струму забезпечують гальванічну розв'язку між силовим і вимірювальним колами?

10. Які датчики можна застосовувати для вимірювання магнітного потоку або індукції магнітного поля?

11. Назвіть види механічних змінних, що підлягають виміру в технологічних об'єктах і системах електропривода.

12. Які вимоги зазвичай ставлять до датчиків механічних змінних?

13. На які види поділяють датчики переміщень за видом переміщення?

14. На які види поділяють датчики переміщень за принципом дії чутливого елемента? Які з них забезпечують найвищу точність вимірів?

15. Назвіть способи вимірювання швидкості обертання двигунів (та будь-яких осей обертання). Які з них забезпечують найбільшу точність вимірів?

16. Які види первинних перетворювачів застосовують у датчиках зусиль та крутного (або пружного) моменту?

17. Які переваги та недоліки мають магнітопружні датчики зусилля та моменту?

18. Що являє собою п'єзоелектричний датчик зусилля?

19. В чому полягає принцип дії тензорезисторного датчика деформації?

20. Чи можна застосовувати тензорезистори для створення датчиків сили, моменту, тиску, прискорення?

21. Наведіть приклади технологічних змінних, що підлягають вимірюванню.

22. Назвіть відомі вам види датчиків температури.

23. Які переваги та недоліки мають термопари?

24. Проведіть порівняльний аналіз експлуатаційних характеристик терморезисторів і термісторів.

25. Охарактеризуйте області застосування оптопірометрів.

26. Чим обмежується застосування потенціометричних датчиків тиску та рівня? Які види датчиків мають кращі експлуатаційні характеристики?

27. Якими датчиками зазвичай вимірюють витрати рідини?

28. За яким методом здійснюють вимірювання витрати рідини або газу дифманометрами-витратомірами?

29. Перелічить види витратомірів із механічним контактом.

30. Датчики яких видів застосовують для вимірювання рівня рідини в ємностях?

31. Назвіть сфери застосування ультразвукових і радіопробних датчиків рівня.

32. Назвіть види датчиків, якими заміняють тахогенератори.

33. Перелічіть в порядку пріоритетності критерії вибору датчиків положення рухомого об'єкта.

34. Поясніть принцип роботи абсолютного датчика положення.

35. Назвіть переваги і недоліки відносних датчиків положення порівняно з абсолютними.

36. Яким чином можна обчислювати швидкість руху об'єкта з використанням інкрементального датчика положення?

Тема 7. Комутаційна та захисна апаратура

Комутаційні апарати призначені для здійснення з'єднань/роз'єднань у схемах електричних кіл. Проведемо короткий огляд основних видів комутаційних апаратів, що застосовуються в автоматизованих електромеханічних системах.

Електромагнітні контактори

Контактори застосовуються для вмикання/вимикання споживачів електроенергії. Контактори розрізняються за такими технічними характеристиками:

- кількість головних (силових) контактів – від 1 до 5;
- рід струму силових кіл (постійного, змінного, постійного та змінного струму);
- номінальний струм силових кіл – від 4 А до 2 500 А;
- номінальна напруга силових кіл – 220, 440, 660 В постійного струму та 380, 500, 600 В змінного струму;
- рід струму кіл керування – постійний, змінний;
- номінальна напруга вмикаючих котушок – 24, 48, 60, 110, 220 В постійного струму та 24, 36, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 500, 660 В змінного струму частотою 50 Гц;
- кількість та виконання (вмикаючих, розмикаючих) допоміжних (блокувальних) контактів;
- вплив кліматичних чинників;
- ступінь захисту;
- клас і частота вмикань, клас/частота – 0,3/30, 1/120, 3/300, 10/1200, 30/3600.

Магнітні пускачі

Ці апарати призначені для дистанційного пуску шляхом під'єднання до мережі та зупинення асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором. За допомогою

реверсивного пускача можна також здійснювати зміну напрямку обертання двигуна.

Пускачі розрізняють за ступенем захисту (IP00, IP30, IP54), наявністю теплових реле, виду блокування в реверсивному пускачі (електрична, механічна), наявністю вбудованих кнопок керування, напругою головного кола (380, 660 В).

Реверсивні пускачі складаються з двох неререверсивних, зблокованих механічно або електрично для запобігання короткого замикання в живильній мережі.

Магнітні пускачі можна вмикати вручну з кнопкового поста і автоматично за сигналами пристроїв автоматики через проміжні реле.

Вимикаються пускачі вручну з кнопкового поста, а за аварійних режимів автоматично за допомогою теплових реле (захист від перенавантаження неприпустимої тривалості) або реле максимального струму (захист від струму неприпустимої величини під час обривання однієї фази) та інших пристроїв автоматики.

За ступенем захисту IP154 пускачі можуть мати власні кнопки управління, амперметр та сигнальні лампи.

Реле управління

Реле використовують у схемах управління електроприводами для виконання функцій управління та захисту. Вони розрізняються між собою:

– за родом входного діяння – вимірювальні (реле струму, реле напруги, теплові реле) та логічні (реле часу, реле подій);

– за родом струму котушки (сприймаючого органу) – постійного та змінного струму;

– за номінальним струмом котушки – від 1,6 А до 1250 А;

- за номінальною напругою котушки – від 12 до 220 В постійного струму та від 12 до 660 В змінного струму;
- за кількістю контактів – від 1 до 12;
- за типом контактів – із замикаючими, розмикаючими, перемикальними, відкритими, герконовими;
- за призначенням – проміжні, реле часу, струму, напруги;
- за принципом дії – електромагнітні, пневматичні, електронні.

Проміжні реле призначені для передачі команд із одного електричного кола в інший, розмноження сигналів і збільшення їх потужності.

Реле часу призначені для передачі команд із одного електричного кола в інший з встановленою витримкою часу. Електромагнітні реле часу спрацьовують на перемикання контактів із витриманням часу до 10 с лише під час вимикання котушки. Пневматичні реле часу мають діапазон витримок часу від 0,4 до 180 с, а електронні – від 0,1 с до 10 хв.

Теплові реле призначені для захисту двигунів від перевантаження недопустимої тривалості та від струму, що виникає під час обривання однієї з фаз. Теплове реле може бути окремим, або вбудованим у магнітний пускач. Чутливим елементом у тепловому реле є біметалева пластина, через яку проходить струм. Чутливі елементи вмикаються у дві фази двигуна, а контакти реле вмикаються в ланцюг котушки пускача. Теплові реле не здатні захищати двигун від коротких замикань.

Реле струму поділяються на реле контролю і захисту (реле максимального струму). Реле контролю виконують функції визначення наявності струму та його величини в заданих межах. Реле максимального струму призначені для захисту електродвигунів від перевантажень.

Реле напруги використовуються в основному в колах захисту і виконують функції захисту від переривання живлення, недопустимого зниження або підвищення напруги.

Герконові реле (з герметизованими магнітокерованими контактами) використовуються в основному для зв'язку між напівпровідниковими пристроями та сильноточовими апаратами управління (реле, контакторами, пускачами) і для комутації кіл управління з малими струмами та напругами.

Під час вибору реле управління повинні бути задані кількість і вид контактів, рід і максимальні величини струму і напруги в колах, що комутуються, рід струму котушки реле, діапазони температури та вологості зовнішнього середовища, наявність у зовнішньому середовищі пилу, вибухонебезпечних та агресивних домішок, розміщення реле в просторі.

Автоматичні вимикачі

Ці апарати призначені для вмикання та вимикання споживачів електроенергії, захисту від струмів короткого замикання і перевантаження. Основними технічними характеристиками автоматичних вимикачів є номінальна напруга і струм, вимикальна здатність, час вимикання. Вимикальна здатність означає максимальний струм, за якого вимикач здатний здійснити операцію вимикання споживача.

Вимикання автоматичного вимикача відбувається під дією розчіплювача. Розчіплювач – це спеціальний блок, вбудований у вимикач. Розчіплювач може бути тепловим або електромагнітним. Вимикач може містити розчіплювачі обох типів.

Дія теплового розчіплювача основана на змінній формі біметалевої пластинки під час нагрівання її струмом

вимикача. Пластинка діє на механізм спрацьовування вимикача. Вимикання вимикача під дією теплового розчіплювача відбувається, коли струм перевищує своє значення для номінального режиму навантаження певний інтервал часу, залежний від величини струму.

Електромагнітний розчіплювач складається з електромагнітів, по котушкам яких проходить струм вимикача. Електромагніти настроюються на задану величину максимального струму і діють на механізм спрацьовування вимикача за аварійного перевантаження або за короткого замикання. Вставка струму миттєвого спрацьовування (струму відсікання) означає, що під час цього струму спрацьовує електромагнітний розчіплювач цього вимикача.

Вимикачі, перемикачі, рубильники, запобіжники

Пакетні вимикачі та перемикачі застосовують як комутаційні апарати з ручним приводом у колах постійного та змінного струму з напругою 220 В і струмом до 400 А та в колах змінного струму з напругою 380 В і струмом до 250 А.

Рубильники типу Р і перемикачі типу П не містять дугогасних камер і тому використовуються для розмикання лише обезструмлених кіл. Рубильники і перемикачі інших типів містять дугогасні камери, можуть комутувати електричні кола під навантаженням.

Кнопки та перемикачі управління

Кнопки управління серії КЕ та перемикачі управління серії ПЕ призначені для комутації кіл управління змінного струму з напругою до 500 В і постійного струму з напругою до 220 В, а також у низьковольтних колах із напругою 24 В і струмом не менше ніж 0,05 А.

Кнопки і перемикачі класифікують за типом, виконанням, ступенем захисту, кольором товкача. Кнопки мають електрично не пов'язані між собою розмикальні та замикальні контакти з подвійним розмиканням кіл. Номінальний струм тривалого режиму 6 А.

Запобіжники

Запобіжники призначені для захисту електричних кіл від коротких замикань і недопустимих перевантажень. Робочим елементом запобіжника є вставка, що розплавляється, та дугогасний пристрій. Запобіжники вибираються за значеннями струму розплавлення вставки.

Питання для самоперевірки

1. Перелічіть відомі вам комутаційні апарати (за їх назвами). Сформулюйте узагальнену мету їх використання в електроустановках.
2. Сформулюйте призначення контакторів.
3. Які види контактів містить контактор? Поясніть їх функціональне призначення.
4. Поясніть функціональне призначення магнітних пускачів.
5. Поясніть узагальнене функціональне призначення всіх реле управління.
6. Назвіть види реле управління за їх специфікованим призначенням.
7. Сформулюйте призначення проміжного реле, теплового реле, реле струму, реле напруги, реле часу.
8. Які чинники мають ураховуватися під час вибору реле управління?
9. Сформулюйте узагальнене призначення автоматичних вимикачів.

10. Перелічіть технічні характеристики автоматичних вимикачів, що враховуються під час їх вибору.

11. Яку властивість автоматичного вимикача зазначає його вимикальна здатність?

12. Які типи розчіплювачів може містити автоматичний вимикач?

13. Що таке струм відсікання електромагнітного розчіплювача?

14. У чому полягає різниця принципів дії теплового та електромагнітного розчіплювачів?

15. Чим відрізняються пакетні вимикачі та перемикачі від автоматичних вимикачів?

16. У чому полягає специфіка застосування рубильників типу Р та перемикачів типу П?

17. Поясніть призначення кнопок і перемикачів (тумблерів) управління.

18. Поясніть функціональне призначення запобіжників.

Тема 8. Умови експлуатації електроустановок

Електротехнічне обладнання має відповідати вимогам кліматостійкості, тобто здатності зберігати свої технічні характеристики під час експлуатації в певних кліматичних умовах. Мається на увазі захист від корозії та інші заходи, що забезпечують гарантований термін служби у тому чи іншому кліматичному районі.

Відповідно до особливостей клімату (температури, вологості та ін.) здійснюється кліматичне районування, тобто визначення належності районів (великих територій) до певних кліматичних зон. Види кліматичного виконання електрообладнання, що експлуатується в умовах суші, рік та озер, наведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Кліматичне виконання електрообладнання

Позначення виконання		Макроклімат	Основні характеристики макрокліматичних районів		
Кир.	Лат.		Середня температура повітря за період нагляду, °С		Сполучення температур більше ніж 20 °С і вологості більше ніж 80 % 12 год. на добу і більше, безперервно, міс.
			максимальна	мінімальна	
У	N	Помірний	≤ 40	≥ (-45)	немає
ХЛ	F	Холодний	–	< (-45)	немає
УХЛ	NF	Помірний і холодний	≤ 40	< (-45)	немає
ТВ	ТН	Вологий тропічний	> 40	–	від 2 до 12
ТС	ТА	Сухий тропічний	> 40	–	немає
Т	Т	Сухий і вологий тропічний	–	–	від 2 до 12
О	–	Будь-який, крім холодного	–	≤ (-45)	від 2 до 12

У позначенні типу електротехнічного виробу в його паспорті (каталозі) зазначається, крім кліматичного виконання, також кліматична категорія приміщення, в якому воно може бути розміщене: 1 – експлуатація на

відкритому повітрі; 2 – закриті приміщення, в яких температура і вологість несуттєво відрізняються від зовнішнього повітря; 3 – приміщення з натурною вентиляцією без створення штучного клімату; 4 – приміщення, що опалюються або охолоджуються за штучної вентиляції; 5 – приміщення з підвищеною вологістю, в яких можлива тривала наявність води або часта конденсація вологи на стінах і стелі. Приклад типового позначення за умов застосування: АВП400–1000У5 – асинхронний двигун потужністю 400 кВт, із синхронною швидкістю 1 000 об/хв, виконання для помірного клімату, категорія приміщення 5.

Вимоги до виконання електрообладнання залежно від умов застосування викладені в правилах налаштування електроустановок. Правила налаштування електроустановок (ПУЕ) поширюються на електроприводи, оскільки вони є окремим видом електроустановок. Дотримання ПУЕ під час створення та експлуатації електроустановок, зокрема електроприводів, має за мету забезпечення безпечної та безаварійної роботи цих об'єктів.

За умов експлуатації електроустановки поділяють на 2 категорії: з напругою до 1 кВ і вище 1 кВ.

За ступенем небезпеки ураження персонала електричним струмом усі приміщення поділяються на 2 категорії:

– приміщення без підвищеної небезпеки, в яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку;

– приміщення з підвищеною небезпекою, в яких є сирість або струмопровідний пил, струмопровідна підлога, висока температура, а також можливе одночасне доторкання людини до металевих частин електрообладнання та заземленим металоконструкціям будівель, технологічних машин і апаратів.

Конструкція, виконання, спосіб установки та клас ізоляції машин, апаратів, приладів та іншого електрообладнання, а також кабелів і дротів, мають відповідати параметрам електромережі та електроустановки, умовам довкілля і вимогам ПУЕ. В електроприводах повинно бути забезпечене легке розпізнавання всіх їхніх елементів.

Літерно-цифрове та кольорове позначення однойменних шин у кожній електроустановці повинні бути однаковими. Шини позначають так:

- за змінного трифазового струму шини фази А – жовтим кольором, фази В – зеленим, фази С – червоним, нульова робоча шина N – блакитним, нульова захисна шина N – поздовжніми смугами жовтого і зеленого кольорів;

- за змінного однофазового струму шина А, що приєднана до початку обмотки джерела живлення, – жовтим кольором, а шина В, приєднана до кінця обмотки, – червоним;

- шини однофазової мережі, якщо вони є відгалуженням від трифазової мережі, позначаються як відповідні шини трифазової мережі;

- за постійного струму шина додатного потенціалу (+) – червоним кольором, від’ємного (–) – синім;

- резервна шина – кольором шини, яку вона резервує, а якщо вона може замінити будь-яку з основних шин, то позначається поперечними смугами кольорів основних шин.

Заходи щодо забезпечення надійності живлення вибираються залежно від категорії відповідальності електроспоживачів. Ці заходи застосовують як до окремих двигунів, так і до трансформаторів, перетворювальних агрегатів, розподільних пристроїв і пунктів, до яких вони під’єднані.

Електродвигуни та їхні комутаційні апарати вибираються, встановлюються і за необхідності забезпечуються додатковою системою охолодження таким чином, щоб їх температура не перевищувала допустиму. Частина двигунів і механічних передач, що обертаються, повинні бути огороженими для запобігання дотику до них людини. Електродвигуни та їхні комутаційні апарати повинні бути заземлені або занулені, а їхнє виконання повинно відповідати умовам довкілля відповідно до вимог ПУЕ.

Вибір двигунів повинен здійснюватися з урахуванням умов їх роботи в конкретній технологічній установці. Електричні та механічні параметри двигуна (номінальні потужність, напруга, струм, частота обертання, пусковий і максимальний моменти) повинні відповідати вимогам механізму у всіх режимах його роботи.

У приводах механізмів, які не потребують регулювання швидкості, рекомендується застосовувати синхронні двигуни або асинхронні з короткозамкненим ротором.

У приводах механізмів з важкими умовами пуску або роботи з різною швидкістю потрібно застосовувати двигуни з найбільш простими методами плавного пуску або регулювання швидкості, прийнятними для таких механізмів.

Електродвигуни постійного струму допускаються застосовувати лише в тому разі, коли електродвигуни змінного струму не можуть забезпечити потрібні характеристики механізму або не економічні.

Електричні машини випускаються в захисних оболонках, які забезпечують захист обслуговувального персоналу та самої машини від попадання в неї сторонніх предметів. Ступінь захисту позначається літерами IP і двома цифрами після цих літер. Перша цифра зазначає

ступінь захисту персоналу від доторкання і наближення до струмопровідних частин і доторкання до рухомих частин у середині оболонки, а також від потрапляння в середину оболонки сторонніх речей (табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – Класифікація ступеней захисту електродвигунів від доторкання персоналу та проникнення сторонніх тіл

Перша цифра	Параметри захисту
0	Захист відсутній
1	Захист від проникнення всередину оболонки частини тіла людини (наприклад, руки) та твердих речей розміром більше ніж 50 мм
2	Захист від проникнення всередину оболонки пальців людини або речей довжиною до 80 мм та від проникнення всередину оболонки твердих речей розміром більше ніж 12 мм
3	Захист від проникнення усередину оболонки інструменту, дроту тощо товщиною більше ніж 2,5 мм і твердих тіл розміром більш ніж 2,5 мм
4	Захист від проникнення всередину оболонки дроту і твердих тіл розміром більше ніж 1 мм
5	Пил не може проходити всередину оболонки в кількості, достатньої для порушення роботи виробу
6	Проникнення пилу всередину оболонки попереджено повністю

Друга цифра зазначає ступінь захисту від потрапляння води (табл. 8.3). Позначення категорій виконання електротехнічних виробів, зокрема електричних машин за ступенем комплексного захисту від доторкання персоналу,

проникнення сторонніх тіл та проникнення води, зведені у таблицях 8.2 і 8.3, наведені у таблиці 8.4.

Таблиця 8.3 – Класифікація ступенів захисту електродвигунів від потрапляння води

Друга цифра	Параметри захисту
0	Захист відсутній
1	Захист від крапель води, що краплять на оболонку виробу, встановленого нормально
2	Захист від крапель води, що краплять на оболонку виробу, встановленого з кутом нахилу до 15° відносно нормального
3	Захист від дощу, що падає на виріб під кутом до 60° від вертикалі
4	Захист від бризок води, що падають на виріб у будь-якому напрямку
5	Захист від струменя води, що діє на оболонку виробу в будь-якому напрямку
6	Захист від хвиль води. Вода не повинна потрапляти всередину оболонки в кількості, достатній для пошкодження виробу
7	Захист під час занурення виробу у воду. Вода не повинна проникати в оболонку в кількості, достатній для пошкодження виробу
8	Захист під час тривалого занурення виробу у воду. Вироби витримують довготривале занурення у воду за умов, що встановлені виробником

Електродвигуни, що установлюються в приміщеннях із нормальним середовищем зазвичай повинні мати виконання IP00 або IP20. Електродвигуни, що установлюються на відкритому повітрі, повинні мати

виконання, принаймні, IP44. Електродвигуни, що встановлюються в приміщеннях із можливим осіданням на їх обмотках пилу та інших речей, що порушують натурне охолодження, повинні мати виконання, принаймні, IP44 або необхідно улаштувати систему примусової вентиляції. Електродвигуни, що встановлюються в сирих місцях, повинні мати виконання IP43 та вологостійку ізоляцію.

Таблиця 8.4 – Позначення категорій виконання електротехнічних виробів

Ступінь захисту електродвигунів за таблицею 8.2	Ступінь захисту електродвигунів за таблицею 8.3								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00	IP01							
1	IP10	IP11	IP12	IP13					
2	IP20	IP21	IP22	IP23					
3	IP30	IP31	IP32	IP33					
4				IP3	IP4				
5					IP54	IP55	IP56	IP57	IP58
6									IP68

Електродвигуни, призначені для установки в місцях з хімічно активними парами або газами, повинні мати виконання не нижче ніж IP44 або з примусовою вентиляцією. Допускається застосування двигунів із виконанням IP33, але лише з хімічно стійкою ізоляцією.

Для електродвигунів, що встановлюються в приміщеннях із температурою повітря більше ніж 40 °С, потрібно здійснювати заходи щодо їх охолодження. За примусової замкненої системи вентиляції необхідно здійснювати контроль температури повітря та охолоджувальної води.

Розглянемо основні вимоги, що ставляться правилами улаштування електроустановок до схем управління електродвигунами.

Кола управління електродвигунами допускається жити від головних кіл та інших джерел живлення, якщо останнє викликано технічною необхідністю.

Для запобігання самозапуску двигуна після відновлення напруги в колах управління повинне бути передбачений блокувальний зв'язок, яким забезпечується вимкнення двигуна від електромережі під час зникнення напруги, якщо самозапуск заборонений.

Комутаційні апарати повинні комутувати найбільші струми нормальних режимів роботи електродвигуна (під час пуску, гальмування, реверса) та бути стійкими до струмів короткого замикання.

Для двигунів змінного струму повинен передбачатися захист від багатозафазових замикань, у мережах із глухозаземленою нейтраллю – і від однофазових замикань, а також від струмів перевантаження і зниження напруги.

Для двигунів постійного струму повинен передбачатися захист від коротких замикань (КЗ) і за необхідності захист від перевантаження та надлишкового підвищення частоти обертання. Для захисту двигунів від КЗ повинні застосовуватися запобіжники або автоматичні вимикачі, які вибираються так, щоб забезпечувалося надійне вимикання при КЗ і щоб за нормальних для цієї електроустановки пульсацій струму (пускових, гальмівних, технологічних) двигуни не вимикалися. З цією метою для двигунів механізмів з легкими умовами пуску відношення пускового струму до номінального струму плавкої вставки повинно бути не більше ніж 2,5, а для двигунів механізмів із важкими умовами пуску (велика тривалість розгону, часті пуски тощо) це відношення повинно бути таким, що дорівнює 2,0–1,6.

Захист двигунів від перевантаження повинен передбачатися у разі, коли можливе перевантаження механізму з технологічних причин, а також коли за

особливо важких умов пуску необхідно обмежити тривалість пуску за пониженої напруги. Захист повинен виконуватись із витримкою часу за допомогою, наприклад, теплового реле. Захист двигуна від перевантаження не потрібний під час повторно-короткочасного режиму роботи.

Захист від зниження напруги повинен бути в таких випадках: для двигунів постійного струму, які не допускають безпосереднього вмикання в мережу; для двигунів механізмів, самозапуск яких після зупинення недопустимий за умов технології або безпеки.

Для синхронних двигунів захист від асинхронного режиму повинен здійснюватися зазвичай у формі захисту від перевантаження за струмом статора.

Захист від КЗ двигунів змінного/постійного струму повинен передбачатися:

- в електроустановках із заземленою нейтраллю – у всіх фазах/полюсах;

- в електроустановках з ізолюваною нейтраллю під час захисту запобіжниками – у всіх фазах/полюсах;

- в електроустановках з ізолюваною нейтраллю під час захисту автоматичними вимикачами – не менше ніж у двох фазах/одному полюсі;

Захист електродвигунів змінного струму від перевантажень повинен виконуватися:

- у двох фазах під час захисту від КЗ запобіжниками;

- в одній фазі під час захисту від КЗ автоматичними вимикачами.

Захист двигунів постійного струму від перевантажень повинен виконуватися в одному полюсі.

Питання для самоперевірки

1. Що розуміємо під кліматостійкістю електрообладнання?
2. Що розуміємо під кліматичною зоною?
3. Що розуміємо під кліматичною категорією приміщення? Назвіть ці категорії.
4. На які дві категорії поділяють електроустановки за умов експлуатації?
5. На які дві категорії поділяють приміщення за ступенем небезпеки ураження персоналу електричним струмом?
6. Яким кольорами позначаються шини мережі живлення електроустановок змінним трифазовим струмом?
7. Якими кольорами позначаються шини мережі живлення електроустановок змінним однофазовим струмом?
8. Якими кольорами позначаються шини мережі живлення електроустановок постійним струмом?
9. Назвіть види електродвигунів, що рекомендують застосовувати в приводах механізмів, які не потребують регулювання швидкості?
10. В яких випадках допускається застосовувати електродвигуни постійного струму?
11. Яким чином у паспортах електротехнічних виробів зазначають ступінь захисту обслуговувального персоналу та самого виробу від попадання сторонніх речей?
12. Яку ступінь захисту повинні мати електротехнічні вироби під час установки їх у приміщеннях з нормальним середовищем?
13. Яку ступінь захисту повинні мати електротехнічні вироби під час установки їх на відкритому повітрі?
14. Які види захисту потрібні для двигунів змінного струму під час живлення від трифазової мережі?

15. Які види захисту необхідні для двигунів постійного струму?

16. В яких електроустановках повинен бути передбачений захист двигуна змінного струму від коротких замикань у всіх фазах?

17. В яких електроустановках повинен бути передбачений захист двигуна змінного струму від коротких замикань принаймні у двох фазах?

18. В яких електроустановках повинен бути передбачений захист двигуна постійного струму від коротких замикань у всіх полюсах?

19. В яких електроустановках повинен бути передбачений захист двигуна постійного струму від коротких замикань принаймні в одному полюсі?

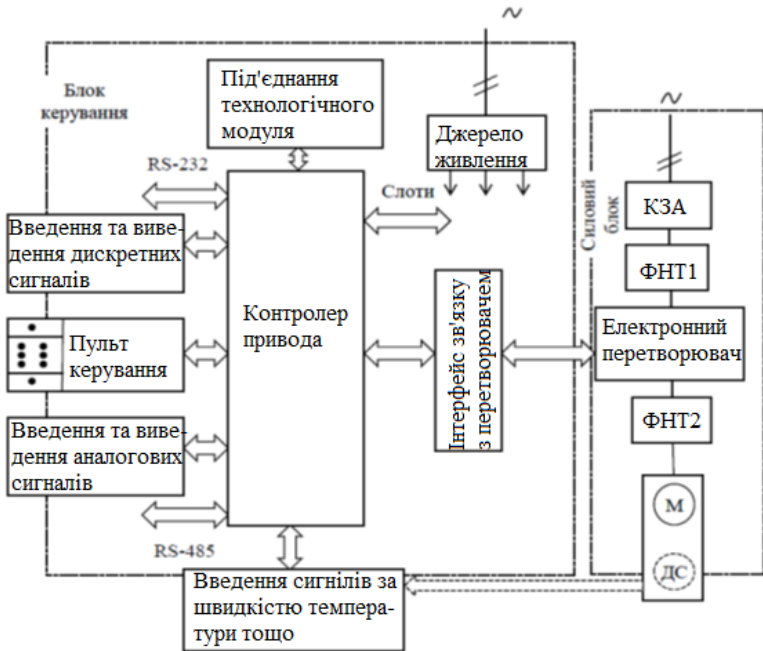
Тема 9. Технічні й програмні засоби автоматизованих електроприводів

9.1. Уніфіковані системи автоматизованих електроприводів

Уніфіковані системи електропривода виконуються на базі комплектних ЕП змінного та постійного струму. Частка електроприводів постійного струму в нових розробках систем автоматизації становить приблизно 10 %. Переважно застосовуються ЕП змінного струму (асинхронні, синхронні). У склад комплектного ЕП входять:

- електродвигун, можливо з датчиком швидкості;
- керований електричний перетворювач із власним контролером керування силовими напівпровідниковими елементами (тиристорами, транзисторами);
- силовий трансформатор, реактор;
- комутаційна та захисна апаратура;
- пристрій гальмування двигуна (за необхідності механічний);
- контролер керування електроприводом, модулі інтелектуальної периферії, введення і виведення сигналів, мережеві засоби, термінали;
- пульти управління, джерела живлення.

Типова структурна схема комплектного ЕП показана на рисунку 9.1, де КЗА – комутаційно-захисна апаратура; ФНТ1 та ФНТ2 – силові модулі фільтрації напруги та обмеження струмів на вході й виході перетворювача; М – електродвигун (з датчиком швидкості або без нього). Модулі електричного перетворювача відповідають системі ЕП. Так, для частотно-регульованих ЕП змінного струму в електричному перетворювачі застосовуються модулі випрямляча та інвертора, а для ЕП постійного струму – модулі реверсивного або нереверсивного випрямляча.



Рисуюнок 9.1 – Типова структурна схема комплекту електропривода

- Комплектні ЕП мають виконання, які розрізняються:
- за струмом, напругою, потужністю електричного перетворювача;
 - за кількістю двигунів (однодвигуновий, багатодвигуновий);
 - за можливістю реверсу(нереверсивний, реверсивний);
 - за способом гальмування (динамічне, противмикання, з рекуперацією енергії в мережу або без неї);
 - за діапазоном регулювання швидкості;

– за видами регульованих координат або технологічних змінних (швидкість, положення, синхронізація швидкостей або положень, натяг штаби, тиск, подача тощо);

– за способом зв'язку із живильною мережею (трансформаторний, реакторний);

– за способом охолодження напівпровідникових елементів (натурне, примусове повітряне, водяне) та ін.

Зазначені ознаки відображаються в типі ЕП, який завод-виробник йому присвоює.

9.2. Комплектні електроприводи змінного струму

Розглянемо варіанти виконання частотно-регульованих ЕП, що випускаються провідними електротехнічними корпораціями.

Електроприводи Simovert Master Drives компанії Siemens виконуються на потужності 2,2 – 2 300 кВт 12-ти типорозмірів. Електричний перетворювач може бути виконаний у варіантах під'єднання до трифазової мережі змінного струму або до мережі постійного струму. В обох варіантах перетворювач частоти (ПЧ) містить 2 силові блоки: введення і виведення (рис. 9.2).

Силовий блок введення за варіантами його виконання здійснює:

– шестиімпульсне перетворення змінної напруги в постійну (одноквadrантний режим, рис. 9.2 а, б, в);

– шестиімпульсне перетворення змінної напруги в постійну і навпаки (чотириквadrантний режим, рис. 9.2 г) із використанням тиристорів;

– шестиімпульсне перетворення змінної напруги в постійну і навпаки (чотириквadrантний режим, рис. 9.2 д) із використанням транзисторів, шунтованих діодами.

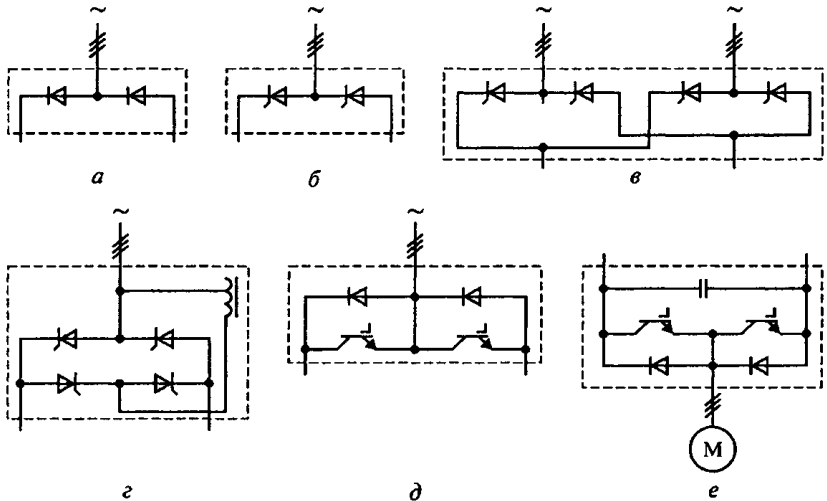


Рисунок 9.2 – Схеми силових блоків введення і виведення перетворювачів частоти

Дванадцятиімпульсне перетворення змінної напруги в постійну здійснюється двома трифазовими мостовими схемами, для живлення яких використовується триобмотковий трансформатор із двома вторинними обмотками, напруги на виході яких мають фазовий зсув 30 ел. град.

Силовим блоком виведення в обох варіантах (під'єднання до трифазової мережі змінного струму або до мережі постійного струму) є автономний інвертор напруги (рис. 9.2 *е*).

ПЧ містить також додаткові модулі комутаційної та захисної апаратури (КЗА), дроселі введення та виведення, фільтри електромагнітних завад, модуль гальмування (з внутрішнім або зовнішнім резистором).

Під час використання в блоці введення чотириквADRантного перетворення напруги (рис. 9.3 *а*) можлива рекуперація енергій у мережу змінного струму (в

режимах гальмування та реверсу). Якщо в блоці введення використовується одноквadrантний режим перетворення (рис. 9.3 б), то для гальмування двигуна в схемі ПЧ передбачається гальмовий модуль у вигляді транзисторного ключа і гальмового резистора із під'єднанням до полюсів кола постійної напруги на вході блока виведення.

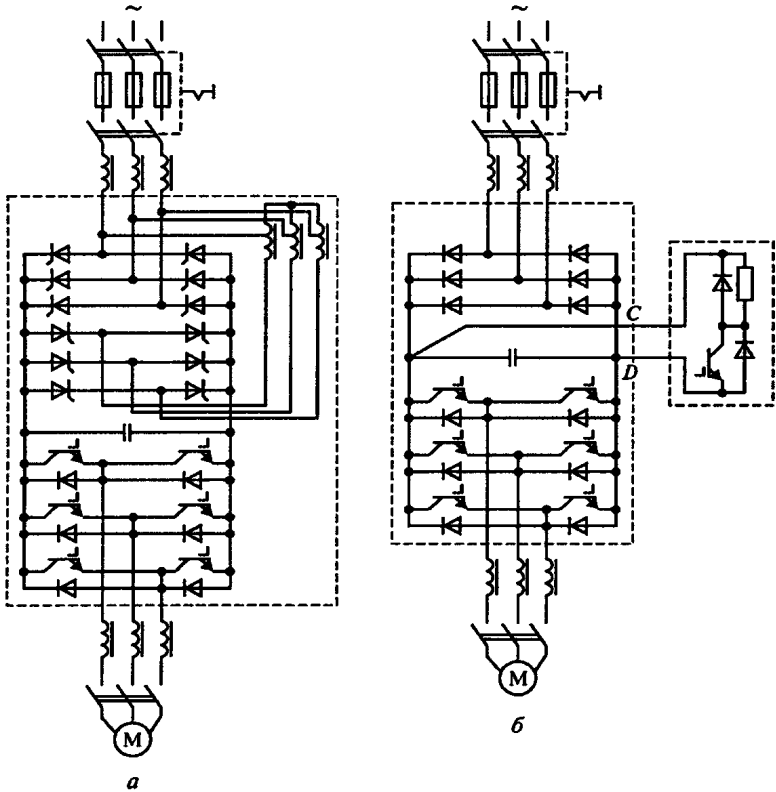


Рисунок 9.3 – Електрична частина електропривода змінного струму

В режимі гальмування відбувається гасіння кінетичної енергії привода через інвертор на тормозному резисторі. Аналогічно виконуються ПЧ фірм ABB, Mitsubishi Electric та ін.

Наведемо перелік модулів, що входять у базову конфігурацію комплектного ЕП.

Модуль діодного трифазового випрямляча. Використовується для перетворення змінної напруги в постійну в ЕП без рекуперації енергії в гальмових режимах. У базовій конфігурації використовуються шестиімпульсний діодний міст зі згладжувальним реактором і плата контролера привода для керування діодним мостом. Щоб запобігти надмірному зростанню середнього значення випрямленої напруги за групового гальмування, установлюється блок гальмових резисторів.

Вхідний модуль. Через нього підводиться живлення випрямляча трифазовим змінним струмом. Випрямляч може бути діодним або тиристорним. До складу модуля входять також головний вимикач, плавкі запобіжники та контактор.

Модулі приводів. Кожний інвертор має модуль управління приводом, що містить контролер привода і стандартну плату введення-виведення. В базовій конфігурації інвертор виконується на IGBT-транзисторах.

Допоміжний модуль управління. Він подає напругу на допоміжне обладнання (вентилятори шаф електрообладнання, модулі подачі живлення та управління, електровимірювальні прилади та апарати сигналізації). До допоміжного обладнання належать також трансформатор власних потреб, блок живлення 24 В постійного струму.

У межах концепції ACS 600 MultiDrive виробники комплектних ЕП використовують єдину систему управління багатодвигуновими ЕП із загальною шиною постійної напруги для живлення інверторів локальних ЕП.

Для управління великою кількістю ЕП використовуються додаткові контролери і спеціальні засоби програмного забезпечення (програмні пакети Alvalbuild for Windows, DriveLink, DriveWindow, DriveSupport).

У багатодвигунових ЕП з одним джерелом живлення застосовуються 1 вхідний силовий модуль (випрямляч) та кілька вихідних модулів (інверторів). Енергія гальмування одного з двигунів може передаватися по мережі постійної напруги іншим двигунам, що не гальмуються. В такому разі резистивний гальмовий модуль можна не застосовувати. Проте за групового гальмування локальних ЕП цей модуль необхідний. Схему багатодвигунового ЕП з груповим випрямлячем показано на рисунку 9.4, де ГВ – груповий випрямляч; I_1, \dots, I_n – інвертори; ГМ – гальмовий модуль; ПО – пульт оператора. Всі силові модулі працюють під управлінням контролерів приводів, а координацію роботи останніх здійснює технологічний контролер КТ.

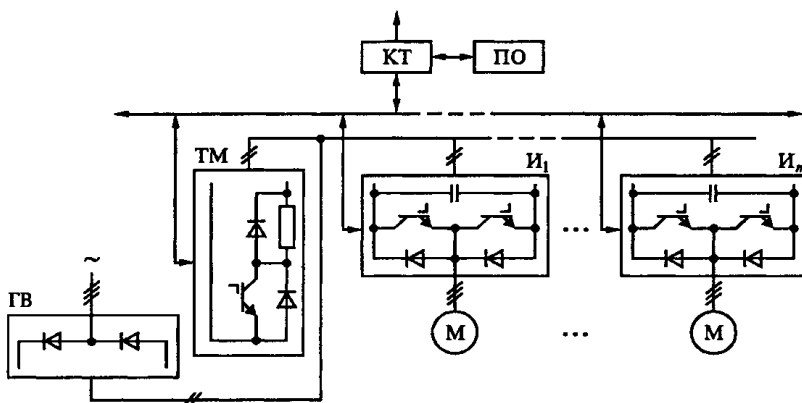


Рисунок 9.4 – Електрична схема силової частини багатодвигунового електропривода

9.3. Комплектні електроприводи постійного струму

Електроприводи постійного струму застосовують в основному в проєктах модернізації діючого технологічного обладнання. В базових галузях промисловості (металургійної, машинобудівної, целюлозно-паперової та ін.) діюче обладнання оснащено в основному регульованими приводами постійного струму із застарілими засобами управління в технологічних процесах із глибоким регулюванням швидкості.

Схеми силових блоків комплектних ЕП постійного струму впродовж тривалого часу змінюються мало. Істотних змін зазнають блоки управління, основою яких на цей час є програмовані контролери, а функції управління реалізуються за тими самими принципами, як в електроприводах змінного струму.

У склад комплектного ЕП постійного струму (рис. 9.5) в загальному випадку входять керовані випрямлячі для живлення кіл якоря та обмотки збудження (за двозонного керування швидкістю двигуна). Силові випрямлячі мають різні електричні схеми із 1, 2, або 4 керованих груп у вигляді тиристорних модулів.

Контролер оброблює інформацію, що надходить від датчиків, реалізує функції управління та діагностування. Вставки та фактичні параметри можуть бути в аналоговій та цифровій формах.

Шафа електроніки містить електронну апаратуру і додаткові плати. Зовнішні сигнали передаються на модулі введення/виведення по екранованих кабелях.

Пульт керування складається з блоку індикації стану та кнопок для введення команд. До складу електропривода входить також виносний пульт керування.

До ЕП через послідовний інтерфейс може бути під'єднаний персональний комп'ютер, який виконує такі функції: доступ до параметрів ЕП, їх запис і зберігання,

введення вставок, видача команд управління, читання сигналів аварійної сигналізації.

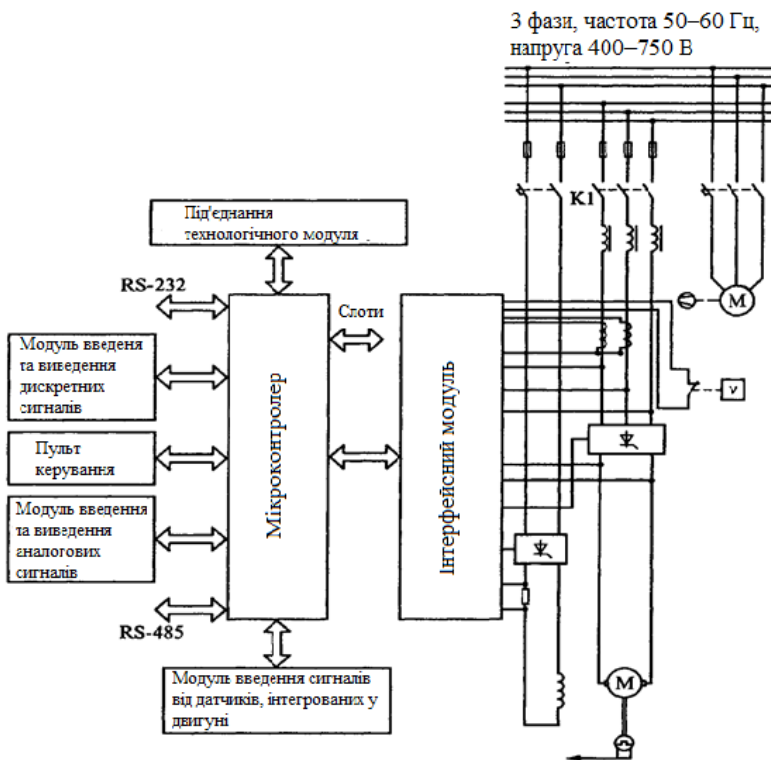


Рисунок 9.5 – Функціональна схема комплектного електропривода постійного струму

Датчики, інтегровані в двигуні, дозволяють контролювати його температуру, повітряний потік, що створює вентилятор на валу двигуна, стан підшипників.

Для розширення функцій можна під'єднати до системи управління інтелектуальні модулі управління технологічним процесом.

9.4. Засоби комп'ютерного управління комплектних електроприводів

Алгоритми керування в комплектних ЕП реалізуються на базі як вбудованих, так і зовнішніх модулів керування – програмованих контролерів, датчиків, каналів зв'язку. Модулі контролю та управління у складі комплектних ЕП подані базовими платами управління з вбудованим програмним забезпеченням. Плати управління містять певний набір дискретних і аналогових входів/виходів, інтерфейси для зв'язку з іншими приводами, датчиками та системою управління вищого рівня. Функції базової плати управління можна розширювати за рахунок установки додаткових карт зв'язку та керування і шляхом використання зовнішніх контролерів.

Функціональність базового програмного забезпечення визначається фірмою-виробником керованих перетворювачів певної серії. Наприклад, перетворювачі частоти Simovert VC використовуються, якщо потрібні високі точність і динаміка регулювання. Базова плата керування CUVС цього перетворювача дозволяє під'єднати до неї імпульсний датчик швидкості, 4 двоспрямованих входи/виходи, 3 цифрові входи, 2 аналогові входи і 2 аналогові виходи. Можлива установка шести додаткових плат розширення, зокрема технологічних T100, T300, T400 з модулями програмного забезпечення для вирішення конкретних задач управління технологічним процесом. Можливо написання програм із використанням 240 вільних функціональних блоків, таких як арифметичні (суматори, множники, дільники та ін.), логічні (елементи І, Не, Або, тригери, генератори синхроімпульсів та ін.), керувальні (фільтри, інвертори, обмежувальники тощо), загального призначення (перетворювання, діагностика, фіксація тощо).

За допомогою інтелектуальних модулів розширення вирішуються завдання регулювання технологічних змінних, управління кількома ЕП, положенням робочих органів машин, синхронізацією швидкостей тощо.

Передавання сигналів на нижніх і середніх рівнях автоматизації поміж контролерами, приводами, датчиками, засобами візуалізації та управління технологічним процесом здійснюється за стандартизованими мережевими протоколами.

Розглянемо реалізацію засобів управління в частотно-регульованих ЕП компанії Siemens. Залежно від схеми перетворювача частоти (ПЧ) і задач управління приводом базові модулі контролера спільно з периферійними пристроями можуть реалізовуватись за різними схемами. На рисунку 9.6 наведена схема одного із варіантів контролера з модулями периферії.

Через роз'єм Х300 під'єднується кабель дистанційного пульта управління одним або кількома приводами. Віддаленість пульта від контролера може досягати 300 м.

Частотне управління двигуном здійснюється двома способами:

– за U/f -характеристикою, потрібною за умов застосування ЕП (застосовується для електроприводів із невисокими вимогами до динаміки). Частіше всього застосовують найпростішу характеристику $U/f = U_{\text{ном}}/f_{\text{ном}}$, використанням якої забезпечується збереження перевантажної здатності двигуна (величини критичного моменту) під час зміни частоти f напруги U живлення обмотки статора;

– векторним (застосовується за середніх і високих вимог до динаміки).

Управління за U/f -характеристикою може застосовуватися для одного або кількох двигунів за різними

функціональними схемами. Найбільш простою є система управління без датчика швидкості (рис. 9.7). Таку систему широко застосовують у приводах насосів, вентиляторів, в засобах транспорту за діапазоном регулювання швидкості до 1:10.

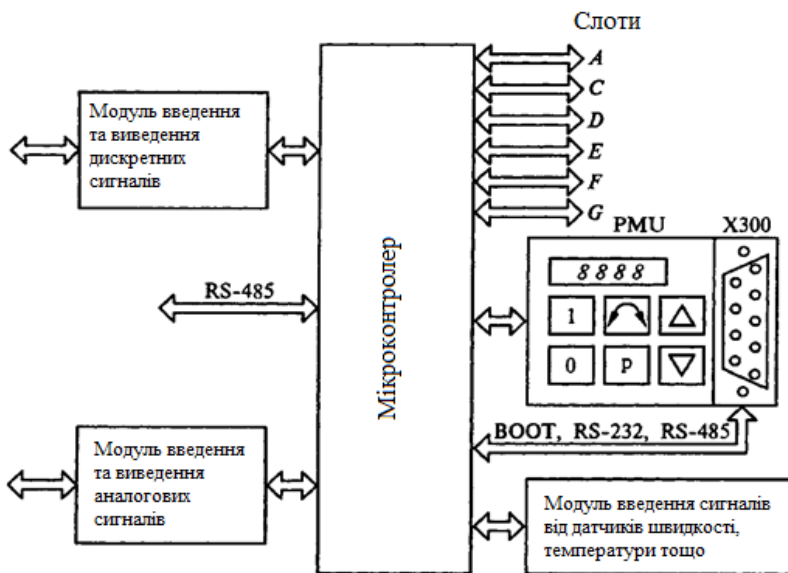


Рисунок 9.6 – Структурна схема контролера електропривода

Усі модулі функціональної схеми (рис. 9.7) реалізуються програмно в контролері привода. Постійність потокозчеплення статора відповідно із заданою U/f -характеристикою забезпечується за допомогою IR -компенсації та U_d -корекції. Підвищення жорсткості механічної характеристики ЕП досягається за допомогою модуля КС компенсації ковзання. Для високошвидкісних ЕП компенсація ковзання зазвичай не застосовується.

Передбачається обмеження струму статора його допустимим значенням I_{\max} та вибір U/f -характеристики, потрібної для управління механізмом з постійним або вентиляторним навантаженням. Застосований також захист від «перекидання» ЕП під час перевищення моментом його критичного значення.

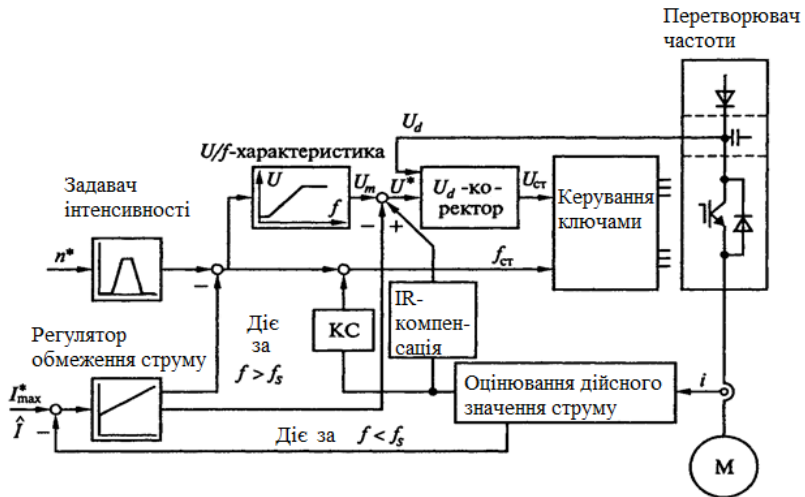


Рисунок 9.7 – Функціональна схема асинхронного електропривода без датчика швидкості, з управлінням за U/f -характеристики

В електроприводах механізмів із більш широким діапазоном регулювання швидкості, ніж 1:10, застосовуються системи з датчиками швидкості (рис. 9.8). Датчики швидкості можуть бути аналоговими або імпульсними.

Динамічні характеристики електроприводів змінного струму за векторного управління значно вищі, ніж під час управління за U/f -характеристикою. Вони аналогічні

характеристикам високоточних ЕП постійного струму. Варіант векторного управління електроприводом без датчика швидкості (рис. 9.9) застосовується у виробничих механізмах за діапазона регулювання швидкості до 1:10 (екструдери і вентилятори великої потужності, центрифуги, транспортні та підйомні механізми).

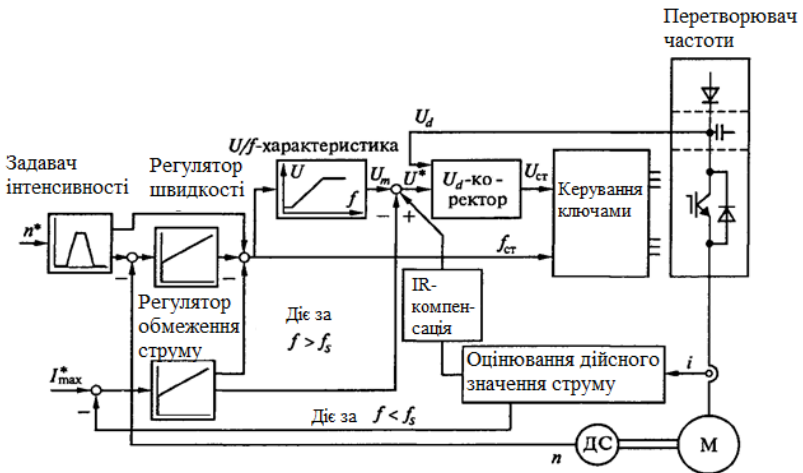


Рисунок 9.8 – Функціональна схема асинхронного електропривода з датчиком швидкості

За векторного управління двигуном без датчика швидкості передбачається можливість управління одно- і багатодвигуновими ЕП, взаємозв'язаними механічно через навантаження. Висока якість динамічних процесів досягається шляхом управління складовими I_μ та I_ω вектора струму статора, перша з яких пропорційна потокозчепленню ψ , а друга – електромагнітному моменту M двигуна. Величини I_μ та I_ω оцінюються за динамічною моделлю двигуна. Передбачено також обмеження моменту та темпу його зміни (ривка) допустимими значеннями.

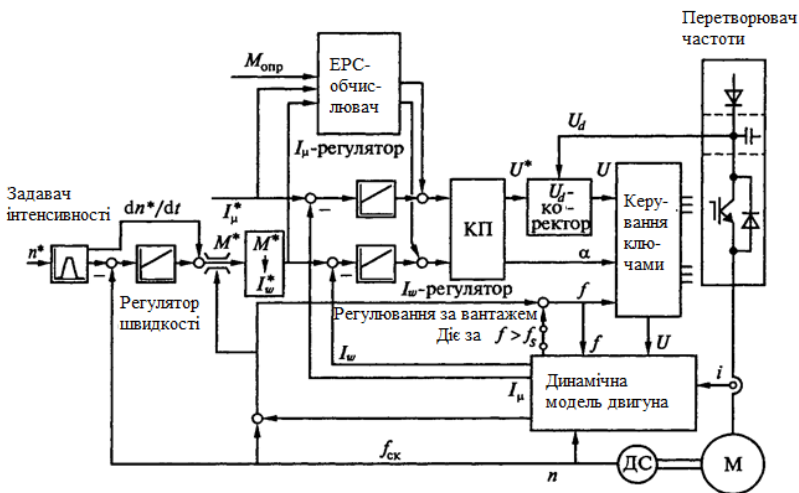


Рисунок 9.10 – Функціональна схема системи векторного управління асинхронним електроприводом із датчиком швидкості

На рисунку 9.11 показані апаратні засоби модуля Т300.

Функції управління, які потрібно виконувати в технологічних системах, програмуються в технологічному модулі у вигляді стандартних програм. За допомогою графічної мови програмування (наприклад, STRUC) користувач може реалізувати спеціальні рішення технологічних завдань. Інформація оброблюється процесором циклічно. Тривалість циклу не менше ніж 1 мс. Паралельний інтерфейс швидкодіючий, дозволяє здійснювати швидкий обмін даними між модулем Т300 і базовим модулем контролера привода. Аналогічні модулі розширення пропонують усі інші виробники комплектних ЕП.

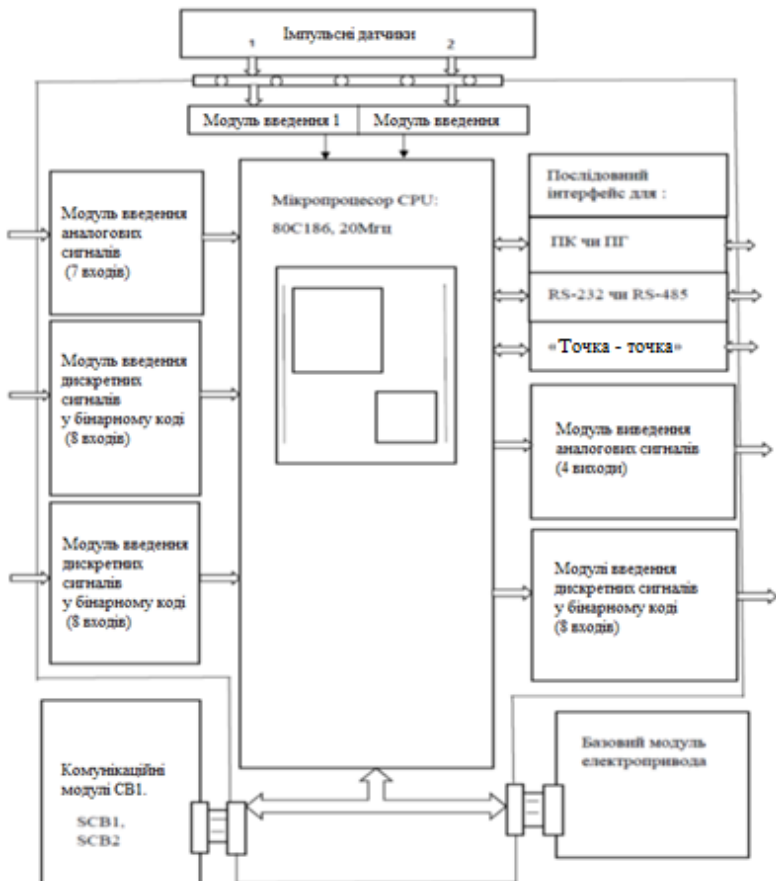


Рисунок 9.11 – Апаратні засоби технологічного модуля T300

Модель двигуна є важливішим елементом системи. Ідентичність параметрів двигуна і моделі встановлюється в ідентифікаційному режимі роботи ЕП під час введення його в експлуатацію. Основними параметрами, що ідентифікуються в цьому режимі, є індуктивність фази статора і контура намагнічування, активний опір фази

статора. Враховується також нагрівання машини і падіння напруги в автономному інверторі напруги під час визначення магнітного потоку статора.

9.5. Мережеві засоби управління електроприводами

Контролери комплектних електроприводів (ЕП) містять серійні інтерфейси для зв'язку із засобами управління і контролю. Інтерфейси зв'язку поділяються на інтерфейси базового модуля контролера привода та комунікаційні (рис. 9.12).

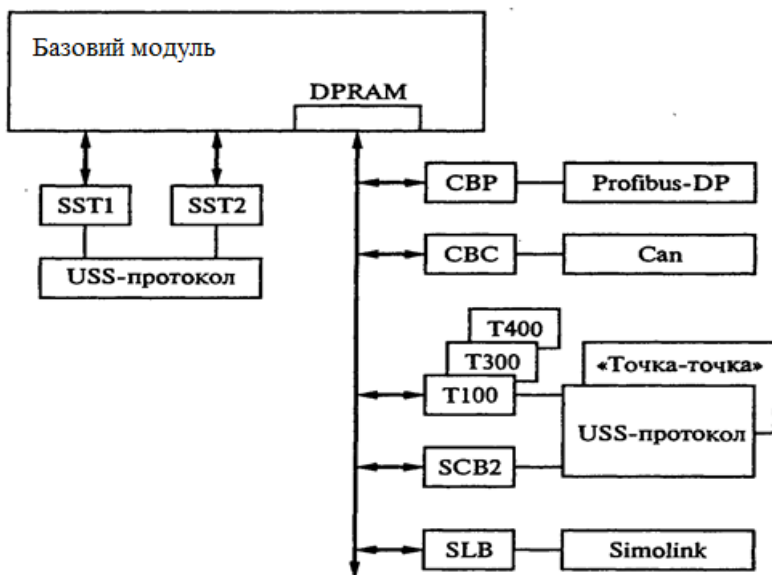


Рисунок 9.12 – Інтерфейси контролера привода

Як інтерфейси SST1 і SST2 базового модуля використовуються стандартні інтерфейси зв'язку RS-232C та RS-485, які призначені для зв'язку з пультом управління

приводом та з пультом дистанційного управління. Обидва інтерфейси базового модуля працюють за USS-протоколом, що дозволяє забезпечити зв'язок із 31 зовнішнім пристроєм.

Набір комунікаційних модулів забезпечує зв'язок контролера з мережами технологічного рівня управління. Зв'язок із мережею Profibus здійснюється через модуль CBP (Communication Board Profibus), а з мережею Can – через модуль CBC (Communication Board Can). Модулі SLB (Simolink Board) та SCB2 (Serial Communication Board) забезпечують зв'язок з іншими приводами за протоколами USS, Simolink, Peet-to-peet (точка-точка). Всі комунікаційні модулі під'єднуються в електронному блоці до слотів А, С, D, Е, F, G базового модуля контролера.

USS-протокол – це спеціальний протокол компанії Siemens, базою якого є інтерфейс RS-485. Він забезпечує зв'язок одного ведучого пристрою (наприклад, технологічного контролера) з 31 веденими пристроями. Комплектні ЕП у таких системах є веденими пристроями (рис. 9.13).

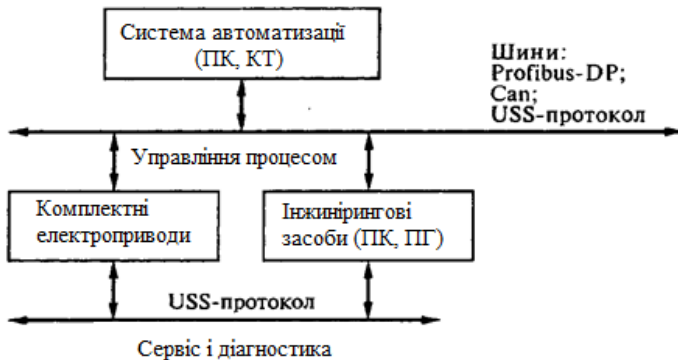


Рисунок 9.13 – Зв'язок комплектних ЕП із засобами автоматизації розподіленої системи управління технологічним процесом

Використовуючи описані мережеві засоби, можна забезпечувати управління приводами в різних варіантах під'єднання. На рисунку 9.14 показані варіанти вмикання приводів за схемами послідовного (рис. 9.14 а), паралельного «точка-точка» (рис. 9.14 б) та шинного під'єднання (за USS-протоколом) під час управління від провідного пристрою (рис. 9.14 в).

Розглянута розподілена система управління групою електроприводів є універсальною. Такі системи випускаються багатьма електротехнічними корпораціями. Випускаються і спеціалізовані комп'ютерні системи для застосування в групах ЕП великих технологічних комплексів. Прикладом може бути система PPS200 фірми АВВ (рис. 9.15), розроблена для комплексів неперервно-потоккових виробництв (целюлозно-паперового, прокатного тощо).

Система PPS200 містить електродвигуни, керовані перетворювачі, контролери 1 локальних приводів, контролери 2 управління групами приводів, панелі 8 оператора і магістралі панелей, плати 9 місцевого та дистанційного введення-виведення, швидкодіючу послідовну магістраль 7 і контролер 3 магістралі, персональний (промисловий) комп'ютер 6. Для під'єднання до розподіленої системи 4 управління технологічним процесом використовується перетворювач 5 зв'язку двох мереж. Між собою технологічні контролери зв'язані через магістраль.

Система постачається комплектно з програмним забезпеченням, адаптованим до конкретного технологічного комплексу. Один технологічний контролер може управляти 8 приводами за волоконно-оптичною лінією зв'язку. Передбачається можливість під'єднання до магістралі до 80 активних абонентів (контролерів, станцій оператора, персональних комп'ютерів), зв'язок між якими

здійснює контролер 3 магістралі. Продуктивність системи може збільшуватися шляхом додаткових контролерів. Система гнучко пристосовується до кількості приводів різних типів.

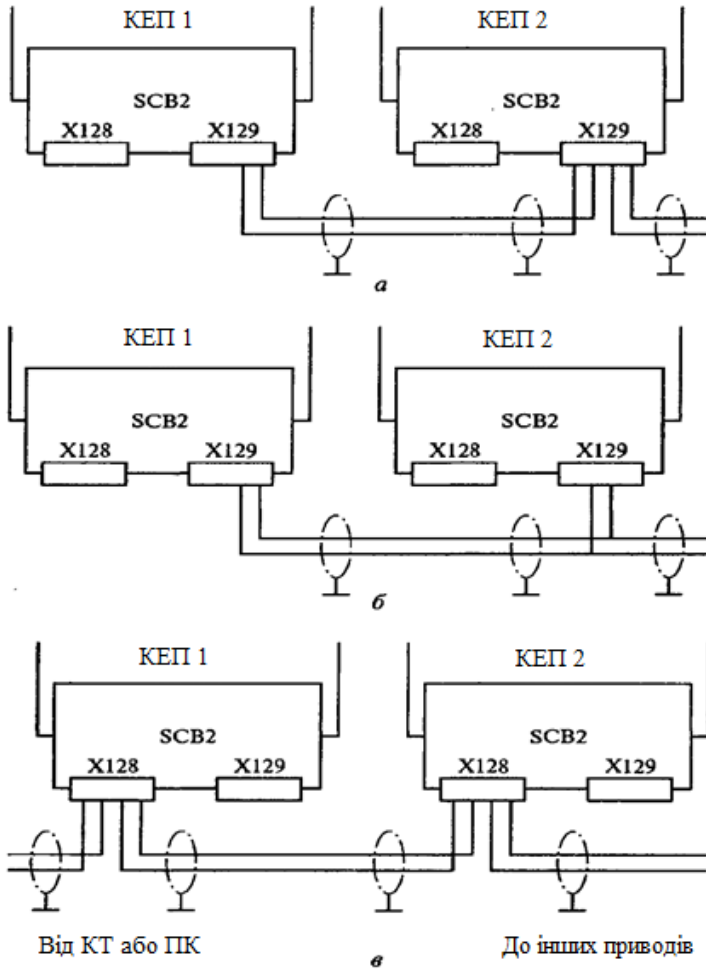


Рисунок 9.14 – Схеми вмикання комплектних електроприводів у комп'ютерну мережу

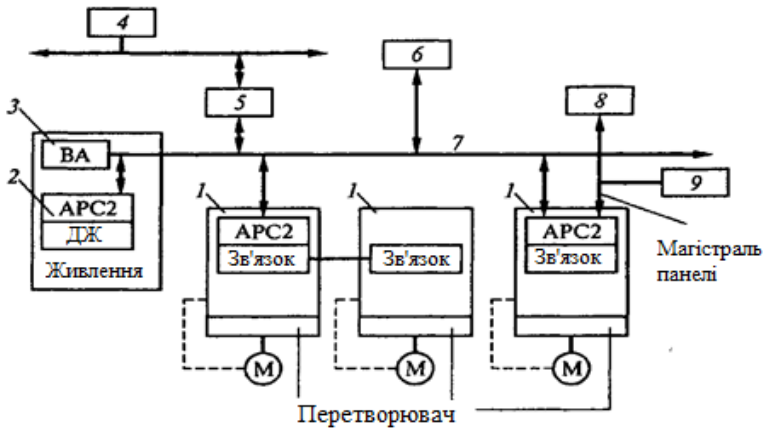


Рисунок 9.15 – Спеціалізована комп'ютерна система PPS200 фірми АВВ

Питання для самоперевірки

1. Назвіть причини переважного застосування ЕП змінного струму в нових розробках систем автоматизації.
2. Перелічіть основні складові елементної бази типового комплектного ЕП.
3. Які силові модулі містить ПЧ?
4. Які силові модулі містить електричний перетворювач у комплектному ЕП постійного струму?
5. Накресліть типову структурну схему комплектного ЕП, поясніть склад його структурних блоків та їх функціональне призначення.
6. За якими чинниками розрізняються комплектні ЕП?
7. Які функції може виконувати блок введення перетворювача частоти?
8. За якого виконання ПЧ можлива рекуперація енергій у мережу змінного струму в режимах гальмування та реверсу?

9. За якого виконання ПЧ для гальмування двигуна передбачається гальмовий модуль у вигляді транзисторного ключа і гальмового резистора?

10. Поясніть призначення вхідного модуля перетворювача частоти.

11. Назвіть основні складові модуля управління ЕП у складі локального інвертора багатодвигунового ЕП.

12. Накресліть електричну схему групового живлення локальних ЕП у системі багатодвигунового ЕП. В якому разі потрібний гальмовий модуль?

13. Якими обставинами викликається необхідність модернізації електроприводів постійного струму?

14. Взявши за основу типову структурну схему комплектного ЕП, накресліть структурну схему ЕП змінного струму з частотним управлінням.

15. Взявши за основу типову структурну схему комплектного ЕП, накресліть структурну схему ЕП постійного струму на базі двигуна з незалежним збудженням і двозонним регулюванням швидкості.

16. Дайте пояснення модульної структури контролера привода.

17. Які завдання вирішує базовий модуль контролера привода?

18. Назвіть 2 способи частотного управління асинхронним двигуном.

19. За яких умов доцільно застосовувати асинхронний ЕП з датчиком швидкості?

20. У чому полягають переваги векторного управління асинхронним двигуном порівняно з управлінням за U/f -характеристикою?

21. Перелічіть функціональні можливості модулів розширення контролера привода.

22. Функціональні можливості базового модуля контролера в комплектних електроприводах компанії

Siemens розширюються під'єднанням інтелектуальних технологічних модулів T100, T200, T300. Які саме завдання вирішуються за допомогою цих модулів?

23. Назвіть 2 види серійних інтерфейсів зв'язку в програмному забезпеченні контролера комплектного електропривода.

24. Які функції покладаються на базовий модуль інтерфейса зв'язку контролера комплектного електропривода?

25. Які функції покладаються на модулі комунікаційного інтерфейсу зв'язку контролера комплектного електропривода?

26. Назвіть варіанти вмикання контролерів комплектних електроприводів у мережеву систему управління.

27. Накресліть функціональну схему контролера привода з його базовим і комунікаційними інтерфейсами, поясніть склад її елементів.

28. Накресліть схему зв'язків комплектних ЕП із засобами автоматизації в розподіленій системі управління технологічним процесом, поясніть її структурні складові.

29. Накресліть схему послідовного вмикання двох комплектних електроприводів у комп'ютерну систему управління групою електроприводів.

30. Накресліть схему паралельного вмикання двох комплектних електроприводів у комп'ютерну систему управління групою електроприводів.

31. Накресліть схему шинного вмикання двох комплектних електроприводів у комп'ютерну систему управління групою електроприводів.

32. Накресліть схему розподіленої системи управління групою електроприводів для застосування у великих технологічних комплексах.

МОДУЛЬ 3

УПРАВЛІННЯ РУХОМ МЕХАНІЗМІВ ЗАСОБАМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Тема 10. Виробничий механізм як складова автоматизованої електромеханічної системи

10.1. Загальна характеристика технологічних об'єктів

Головною складовою АЕМС є технологічний об'єкт управління в її складі. Під такою назвою розуміємо механічну частину електропривода робочого органу виробничого механізму (ВМ) в сукупності з регламентом технологічного процесу, що здійснюється цим механізмом. Умови роботи ВМ та його властивості зазначають властивості АЕМС у цілому.

Будь-який ВМ, незалежно від призначення і виконуваних функцій, має характеристики, якими в основному зазначаються вимоги до АЕМС:

- 1) загальне призначення, яке відображає належність ВМ до певного класу робочих машин;
- 2) перелік основних виробничих функцій;
- 3) атрибути ВМ як об'єкта управління:
 - кількість керованих змінних (координат стану) і характер зв'язку між ними;
 - одно- або багатомасовий об'єкт;
 - наявність пружних зв'язків між окремими частинами об'єкта;
 - наявність люфтів у кінематичному ланцюзі механічної частини об'єкта;
 - наявність нелінійностей тощо;
- 4) режими роботи і характер змінення зовнішніх збурень (тривалий, короткочасний, повторно-

короткочасний режим, постійне або мінливе навантаження, випадковий характер навантаження та інші умови роботи);

5) вимоги ВМ до характеру змінювання керованих змінних: стабілізація на заданому рівні, забезпечення потрібного закону змінення в часі, спостереження за рухом іншого об'єкта;

б) технологічні вимоги до якості роботи об'єкта: допустимі відхилення керованих змінних від заданих значень у статиці й динаміці, характер і тривалість перехідних процесів, забезпечення вигідних (оптимальних) режимів роботи об'єкта та ін.

Технологічні вимоги, що стосуються якісних показників і функціонального призначення з урахуванням характеру збурень та інших особливостей ВМ, зазначають вибір:

1) класу системи управління (звичайна або кібернетична);

2) принципу управління (за відхиленням або збуренням);

3) функціональної та структурної схем (розімкнена або зімкнена, комбінованого керування, з постійною або змінною структурою та ін.);

4) виду керованого електропривода (постійного або змінного струму);

5) способу керування швидкістю;

б) елементної бази та ін.

Із точки зору математичного опису ВМ можна класифікувати так:

– безінерційні та інерційні;

– одно- і багатомасові;

– лінійні та нелінійні;

– одно- і багатовимірні;

– за характером збурень (детерміновані та стохастичні);

– за особливостями кінематичної схеми (характеру зв'язків між масами, наявністю люфтів тощо).

Особливості виробничого механізму відображаються в структурній схемі системи управління.

10.2. Коефіцієнт самовирівнювання та його вплив на динамічні характеристики об'єкта управління

Механічну частину АЕМС як об'єкта управління подамо однією інерційною ланкою. Рівняння динаміки такої ланки, тобто основне рівняння руху електропривода (ЕП) має вигляд

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c . \quad (10.1)$$

Вихідною координатою ЕП є швидкість ω обертання двигуна, а інерційні властивості механічної частини ЕП характеризуються приведеним до швидкості ω сумарним моментом інерції J всіх рухомих мас. Рушійний момент (електромагнітний момент M двигуна) зазвичай є функцією двох величин – швидкості ω та деякої електричної величини x , що залежить від способу управління двигуном (для асинхронного двигуна – це напруга в ланцюзі статора, частота, а для двигуна постійного струму – напруга в ланцюзі якоря, струм збудження та ін.). У загальному випадку

$$M = M(\omega, x). \quad (10.2)$$

Рівняння (10.2) – це рівняння механічної характеристики двигуна при $x = const$.

Момент опору M_c зазвичай має складову $M'_c(\omega)$, яка залежить від швидкості, та складову, що не залежить від

швидкості, $M_c'' = const$. З урахуванням цієї обставини перепишемо рівняння (10.1) у вигляді

$$J \frac{d\omega}{dt} = M(\omega, x) - M_c'(\omega) - M_c''. \quad (10.3)$$

Залежності $M(\omega, x)$ та $M_c(\omega)$ задаються аналітично або графічно. Розглянемо загальний випадок нелінійного характеру цих залежностей. Здійснено лінеаризацію функцій $M(\omega, x)$ і $M_c(\omega)$ навколо деякої точки ($\omega = \omega_0$, $x = x_0$) на підставі їх розвинення в ряд Тейлора:

$$M = M_0 + \left(\frac{\partial M}{\partial \omega} \right)_{\substack{\omega=\omega_0 \\ x=x_0}} \cdot \Delta\omega + \left(\frac{\partial M}{\partial x} \right)_{\substack{\omega=\omega_0 \\ x=x_0}} \cdot \Delta x + N,$$

$$M_c = M_{C0} + \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} \right)_{\omega=\omega_0} \cdot \Delta\omega + C,$$

де M_0, M_{C0} – початкові значення моментів M і M_c (при $\omega = \omega_0$ і $x = x_0$);

N і C – нелінійні складові ряду Тейлора.

Нехтуючи складовими N і C , підставимо вирази моментів M і M_c в (10.3):

$$J \frac{d(\omega_0 + \Delta\omega)}{dt} = M_0 + \frac{\partial M}{\partial \omega} \Delta\omega + \frac{\partial M}{\partial x} \Delta x - M_{C0} - \frac{\partial M_c}{\partial \omega} \Delta\omega - M_c''.$$

Врахуємо, що $M_0 = M_{C0}$, і будемо вважати, що у вихідному стані був усталений режим роботи об'єкта ($\omega = \omega_0 = const$). Тоді будемо мати:

$$J \frac{\partial \Delta\omega}{\partial t} = \frac{\partial M}{\partial x} \Delta x - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M}{\partial \omega} \right) \Delta\omega.$$

Вважаючи вхідною величиною Δx , а вихідною $\Delta\omega$, одержимо:

$$J \frac{\partial \Delta\omega}{\partial t} + \left(\frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M}{\partial \omega} \right) \Delta\omega = \frac{\partial M}{\partial x} \Delta x.$$

Розділивши ліву і праву частини цього рівняння на $\frac{\partial M}{\partial x}$, одержимо рівняння

$$(T_0 p + k_c) \Delta\omega = \Delta x, \quad (10.4)$$

де

$$T_0 = \frac{J}{\partial M / \partial x}; \quad k_c = \frac{\frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M}{\partial \omega}}{\frac{\partial M}{\partial x}} = \frac{(\beta_c - \beta_\partial)}{\frac{\partial M}{\partial x}}, \quad (10.5)$$

β_c і β_∂ – динамічні жорсткості механічних характеристик навантаження і двигуна;

k_c – коефіцієнт самовирівнювання.

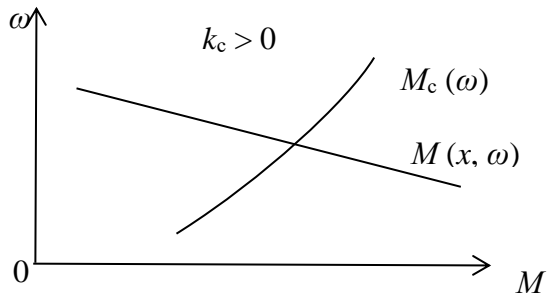
Передатна функція об'єкта

$$W_0(p) = \frac{1}{T_0 p + k_c}. \quad (10.6)$$

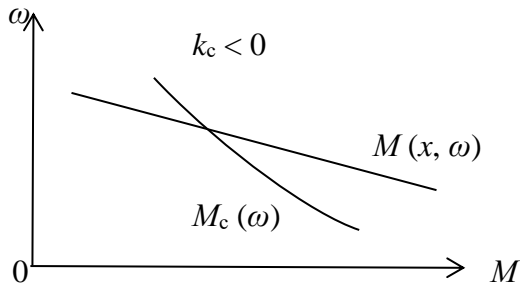
Проаналізуємо вираз коефіцієнта самовирівнювання. Знаменник виразу (10.5) $\frac{\partial M}{\partial x} > 0$, тому що $T_0 > 0$.

Якщо $\frac{\partial M_c}{\partial \omega} > 0$ і $\frac{\partial M}{\partial \omega} < \frac{\partial M_c}{\partial \omega}$, тобто $\beta_c > \beta_\partial$, то $k_c > 0$ (M_c збільшується під час зростання ω , момент M зменшується або збільшується повільніше, ніж M_c , а частіше всього $\frac{\partial M}{\partial \omega} < 0$). Механічні характеристики двигуна і навантаження у цьому разі показані на рисунку 10.1 а.

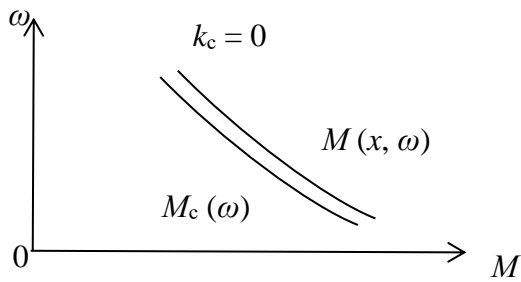
Якщо під час зростання швидкості M_c і M зменшуються, причому M зменшується повільніше, ніж M_c , то $k_c < 0$ (рис. 10.1 б).



a)



б)



в)

Рисунок 10.1 – Сполучення законів змінення моментів M і M_c за різних знаків коефіцієнта самовирівнювання

Якщо M_c і M під час зростання швидкості змінюються з однаковою швидкістю, то $k_c = 0$ (рис. 10.1 в).

Перехідні процеси є загасаючими лише при $k_c > 0$. Розглянутим варіантам на практиці відповідають робочі машини, оснащені електричними приводами, тобто конкретні електромеханічні системи. Електродвигуни забезпечують стійку роботу об'єкта без регулятора, якщо $k_c > 0$. Цю обставину необхідно враховувати під час реалізації нерегульованого електропривода.

ВМ при $k_c \leq 0$ практично непрецедатний, якщо він не оснащений системою автоматичного управління (САУ). Для забезпечення працездатності технологічної машини необхідно використати регулятор моменту, тобто створити САУ з від'ємним зворотним зв'язком. Завдяки цьому об'єкт як інерційна ланка перетворюється в стійку аперіодичну ланку 1-го порядку.

10.3. Розрахунок та побудова тахограм руху механізмів

Розглянемо це питання на прикладі підйомної установки. Підйомні установки (ПУ) призначені для транспортування людей і вантажів у вертикальному (частіше всього) напрямку. Ліфтові ПУ діляться на пасажирські, вантажні, спеціальні (наприклад, лікарняні) та ін. Шахтні ПУ застосовуються на гірничих підприємствах – шахтах і копальнях і діляться на вантажні, пасажирські та вантажопасажирські. Крім вертикальних, бувають також схильні шахтні ПУ. Допоміжні ПУ застосовуються на будівельних роботах, їхній життєвий цикл обумовлений циклом будівництва.

Для розроблення АЕМС задають призначення і тип ПУ, її основні параметри (висота підйому H ,

вантажопідйомність Q), додаткові умови (режими роботи, розміщення тощо).

Тахограма ПУ – це графік руху, тобто залежність швидкості руху V підйомної посудини (кліті, кабіни, скіпу тощо) від шляху x або часу t . Бувають три-, п'яти-, семиперіодні тахограми. Обмежимося розглядом триперіодної тахограми.

Залежність швидкості від часу виконання операції підйому подано у вигляді тахограми на рисунку 10.2, де t_p – час роботи на підйом; $t_{рп} = t_p + t_0$ – час роботи на підйом і паузи (для розвантаження).

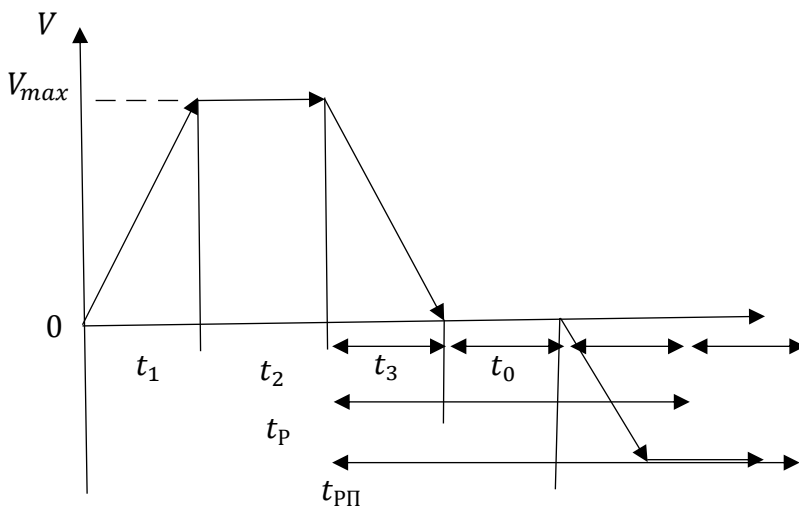


Рисунок 10.2 – Триперіодна тахограма руху підйомної установки

Графік залежності швидкості від шляху під час виконання операції підйому подано на рисунку 10.3.

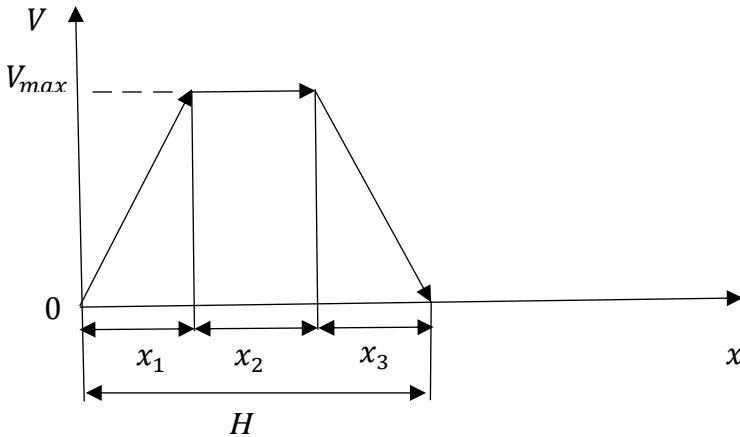


Рисунок 10.3 – Триперіодна тахограма руху підйомної установки

Розглянемо процедуру розрахунку тахограми руху ПУ на підставі технологічних вимог. За заданої часової продуктивності A та вантажопідйомності Q кількість циклів підйому за 1 годину роботи, 1/год

$$K_{\Pi} = \frac{A}{Q}$$

Середня тривалість циклу роботи ПУ, с

$$T_{\Pi} = \frac{3600}{K_{\Pi}}$$

Тривалість роботи ПУ під час підйому посудини, с

$$T_{\text{РП}} = \frac{T_{\Pi}}{2}$$

а час руху під час підйому, с

$$T_D = T_{PP} - t_0.$$

Середня швидкість

$$V_{\text{сер}} = \frac{H}{T_D}.$$

Максимальна швидкість

$$V_{\text{max}} = V_{\text{сер}} * \alpha,$$

де α – коефіцієнт нерівномірності руху (для ліфтових ПУ береться $\alpha \leq 2$, $\alpha_{\text{сер}} \approx 1,5$; для шахтних ПУ за умов безпеки $\alpha \leq 0,8\sqrt{H}$).

Тривалість періодів розгону і гальмування за однакового прискорення:

$$t_1 = t_3 = \frac{V_{\text{max}}}{a},$$

де a , м/с² – прискорення (нормується для різних типів ПУ).

Шлях переміщення посудини за час розгону і гальмування

$$x_1 + x_3 = 2 \frac{V_{\text{max}}}{2} * t_1 = V_{\text{max}} * t_1.$$

Шлях переміщення посудини в усталеному режимі:

$$x_2 = H - x_1 - x_3 = H - V_{\text{max}} * t_1.$$

Тривалість переміщення посудини з максимальною швидкістю

$$t_2 = \frac{x_2}{V_{max}}$$

Для звичайних пасажирських ліфтів нормоване прискорення $a \leq 2^M/c^2$, для вантажних шахтних ПУ $a \leq 1,1 - 1,2^M/c^2$, для аварійних режимів ліфтів – $a_{max} \leq 3^M/c^2$

Час паузи t_0 визначається типом ПУ і ємністю Q посудини. Наприклад, для скипових шахтних ПУ з посудинами ємністю $Q < 6$ т, $t_0 = 3 - 8$ с, починаючи з $Q > 6$ т, $t_0 = 6 - 10$ с; для одноповерхових клітей шахтних ПУ $t_0 = 12$ с; для ліфтових ПУ з автоматичним відкриванням – закриванням дверей кабіни $t_0 = 6 - 8$ с.

Так само будують тахограми для інших механізмів, що працюють у циклічних режимах.

10.4. Побудова навантажних діаграм електроприводів

Для всіх ділянок тахограми роботи ВМ у функції часу розраховують значення зусиль або моментів, які повинен забезпечити електропривод. Основою для розв'язання цієї задачі є кінематична схема ВМ (рис. 10.4).

Для ліфтових ПУ з $H < 50$ м зазвичай застосовують схему статично незрівноваженої установки, яка не має зрівноважувального (хвостового) канату ЗК. На рисунку 10.4 ВШ – провідний шків (барaban); НШ – напрямний шків. Часткове зрівноваження ваги кабіни і вантажу $G_0 + G_b$ виконують за допомогою противаги $G_{пр}$.

Якщо $H > 50$ м, то використовують зрівноважувальний канат ЗК і напрямний шків НШ. Для

шахтних ПУ хвостовий канат застосовують за значно більших висотах підйому. В шахтних ПУ функції протизаги виконує друга підйомна посудина. Тому такі ПУ працюють більш інтенсивно, піднімаючи вантажі по чергово в цих посудинах.

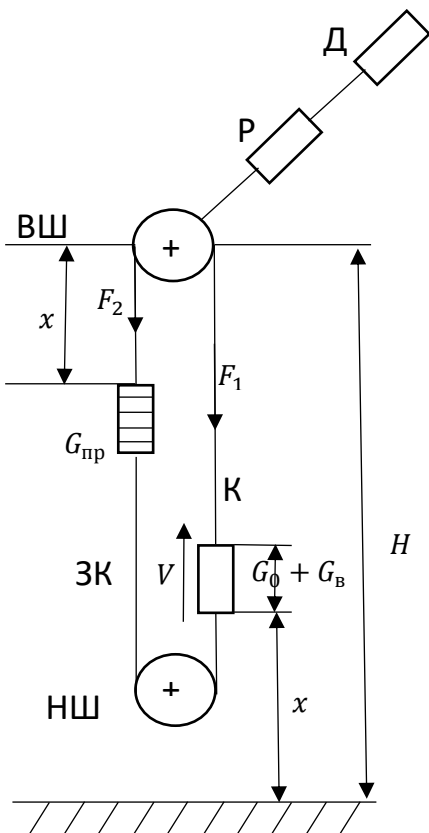


Рисунок 10.4 – Кінематична схема підйомної установки

Характерними режимами роботи ПУ є «підйом» і «спуск» посудини. Вибір двигуна за потужністю здійснюється за найважчим режимом його роботи. Найбільших зусиль потребує режим «підйом вантажу». Розглянемо цей режим для статично незрівноваженої ліфтової ПУ.

Зовнішнє збурення для ліфтової ПУ (рис. 10.4) зазначається величиною сумарної ваги кабіни та вантажу, постійної в циклі підйому, та змінної величини – ваги незрівноваженої частини канату.

На підставі вихідної кінематичної схеми (рис. 10.4) складається розрахункова кінематична схема (рис. 10.5), параметри якої приведені до швидкості V поступального руху посудини з вантажем.

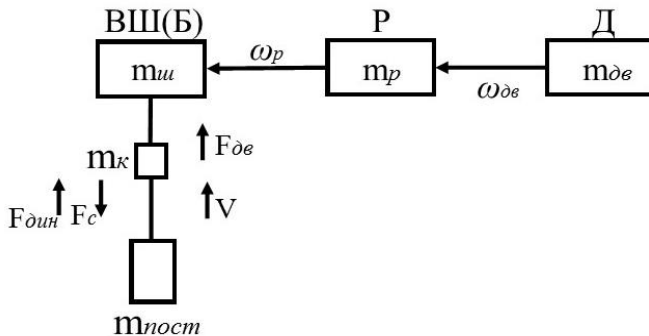


Рисунок 10.5 – Розрахункова кінематична схема ліфтової ПУ

Рівняння динаміки ПУ можна записати так:

$$F_{\text{дин}} = F_{\text{дв}} - F_c ,$$

де $F_{\text{дин}}$ – динамічне зусилля,

F_c – статичне зусилля,

$F_{\text{дв}}$ – зусилля, що передається двигуном.

Статичне зусилля в режимі «підйом посудини»

$$F_c = F_1 - F_2 ,$$

де $F_1 = G_0 + G_b + g_k(H - X)$,

$$F_2 = G_{\text{пр}} - g_k x ,$$

g_k – вага погонного метра каната.

Таким чином, статичне зусилля

$$F_c = G_0 + G_{\text{гр}} - G_{\text{пр}} + g_k(H - 2X) = f(G_{\text{гр}}, x),$$

а динамічне зусилля

$$F_{\text{дин}} = m_{\Sigma} a,$$

де m_{Σ} – сумарна приведена маса всіх рухомих частин ПУ;

a – прискорення, $\text{м}/\text{с}^2$.

Складові маси m_{Σ} : $m_{\text{дв}}$ – маса ротора двигуна; $m_{\text{р}}$ – маса редуктора; $m_{\text{ш}}$ – маса провідного шківа (барабана); $m_{\text{пост}}$ – сумарна маса елементів, що рухаються поступально.

На підставі одержаних рівнянь розраховують діаграму рушійних зусиль $F_{\text{дв}} = F_c + F_{\text{дин}}$ на всіх ділянках тахограми $V(x)$, загальний вигляд якої показано на рисунку 10.6.

Навантажна діаграма $F_{\text{дв}}(t)$ може бути перетворена в діаграму $M(t) = F_{\text{дв}}\rho$, а тахограма $V(t)$ – в тахограму $\omega(t) = V/\rho$, де ρ – радіус приведення швидкості обертального руху двигуна до швидкості поступального руху кабіни ліфта. Навантажна діаграма механізму $F_c(t)$ або статичного моменту двигуна $M_c(t)$ є основою для

попереднього вибору двигуна, а діаграма $M(t)$ використовується під час перевірки двигуна з перевантажній спроможності, допустимості теплового режиму та фізичної реалізованості пуску.

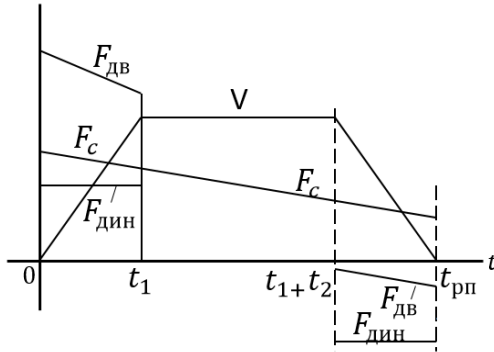


Рисунок 10.6 – Тахограма та навантажні діаграми роботи ліфтової ПУ

На основі побудованих тахограми та навантажної діаграми електродвигуна вирішуються основні завдання розроблення АЕМС:

- визначення режимів роботи двигуна і функцій системи автоматизації ТО на кожній ділянці тахограми;
- вибір технічних засобів, розроблення схемних рішень і методів управління.

Вирішення цих завдань безпосередньо впливає на вибір функціональної, структурної та принципів схеми автоматизації ВМ.

Після вирішення питань технологічного характеру, що стосуються особливостей об'єкта управління та його вимог до АЕМС, на підставі аналізу відомих технічних рішень (функціональної схеми, принципів побудови АЕМС, апаратури та особливостей функціонування) можна перейти

до синтезу АЕМС (розроблення структурної схеми, складання математичної моделі, розрахунку параметрів елементів і вузлів системи, дослідженню її статичних і динамічних властивостей).

Розроблення систем управління конкретних об'єктів потребує також оцінювання їх техніко-економічних показників (надійності, вартості, енергоефективності тощо).

10.5. Режими роботи електроприводів і технологічного обладнання

Будь-який технологічний процес, пов'язаний з обробленням матеріалів або виробів, намагаються зробити неперервним, мотивуючи це економічною доцільністю. Прикладами неперервних технологічних комплексів є паперо- і картоновиробні машини, неперервні стани холодної прокатки, конвеєрні лінії багатьох виробництв тощо.

Поряд із цим багато технологічних агрегатів та їх механізмів працюють у циклічному режимі зі зміною швидкостей і навантажень. В їх роботі можуть бути перерви. Такі агрегати і механізми називаються агрегатами і механізмами циклічної дії. До них належать різні підйомно-транспортні машини (мостові та козлові крани, екскаватори, металообробні верстати, промислові маніпулятори та ін.) Виділяються механізми умовно циклічного режиму роботи, що працюють зі змінними параметрами (прискорення, швидкості, часу) від циклу до циклу. Існують і механізми короткочасного режиму роботи, що виконують зазвичай допоміжні функції.

Режими роботи механізмів враховуються під час вибору двигунів і систем керування автоматизованих електроприводів із точки зору здатності реалізації заданих

технологічних функцій і відповідності номінальним режимам роботи електродвигунів.

Під номінальним режимом роботи електродвигуна розуміємо режим, який був передбачений для нього підприємством-виробником. Для цього режиму в каталогах і паспорті двигуна зазначають: номінальну механічну потужність на валу (Вт, кВт або МВт); номінальну напругу (В, кВ, зокрема номінальну напругу системи збудження машини постійного струму, номінальну напругу ротора асинхронного двигуна з фазовим ротором); номінальний струм (А, кА, зокрема струм збудження, струм ротора); номінальну частоту обертання (хв^{-1}) або номінальну кутову швидкість (рад/с); номінальний ККД (%); номінальний коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$).

Відповідно до міжнародного стандарту встановлено вісім теплових режимів роботи електричних машин, які мають умовні позначення S1, ..., S8. Відповідні цим режимам діаграми навантаження M (механічного моменту на валу двигуна), потужності теплових втрат ΔP_T і температури Θ показані на рисунку 10.7.

Наведемо короткий опис стандартних теплових режимів роботи електродвигунів (відповідно й електроприводів):

S1 – *тривалий режим*. Робота з постійним навантаженням і тривалістю, достатньою для встановлення усталеної температури Θ_{\max} всіх частин машини;

S2 – *короткочасний режим*. Робота з постійним навантаженням впродовж часу, недостатнього для встановлення усталеної температури, і наступним вимиканням машини з переходом у нерухомий стан на період часу, достатній для її повного охолодження до температури доквілля Θ_0 . Тривалість роботи під навантаженням має стандартні значення 10, 30, 60 і 90 хв, яким відповідають значення номінальної потужності

$P_{н10}, \dots, P_{н90}$. Якщо реальна тривалість роботи під навантаженням перевищує 90 хв, то режим вважається тривалим;

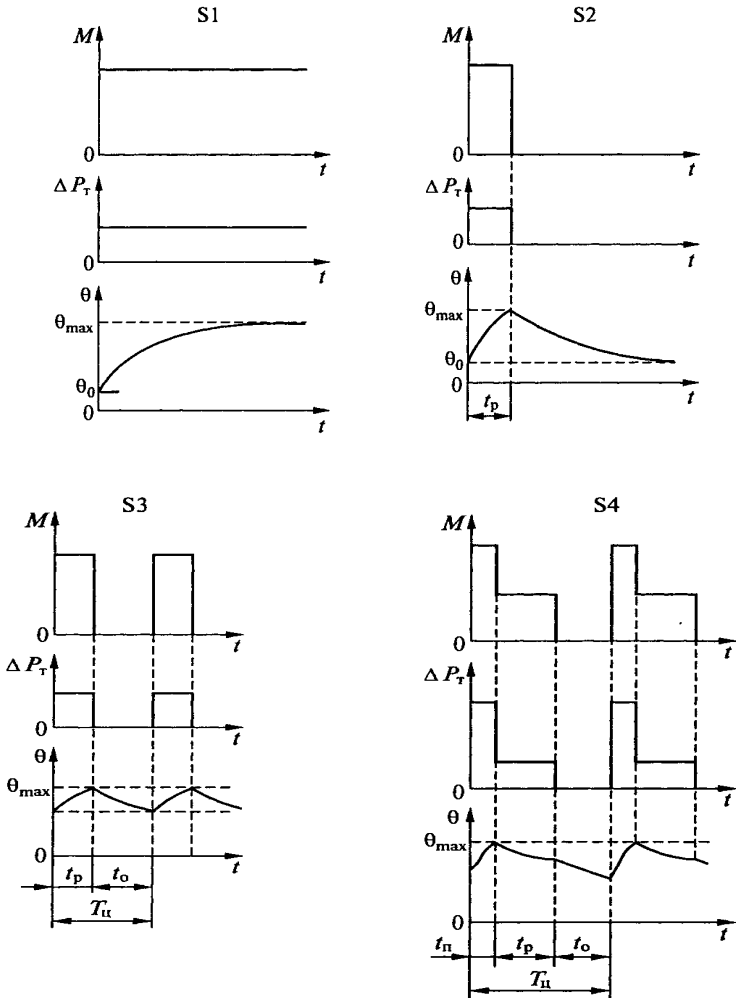


Рисунок 10.7 – Навантажні діаграми стандартних теплових режимів роботи електричних машин

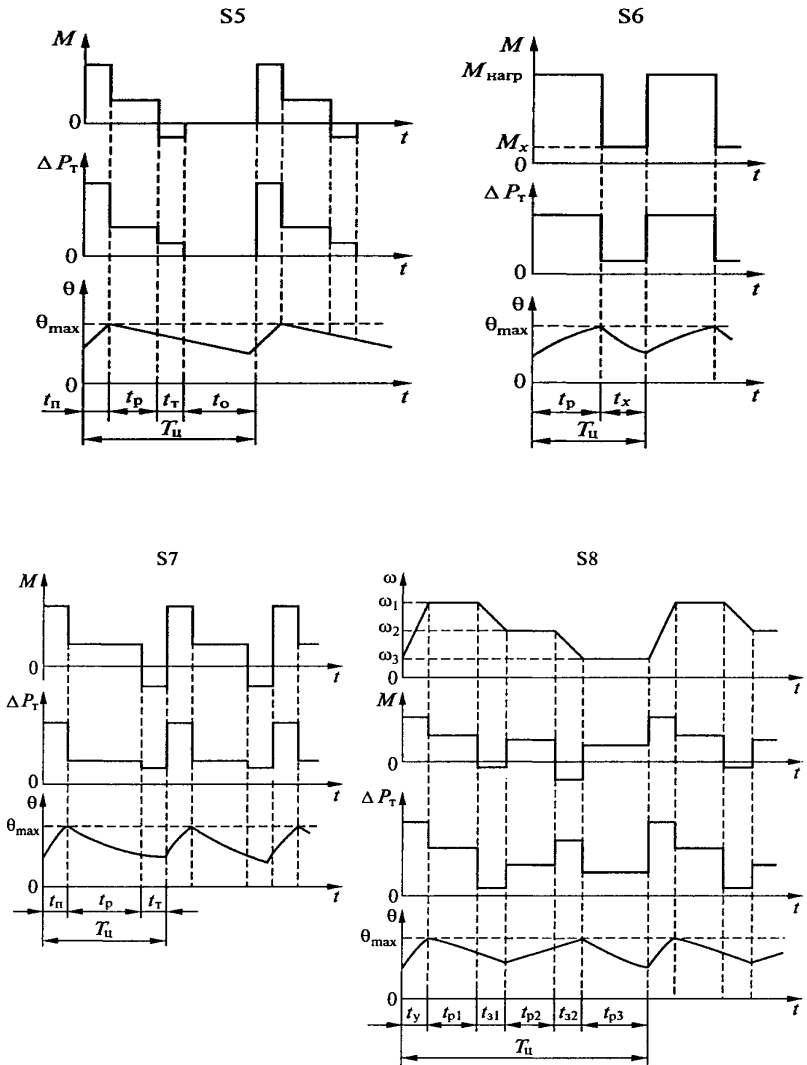


Рисунок 10.7, аркуш 2

S3 – *повторно-короткочасний режим*. Послідовність однакових робочих циклів, кожен з яких складається з періоду роботи із постійним навантаженням та наступним періодом гальмування під час вимкнення двигуна від джерела живлення. Тривалість кожного з цих двох періодів циклу недостатня для досягнення теплової рівноваги на жодному з них. Фактичний режим роботи електродвигуна кваліфікується як повторно-короткочасний, якщо величини струму в процесах пуску і гальмування не мають істотного впливу на нагрівання двигуна, тому часом пуску і гальмування знехтують.

Характерним параметром режиму S3 є відносна тривалість вимкнення $\varepsilon = t_p/T_{\text{ц}}$, або ПВ = $(t_p/T_{\text{ц}})100\%$, де $T_{\text{ц}} = t_p + t_0$ – тривалість циклу; t_p – тривалість періоду роботи; t_0 – тривалість періоду паузи, коли двигун вимкнений від джерела живлення. Відносна тривалість вмикання має стандартні значення 15, 25, 40, 60 %, яким відповідають значення номінальної потужності $P_{\text{н}15}, \dots, P_{\text{н}60}$. Загальна тривалість циклу не більше ніж 10 хв. Якщо в реальному циклі ПВ > 60 % або $T_{\text{ц}} > 10$ хв, то тепловий режим електродвигуна не є повторно-короткочасним, потрібно ідентифікувати його до іншого вигляду.

Якщо в тепловому режимі S1, S2 або S3 двигун працює з номінальним навантаженням, то і тепловий режим має назву «номінальний». Саме для номінальних режимів S1, S2 і S3 випускаються електричні машини відповідних серій: S1 – двигуни нормальної (загальнопромислової) серії, S2 – двигуни для короткочасної роботи, S3 – двигуни для роботи в повторно-короткочасному режимі (кранові, металургійні, екскаваторні, рольгангові тощо). Останні мають менший момент інерції за більшої вартості порівняно з двигунами нормальної серії однакової номінальної потужності;

S4 – повторно-короткочасний режим з урахуванням нагрівання двигуна в процесі пуску. Послідовність однакових робочих циклів, кожен з яких складається з періодів пуску, роботи із постійним навантаженням і періодом гальмування під час вимкнення двигуна від джерела живлення. Тривалість кожного з цих періодів циклу недостатня для досягнення теплової рівноваги. Фактичний режим роботи електродвигуна кваліфікується як повторно-короткочасний S4, якщо величина струму в процесі пуску має істотний вплив на нагрівання двигуна, а часом гальмування можна знехтувати;

S5 – повторно-короткочасний режим з урахуванням нагрівання двигуна в процесах пуску і електричного гальмування. Послідовність однакових робочих циклів, кожен з яких складається з періодів пуску, роботи із постійним навантаженням, швидкого електричного гальмування та періодом гальмування під час вимкнення двигуна від джерела живлення. Тривалість кожного з цих періодів циклу недостатня для досягнення теплової рівноваги. Фактичний режим роботи електродвигуна кваліфікується як повторно-короткочасний S5, якщо величини струму в процесах пуску та гальмування вважаються такими, що мають істотний вплив на нагрівання двигуна.

Для режимів S4 і S5 характерними параметрами є відносна тривалість вмикання, кількість умикань за 1 годину, коефіцієнт інерції та стала кінетичної енергії. Відносна тривалість вмикання обчислюється так само як і для режиму S3, але тривалість циклу $T_{ц}$ обчислюється через частоту Z умикань (циклів) за 1 годину: $T_{ц} = 3600/Z$, с. Частоту умикань нормовано значеннями 30, 60, 90, 120, 180, 240 і 360 вм/год.

Під коефіцієнтом інерції розуміємо відношення приведенного до вала двигуна момента інерції механічної

частини електропривода до моменту інерції двигуна: $k_j = J_{\Sigma}/J_{\text{дв}}$. Коефіцієнт інерції нормується значеннями 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 і 4,0.

Стала кінетичної енергії – це відношення кінетичної енергії, що запасається в механічній частині електропривода за номінальної швидкості, до номінальної повної потужності двигуна змінного струму, або добутку номінальних напруги та струму якоря двигуна постійного струму;

S6 – тривалий режим із змінним навантаженням. Послідовність ідентичних між собою робочих циклів, кожний з яких складається із періодів роботи за постійного навантаження та під час холостого ходу (без вимкнення двигуна від джерела електроенергії). Тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги. Величини струму в процесах пуску та гальмування не мають істотного впливу на нагрівання двигуна і тому часом пуску і гальмування знехтують.

Характерним параметром режиму *S6* є відносна тривалість роботи під навантаженням $\text{ПР} = (t_p/T_{\text{ц}}) 100\%$, яка має стандартні значення 15, 25, 40, 60 %. Загальна тривалість циклу береться такою, що дорівнює 10 хв.;

S7 – тривалий режим з урахуванням нагрівання двигуна в процесах пуску і електричного гальмування. Послідовність ідентичних між собою робочих циклів, кожний з яких складається із періодів пуску, роботи за постійного навантаження та електричного гальмування. Тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги.

Характерним параметром режиму *S7* є кількість вмикань за годину, коефіцієнт інерції та стала кінетичної енергії. Частоту вмикань нормовано значеннями 30, 60, 90, 120, 180, 240 і 360 вв/год, а коефіцієнт інерції нормується значеннями 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 і 4,0;

S8 – тривалий режим роботи за періодичного змінення швидкості та навантаження. Послідовність ідентичних між собою робочих циклів, кожний з яких складається із періодів прискорення, роботи за постійного навантаження з заданою швидкістю, одного або кількох періодів роботи за інших рівнів навантаження або з іншими значеннями швидкості. Тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги впродовж циклу.

Характерним параметром режиму S8 є кількість вмикань за 1 годину, відносна тривалість роботи (ПР) за кожного навантаження та відповідної до нього швидкості, коефіцієнт інерції та стала кінетичної енергії. Нормовані параметри: $Z = 30, 60, 90, 120, 180, 240$ і 360 вм/год, $k_j = 1,2; 1,6; 2,0; 2,5$ і $4,0$, ПР = $15, 25, 40, 60$ %. Відносна тривалість роботи за кожного із навантажень $ПР_i = [(t_{\text{пнi}} + t_{\text{pi}})/T_{\text{ц}}]100$ %, де t_{pi} – тривалість роботи за i -го навантаження; $t_{\text{пнi}}$ – тривалість перехідного процесу (розганяння або сповільнення) під час переходу до i -го значення швидкості та відповідного йому навантаженню. Наприклад, для діаграми S8 (рис. 10.7) $ПР_1 = [(t_y + t_{\text{p1}})/T_{\text{ц}}]100$ %, $ПР_2 = [(t_{\text{z1}} + t_{\text{p2}})/T_{\text{ц}}]100$ %, де t_y – період прискорення; t_{p1} – період роботи на першій ділянці з постійним навантаженням; t_{z1} – період сповільнення на першій ділянці; t_{p2} – період роботи на другій ділянці.

Завдання вибору електродвигуна за потужністю полягає в тому, щоб правильно еквівалентувати фактичний тепловий режим його роботи зі стандартним S1, S2 або S3 та вибрати двигун відповідної серії з максимальним його використанням за умов нагрівання.

На завершення зазначимо, що електроприводи, робочий цикл яких визначений за тепловим режимом як один із режимів S6, S7, S8, комплектуються зазвичай електродвигуном для повторно-короткочасного режиму S3. Ці режими є тривалими (їх називають ще переміжними), у

зв'язку з чим фірми – виробники електричних машин зазначають в їхніх паспортах (і каталогах) також номінальні дані для ПВ = 100 %.

Розглянуті тут стандартні теплові режими роботи електроприводів можуть адекватно застосовуватись і для аналізу умов роботи технологічних механізмів, тому що тепловий режим роботи електропривода по суті зазначає і такий самий режим роботи механізму.

10.6. Розрахунок і вибір електроприводів механізмів

Розрахунок і вибір автоматизованих електроприводів механізмів є частиною електротехнічного інжинірингу, який, у свою чергу є частиною системного інжинірингу, пов'язаного із створенням нового технологічного обладнання або модернізацією діючого.

Електротехнічний інжиніринг забезпечує розроблення та впровадження електромеханічного обладнання і містить такі складові: зв'язок із розробниками технологічного обладнання; розроблення технічної документації електрообладнання, зв'язок з постачальниками і консультантами уніфікованих засобів автоматизованих електроприводів та іншого електроустаткування; замовлення та виробництво електрообладнання; монтаж і нагляд за монтажем електрообладнання на об'єкті замовника; навчання операторів технологічного устаткування та обслуговуючого персоналу; виконання пуско-налагоджувальних робіт; гарантійне та сервісне обслуговування.

Розрахунок автоматизованого електропривода. Цей розрахунок пов'язаний із розрахунком потужності електродвигуна, який виконується відповідно з режимом роботи механізму на підставі навантажної та швидкісної діаграм. Методи розрахунку і вибору двигунів за

потужністю для режимів роботи S1–S8 викладені в книгах з теорії (основ) електропривода.

Вибір системи електропривода. Вибір проводиться на підставі вимог до регулювання швидкості та показників якості регулювання: діапазону регулювання, плавності, точності підтримки заданої швидкості, а також динамічних показників якості процесу регулювання (швидкодії, перерегулювання та ін.). На вибір системи електропривода можуть впливати також умови пуску механізму. Багато механізмів (наприклад, конвеєри) вимагають забезпечення пуску під навантаженням, інші володіють значними інерційними масами (вентилятори головного провітрювання шахт, дробарки великого дроблення та ін.). У разі застосування асинхронних короткозамкнених двигунів або синхронних з асинхронним пуском може виявитися, що час пуску неприпустимо великий і за цей час двигун перегрівається. Завищення потужності й моменту двигуна за умов пуску призводить до його недовикористання за потужністю в режимі робочого функціонування і погіршення енергетичних показників. Під час запуску двигуна механічна частина може зазнавати великі перевантаження, що несприятливо позначається на її довговічності, особливо за наявності пружних елементів (канати лебідок, конвеєрні стрічки та ін.). Внаслідок цього може виявитися необхідним застосування системи м'якого пуску або регульованого електропривода.

Можливе застосування редукторного привода або безредукторного. Вибір раціонального варіанта може бути виконаний на підставі техніко-економічного порівняння. Потрібно враховувати не лише різні вартості тихохідного і швидкохідного (зі знижувальним редуктором) двигунів, а і їхню масу, займану площу, що впливають на розміри фундаменту і приміщення, витрат на несучі конструкції під час розміщення привода.

За номінальної швидкості робочого органу механізма не менше ніж $300\text{--}400 \text{ хв}^{-1}$ доцільним є безредукторний привод із прямим з'єднанням вала двигуна з валом робочої машини (насоси, вентилятори). За меншої швидкості обертання робочого органу вибір неоднозначний, хоча найчастіше редукторний привод має менший момент інерції, приведений до вала двигуна. Проте порівняння лише за цим показником достатньо лише для механізмів, що не вимагають регулювання швидкості.

Для механізмів із частими пусками і реверсами важливо порівнювати елетроприводи за їх динамічними показниками. Безредукторні електроприводи більш динамічні й переважні для регульованих електроприводів, так як їх легше розганяти й гальмувати під час регулювання швидкості. Вони широко застосовуються для шахтних підйомних установок, прокатних станів.

Під час вибору системи електропривода необхідний облік характеру навантаження, створюваного робочим механізмом. Для нерегульованих електроприводів із нерівномірним або пульсуючим навантаженням вирівнювання моменту двигуна може бути досягнуто збільшенням інерційних мас електропривода (маховики поршневих компресорів, дробарок великого дроблення), хоча це може ускладнити пуск електропривода. Значно складніше вирішувати це питання для регульованих реверсивних електроприводів, так як збільшення механічної інерції знижує швидкодію електроприводу. Дуже важливо вирішення такого завдання в електроприводах реверсивних прокатних станів.

Наявність у навантаженні піків вимагає додаткової перевірки двигуна на допустиме перевантаження. У разі, коли можливі перевантаження, які не може подолати двигун, необхідно передбачити захист від перевантаження або систему управління, що забезпечує обмеження струму

й моменту двигуна й динамічні навантаження в механічних передачах (наприклад, в екскаваторних електроприводах).

Технічні вимоги, технічні умови, технічне завдання. Ці документи складаються під час проєктування і створення електрообладнання та його окремих компонентів. Складання технічних вимог є одним з основних завдань замовника обладнання. На базі технічних вимог проєктант електропривода розробляє технічне завдання, в якому визначаються всі необхідні для даного електропривода технічні характеристики, умови експлуатації, вимоги щодо надійності та ресурсу та гарантії постачальника обладнання.

Після виготовлення та випробувань обладнання проводиться постачання за технічними умовами на електропривод і функціонально автономні складові комплекту: електродвигун, напівпровідниковий перетворювач, пульт управління та ін.

Технічні умови та технічне завдання складаються з таких розділів.

1. Призначення і сфера застосування електропривода.

2. Технічні характеристики електропривода. Наводять вимоги до потужності на валу електродвигуна, діапазону регулювання швидкості, статичної точності та динамічних характеристик регульованих координат електропривода, часу перехідних процесів під час запуску і гальмування. Обумовлюються вимоги до параметрів і потужності живильної мережі. У зв'язку з широким використанням регульованих електроприводів із напівпровідниковими перетворювачами під час живлення від мережі обмеженої потужності необхідно сформулювати вимоги до коефіцієнтів потужності та нелінійних спотворень. Наводять вимоги, специфічні для кожного типу машин і технологічних процесів.

3. Вимоги до управління, сигналізації, захисту, діагностування. Наводять вимоги до автоматизації управління електроприводом, формулюють вимоги до блокування, сигналізації, видів і характеристик захисту, діагностування.

4. Умови експлуатації. Фізичними значеннями або посиланнями на стандарти формулюють вимоги до кліматичних умов (температура, вологість, термоциклічність тощо) і впливу механічних чинників (вібрація, удари, спеціальні механічні дії). Обумовлюються вимоги до виконання захисту від зовнішніх впливів, вибухозахищеності та іншого, а також до умов транспортування й зберігання обладнання.

5. Вимоги до надійності, ресурсу, обслуговування та ремонту. Залежно від призначення та вимог до експлуатації електропривода обумовлюються вимоги до надійності (ймовірність безвідмовної роботи і середнє напрацювання на відмову для невідновлюваного устаткування, коефіцієнт готовності і середній час відновлення для відновлюваного обладнання, до якого найчастіше належать електроприводи машин і механізмів). Наводиться ресурс електропривода і комплектного устаткування, порядок і регулярність проведення регламентних і ремонтних робіт.

6. Гарантії виробника. Обумовлюються гарантії підприємства-виробника або підприємства – постачальника електрообладнання.

Технічні умови та технічне завдання – текстові документи конструкторської документації, що повинні мати короткі стандартизовані формулювання з обов'язковим зазначенням числових даних за всіма характеристиками, показниками та умовами експлуатації (потужності, діапазону регулювання, типами електропривода, типами іншого електрообладнання,

температурних умов, вологості навколишнього повітря, видів захисту тощо).

Проектування обладнання вимагає не лише виконання розрахунків і вибору видів електричних машин і обладнання, а також визначення типів цих машин і апаратури та вибору їх із номенклатури устаткування, що випускається промисловістю.

Перша частина процесу проектування зазвичай зосереджена на складанні пояснювальної записки. Друга частина виражається в складанні переліків обладнання і специфікацій, на основі яких будуть проводитися замовлення. Основною частиною проекту є схеми (функціональні, принципові, монтажні), на основі яких виконується монтаж електроустаткування, виробляються зовнішні з'єднання, здійснюється налагодження.

Дуже важливим є вибір відповідних монтажних розмірів, наприклад для двигунів, агрегованих із різними механізмами, а також вибір виконань, що відповідають кліматичним умовам і характеру приміщень для встановлення електрообладнання.

Кліматичне виконання та виконання оболонок електрообладнання (нагадування матеріалів із теми 8). Широке застосування електричного обладнання викликало потребу забезпечення його кліматостійкості, тобто здатності витримувати, без помітних порушень, нормальних експлуатаційних характеристик у кліматі місцевості, для якої воно призначене. Під цим маються на увазі захист від корозії та інші заходи, що забезпечують гарантований термін служби і надійну роботу в певному кліматичному районі.

Відповідно з особливостями клімату (граничний рівень температури, вологість тощо) вводиться поняття кліматичних зон і виконується кліматичне районування, тобто визначення належності району до певної кліматичної

зони. Макрокліматичні зони – це великі території з певними особливостями клімату, на відміну від мікроклімату окремих районів. Кліматичне виконання зазначають у типовому позначенні електротехнічного обладнання. Разом із ним зазначають категорію приміщення, в якому допускається експлуатація.

Виконання оболонки електрообладнання за ступенем захисту персоналу від зіткнення зі струмопровідними або рухомими частинами, що перебувають всередині оболонки, а також від попадання сторонніх предметів і вологи, також регламентовано державними стандартами.

Питання для самоперевірки

1. Наведіть перелік характеристик ВМ, з урахуванням яких формуються вимоги до АЕМС.

2. Наведіть перелік атрибутів ВМ, які впливають на формування вимог до АЕМС.

3. Наведіть перелік атрибутів АЕМС, які зазначаються технологічними характеристиками ВМ.

4. Наведіть перелік властивостей ВМ, яким зазначаються характеристичні ознаки їх математичних моделей.

5. Запишіть основне рівняння руху електропривода, поясніть фізичний сенс змінних і констант, які в нього входять.

6. Запишіть передатну функцію ВМ.

7. Назвіть спосіб забезпечення працездатності ВМ у разі, якщо $k_c \leq 0$.

8. Які режими роботи ліфтової ПУ є найважчими з точки зору навантаження електродвигуна?

9. Які завдання розроблення АЕМС вирішуються на підставі аналізу тахограм і навантажних діаграм роботи електропривода робочого органа виробничого механізму?

10. Обґрунтуйте економічну доцільність переходу від дискретних технологічних процесів до неперервних.

11. Наведіть приклади механізмів і машин, що працюють у циклічному режимі.

12. Наведіть перелік стандартних теплових режимів електричних машин.

13. Дайте означення тривалого режиму роботи електричної машини та його характерних параметрів.

14. Дайте означення короткочасного режиму роботи електричної машини та його характерних параметрів.

15. Дайте означення повторно-короткочасного режиму роботи електричної машини та його характерних параметрів.

16. Дайте означення повторно-короткочасного режиму роботи електричної машини та його характерних параметрів.

17. Перелічіть серії електродвигунів, що випускаються електротехнічною промисловістю. Для яких теплових режимів роботи вони призначені? Чи можна використовувати їх за інших реальних режимів роботи електроприводів?

18. Дайте означення повторно-короткочасного режиму роботи електричної машини з урахуванням нагрівання двигуна в процесі пуску. Якими числовими параметрами характеризується цей режим?

19. Дайте означення повторно-короткочасного режиму роботи електричної машини з урахуванням нагрівання двигуна в процесах пуску та електричного гальмування. Якими числовими параметрами характеризується цей режим?

20. Дайте означення коефіцієнта інерції електропривода.

21. Дайте означення сталої кінетичної енергії електропривода.

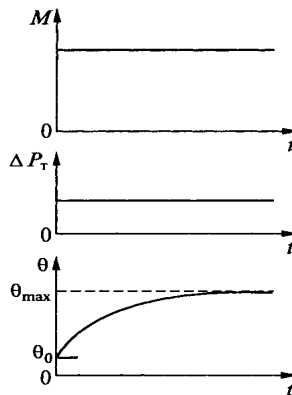
22. Дайте означення тривалого режиму роботи електричної машини з змінним навантаженням. Якими числовими параметрами характеризується цей режим?

23. Дайте означення тривалого режиму роботи електричної машини з урахуванням нагрівання двигуна в процесах пуску та електричного гальмування. Якими числовими параметрами характеризується цей режим?

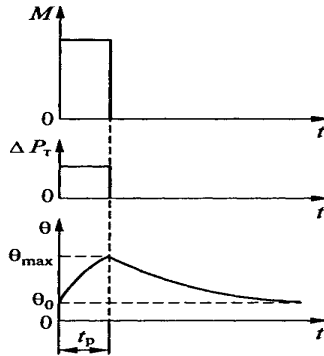
24. Дайте означення режиму роботи електричної машини за періодичного змінення швидкості та навантаження. Якими числовими параметрами характеризується цей режим?

25. Електродвигуни якої серії зазвичай застосовуються в електроприводах, робочий цикл яких відповідає одному із стандартних режимів S3, ..., S8?

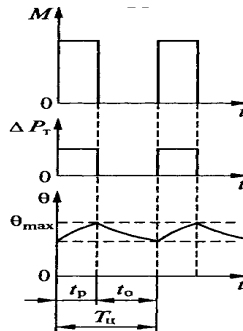
26. На рисунку подані: навантажні діаграми електромагнітного моменту двигуна $M(t)$ і потужності електричних втрат у двигуні $\Delta P_T(t)$; діаграма закону змінення температури двигуна $\theta(t)$. До якого стандартного режиму належить поданий цими діаграмами фактичний тепловий режим роботи електропривода?



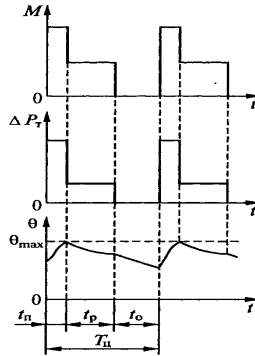
27. На рисунку подані: навантажні діаграми електромагнітного моменту двигуна $M(t)$ і потужності електричних втрат у двигуні $\Delta P_T(t)$; діаграма закону змінення температури двигуна $\theta(t)$. До якого стандартного режиму належить поданий цими діаграмами фактичний тепловий режим роботи електропривода?



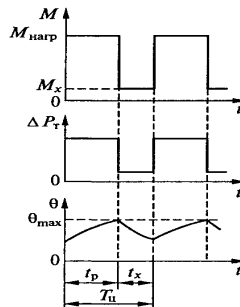
28. На рисунку подані: навантажні діаграми електромагнітного моменту двигуна $M(t)$ і потужності електричних втрат у двигуні $\Delta P_T(t)$; діаграма закону змінення температури двигуна $\theta(t)$. До якого стандартного режиму належить поданий цими діаграмами фактичний тепловий режим роботи електропривода?



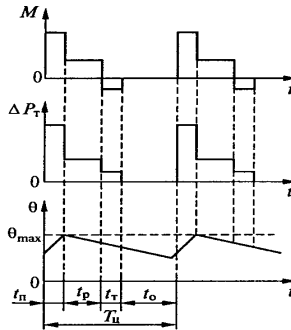
29. На рисунку подані: навантажні діаграми електромагнітного моменту двигуна $M(t)$ і потужності електричних втрат у двигуні $\Delta P_r(t)$; діаграма закону змінення температури двигуна $\theta(t)$. До якого стандартного режиму належить поданий цими діаграмами фактичний тепловий режим роботи електропривода?



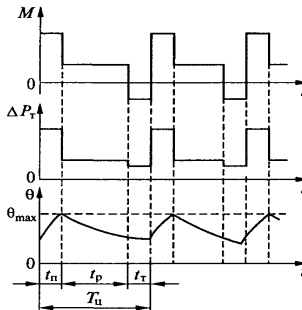
30. На рисунку подані: навантажні діаграми електромагнітного моменту двигуна $M(t)$ і потужності електричних втрат у двигуні $\Delta P_r(t)$; діаграма закону змінення температури двигуна $\theta(t)$. До якого стандартного режиму належить поданий цими діаграмами фактичний тепловий режим роботи електропривода?



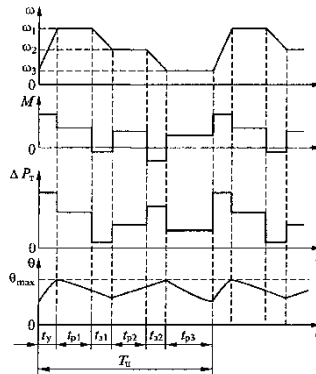
31. На рисунку подані: навантажні діаграми електромагнітного моменту двигуна $M(t)$ і потужності електричних втрат у двигуні $\Delta P_r(t)$; діаграма закону змінення температури двигуна $\theta(t)$. До якого стандартного режиму належить поданий цими діаграмами фактичний тепловий режим роботи електропривода?



32. На рисунку подані: навантажні діаграми електромагнітного моменту двигуна $M(t)$ і потужності електричних втрат у двигуні $\Delta P_r(t)$; діаграма закону змінення температури двигуна $\theta(t)$. До якого стандартного режиму належить поданий цими діаграмами фактичний тепловий режим роботи електропривода?



33. На рисунку подані: навантажні діаграми електромагнітного моменту двигуна $M(t)$ і потужності електричних втрат у двигуні $\Delta P_r(t)$; діаграма закону змінення температури двигуна $\theta(t)$. До якого стандартного режиму належить поданий цими діаграмами фактичний тепловий режим роботи електропривода?



34. Які вихідні відомості необхідні для розрахунку потужності двигуна?

35. Які вихідні відомості необхідні для вибору системи електропривода?

36. До яких негативних наслідків призводить завищення потужності двигуна?

37. Назвіть засоби запобігання надмірних перевантажень двигуна в режимах пуску в електроприводах механізмів із важкими умовами пуску?

38. За яких величин швидкості обертання вала робочого органа механізма рекомендується застосування безредукторного електропривода?

39. За яких обставин потрібно здійснювати перевірку вибраного двигуна не лише за допустимістю теплового режиму, а й за перевантаженням впродовж робочого циклу?

40. Якими засобами можна запобігти неприпустимого перевантаження двигуна впродовж робочого циклу?

41. Для електрообладнання, що експлуатується на суші, річках і озерах (на відміну від морських умов), визначені такі кліматичні виконання: У, ХЛ, УХЛ, ТБ, ТЗ, Т, О. Яким кліматичним умовам вони відповідають?

Тема 11. Типові задачі управління електроприводами виробничих механізмів у технологічних системах

11.1. Стабілізація швидкості

Системи стабілізації швидкості (ССШ) електроприводів робочих органів механізмів застосовуються в тому разі, коли із заданою точністю необхідно підтримувати швидкість руху залежно від режимів роботи. Найбільш характерним є режим тривалої роботи механізмів в установках із неперервним технологічним процесом. До таких установок належать: неперервні прокатні стани, паперовиробні машини, установки для виробництва полімерних матеріалів, кордних тканин тощо. Зазвичай такі промислові установки є багатодвигуновими і містять до кількох десятків електроприводів.

Режими роботи ССШ можуть бути короткочасними за програмного управління швидкістю електроприводів у широких межах. Стабілізація швидкості в цих випадках є частковим режимом на невеликих часових інтервалах. Це характерно для електроприводів металообробних верстатів, реверсивних прокатних станів.

За тривало-неперервних режимів роботи ССШ немає особливих вимог до режиму пуску електроприводів. Систему стабілізації швидкості проєктують, виходячи в основному з умов забезпечення заданої точності стабілізації швидкості в сталому режимі. В системах з короткочасним і повторно-короткочасним режимами роботи вимога до точності стабілізації швидкості на одних інтервалах часу може перебувати в суперечності з вимогою максимальної швидкодії під час зміни швидкості на інших інтервалах.

Найбільш важливим показником ССШ є точність стабілізації, про яку можна судити, наприклад, за відхиленням швидкості $\Delta\omega_{ст} = \omega_3 - \omega_{ст}$ в усталеному режимі

після завершення перехідного процесу, викликаного зміною навантаження або керувального впливу. Відношення відхилення $\omega_{ст}$ до заданої швидкості ω_3 визначає показник статичної точності ССШ $\mu_{ст} = \Delta\omega_{ст}/\omega_3$, який може бути виражений також у відсотках. Показник статичної точності застосовується в основному для оцінювання порівняно «грубих» ССШ. У сучасних системах управління електроприводами як регулятори використовують модулі контролерів приводів, і не має особливої складності отримувати як завгодно малі статичні помилки, якщо регулятор швидкості виконувати з інтегральною складовою. У зв'язку з цим більш важливим показником, що характеризує точність ССШ, є показник динамічної точності, пов'язаний з оцінюванням миттєвих відхилень швидкості на різних часових інтервалах.

Миттєві відхилення швидкості залежать від багатьох чинників: динамічних змін моменту опору і напруги мережі; параметричних збурень в електродвигунах, напівпровідникових перетворювачах і кінематичних передачах; похибки вимірювання поточних значень швидкості; перешкод у каналах управління. Якщо один із названих чинників більш значущий порівняно з іншими, то точність може бути оцінена з урахуванням лише цього чинника. В інших випадках необхідно оцінювати точність з урахуванням усіх основних чинників, що призводять до нестабільності системи управління.

Динамічна точність може оцінюватися щодо миттєвого максимального відхилення $\Delta\omega_{макс}$ або середнього квадратичного відхилення $\Delta\omega_{срк}$ до заданого значення швидкості ω_3 . Друга оцінка повніше характеризує точність системи, так як вона ґрунтується на статистичних даних відхилень. За динамічної точності $\mu_{дин} = \Delta\omega_{макс}/\omega_3$ ССШ можуть бути розділені на такі групи: малої точності (більше

ніж 1 %); середньої (0,1–1 %); точні (0,01–0,1 %); високоточні (менше ніж 0,01 %).

Залежно від вимог до точності системи електропривода виконують із різними інформаційними і керувальними пристроями. Застосовуються аналого-цифрові й цифрові пристрої, в яких по-різному здійснюються задання, вимірювання швидкості й формування алгоритмів управління. Є відмінність і в виконанні силової частини електроприводів – виборі напівпровідникового перетворювача, електродвигуна, кінематичної передачі. Наприклад, для точних і високоточних систем доцільно виконувати електроприводи безредукторними з керуванням від ШІМ-перетворювачів. Для електроприводів малої й середньої точності використовують редукторні електроприводи з керуванням від перетворювачів інших видів.

Істотним чинником під час проектування ССШ є діапазон регулювання швидкості $d = \omega_{\max} / \omega_{\min}$, де ω_{\max} та ω_{\min} – максимальна і мінімальна швидкості обертання двигуна. За цим показником системи електропривода поділяються на системи малого ($d < 3$), середнього ($3 < d < 50$) і широкого ($d > 50$) діапазонів регулювання. В сучасних системах управління електроприводами можна забезпечити діапазони регулювання швидкості до 100 000 і більше.

Під час зміни швидкості в широкому діапазоні можуть істотно змінюватися динамічні характеристики збурювальних впливів і похибки інформаційних пристроїв. У цих умовах ССШ можна виконувати з переналаштуванням структури керувальної частини системи.

11.2. Стеження й позиціонування

Системи стеження й позиціонування використовуються в електроприводах: промислових маніпуляторів і роботів, механізмів подачі металообробних верстатів, натискних пристроїв прокатних станів, механізмів установок моніторингу (наприклад, телескопів) та ін. Характерним для таких приводів є наявність модулів вимірювання та регулювання положення. В сучасних комплектних електроприводах реалізація режимів стеження і позиціонування виконується за допомогою інтелектуальних модулів розширення контролера привода. Існують і спеціалізовані виконання електроприводів стеження і позиціонування – сервоприводи.

Як відомо, режими стеження реалізуються без обмежень вихідних сигналів регуляторів положення і швидкості, а позиційні – з обмеженням цих сигналів. Програмна реалізація регуляторів передбачає також аналіз сигналів задання, відхилень та їх похідних, меж допустимих значень змінних, корекцію обмежень та інші додаткові функції, що забезпечують задані або гранично досяжні динамічні властивості систем.

Позиційні режими з прямокутними часовими діаграмами прискорень забезпечують найбільшу швидкодію, але не оптимальні за енергоспоживанням. Вони є збудниками полігармонічних коливань механізмів і джерелами додаткових похибок руху механізмів. У зв'язку з цим використовують алгоритми формування трикутних або трапецеїдальних часових діаграм прискорень під час відроблення заданих переміщень. Зниження швидкодії систем принципового значення не має. Щодо лінійних переміщень на рисунку 11.1 *а, б* показані прямокутні часові діаграми прискорень $a(t)$, а також часові діаграми швидкостей $v(t)$ і переміщень $s(t)$ для режимів малих і великих переміщень, на рис. 11.1 *в, г* – трикутні часові

діаграми прискорень для тих самих режимів при допущенні, що статичний момент дорівнює нулю.

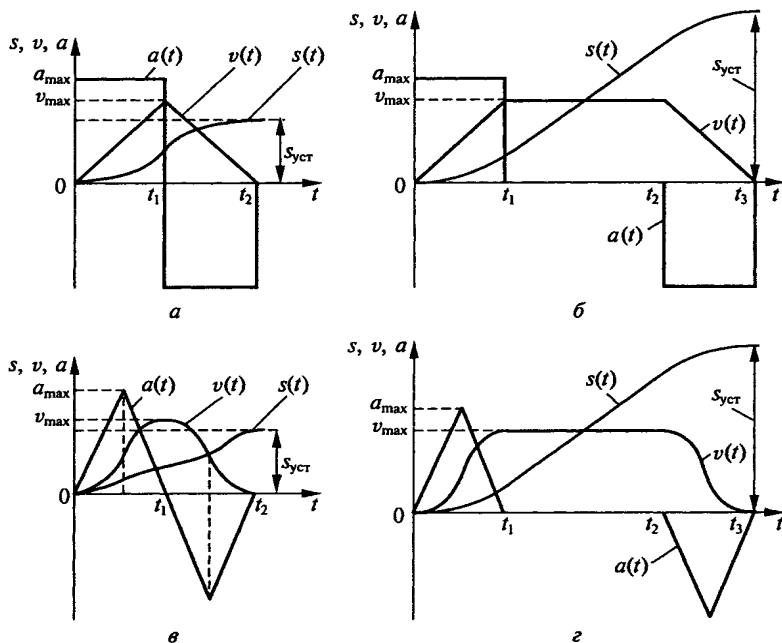


Рисунок 11.1 – Часові діаграми законів руху механізму переміщення

Під час реалізації систем із дискретними датчиками положення (наприклад, оптоелектронними) позиціонування виконується з точністю до однієї дискрети датчика. Водночас у контролері привода відповідно до величини задання і обмежень змінних стану електропривода розраховується оптимальна траєкторія руху механізму. Похибка позиціонування в таких системах може бути малою. Під час використання як датчиків положення

лазерних інтерферометрів ця похибка може вимірюватися мікрометрами.

Поряд із цим є прості позиційні системи з великими переміщеннями (метри і десятки метрів), в яких як датчики положення використовуються шляхові датчики (ШД), за сигналами яких встановлюються задані значення швидкостей – нульове, мінімальне («повзуча» швидкість), максимальне (номінальна швидкість). Такі системи використовуються в транспортному і підйомно-транспортному обладнанні.

Встановлення робочого органу механізму в задане фіксоване положення може здійснюватися під час вимикання двигуна від джерела живлення і вмикання механічного гальма. Команда на вимкнення двигуна надходить від шляхового датчика (ШД), що перебуває на деякій відстані від точки зупинення. Точність позиціонування визначається умовами руху робочого органа з моменту надходження сигналу від ШД на вимикання двигуна до моменту повного зупинення.

Якщо взяти, що вимикання двигуна і вмикання механічного гальма здійснюється одночасно і зусилля гальма зростає стрибком, то процес гальмування можна поділити на 2 етапи. Тривалість першого етапу визначається часом t_a спрацьовування ШД і апаратів вимикання двигуна. На цьому етапі двигун продовжує рухатися зі швидкістю v_n . На другому етапі, коли двигун вимкнений від джерела живлення і ввімкнене механічне гальмо, швидкість руху робочого органа знижується до нуля із прискоренням $a = \text{const}$. Прискорення $a = (F_c + F_T)/m_\Sigma$, де F_c і F_T – зусилля спротиву руху, обумовлені моментами M_c і M_T статичного навантаження і механічного гальма; m_Σ – сумарна маса рухомих частин електропривода, приведена до швидкості v поступального

руху робочого органа. Повний шлях переміщення робочого органа з моменту його дії на ШД і до зупинення

$$s = v_n t_a + (v_n)^2/2a. \quad (11.1)$$

Під час роботи механізму шлях s може змінюватися з різних причин, тому зупинка механізму в заданому місці буде з деякою погрішністю. Для зменшення погрішності необхідно намагатися до зменшення часу t_a спрацьовування апаратури за рахунок застосування швидкодійних апаратів та збільшення гальмівного зусилля F_T . Збільшення гальмівного зусилля F_T веде до збільшення середнього прискорення a та зменшує його відхилення, так як гальмівне зусилля є більш стабільним, ніж інші параметри. Проте необхідно мати на увазі, що можливості підвищення точності зупинення робочого органа за рахунок збільшення зусилля F_T невеликі внаслідок обмеження прискорення допустимим значенням.

Шлях гальмування s залежить від квадрата початкової швидкості v_n , тому її зниження веде до підвищення точності зупинення. Тому за високих вимог до точності процес зупинення привода виконують із використанням двох ШД. Після спрацьовування першого ШД привод переходить із повної швидкості на знижену, а після спрацьовування другого ШД здійснюється зупинення механізму.

11.3. Програмне управління

Управління складними рухами виконавчих (робочих) органів технологічних машин, що містять циклові, позиційні, контурні рухи, виконується пристроями числового програмного управління (ЧПУ). До складу сучасних пристроїв ЧПУ входять: модулі зв'язку з користувачем, засоби читання і трансляції керувальної програми, розшифрування кадрів керувальних програм,

інтерполяції, розрахунку швидкостей розганяння і гальмування та ін.

До складу програмного забезпечення (ПЗ) ЧПУ входять прикладні та системні програмні засоби реального часу, об'єднані проблемно-орієнтованою базою даних. У прикладне ПЗ входять: програми оброблення деталей і управління технологією, об'єднані в бібліотеку зі своїм каталогом; різні таблиці зсувів, корекцій та інструментів; модулі технологічних розрахунків, контролю, діагностування та структурного програмування виробничого середовища. Прикладне ПЗ спрямоване на вирішення конкретних завдань, покладених на систему ЧПУ, в межах певного технологічного процесу. Програми оброблення деталей і управління технологією об'єднуються в технологічні керувальні програми (КП), що становлять основу прикладного ПЗ. Ці програми, що описують алгоритм функціонування обладнання під час виконання завдань користувача, утворені впорядкованою множиною кадрів, кожен з яких містить дані, відповідні виконанню одного технологічного переходу або руху за однією з ділянок апроксимації між опорними точками траєкторії руху робочого органа машини. У кадрі міститься вся інформація, необхідна для роботи: довжина оброблюваного сегмента, швидкість руху і його характер, команди на вмикання і вимкання різних пристроїв.

Системне ПЗ зберігається в пам'яті пристрою ЧПУ і організовує взаємодію прикладних програм із користувачем, пристроєм ЧПУ і технологічним обладнанням. Воно має операційну систему реального часу і пакет обробних програм – утиліт, в які входять програми, які вирішують завдання оброблення переривань і фонові завдання оброблення відповідних масивів бази даних. Системне ПЗ направлено на вирішення спільних завдань

програмного управління, що не належать до конкретного технологічного процесу.

Виділяються чотири рівні програмного управління роботою технологічної машини:

- рівень ланки, на якому задаються параметри положення кожної ланки окремо;

- рівень обладнання, на якому рух оброблювального інструменту описується контуром зображувальної точки в робочому просторі;

- рівень об'єктів, на якому задання описується в термінах переміщень і позиціонування об'єктів, що перебуває в робочому просторі обладнання. Передбачається наявність моделі технологічного середовища, що надає інформацію для визначення потрібних положень зображувальної точки;

- рівень цілей, на якому завдання описується в узагальненій формі. Передбачається наявність не лише моделі технологічного середовища, але й відомостей про технологічні прийоми.

Найбільш часто застосовується підготовка програм на вхідній мові системи з використанням клавіатури пульта оператора. Водночас текст керувальної програми заздалегідь складається користувачем на підставі креслень або схеми робіт, а для введення і налагодження програми потрібен певний час. Технологічне обладнання в цей час або не функціонує, або виконує іншу, раніше підготовлену й налагоджену програму.

Застосовується також програмування шляхом навчання з використанням пульта-приставки спеціальної конструкції, або командне навчання, а також навчання «проводкою», або регенеративне навчання.

Важливу роль у системах ЧПУ відіграє оброблення виняткових ситуацій, тобто ситуацій помилки або збою, в яких подальше виконання програмного управління

неприпустиме або недоцільне, наприклад: арифметичне переповнення або посилання на неіснуючий елемент масиву при виконанні обчислень, збій в контролері зовнішнього пристрою або адаптера однієї з магістралей, зовнішнє вимикання від датчиків аварійних ситуацій. Залежно від категорії виняткової ситуації виникнення її повинно призводити до аварійного зупинення виконавчих механізмів або попереджувального повідомлення на пульті оператора. Програма оброблення виняткових ситуацій після виконання відповідних операцій відновлює автоматичне управління або передає його користувачеві.

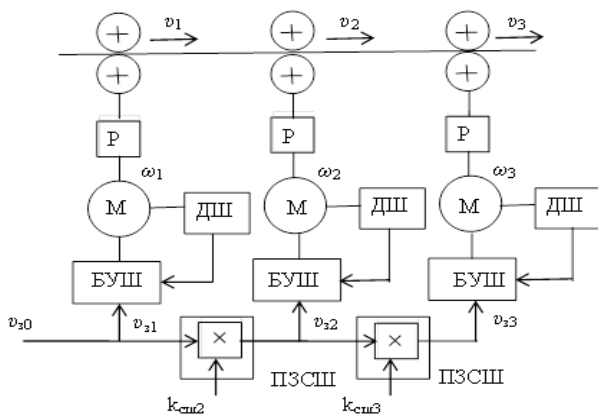
11.4. Синхронізація швидкостей та положень

Синхронізація швидкостей необхідна в багатодвигунових технологічних агрегатах, під час взаємозв'язку електроприводів робочих органів через оброблюваний гнучкий матеріал. На рисунку 11.2 показані три електроприводи валків неперервного прокатного стану, але їх може бути набагато більше. Блоки управління швидкістю БУШ містять необхідний набір силових модулів і модулів управління, що створюють, у сукупності з двигуном, комплектний електропривод.

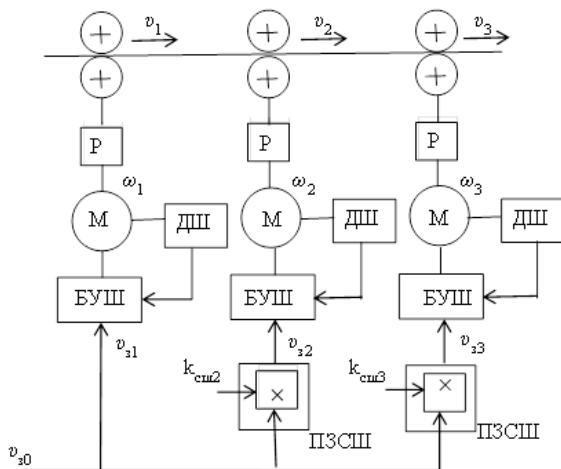
Швидкість першого (провідного) електропривода задається сигналом u_{30} , що формується системою управління агрегатом. Сигнали задання швидкості другого і третього електроприводів надходять на входи БУШ через пристрої задання співвідношення швидкостей ПЗСШ. Можна вмикати ПЗСШ так, щоб забезпечити такі способи управління локальними електроприводами:

– із послідовним (каскадним) управлінням, коли зі зміною швидкості попереднього електропривод змінюються в певному співвідношенні швидкості наступних електроприводів (рис. 11.2 *a*);

- із паралельним (незалежним) управлінням (рис. 11.2 б);
- із комбінованим управлінням, що поєднує в собі способи паралельного і послідовного управління.



a



б

Рисунок 11.2 – Система електроприводів технологічного агрегата, взаємозв'язаних гнучким матеріалом

Реалізація цих способів виконується за допомогою спеціальних модулів контролерів приводів. Водночас один із приводів (у цьому разі перший) є провідним, інші – веденими. У разі управління всіма електроприводами від технологічного контролера можлива реалізація послідовного і паралельного управління засобами цього контролера.

Співвідношення швидкостей обертання двигунів локальних електроприводів у загальному вигляді визначаються заданими коефіцієнтами задання співвідношень лінійних швидкостей руху прокату на виходах прокатних клітей

$$k_{\text{сп},i+1} = v_{3,i+1}/v_{3i}, v_{31} = v_{30}, i = 1, 2. \quad (11.2)$$

Значення коефіцієнтів $k_{\text{сп},i+1}$ задаються. Під час зміни сигналу v_{30} (рис. 11.2 а) відповідно змінюються сигнали v_{32} і v_{33} :

$$v_{32} = k_{\text{сп}2} v_{30}; \quad (11.3)$$

$$v_{33} = k_{\text{сп}3} v_{32} = k_{\text{сп}3} k_{\text{сп}2} v_{30}. \quad (11.4)$$

Унаслідок змінюються швидкості всіх локальних електроприводів, а співвідношення швидкостей зберігаються. Якщо $v_{30} = \text{const}$, а v_{32} зміниться шляхом зміни коефіцієнта співвідношення швидкостей $k_{\text{сп}2}$, то зміниться і сигнал завдання v_{33} . Вплив зміни $k_{\text{сп}3}$ на попередній сигнал завдання швидкості відсутній.

За паралельного управління локальними електроприводами ПЗСШ вмикається незалежно один від одного (11.2 б) і зміна одного з сигналів задання не призводить до зміни інших сигналів завдань. У такій схемі

співвідношення швидкостей локальних електроприводів встановлюються відповідно до рівності

$$v_{3,i}/v_{31} = k_{\text{сп.}i}, i = 2, 3, \quad (11.5)$$

де $k_{\text{сп.}i} = v_{3,i}/v_{31} = k_{\text{сп.}i}, i = 2, 3$.

Під час зміни коефіцієнта співвідношення швидкостей одного з локальних електроприводів змінюється швидкість лише цього електроприводу i , отже, співвідношення швидкостей двох поруч розміщених електроприводів. Співвідношення швидкостей інших електроприводів залишаються незмінними. Регулювання загальної швидкості всіх електроприводів відбувається так само, як і за послідовного управління.

Синхронізація положень здійснюється внаслідок формування спільного задання для електроприводів стеження механізмів і корекції поточних значень положень під час зміни режиму навантаження привода одного з механізмів. Розглянемо систему управління положенням дводвигунового привода натискного пристрою прокатної кліті з синхронізацією рухів натискних гвинтів.

Функціональна схема системи автоматичної синхронізації положень натискних гвинтів прокатної кліті показана на рисунку 11.3. Електродвигуни М1, М2 через зубчасту передачу 2, 3 приводять в обертання натискні гвинти 4, що проходять через нерухомо закріплені на станині гайки 5. Залежно від напрямку руху натискні гвинти піднімаються або опускаються, переміщаючи верхній валок 7 відносно нижнього валка 8. Подушки 6 постійно притиснуті до натискних гвинтів, а гвинти – до гайок за допомогою урівноважувальних пристроїв. Урівноваження досягається за допомогою контрвантажів 11, що передають через систему важелів 9 і штанг 10 урівноважувальне

зусилля G на нижні підвіски подушок верхнього валка.
 Електродвигуни конструктивно розміщені в місцях 1.

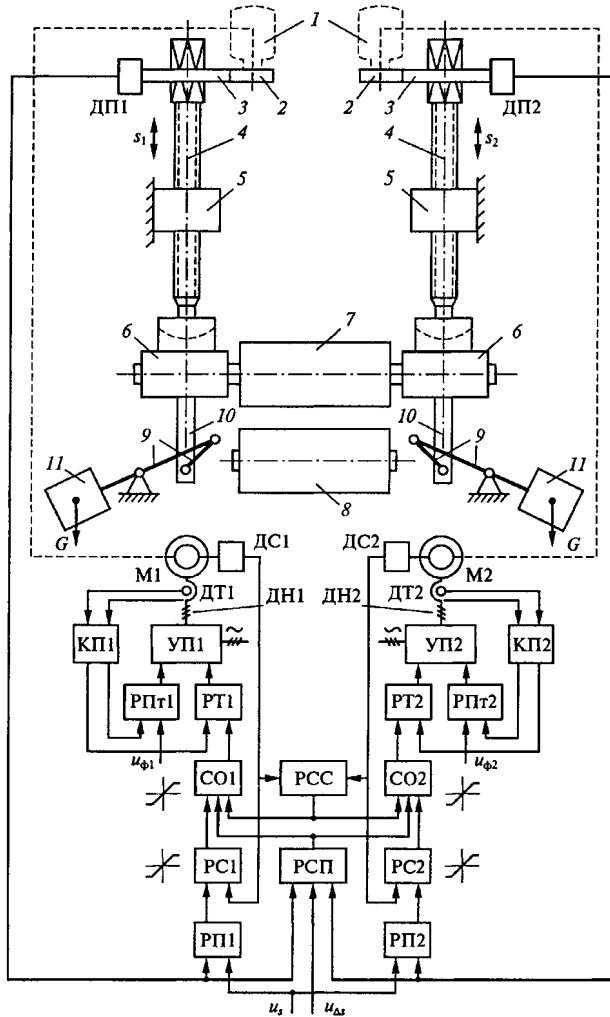


Рисунок 11.3 – Система управління електроприводом натисного пристрою прокатної кліти

У системі синхронізації застосовані частотно-регульовані асинхронні електроприводи з векторним керуванням. За інформацією, що надходить на координатні перетворювачі КП1, КП2 від датчиків напруги ДН1, ДН2 і струму ДТ1, ДТ2, виробляються сигнали, що забезпечують управління потоками й активними складовими струмів за допомогою регуляторів потоку РПт1, РПт2 і струму РТ1, РТ2.

Рухи натискних гвинтів синхронізовані за положенням і швидкістю. Система побудована так, що управлінню приводами по каналу електричної синхронізації віддається перевага перед управлінням по каналу спільного переміщення.

Спільне переміщення визначається задавальною дією u_s , що надходить на входи регуляторів положення РП1, РП2. Сигнал помилки синхронізації положень $u_{\Delta s}$ подається на регулятор РСП, а від нього на пристрої порівняння й обмеження СО1 і СО2 з коефіцієнтом k_c . За обмежених сигналів на виходах регуляторів швидкості РС1, РС2 і досить великого k_c обмежені сигнали значно менше сигналів синхронізації положень.

У разі обмеження вихідних сигналів РС1, РС2 зворотні зв'язки за швидкістю виявляються розімкнутими, тому для оптимального відпрацювання задання по каналу синхронізації положень вводиться сигнал різниці швидкостей. Обмеження РС і СО вибираються рівними, тому під час обмеження сигналу РС сигнал помилки по каналу синхронізації знижує швидкість випереджувального двигуна.

11.5. Режим «провідний – ведений»

Сутність такого режиму полягає в тому, що закон руху одного з об'єктів (веденого) формується залежно від

параметрів руху (швидкості, положення) іншого об'єкта (провідного). Провідний об'єкт вважається спостережним, а завдання управління ставиться до веденого об'єкта (система наведення артилерійської гармати, летючі ножиці неперервного прокатного стану тощо). Розглянуті вище системи стеження та системи синхронізації швидкостей також працюють у режимі провідний – ведений.

Розглянемо технологічний процес мірного порізу довгомірного дрібносортного профілю (наприклад, труби) за допомогою літальної пилки зі зворотно-поступальним рухом несучого органа без зупинення профілю (тобто на ходу). Технологічна схема ділянки мірного порізу профілю в неперервній технологічній лінії (прокатного стану) подана на рисунку 11.4.

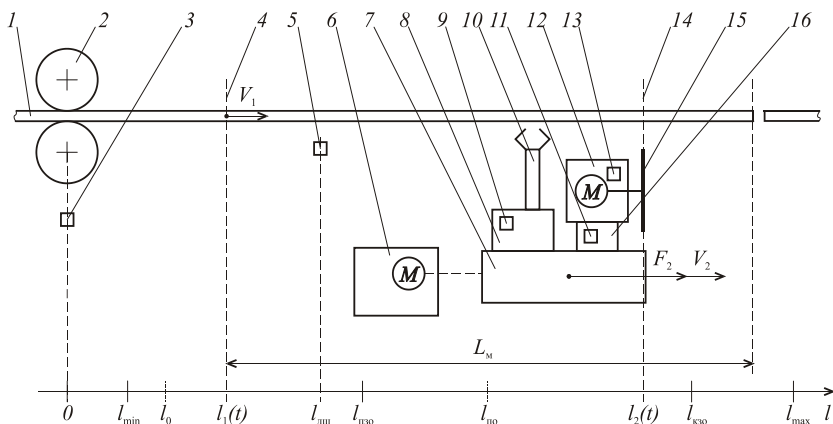


Рисунок 11.4 – Технологічна схема ділянки мірного порізу технологічної лінії з виробництва довговимірного матеріалу

Готовий профіль 1 (рис. 11.4) виходить із валків 2 останньої формувальної кліти прокатного стану зі швидкістю V_1 , що вимірюється за допомогою датчика 5

швидкості. Датчик 3 наявності профілю в початковій частині ділянки мірного порізу виконує функцію сигналізатора надходження смуги профілю 1 на ділянці мірного порізу. Літальна пилка (ЛП) має механізм подачі несучого органа (МПНО). На несучому органі (візку, платформі) 7 розміщені механізми подачі різального інструменту (МП) 16 зі своїм приводом (на рисунку не показаний) та зчеплення несучого органа (НО) з профілем (МЗ) 10 з його приводом 8. Обертання різального інструменту (пиляльного диска) 15 здійснюється механізмом обертання (МО) 12. Зворотно-поступальний рух НО забезпечується його електроприводом 6.

Рух профілю та НО відбувається в одновимірній координатній системі (вісь l) з фіксованим початком відліку. Черговий переріз різання 4 має поточну координату l_1 . Поточне положення НО визначається відстанню l_2 від початку відліку до деякої довільно обраної опорної площини 14, перпендикулярної до осі l і жорстко пов'язаної з НО. Взято збіг опорної площини 14 з площиною пиляльного диска. Рух НО обмежений мінімальною $l_{min} \geq 0$ і максимальною l_{max} координатами на осі l . Оброблення профілю (поріз), тобто виконання операцій подачі й повернення різального інструменту, затиску і розтиснення профілю, можливе лише під час знаходження різального інструменту в межах зони оброблення, коли $l_{nzo} \leq l_2(t) \leq l_{kzo}$, де l_{nzo} і l_{kzo} – координати початку і кінця зони оброблення. Вважається, що значення координат l_{kzo} і l_{max} меж зони оброблення та всієї ділянки мірного порізу достатньо великі для виконання операцій порізу профілю.

У загальному випадку датчики 3 наявності профілю і 5 швидкості його руху мають координати їх розташування $l_{\partial n}$ і $l_{\partial u}$ відповідно. На рисунку 11.4 взято $l_{\partial n} = 0$, оскільки як датчик 3 наявності профілю може застосовуватися датчик тиску профілю на валки 2 профілювальної кліти. Датчик 5

швидкості переважно розміщений близько до початку зони оброблення профілю (з координатою $l_{нзо}$). Можливо і $l_{ош} = 0$, коли як датчик 5 швидкості застосовується датчик швидкості обертання валків 2 цієї кліті.

Ставлять технологічне завдання мірного порізу профілю 1, що рухається без зупинення, на відрізки заданої мірної довжини L_M . На виконавчому рівні керування механізмами пилки здійснюють локальні системи керування (СК) цих механізмів, які являють собою СК їхніх приводів (оскільки всі виконавчі механізми пилки мають лише один робочий орган). Командні сигнали для них формуються в СК літальної пилки (СКЛП). Усі виконавчі механізми (ВМ) мають інформаційно-вимірювальні засоби, до складу яких входять датчики затиску профілю 9, вихідного положення різального інструменту 11 та його обертання 13, датчики швидкості L_2 руху НО і електромагнітного моменту M двигуна у складі СК електропривода НО (на рис. 11.4 не показані). Функціональний склад інформаційно-вимірювальної системи СКЛП уточнюється в процесі розроблення останньої.

У приводах НО літальної пилки зазвичай застосовується шестеренно-рейкова передача. Вона забезпечує достатню точність, жорсткість, надійність і високий ККД. Недоліком цієї передачі є наявність зазорів (люфтів). Джерелом люфтів може бути також редуктор, з'єднувальні муфти. Відомо багато способів компенсації люфтів у передачах, однак вони пов'язані з ускладненням механічної частини системи, а також з підвищенням потужності привода або значними втратами на тертя. Існує можливість уникнення шкідливого впливу люфтів за рахунок керування електромагнітним моментом двигуна в приводі НО.

Отже, ділянка мірного порізу довгомірного матеріалу в технологічній лінії з його виробництва має певні просторові параметри з визначеними мінімальними значеннями координат вихідного положення НО та ділянки механічного оброблення (розрізання) довговимірного матеріалу. Рухомими об'єктами є оброблюваний виріб (довговимірний матеріал) і ЛП. Остання являє собою складну технологічну машину, виконавчі механізми якої повинні функціонувати узгоджено між собою та з оброблюваним виробом.

ЛП працює в циклічному режимі. Робочий цикл складається з п'яти послідовних етапів. На рисунку 11.5 подано спрощену графічну інтерпретацію етапів робочого циклу ЛП. Вона складена в припущенні рівноприскореного руху НО без обмеження ривка (другої похідної швидкості за часом). Моменти часу t_1, t_2, \dots, t_5 відповідають початкам етапів E1, E2, ..., E5.

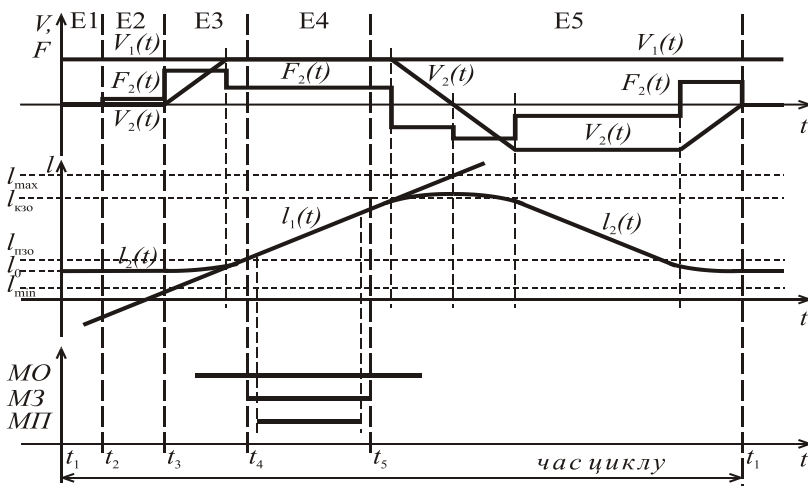


Рисунок 11.5 – Графічна інтерпретація етапів робочого циклу ЛП

Етап 1. Початок циклу, переведення НО з «вихідного» в «початковий» стан. Вихідний стан ЛП характеризується тим, що у вихідних станах перебувають усі її механізми. Впродовж цього етапу НО нерухомий, тобто швидкість його руху $V_2 = 0$. Вихідне положення НО характеризується координатою $l_2 = l_0 > l_{min}$. Завданням цього етапу є підготовка ЛП до запуску «на поріз».

Привод НО повинен бути приведеним у стан, що забезпечує передбачуваність його поведінки під час виконання завдання переслідування несучим органом перерізу різання, для підвищення точності розрахунків моменту запуску привода. Для розв'язання зазначених завдань використовуються доступні засоби – усунення або недопущення виникнення люфтів засобами СК привода НО. Тривалість етапу не регламентується, але повинна мінімізуватися для ослаблення часових обмежень інших етапів робочого циклу. Закінчення цього процесу характеризується значенням $F_2 = F_{2\delta}$ сили, що діє на НО з боку привода. Очевидно, значення $F_{2\delta}$ повинно лежати в межах $F_{2\delta \min} \leq F_{2\delta} \leq F_{2\delta \max}$, $F_{2\delta \min} \geq 0$. Граничні значення цієї сили визначаються експериментально. Замість сили F_2 використовуються відповідні значення електромагнітного моменту M , що розвивається електроприводом НО. Ознакою завершення першого етапу є переведення ЛП у початковий стан, який характеризується виконанням умов $V_2 = 0$ і $M = M_\delta$ ($F_2 = F_{2\delta}$), $M_{\delta \min} \leq M_\delta \leq M_{\delta \max}$, $M_{\delta \min} \geq 0$. Початкове положення НО характеризується координатою $l_2 = l_{2п} \geq l_0$.

Етап 2. Формування цілепоказчика, очікування команди на запуск НО, який перебуває в нерухомому стані ($V_2 = 0$), люфти вибрані, $M = M_{2\delta} > 0$. СК привода НО очікує надходження від СКЛП команди на запуск. СКЛП розраховує закон руху НО на третьому етапі робочого

циклу, визначає момент початку третього етапу (за часом або положенням чергового перерізу різання). Впродовж другого етапу фактично здійснюється «вистоювання» готового до запуску НО, тривалість якого визначає СКЛП.

Етап 3. Запуск привода НО з подачею в СК привода керувального впливу (заданого закону руху привода), відпрацьовування приводом цілепоказчика на переслідування перерізу різання й синхронізацію НО з перерізом різання на профілі (режим розгону-синхронізації). До кінця цього етапу повинна бути досягнута рівність швидкостей $V_2 = V_1$ під час збігу площини пиляльного диска з перерізом різання. Водночас пиляльний диск і переріз різання повинні перебувати в початковій частині зони оброблення. Одночасне виконання умов $V_2 = V_1$ і $l_2 = l_1 = l_{\text{по}}$, де $l_{\text{по}}$ – точка початку оброблення (рис. 11.4), ініціює спрацювання МЗ по команді із СКЛП. МЗ затискає профіль, здійснюючи в такий спосіб жорсткий механічний зв'язок НО з оброблюваним виробом.

Етап 4. Продовження руху НО в напрямку переміщення оброблюваного виробу, виконання його порізу. Упродовж цього етапу НО рухається синхронно з перерізом різання ($V_2 = V_1$ і $l_2 = l_1$). ВМ, розміщені на НО, виконують технологічні операції з порізу профілю. Після затискання профілю, щоб уникнути підпору або надмірного натягу, СКЛП переводить СК привода НО в режим регулювання сили F_2 на рівні $F_2 = F_{2\text{нат}}$, що гарантує незначний натяг профілю без його ушкодження. Регулювання сили F_2 на рівні $F_2 = F_{2\text{нат}}$ здійснюється шляхом регулювання моменту M на рівні $M = M_c + M_{\text{нат}}$, де M_c – статичний момент на валу двигуна привода НО, $M_{\text{нат}}$ – складова момента, що забезпечує натяг профілю з силою $F_{2\text{нат}}$. МП за командою СКЛП подає пиляльний диск, який обертається, на затиснутий профіль і після досягнення диском крайнього положення (тобто закінчення

розрізування профілю) проводиться його повернення. По досягненні пиляльним диском вихідного положення СКЛП дає команду приводу МЗ на звільнення профілю. Після розтиснення профілю МЗ видає сигнал закінчення четвертого етапу. Помітимо, що етапи 3 і 4 у сукупності утворюють режим робочого ходу ЛП. На етапі 4 МПНО можна вважати веденим щодо механізму зчеплення (МЗ), оскільки на цьому етапі МПНО не змінює свою єдину функцію – регулювання натягу оброблюваного виробу, а моменти входу в цей режим і виходу з нього визначаються здійсненням операцій зчеплення-розчеплення, які виконує МЗ.

Етап 5. Встановлення НО у вихідне положення, перехід ЛП у вихідний стан (режим зворотного ходу). На цьому етапі проводиться переведення усіх виконавчих механізмів ЛП у вихідні стани. Моменти вмикання-вимикання привода МО пиляльного диска визначаються з різних міркувань. Важливо лише, щоб до початку його подачі і до відведення у вихідне положення він обертався.

Отже, наведений тут функціональний опис роботи ЛП повністю визначає взаємодію виконавчих механізмів упродовж робочого циклу. Провідним об'єктом є профіль, точніше – черговий переріз різання, а веденим об'єктом є НО пили, точніше – площа пиляльного диску. Їхні швидкості та положення мають бути однаковими в процесі виконання операції різання профілю. Відповідно до цього електропривод останньої формуючої кліті прокатного стану є провідним, а електропривод несучого органу літальної пилки – веденим.

11.6. Технологічні функції управління механізмами

Розвиток мікропроцесорних засобів управління істотно розширив функціональні можливості контролерів приводів. Інтелектуальні технологічні модулі контролерів

забезпечують рішення різноманітних технологічних завдань, урахувавши завдання регулювання, що часто трапляються, технологічних змінних: подачі, тиску, рівня, натягнення, товщини тощо. Технологічні контролери, що звільнені від функцій регулювання зазначених змінних, лише координують роботу сепаратних систем управління, що робить систему управління технологічним агрегатом більш простою.

Як ілюстративний приклад, розглянемо технологічні функції управління механізмами напускного пристрою паперовиробної машини (рис. 11.6).

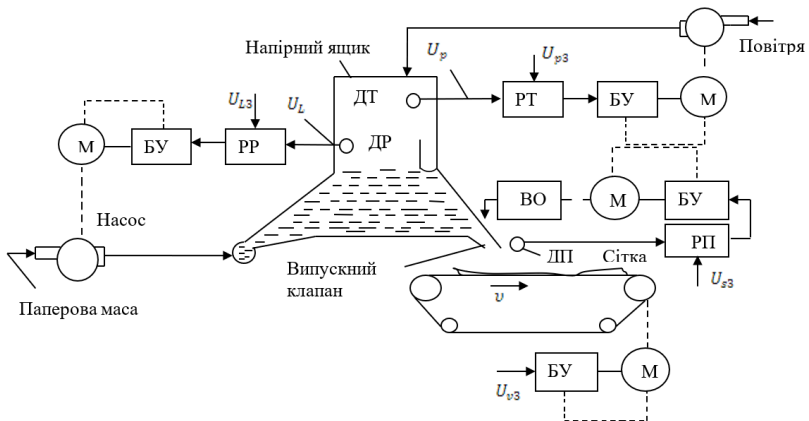


Рисунок 11.6 – Система автоматизації напускного пристрою паперовиробної машини

Напускний пристрій забезпечує рівномірну, задану по вазі подачу паперової маси з напірного ящика через випускний клапан на рухому зі швидкістю v сітку машини. Відповідно до заданої ваги одного квадратного метра паперової маси, товщини паперового полотна на виході машини та швидкості машини в напускному пристрої

встановлюється заданий розмір S щілини випускного клапана, а також тиск p та рівень паперової маси L всередині напірного ящика. Регулювання заданих змінних здійснюється засобами автоматизованих електроприводів.

Блоки управління швидкістю електроприводів (БУ) містять силові модулі та модулі управління комплектних електроприводів. Регулятори рівня РР, тиску РТ та положення клапану РП реалізуються в технологічних модулях контролерів приводів. Вимірювання змінних здійснюється датчиками ДР, ДТ, ДП. Координацію задавальних сигналів рівня U_{L3} , тиску U_{p3} , щілини випускного клапана U_{S3} , швидкості руху сітки U_{v3} , що подаються на регулятори, виконує технологічний контролер. ВО – виконавчий орган клапана.

11.7. Управління навантаженням взаємозв'язаних електроприводів

Для багатодвигунових електроприводів механізмів, що мають кінематичні взаємозв'язки, існує задача управління завантаженням кожного електроприводу. Наприклад, у довгій конвеєрній лінії (рис. 11.7) три електроприводи ЕП та один чи два натягувальні пристрої забезпечують рух конвеєрної лінії зі швидкістю v . Електроприводи з врахуванням втрат у лінії розподілені так, щоб рівномірно створювати зусилля в стрічці. Приводи можуть створювати різні зусилля (моменти) залежно від топології лінії та величини втрат у ній. Аналогічна ситуація в пресовій частині папероробної машини, де декілька електроприводів зв'язані пресовими валами та натягнутою сіткою.

Функціональна схема системи управління завантаженням електроприводів конвеєрної лінії показана на рисунку 11.8.

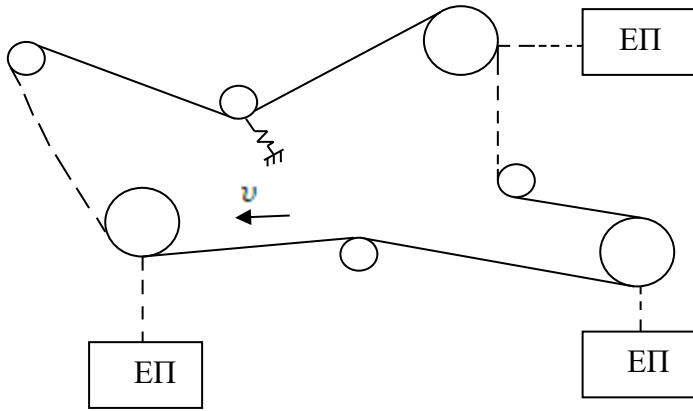


Рисунок 11.7 – Технологічна схема довгої конвеєрної лінії

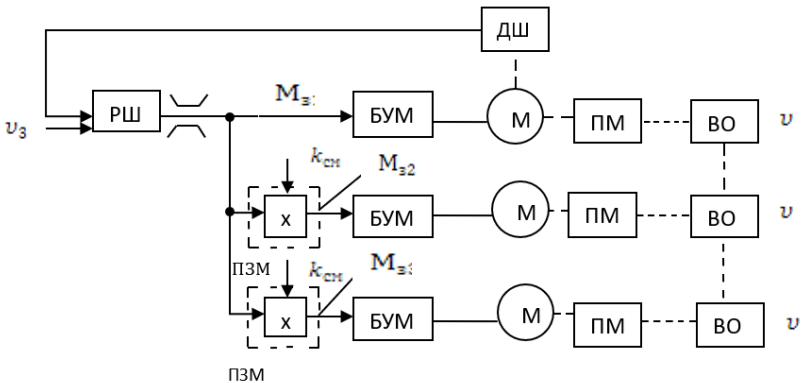


Рисунок 11.8 – Функціональна схема системи управління завантаженням електроприводів

Один із приводів обирається провідним і в ньому реалізується типова система регулювання швидкості з блоком управління моментом БУМ і регулятором швидкості РШ з обмеженням вихідного сигналу. З

врахуванням задання v_3 , привод забезпечує швидкість v руху виконавчого органа ВО. Ведені електроприводи з ВО, що здійснюють рух з тією самою швидкістю v , управляються лише за заданнями моментів M_{32} та M_{33} . Задання встановлюються за допомогою пристроїв задання моментів ПЗМ так, як це виконувалось у разі незалежного управління співвідношенням швидкостей. Установлюючи конкретні значення коефіцієнтів k_{cm} , співвідношення моментів забезпечують відповідні їм навантаження електроприводів.

За сумарного навантаження електроприводів, що перевищує допустиму величину, здійснюється обмеження значення вихідного сигналу регулятора швидкості РШ та настає режим стопоріння механізмів. Кожен із приводів розвиває граничний момент з урахуванням коефіцієнта k_{cm} , і механізми зупиняються.

11.8. Обмеження механічних перевантажень електроприводів

Механічні перевантаження є важливою особливістю робочих режимів для більшості загальнопромислових механізмів циклічної дії. Для механізмів пересування підйомних кранів на рейковому ході вони обумовлені перекосами під час великого прогону крану або вітрового навантаження, якщо спорудження працює під відкритим небом. Перевантаження крюкових підйомних лебідок можуть виникати під час підхвату примерзлого або заклиненого вантажу. Найбільш важкі та часті механічні перевантаження виникають у тих механізмів, для яких за нормальної течії технологічного процесу можлива робота на упор – механічне стопоріння виконавчого органу (ВО).

Систематичними механічними перевантаженнями та механічними стопоріннями супроводжується робота всіх механізмів, що беруть участь у процесі черпання ґрунту або

переміщення матеріалу: напірних, підйомних і тягових лебідок екскаваторів та грейферних кранів. Під час роботи в м'яких ґрунтах перевантаження можуть досягати небезпечних значень, але вони наростають поступово. Такі режими називають м'якими стопоріннями. Під час черпання екскаватором скельної породи або змерзлого ґрунту можливі заклинювання ВО, що називаються різкими стопоріннями.

У всіх випадках, коли виникає з будь-якої причини механічне навантаження перевищує допустиму величину, має забезпечуватись автоматичне обмеження моменту, що розвивається двигуном, допустимим значенням. Допустимий момент двигуна визначається максимально допустимим навантаженням механізму за умовами його механічної міцності або перевантажною властивістю двигуна. Вибране з цих умов значення допустимого моменту в подальшому будемо називати стопорним моментом ($M_{\text{стоп}}$).

Вимоги до системи обмеження моменту для різних механізмів різні. Якщо небезпечні перевантаження являють собою несистематичне, рідке явище, система може діяти як захисний пристрій, що викликає вимикання привода та перерву в роботі механізму. Прикладом може слугувати максимальний захист двигуна, що вимикає його від мережі за допомогою контактора або автоматичного вимикача за струму, що перевищує номінальний в 2–2,5 рази.

Проте подібні пристрої не застосовуються для механізмів, робота яких систематично супроводжується перевантаженнями та стопоріннями. В такому разі повинно передбачатись автоматичне обмеження моменту, що не визиває перерви в роботі механізму. Таке обмеження моменту може бути здійснене електрично або механічно.

Електричне обмеження моменту досягається використанням електропривода з екскаваторною механічною характеристикою. Воно широко застосовується не лише для обмеження механічних перевантажень, а й для формування перехідних процесів пуску, реверсу та гальмування. Якість обмеження моменту зазвичай характеризується заповненням екскаваторної механічної характеристики електропривода, яке тим більше, чим жорсткіша її робоча ділянка та чим крутіша спадна. Ідеальна екскаваторна характеристика 1 та реальні екскаваторні характеристики 2 та 3 з різним заповненням показані на рисунку 11.9.

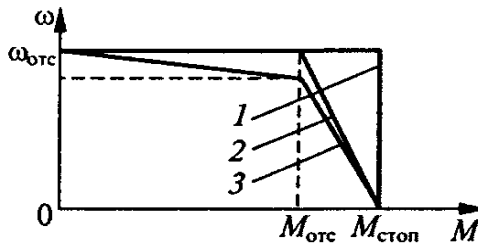


Рисунок 11.9 – Екскаваторні механічні характеристики електропривода

За досить високої жорсткості робочої ділянки реальних характеристик їхнє заповнення може оцінюватися так званим коефіцієнтом відсічки

$$k_{отс} = M_{отс}/M_{стоп}. \quad (11.6)$$

Для з'ясування основних фізичних особливостей режимів різких стопорінь проаналізуємо перехідний процес електропривода підйому екскаватора-лопати, що

викликаний раптовим зупиненням ковша під час зіткнення з непідірваною скелею.

Візьмемо, що момент M двигуна в перехідному процесі змінюється відповідно до механічної характеристики 2 (рис. 11.9), а єдиним пружним елементом кінематичної схеми (рис. 11.10) є підйомний канат.

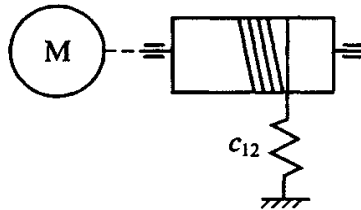


Рисунок 11.10 – Кінематична схема електропривода підйому екскаватора-лопати під час роботи на упор

Відповідно до розрахункової схеми (рис. 11.10) і нехтуючи силами тертя в механізмі, можна записати:

$$M - M_{12} = J_1(d\omega/dt), \quad (11.7)$$

де $M_{12} = c_{12}\varphi$ – приведений до вала двигуна момент, створений на барабані натягненням канату;

c_{12} – приведена до вала двигуна жорсткість канату;

φ – приведенне до вала двигуна подовження канату;

J_1 – приведений до вала двигуна момент інерції електропривода.

Рівняння падаючої ділянки екскаваторної характеристики має вигляд:

$$M = M_{\text{стоп}} - \beta\omega, \quad (11.8)$$

де $\beta = (M_{\text{стоп}} - M_{\text{отс}})/\omega_{\text{отс}}$ – модуль жорсткості падаючої ділянки механічної характеристики.

Підставивши вирази для M_{12} і M у рівняння (11.7) та продиференціювавши його, отримаємо таке диференційне рівняння:

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} + \frac{\beta}{J_1} \frac{d\omega}{dt} + \frac{c_{12}}{J_1} \omega = 0. \quad (11.9)$$

Корені характеристичного рівняння:

$$p_{1,2} = -\frac{\beta}{2J_1} \pm \sqrt{\frac{\beta^2}{4J_1^2} - \frac{c_{12}}{J_1}} = -\alpha \pm j\Omega, \quad (11.10)$$

оскільки зазвичай $\frac{\beta^2}{4J_1^2} < \frac{c_{12}}{J_1}$. Величина Ω у формулі (11.10) являє собою частоту пружних коливань.

Рішення рівняння відносно швидкості двигуна необхідно шукати у вигляді

$$\omega = e^{-\alpha t}(A \sin \Omega t + B \cos \Omega t), \quad (11.11)$$

де A та B – сталі інтегрування.

Рішення початкового диференційного рівняння відносно моменту M_{12} , пропорційного натягненню, потрібно шукати у вигляді

$$M_{12} = M_{\text{стоп}} + e^{-\alpha t}(C \sin \Omega t + D \cos \Omega t), \quad (11.12)$$

де C і D – сталі інтегрування.

Отриманим аналітичним залежностям (11.11) і (11.12) відповідають зображені на рисунку 11.11 суцільними лініями криві $\omega(t)$, $M_{12}(t)$, що ілюструють процес стопоріння за початкових умов $\omega_{\text{поч}} = \omega_{\text{отс}}$, $M = M_{12} = M_{\text{отс}}$.

Штрихові лінії відповідають процесу стопоріння при $\beta = 0$, тобто за ідеальної екскаваторної характеристики 1 (див. рис. 11.9). У цьому разі процес стопоріння проходить за $M = M_{\text{стоп}} = \text{const}$.

Пропорційний зусиллю в канаті момент M_{12} зростає (рис. 11.11) по мірі зниження швидкості, оскільки кінетична енергія, запасена в інерційних масах, під час її звільнення переходить у потенційну енергію пружного розтягнення канату. Наявність надмірного запасу потенційної енергії при $\omega = 0$ є причиною, що викликає розгін барабану та зв'язаних із ним частин у протилежну сторону. Тому процес стопоріння має коливальний характер, причому за ідеальної екскаваторної характеристики теоретично коливання є незагасаючими. Практично внаслідок неврахованих втрат на тертя енергія пружних коливань у такому разі розсіюється у вигляді теплоти в елементах, в яких виникає тертя, але повільніше, ніж при $\beta \neq 0$.

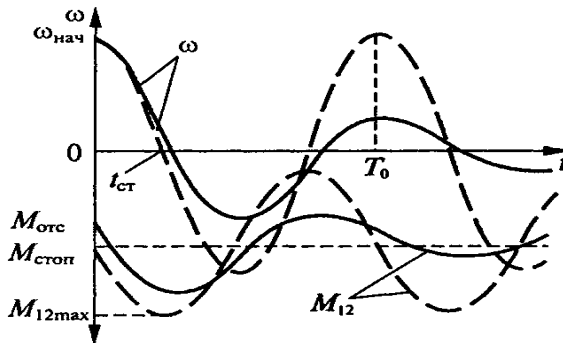


Рисунок 11.11 – Графіки змінення швидкості та пружного моменту в процесах стопоріння електропривода

При моменті двигуна, обмеженому екскаваторною характеристикою, максимальні навантаження елементів привода в процесі стопоріння зростають через динамічне навантаження та за несприятливих умов можуть досягати небезпечних значень. Без урахування загасання максимальне значення моменту M_{12} визначається формулою

$$M_{12max} = M_{стоп} + \omega_{поч} \sqrt{J_1 c_{12}}. \quad (11.13)$$

Відношення максимального пружного момента до усталеного визначає динамічний коефіцієнт:

$$k_{дин} = \frac{M_{12max}}{M_{стоп}} = 1 + \omega_{поч} \frac{\sqrt{J_1 c_{12}}}{M_{стоп}}, \quad (11.14)$$

що характеризує перевантаження механічної частини електропривода за різких стопорінь порівняно з усталеним режимом стопоріння. Із формули (11.13) бачимо, що перевантаження тим більше, чим більша початкова швидкість, момент інерції та жорсткість робочого обладнання.

Під час зменшення коефіцієнта відсічки (зростання β) загасання коливань буде швидшим, тому що лінійний зв'язок моменту двигуна зі швидкістю (11.8) аналогічний зв'язку тартю і тому надає демпфувальну дію, сприяючи швидкому затуханню коливань. Більш швидке загасання несе за собою зменшення динамічного коефіцієнта, тому для підйомних лебідок екскаваторів-лопат і грейферних кранів бажаною є характеристика з коефіцієнтом відсічки $k_{відс} = 0,7-0,8$ (характеристика 3 на рис. 11.9). Така форма екскаваторної характеристики одночасно зменшує частоту стопорінь, так як забезпечує завчасне зниження швидкості за механічного

перевантаження ще до досягнення стопорного навантаження. За зниженням швидкості машиніст оцінює навантаження двигуна та своєчасно приймає дії, що направлені на зменшення перевантаження, наприклад зменшує напірне зусилля лопати під час перевантаження електропривода підйому.

Чим важчі умови стопоріння та чим більша жорсткість c_{12} механічного обладнання, тим менший коефіцієнт відсічки потрібно мати. В цьому відношенні найбільш характерний механізм напору екскаватора – лопати з рейковою передачею, яка дає досить жорстке з'єднання рукоятки з приводом. Через велику жорсткість c_{12} у цьому разі процеси різких стопорінь мають характер важких ударів із небезпечними значеннями динамічного коефіцієнта. Для цього механізму вибирають $k_{\text{відс}} = 0,6-0,7$ та для захисту від несправностей у його кінематичний ланцюг вводять муфту граничного моменту, налаштовану на спрацювання при $M = (1,2-1,4)M_{\text{стоп}}$.

Якщо екскаваторна характеристика передбачена лише для обмеження моменту в перехідних процесах, то для отримання їх рівноприскореного протікання потрібно більш високе заповнення. Оптимальним є $k_{\text{відс}} = 1,0$ (характеристика 1 на рис. 11.9).

11.9. Управління електроприводами технологічних агрегатів і комплексів

Аналізуючи функціональні особливості технологічного обладнання, в якому використовуються електромеханічні системи, можна всю його різноманітність звести до таких типових груп обладнання:

- призначене для фізичної й хімічної перероблень речовини. Містить енергоємні однодвигунові електроприводи з тривалим режимом роботи (насоси,

компресори, вентилятори, млини, дефібрери, змішувачі, центрифуги тощо);

- метало-, дерево- та каменеобробні верстати;
- прокатне, ковальське, пресове й штампувальне, різальне (гільйотинні, барабанні та летючі ножиці, дискові й стрічкові пилки, різальні верстати тощо);
- гірничодобувне (роторні та ковшові екскаватори, вуглевидобувні машини, бурове обладнання тощо);
- призначене для транспортування й оброблення гнучких матеріалів;
- промислові маніпулятори й роботи;
- транспортне та підйомно-транспортне (крани, транспортери, конвеєри, рольганги, монорельси, ліфти, електротранспорт тощо);
- контрольно-випробувальне (вимірювальні машини, випробувальні стенди, імітатори тощо);
- моніторингове (телевізійні системи спостереження за технологічним процесом, телескопи, радіотелескопи, оптичні системи космічного спостереження тощо).

У кожній групі виділяються типові функціональні модулі – агрегати, для яких формується бібліотека програмних моделей і програмних блоків, що реалізують алгоритми управління.

Розглянемо типові функціональні модулі обладнання, призначеного для транспортування та оброблення гнучких матеріалів. Спрощені функціональні схеми систем управління агрегатами наведені на рисунку 11.12 *a*, ..., *з*. У загальному випадку технологічні системи можуть мати n приводів, але для простоти на рисунку показані два приводи. Існують такі типові функції управління:

- 1) управління співвідношенням моментів навантаження електроприводів, що мають механічний

зв'язок (рис. 11.12 *а*). Виконується щодо провідного електропривода, замкненого за швидкістю або положенням;

2) управління швидкістю й співвідношенням швидкостей (рис. 11.12 *б*). Виконується щодо провідного електропривода, замкненого за швидкістю або положенням;

3) управління положенням і співвідношенням положень електроприводів, що мають механічні взаємозв'язки (рис. 11.12 *в*). Виконується за різницею швидкостей і положень;

4) одночасне керування співвідношеннями швидкостей і положень (рис. 11.12 *г*), що застосовується в агрегатах прокатного виробництва. Об'єднує функції 2 і 3;

5) управління співвідношеннями швидкостей і натягів (зусиль) (рис. 11.12 *д*). Виконується доповненням функції 2 задачами управління натягами;

6) управління швидкостями і натягами з реалізацією гальмівних режимів електроприводів, управління натягом у зоні оброблення полотна (або дроту) та лінійною швидкістю в намотувальному пристрої (рис. 11.12 *е*);

7) управління технологічними змінними через швидкості виконавчих механізмів (рис. 11.12 *з*). Має ті самі особливості, що й функція 7;

8) управління технологічними змінними через координати стану електроприводів (швидкості, положення та ін.) і змінні виконавчих пристроїв іншого вигляду (тиск, температура, подача емульсії тощо, рис. 11.12 *ж, з*).

На рисунку 11.12 БУМ, БУШ, БУП, БУН, БУТ, – відповідно блоки управління моментом, швидкістю, положенням, натягом, товщиною; РШ, РП, РН, РСШ, РСП – регулятори відповідно швидкості, положення, натягу, синхронізації швидкостей, синхронізації положень; ЗШ – задавач швидкості; ДТ – датчик товщини; ДН – датчик натягу.

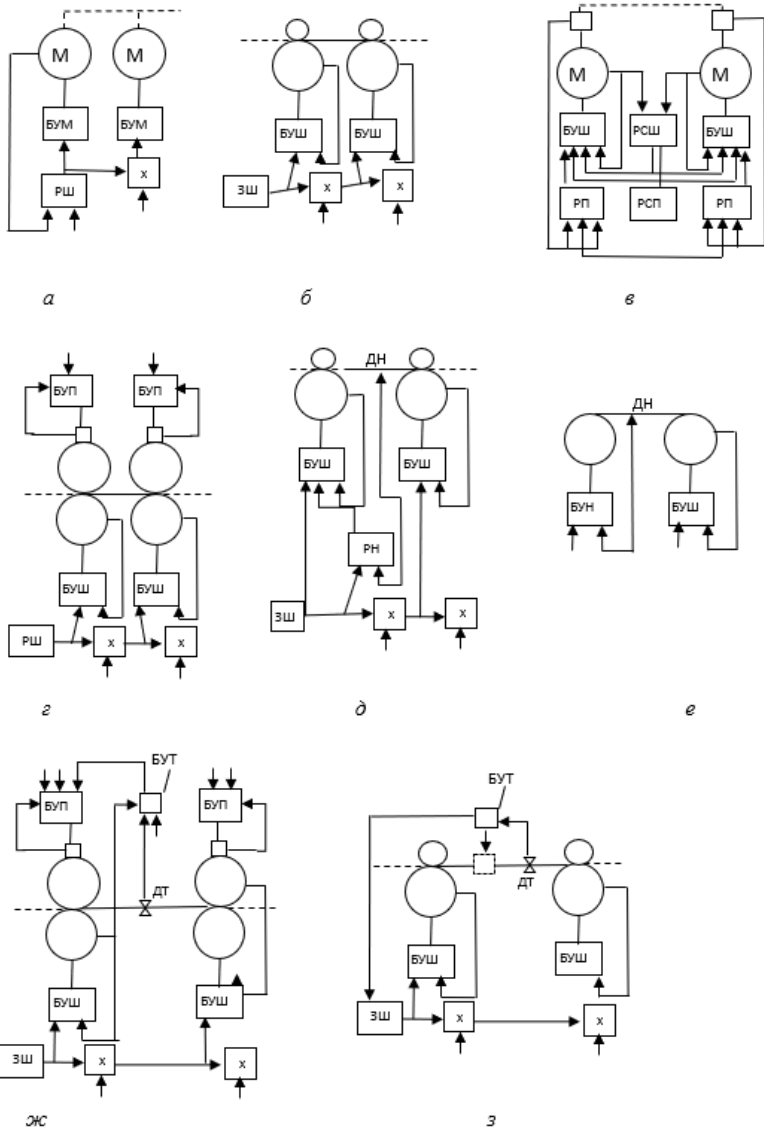


Рисунок 11.12 – Типові функціональні модулі обладнання

У технологічних комплексах різного виробничого призначення можуть використовуватися будь-які поєднання типових функціональних модулів. Можливе створення бази програмних моделей типових механізмів і технологічних агрегатів, а також програмних блоків, що реалізують алгоритми управління механізмами й агрегатами, що забезпечують вирішення таких завдань:

- відпрацювання алгоритмів управління механізмами, агрегатами й комплексами з імітацією основних технологічних режимів;

- підготовку програмного забезпечення комп'ютерних систем управління конкретними об'єктами на основі бази програмних блоків;

- дослідження можливостей використання типових комп'ютерних засобів автоматизації для реалізації гнучко-програмованих систем управління механізмами, агрегатами і комплексами.

Типові модулі процесів у поєднанні з типовими приводними модулями дозволяють мати готові моделі низки технологічних процесів і проектувати повний комплект засобів автоматизації для кожного з них. Водночас різко скорочуються витрати на проектування і час, що відводиться для проектних досліджень.

Для координованого управління механізмами застосовуються алгоритми управління за часом, станом об'єкта, готовністю, певною послідовністю роботи, шаблоном. У першому випадку на виконання технологічного процесу відводиться певний проміжок часу, який встановлюється і розподіляється між окремими ділянками процесу згідно з попереднім розрахунком. Водночас формується часова діаграма роботи механізму в складі агрегата. Часову діаграму у вигляді таблиці граничних значень заносять у керувальну програму

технологічного контролера (КТ), який у заданий час видає керувальне діяння на зміну режиму роботи відповідного електропривода.

Алгоритм управління за часом можна подати у вигляді двох частин: алгоритму формування послідовності інтервалів часу; алгоритму управління виконавчими пристроями відповідно до інтервалів часу. Формування послідовності інтервалів часу виконується з використанням засобів створення витримок часу (реле часу або таймерів) або лічильника послідовності імпульсів заданої тривалості. У програмованих контролерах краще використовувати перший спосіб. По-перше, програмування контролерів допускає введення великої кількості програмних таймерів. По-друге, такий підхід зручніший під час налагодження системи управління і корекції значень інтервалів часу. Послідовність інтервалів часу формується послідовністю таймерів, які складають генератор інтервалів часу (ГІЧ). Програмна реалізація ГІЧ мовою релейно-контактних схем показана на рисунку 11.13.

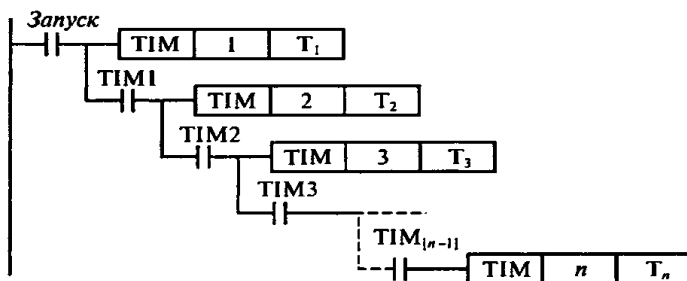


Рисунок 11.13 – Програмна реалізація генератора інтервалів часу

У цій програмі використовуються таймери з затриманням на ввімкнення. Біт управління «Запуск» у загальному випадку може являти собою досить складну логічну функцію, що залежить від різних сигналів управління, зокрема і від прапорів таймерів – складових ГЧ.

Під час установки біта «Запуск» у стан 1 (ON) таймери послідовно формують інтервали часу, а під час установки в стан 0 (OFF) усі таймери скидаються впродовж одного циклу сканування програми. Біт «Запуск» має нульовий інтервал часу від початку запуску ГЧ.

Керувальні сигнали на виконавчі пристрої формуються в функції стану біта «Запуск» і прапорців таймерів ГЧ. Наприклад, у програмі, наведеної на рисунку 11.14, біт ВО (виконавчий орган) вмикається під час установки біта «Запуск» у стан ON і вимикається після відпрацювання таймера TIM2, а також вмикається після відпрацювання таймера TIM_i та вимикається після відпрацювання таймера TIM_j.

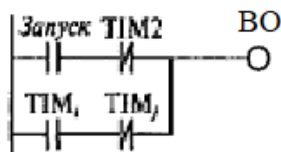


Рисунок 11.14 – Програма роботи генератора інтервалів часу

Під час управління за станом об'єкта рух механізмів здійснюється залежно від координат стану електроприводів. Прикладом може бути система підтримання заданої подачі на оберті шпинделя в токарних, свердлильних, фрезерних та інших верстатах. Такі технологічні агрегати містять електроприводи головного

руху і подач. Керувальні діяння для електроприводів формуються за певними законами управління, залежно від режиму їх роботи.

Для управління станом об'єкта необхідно мати інформацію про цей стан. Тому під час розроблення таких систем обов'язковий вибір датчиків. Кількість датчиків і обсяг даних, що поставляються ними, повинні бути достатніми для одержання повної інформації про об'єкт, необхідної для вирішення конкретних задач управління.

Можна виділити два способи управління станом об'єкта:

- послідовність дій (станів об'єкта) жорстко визначена, й інформація з датчиків дозволяє контролювати закінчення дії або перехід об'єкта в новий стан, кожне нове діяння починається після закінчення попереднього;

- вибір нової дії (стану об'єкта) визначається поточними значеннями параметрів, кожна нова дія починається після того, як виконані необхідні для цього умови.

Перший спосіб називають також програмним, а послідовність дій об'єкта, яка реалізується водночас управління – програмою. У загальному випадку управління може містити обидва способи, наприклад, у програмі враховується стан параметрів, залежно від якого буде потрібна та чи інша послідовність дій.

Алгоритм жорсткого послідовного управління. Автоматичне управління в функції стану об'єкта за жорсткої послідовності операцій також є одним із поширених способів управління в дискретній автоматичі. Послідовність операцій може виконуватися одноразово за однієї команди або повторюватися багаторазово у повторюваних циклах. Алгоритм такого управління можна подати у вигляді двох частин:

– алгоритм формування послідовності дій або кроків управління (окремих операцій, що виконуються в об'єкті управління);

– алгоритм управління виконавчими пристроями відповідно з кроком управління.

Послідовність кроків формується з використанням датчиків стану об'єкта, які інформують систему управління про закінчення поточної операції. Факт закінчення попередньої операції є необхідною умовою початку наступної.

Різні кроки управління можуть використовувати одні й ті самі датчики або виконавчі пристрої, тому необхідно фіксувати кроки. У цьому разі робота датчиків на наступних кроках не впливає на попередні і відповідно на керовані ними виконавчі механізми. Для цього в програмі кожен крок управління пов'язується з бітовою змінною (ознакою кроку), яка в момент активізації кроку встановлюється в стан ON.

Отже, послідовність дій в об'єкті управління формується програмою, що генерує низку кроків, послідовно встановлюючи пов'язані з ними біти. Після закінчення останнього кроку всі ознаки кроків скидаються. Якщо цикл необхідно повторити, то останній крок повинен знову запуснути програму послідовності кроків.

Управління виконавчими механізмами визначається поточним кроком. Дія зазначається для того механізму, який на цьому етапі вмикається або вимикається. Виходячи з цього, формується функція управління виконавчими пристроями: для кожного пристрою визначається крок, на якому воно вмикається або вимикається.

Алгоритм гнучкого управління станом об'єкта. Для систем дискретного автоматичного управління об'єктами з скінченною кількістю станів, в яких алгоритм переходу з одного стану в інший визначається значеннями параметрів

об'єкта і не має жорсткої послідовності, можуть бути використані відомі алгоритми цифрових автоматів, наприклад, автомата Мура. Блок-схема автомата Мура подана на рисунку 11.15, де Y – вектор виходу; S – вектор поточного стану; S^* – вектор нового стану; X – вектор входу; B – функція виходу; M – пам'ять; A – функція переходу.

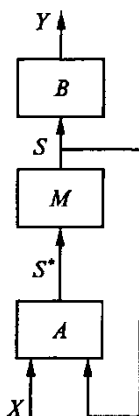


Рисунок 11.15 – Блок-схема автомата Мура

Якщо алгоритм управління конкретним об'єктом будується на основі алгоритму автомата Мура, то вектори мають конкретний зміст. Вектор виходу Y визначає сукупність сигналів управління на виконавчі пристрої об'єкта управління. Вектори стану S^* і S відображають режими роботи об'єкта і його окремих частин. Вектор входу X відповідає сукупності зовнішніх сигналів управління, впливу збурювальних впливів на об'єкт управління і стану поточних параметрів самого об'єкта управління.

Керувальні діяння на вмикання, вимикання електропривода або зміну режиму його роботи можуть

подаватися в моменти досягнення технологічної готовності. Технологічна готовність зазначається, наприклад, переміщенням виконавчого органа в задане положення або досягненням заданого рівня технологічного параметра (тиску, маси, складу суміші речовин тощо) завдяки діям ВО. Технологічну готовність контролюють за допомогою різних датчиків. Наприклад, у системі управління ліфтом спочатку працює електропривод лебідки, а після спрацьовування датчика поверховості управління передається на привод відкриття дверей ліфта.

Електроприводи технологічних агрегатів можуть вмикатися і вимикатися в певній послідовності, здійснюючи на кожній ділянці технологічного процесу рух ВО машин із необхідними швидкостями в потрібному напрямку.

У деяких технологічних агрегатах застосовують системи управління за шаблоном (копіювальні системи). Програма переміщення ВО машини задається за допомогою різного роду копіїв, наприклад, плоских шаблонів, обриси яких точно відповідають необхідним траєкторіям руху ВО. По контуру шаблона рухається щуп датчика, жорстко з'єданого з ВО. Останній по двох взаємно-перпендикулярних напрямках переміщується електроприводом спостереження з двома двигунами (по одному на кожен напрямок). На вхід системи управління електропривода спостереження подається сигнал, пропорційний відхиленню щупа від контуру шаблона (сигнал помилки). Один з двигунів водночас здійснює рух щупа і ВО уздовж контуру шаблона, другий двигун відпрацьовує сигнал помилки.

Виходячи із завдань управління, розглянутих вище, сучасні системи автоматизації містять різні обчислювальні засоби, до яких належать промислові комп'ютери,

технологічні контролери, вбудовані одноплатні комп'ютери.

Існують різні схеми побудови систем автоматизації: з централізованим і децентралізованим (розподіленим) управлінням технологічними агрегатами (машинами, механізмами). У першому випадку управління здійснюється від одного обчислювального пристрою (ОП). Процесор обслуговує по черзі окремі канали управління. Черговість обслуговування може задаватися жорсткою програмою або здійснюватися через надходження запитів від окремих каналів з можливістю використання пріоритетного обслуговування. У другому випадку кожен ЕП комплектується своїм ОП. Центральний ОП відсутній або він вводиться для передачі йому функцій диспетчера або супервізора. Програмне забезпечення ОП складається з програм диспетчера, що координує роботу системи управління, робочих програм, програм обслуговування пульта оператора і діагностичної програми.

Обчислювальні засоби в системі управління технологічним агрегатом виконують такі функції: збирання і первинне оброблення даних; контроль процесу; управління процесом, його стабілізацію та оптимізацію; допоміжні функції.

Збирання, первинне оброблення даних і контроль процесу належать до групи інформаційних функцій ОП, до складу якої входять: збирання і зберігання інформації про стан процесу і пристроїв системи управління; безперервний контроль відповідності параметрів процесу і технологічної системи допустимим значенням; видавання інформації оператору про невідповідність параметрів допустимим значенням; періодична реєстрація значень контрольованих параметрів; сигналізація в разі наближення до аварійного стану; оперативний зв'язок із засобами управління інших рівнів та ін. Управління,

стабілізація та оптимізація відповідають групі керувальних функцій ОП, а саме:

- пуск і зупинення технологічного агрегату або окремих електроприводів;

- формування керувальних впливів, що забезпечують реалізацію заданого режиму роботи технологічного об'єкта;

- виконання розрахунків для визначення параметрів об'єкта (розв'язання задач параметричної ідентифікації);

- автоматична оптимізація технологічного процесу відповідно до прийнятого критерію якості.

Застосування контролерів передбачає вибір їх типу й конфігурації, а також розроблення керувальних програм, що реалізують необхідні функції управління. Водночас повинні забезпечуватися не лише вимоги, що висуваються з боку об'єкта, а й вимоги, що дозволяють під час роботи з органами управління працювати в єдиному керувальному комплексі, забезпечуючи відображення стану об'єкта в реальному часі для технолога-оператора.

Програмований контролер має великий набір функціональних модулів, мережеві засоби, засоби відображення даних про технологічний процес, засоби програмування і дистанційного керування (переносні пульти). Модулі введення і виведення аналогової і дискретної інформації містять вузли гальванічної розв'язки сигналів, вузол мультиплексування аналогових вхідних сигналів, а також аналого-цифровий (АЦП), цифро-аналоговий (ЦАП), дискретно-цифровий (ДЦП) і цифро-дискретний (ЦДП) перетворювачі.

Для контролю працездатності та справності електричних ланцюгів ввімкнення датчиків і виконавчих пристроїв контролери мають світлодіодну індикацію стану входів і виходів, режимів контролера і його окремих

модулів. Для цих самих цілей у складі периферійних пристроїв технологічного контролера (КТ) є ручні налагоджувальні пульти і консолі, з яких можна здійснювати повний контроль стану самого КТ і значень усіх оброблюваних даних.

Під час управління технологічними агрегатами зазвичай застосовуються контролери з невеликою кількістю інтелектуальних модулів. У низці випадків для управління ескалаторами, насосами, компресорами, невеликими пресами, дверима, воротами тощо застосовуються логічні модулі, наприклад, LOGO фірми «Siemens». До складу логічного модуля входять: вбудовані клавіатура, дисплей, годинник, цифрові входи і виходи і релейні виходи. Логічні модулі реалізують основні функції (І, АБО тощо) і спеціальні: затримання ввімкнення, затримання вимкнення, імпульсне реле, реле з самоконтролем, тактовий генератор, затримання ввімкнення із запам'ятовуванням, тригер, аналоговий компаратор та ін. Програмування логічних модулів здійснюється натисканням кнопок, розміщених на передній панелі.

Нині промислові комп'ютери мають ту саму архітектуру, що і персональні: підтримують шини ISA і PCI; їх основою є материнські плати, мають динамічне ОЗП (від 16 Мб і більше); вони підтримують накопичувачі FDD (накопичувач на гнучких магнітних дисках) і HDD (вінчестер); мають вбудовану флеш-пам'ять і кілька послідовних і паралельних портів; функціонують під управлінням операційних систем Windows та інших ОС реального часу.

Промислові комп'ютери мають велику номенклатуру цифрових і аналогових модулів введення і виведення, комунікаційних плат (наприклад, контролер локальної мережі Ethernet, модем для широкого діапазону

температур, високошвидкісний модем, плати послідовного й паралельного інтерфейсів тощо), плат розширення (наприклад, багатофункціональний лічильник-таймер, відеокарта SVGA, контролер дисководів і вінчестера, плата управління рухом тощо), комплектувальних (наприклад, плата введення і виведення високих напруг, аналоговий мультиплексор, перетворювач RS-232 в RS-485, клемна плата для оптичного розв'язування та ін.).

У технологічних агрегатах застосовують вбудовані одноплатні та промислові комп'ютери (ПК). Відмінність між ними полягає в тому, що в останньому випадку джерело живлення, материнська плата й інтелектуальні модулі розміщуються в корпусі і можуть перебувати як у шафі з електрообладнанням, так і на деякій відстані від неї. Висока продуктивність ПК, велика номенклатура модулів і ефективні програмні засоби дозволяють вирішувати широкий спектр завдань автоматизації.

У системах управління застосовуються промислові комп'ютери фірм: «Advantech» (IPC-602P3-26P, IPC-620DP4-B, PCM 5864 / BARE, MIC-3376-A, MIC-3376S-A, PPC-I50T, IPPC-920T, IPPC -950T); «Octagon» (серія одноплатних комп'ютерів Micro PC, контролер MIL-STD-1553B); «Dataforth» (DCP485-P, LDM485-P, LDM80-P, LDM85-S); «Ampro»; «PEP»; «Radisus» і ін. Для побудови систем людино-машинного інтерфейсу, розв'язання задач оперативного управління і відображення інформації, що надходить від контролера або персонального комп'ютера, фірмами розроблені програмовані термінали (сенсорні панелі). Вихідна інформація формується у вигляді екранів і виводиться на рідкокристалічний дисплей терміналу. Кількість відображуваних екранів визначається ємністю блоку пам'яті, встановленого в термінал.

Для створення прикладних програм для контролерів використовується стандарт Міжнародної електротехнічної

комісії IEC-1131 – квінтесенція досвіду країн в області мов програмування для систем автоматизації технологічних процесів. Стандарт специфікує п'ять мов програмування:

- Sequential Function Chart (SFC) – мова послідовних функціональних блоків;

- Function Block Diagram (FBD) – мова функціональних блокових діаграм;

- Ladder Diagrams (LD) – мова релейних діаграм;

- Structured Text (ST) – мова структурованого тексту;

- Instruction List (IL) – мова інструкцій.

Для візуалізації та обслуговування існуючих систем управління різні фірми розробили спеціалізовані пакети. Зокрема, фірма «Siemens» розробила програмні продукти: Control Center – для швидкого огляду всіх даних проєкту і глобальних установок; Graphics Designer – для створення мнемосхем і динамічних графічних об'єктів зображень процесу та інші пакети, що функціонують в середовищі Windows.

У багатьох машинах і механізмах для управління застосовуються електромеханічні командоапарати різних конструкцій, ручні маніпулятори типу «джойстик», кнопки управління (наприклад, панель управління в ліфті), педалі тощо. Командоапарат безпосередньо пов'язаний із контролером.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть мету застосування систем стабілізації швидкості (ССШ) руху електропривода.

2. В яких двох режимах може функціонувати ССШ електропривода виробничого механізма?

3. Яким показником чисельно характеризують статичну точність ССШ?

4. Якими способами можна оцінювати динамічну

точність ССШ?

5. На які три категорії поділяють електроприводи за діапазоном регулювання швидкості?

6. Назвіть сфери застосування систем стеження та позиціонування електропривода.

7. Які переваги і недоліки мають позиційні системи електропривода під час реалізації прямокутних часових діаграм прискорень? Якими способами ці недоліки усуваються?

8. Назвіть види технологічних об'єктів, в яких використовуються шляхові датчики (ШД), за сигналами яких встановлюються задані значення швидкостей.

9. Накресліть часові діаграми змінення координат стану механізму в режимі позиціонування, тобто лінійного переміщення на задану відстань $S_{уст}$, за умов: діаграма прискорення прямокутна, значення $S_{уст}$ настільки невелике, що швидкість руху не досягає максимального допустимого значення.

10. Накресліть часові діаграми змінення координат стану механізму в режимі позиціонування, тобто лінійного переміщення на задану відстань $S_{уст}$, за умов: діаграма прискорення прямокутна, значення $S_{уст}$ настільки велике, що швидкість руху досягає максимального допустимого значення.

11. Накресліть часові діаграми змінення координат стану механізму в режимі позиціонування, тобто лінійного переміщення на задану відстань $S_{уст}$, за умов: діаграма прискорення трикутна, значення $S_{уст}$ настільки невелике, що швидкість руху не досягає максимального допустимого значення.

12. Накресліть часові діаграми змінення координат стану механізму в режимі позиціонування, тобто лінійного переміщення на задану відстань $S_{уст}$, за умов: діаграма прискорення трикутна, значення $S_{уст}$ настільки велике, що

швидкість руху досягає максимально допустимого значення.

13. Назвіть галузі застосування позиційних систем, в яких як датчики положення використовуються шляхові датчики.

14. Якими засобами можна підвищити точність зупинення механізму переміщення?

15. Які завдання управління вирішуються в пристроях числового програмного управління (ЧПУ)?

16. Охарактеризуйте склад програмного забезпечення системи ЧПУ.

17. Охарактеризуйте склад прикладного програмного забезпечення системи ЧПУ. Які функції система ЧПУ виконує з використанням прикладного програмного забезпечення?

18. Які алгоритми описують технологічні керувальні програми пристрою ЧПУ, що становлять основу прикладного ПЗ?

19. Охарактеризуйте склад системного програмного забезпечення системи ЧПУ. Які функції система ЧПУ виконує з використанням системного програмного забезпечення?

20. Охарактеризуйте чотири рівня програмного управління технологічним процесом, що виконує технологічна машина під керуванням системи ЧПУ.

21. В якому разі необхідна синхронізація швидкостей руху робочих органів механізмів?

22. Перелічіть способи керування електроприводами механізмів, пов'язаних механічно через оброблюваний матеріал, із дотриманням заданого співвідношення швидкостей їхніх робочих органів. За допомогою яких засобів реалізуються ці способи?

23. Накресліть функціональну схему ділянки неперервного прокатного стану, що містить 3 прокатні кліті

з індивідуальними приводами валків, швидкості обертання яких підтримуються в заданому співвідношенні способом послідовного (каскадного) управління. Який привод є провідним, а які – веденими? Запишіть формули, якими визначаються задання швидкостей обертання валків усіх клітей (із поясненням сенсу змінних і коефіцієнтів).

24. Накресліть функціональну схему ділянки неперервного прокатного стану, що містить 3 прокатні кліті з індивідуальними приводами валків, швидкості обертання яких підтримуються в заданому співвідношенні способом паралельного (незалежного) управління. Який привод є провідним, а які – веденими? Запишіть формули, якими визначаються задання швидкостей обертання валків усіх клітей (із поясненням сенсу змінних і коефіцієнтів).

25. Яким чином здійснюється синхронізація положень робочих органів двох механізмів, оснащених приводами стеження?

26. Поясніть сутність (за основними ознаками) режиму провідний – ведений.

27. На який підставі (за якими ознаками) можна стверджувати, що слідкуючі системи та системи синхронізації швидкостей працюють у режимі провідний – ведений?

28. Розглядаючи технологічний процес мірного порізу довгомірного матеріалу на ділянці порізу в технологічній лінії як взаємодію двох об'єктів – профіль та ЛП, визначте, який з цих об'єктів є провідним, а який – веденим.

29. Розглядаючи операцію порізу профілю на ділянці різання в технологічній лінії як взаємодію двох об'єктів – НО літальної пилки та механізму подачі пильного диску, визначте, який із цих об'єктів є провідним, а який – веденим.

30. Розв'язання яких задач здійснюють інтелектуальні технологічні модулі контролерів приводів?

31. Які функції виконують технологічні контролери в системах управління технологічних агрегатів (комплексів)?

32. Який пристрій системи автоматизації технологічного агрегата здійснює координацію задавальних сигналів, що подаються на регулятори?

33. З яких модулів створюються блоки управління комплектних електроприводів?

34. Яким чином реалізуються регулятори технологічних змінних у системах автоматизації?

35. В яких випадках необхідно керувати завантаженням електроприводів? Чи має місце в таких технологічних системах ідентифікація приводів за принципом «провідний – ведений»? Які задачі вирішують системи керування провідного та ведених приводів?

36. Накресліть функціональну схему системи керування електроприводами роликів стрічкового конвеєра, яка забезпечує регулювання натягу стрічки. Поясніть принцип роботи цієї системи.

37. Наведіть приклади випадків, коли електропривод механізму може зазнавати механічні перевантаження.

38. В яких випадках повинне здійснюватися автоматичне обмеження величини електромагнітного моменту двигуна без припинення роботи механізму?

39. Яку механічну характеристику (за назвою) повинен мати електропривод із неперервним електричним обмеженням моменту? Наведіть якісне зображення такої характеристики.

40. Якими чинниками визначається допустимий стопорний момент двигуна?

41. Наведіть пояснення понять ідеальної та реальної екскаваторних механічних характеристик електропривода.

42. Запишіть рівняння падаючої ділянки екскаваторної механічної характеристики електропривода.

43. Наведіть поняття коефіцієнта відсічки екскаваторної механічної характеристики електропривода (із графічною ілюстрацією). Яке значення цього коефіцієнта є оптимальним, якщо передбачається обмеження моменту лише в перехідних процесах?

44. Покажіть на рисунку (для порівняння) 3 екскаваторні характеристики електропривода зі значеннями коефіцієнта відсічки 1,0; 0,75; 0,5.

45. Як впливає величина коефіцієнта відсічки на темп загасання коливань під час стопоріння механізму?

46. Яке значення коефіцієнта відсічки є оптимальним у разі, коли екскаваторна характеристика потрібна лише для обмеження моменту в перехідних процесах? Який вигляд має відповідна такому випадку механічна характеристика електропривода?

47. Перелічіть групи обладнання, для яких характерні спільні функціональні завдання управління в технологічному процесі.

48. Перелічіть типові функції управління, що реалізуються в технологічних системах. Кожну з цих функцій проілюструйте функціональною схемою технологічного об'єкта з багатодвигуновим електроприводом.

49. Які завдання вирішуються в програмних блоках управління механізмами і агрегатами?

50. Які типові алгоритми застосовуються для координованого управління механізмами? Дайте короткий опис цих алгоритмів.

51. Назвіть способи управління станом об'єкта, опишіть процедури їх виконання.

52. Поясніть ідеологію централізованого і децентралізованого управління технологічними агрегатами.

53. Перелічіть інформаційні функції, які виконує технологічний контролер.

54. Перелічіть керувальні функції, які виконує технологічний контролер.

55. Перелічіть мови програмування, які специфіковані стандартом IEC-1131 Міжнародної електротехнічної комісії.

Тема 12. Енерго- і ресурсозбереження засобами електропривода

Одним з основних напрямків технічної політики в усіх країнах світу на цей час є енергозбереження. Це пов'язано з обмеженістю та непоновленістю всіх основних енергоресурсів, неперервно зростаючими складністю їх добування та вартістю, а також із глобальними екологічними проблемами.

Енергозбереження зводиться до зменшення некорисних витрат енергії у всіх сферах діяльності людства. Істотною складовою цієї проблеми є енергозбереження у сфері споживання електроенергії. На сферу споживання припадає 90 % втрат енергії, тоді як втрати під час передавання енергії не перевищують 10 %. Тому очевидно, що основні зусилля щодо енергозбереження мають бути сконцентровані саме у сфері енергоспоживання.

Основним споживачем електроенергії (більше ніж 60 % світового вироблення) являється електропривод (ЕП). Всі ЕП, за винятком багаточисельних малопотужних (доли кВт) ЕП побутової техніки, можна поділити на дві великі групи. В першу групу входять ЕП механізмів, які потребують точного регулювання технологічних змінних (у складі прокатних станів, папероробних машин, металорізальних верстатів, роботів та ін.). До цієї групи належать не більше 10 % всіх ЕП і в ній здійснені зазвичай енергоефективні технічні заходи.

Друга група (близько 90 % всіх ЕП) – це ЕП простих механізмів, таких як насоси, вентилятори, транспортери, конвеєри тощо. Саме в цієї групі є великий резерв енерго- і ресурсозбереження. Якщо всі ЕП споживають 60 % виробленої електроенергії, то ЕП цієї групи – близько 50 %. ЕП цієї групи в основному нерегульовані, а технологічні процеси потребують управління технологічними змінними:

швидкістю, тиском, температурою та ін. Управління електроприводами цієї групи здійснюється енергетично неефективно, що знижує продуктивність, надійність та якість продукції. Характерним прикладом є асинхронний ЕП насосів на насосних станціях комунального водопостачання. Насос, оснащений таким ЕП, створює надлишковий напір, витрачаючи некорисну енергію в силовому каналі ЕП. Надлишковий напір призводить до зростання витоків та втрати води, гідравлічним ударами під час ввімкнення насоса, дратуванням труб. Аналогічні наслідки застосування простішого ЕП можна виявити і в багатьох інших технологічних установках.

Причини некорисного витрачення електроенергії в усіх країнах світу можна поділити на три види: технічні, економічні та організаційно-психологічні. Технічні причини полягають у тому, що до недавнього часу не було доступних і ефективних засобів енергозбереження в електроприводі. Завдяки успіхам у галузях силової та інформаційної електроніки такі засоби з'явилися, однак застосування методів енергозбережного управління в простих ЕП ще не стало інтенсивним.

Економічні причини полягають у тому, що енергозбережне обладнання має високу вартість, а економія проявляється лише через певний термін експлуатації. В житлово-комунальному господарстві міст, де особливо великий потенціал енергозбереження, значна частка витрат покривається із бюджету міста, не створюючи швидкої компенсації завдяки економії енергії.

Організаційно-психологічні причини полягають у тому, що користувач не бажає вносити зміни у виробництво, що добре працює, лише з метою економії електроенергії. Він може зробити це лише для збільшення продуктивності або підвищення якості продукції.

Розглянемо основні методи заощадження електроенергії в автоматизованих електроприводах технологічних агрегатів.

12.1. Правильний вибір потужності двигуна

Вибір двигуна завищеної номінальної потужності призводить до зниження його техніко-економічних показників (ККД, коефіцієнта потужності), викликаних недовантаженням двигуна. Таке рішення під час вибору двигуна приводить як до зростання капітальних вкладень (з ростом потужності збільшується вартість двигуна), так і експлуатаційних витрат, оскільки зі зменшенням ККД і коефіцієнта потужності зростають втрати, а, отже, зростає непродуктивна витрата електроенергії.

Застосування двигунів заниженої номінальній потужності викликає їх перевантаження під час експлуатації. Внаслідок цього зростає температура обмоток, що сприяє зростанню втрат і викликає скорочення терміну служби двигуна. В кінцевому рахунку виникають аварії та непередбачені зупинки електроприводу і, отже, зростають експлуатаційні витрати. Найбільшою мірою це відноситься до двигунів постійного струму через наявність в них щітково-колекторного вузла, чутливого до перевантаження.

12.2. Застосування регульованих електроприводів замість нерегульованих

Перехід від нерегульованого електропривода до регульованого є одним з основних шляхів енергозбереження в технологічній сфері. За допомогою регульованих ЕП можливо, під час зміни режимів роботи технологічного обладнання і фізико-механічних властивостей оброблюваних речовин, установлювати оптимальні з енергетичних витрат умови оброблення

речовини, наприклад, оптимальні швидкості насосу під час зміни витрати і властивостей рідини, шпинделя металообробного верстату під час зміни розмірів і матеріалу оброблюваних деталей, ротора дробарки під час зміни розмірів і властивостей подрібнюваної речовини та ін.

Насоси й вентилятори – основні споживачі електроенергії – до теперішнього часу в усьому світі обладнані найпростішим ЕП і володіють величезним ресурсом енерго- і ресурсозбереження. Перехід до регулювання тиску та витрати води насосних агрегатів за допомогою регульованих електроприводів замість дросельного регулювання призводить до економії електроенергії приблизно на 30 %. Насос як пристрій перетворення енергії має свій коефіцієнт корисної дії η_n – відношення гідравлічної енергії, одержуваної в напірному трубопроводі, до механічної енергії, яка додається до вала насоса. Характер зміни η_n залежно від витрати рідини Q за різних частот обертання робочого колеса відцентрового насоса показаний на рисунку 12.1.



Рисунок 12.1 – Робочі характеристики насосного агрегата

Максимум ККД (рис. 12.1) зі зменшенням частоти обертання знижується та зміщується вліво. Аналіз необхідного змінення частоти обертання під час зміни витрат Q (подачі в мережу) показує, що зі зменшенням витрат для максимізації ККД потрібно зниження частоти обертання. Якщо розглянути роботу агрегата для витрати менше номінального (вертикальні пунктирні лінії А і В), то для цих режимів також раціонально робити зі зниженою частотою обертання. У цьому разі ККД насоса вище, ніж під час роботи з номінальною частотою обертання (1500 хв^{-1}). Отже, зниження частоти обертання відповідно до технологічного навантаження дозволяє не лише економити споживану енергію завдяки скороченню гідравлічних втрат, а й отримати економічний ефект через підвищення ККД самого насоса – перетворювача механічної енергії в гідравлічну. Аналогічна ситуація може мати місце і в інших агрегатах.

Необхідно підкреслити, що в розглянутому випадку поряд із головним ефектом – зниженням втрат енергії в технологічній машині та в силовому каналі електропривода досягаються не менш важливі ефекти: раціоналізується весь технологічний процес, економляться інші ресурси, збільшується термін служби обладнання тощо.

12.3. Застосування енергозберіжних силових модулів

Головними серед силових модулів є електродвигуни та керовані напівпровідникові перетворювачі – випрямлячі та інвертори, гальмівні модулі, що забезпечують рекуперацію електроенергії від двигуна в живильну мережу.

Електротехнічні компанії виробляють так звані енергозберіжні двигуни. Ці двигуни мають підвищені номінальні значення ККД і коефіцієнта потужності ($\cos\varphi$).

Доцільність застосування таких двигунів повинна оцінюватися з урахуванням додаткових витрат. Підвищення на 5–7 % номінальних ККД і $\cos\varphi$ за рахунок збільшення маси заліза, міді бо алюмінію досягається подорожчанням двигуна на 30–40 %. Ефективність використання енергозберіжливих двигунів буде тим вища, чим більше завантаження двигуна й чим ближче режим його роботи до неперервного номінального навантаження.

Велике значення має раціональний вибір пускорегулювальної апаратури. З одного боку бажано, щоб процеси пуску, гальмування, реверсу й регулювання частоти обертання не супроводжувалися значними втратами електроенергії, так як це веде до подорожчання експлуатації електропривода. Але, з іншого боку, бажано, щоб вартість пускорегулювальних пристроїв не була б надзвичайно високою, що призвело б до зростання капітальних вкладень. Зазвичай ці вимоги перебувають у протиріччі. Наприклад, застосування тиристорних пускорегулювальних пристроїв забезпечує найбільш економічне проходження процесів пуску і регулювання швидкості обертання двигуна, але вартість цих пристроїв поки ще залишається досить високою. Тому під час вирішення питання доцільності застосування тиристорних пристроїв необхідно звернутися до графіка роботи проєктованого ЕП. Якщо електропривод не потребує глибокого регулювання швидкості, частих пусків, реверсів тощо, то підвищені витрати на дороге устаткування можуть виявитися невиправданими, тому що економія енергії буде незначною. І навпаки, за інтенсивної експлуатації електропривода в перехідних режимах застосування електронних пускорегулювальних пристроїв стає доцільним. До того ж потрібно мати на увазі, що ці пристрої практично не потребують догляду і їх техніко-економічні показники, включаючи надійність, досить високі.

Розглянемо тягловий електропривод маршрутного електротранспорту, зокрема трамвая. На рисунку 12.2 подана схема енергетичного балансу трамвая, на якому встановлені чотири електродвигуни по 40 кВт кожний. На рисунку позначено: 1 – енергія, споживана з контактної мережі; 2 – втрати в обмотках збудження; 3 – втрати в якірних обмотках; 4 – втрати в пускогальмівних реостатах; 5 – енергія, що витрачається на рух трамвая.

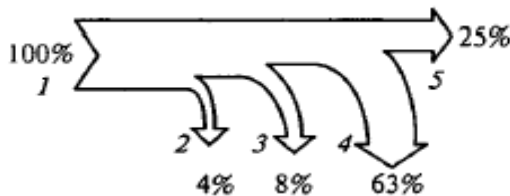


Рисунок 12.2 – Енергетична діаграма тягового електропривода трамвая

У широко поширених тягових електроприводах трамваїв із пускогальмівними реостатами втрати в реостатах досягають 63 % енергії, споживаної трамваєм із контактної лінії. Безпосередньо на рух задіється 25 % енергії з мережі, а 63 % енергії перетворюються в тепло в пускових і гальмових реостатах у процесах розгону і гальмування трамвая.

Заміна реостатного регулювання електроприводів на регулювання з використанням силових електронних перетворювачів дає можливість знизити втрати в пускових режимах і повернути енергію, що виробляється під час гальмування, в контактну мережу. В результаті витрата енергії, споживаної трамваєм, зменшується майже в 2 рази.

12.4. Усунення проміжних передач

Номінальна частота обертання двигуна зазвичай не збігається з потрібною для механізму. Простішим і широко застосовним способом реалізації потрібного співвідношення швидкостей обертання двигуна і вала робочого органа механізму є ввімкнення в механічну частину ЕП механічного перетворювача (передачі). Передачі можуть бути із постійним або змінним (регульованим) передатним відношенням, тобто регулювання швидкості обертання робочого органа за постійної швидкості обертання двигуна може бути ступінчастим або плавним. Ступінчасте регулювання здійснюється в коробках швидкостей із зубчастими колесами, у пасових передачах із ступінчастими шківками тощо. Безступінчасте регулювання здійснюється за допомогою фрикційних, ланцюгових і ремінних передач.

Орієнтовні значення ККД елементів привода становлять:

– електричний перетворювач – $\eta_{\text{п}} = 0,7-0,95$;

– електродвигун – $\eta_{\text{д}} = 0,75-0,95$;

– редуктор – $\eta_{\text{р}} = 0,7-0,9$;

– муфта – $\eta_{\text{м}} = 0,98$.

– ККД електропривода як тракта передачі енергії «електричний перетворювач – електродвигун – муфта – редуктор – муфта»

$$\eta = \eta_{\text{п}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{р}} \eta_{\text{м}} = 0,36-0,8.$$

Водночас від 15 % до 30 % енергії втрачається в передачах.

Отже, усунення механічних передач істотно підвищує ККД привода, що є однією з основних тенденцій розвитку електропривода. Безпосереднє з'єднання двигуна з робочим органом механізму приводить не лише до кращого

використання встановленої потужності привода, а й дозволяє підвищити надійність і точність здійснення технологічних процесів.

12.5. Підвищення завантаження технологічних машин та виключення режимів холостого ходу

Коефіцієнт завантаження двигуна за роботи в усталеному режимі

$$k_3 = P_{\phi}/P_H \approx P_M/P_{HM}, \quad (12.1)$$

де P_{ϕ} – фактична потужність, яку розвиває привод;

P_H – номінальна потужність двигуна;

P_M – фактична потужність споживання енергії з мережі;

$P_{HM} = P_H/\eta$ – потужність споживання енергії з мережі під час роботи двигуна в номінальному режимі;

η – ККД електропривода.

Нормативні документи Міністерства палива й енергетики України рекомендують:

при $0 \leq k_3 < (0,4, \dots, 0,5)$ необхідне застосування двигуна меншої потужності;

при $0,5 \leq k_3 < (0,7, \dots, 0,75)$ доцільність зниження встановленої потужності двигуна повинна бути підтверджена розрахунками;

при $0,75 \leq k_3 \leq 0,9$ потужність двигуна вибрана правильно.

Рекомендоване обмеження значення k_3 величиною 0,9 дозволяє запобігти можливому перевантаженню двигуна у разі спадання напруги живильної мережі.

Режим холостого ходу технологічної машини є економічно недоцільним, оскільки приводить до необґрунтованої витрати активної та реактивної енергії. З метою енергозбереження може бути виконано вимкнення

двигуна від мережі. Підґрунтям прийняття такого рішення є порівняння втрат енергії за час роботи привода на холостому ходу з втратами енергії під час наступного ввімкнення двигуна в роботу. Якщо втрати енергії за час пуску двигуна менше, ніж за час роботи на холостому ходу, то вимкнення доцільно, і навпаки. Вимкнення завжди доцільно під час тривалості холостого ходу більше ніж 10 с.

Для запобігання тривалої роботи ЕП на холостому ході використовуються таймери, за допомогою яких двигун вимикають від мережі через заданий проміжок часу роботи на холостому ходу. Зокрема, таке рішення часто застосовують у приводах металообробних верстатів, якщо час роботи на холостому ходу в міжопераційний період перевищує 10 с.

12.6. Зниження напруги живлення електродвигуна

Ефективним засобом енергозбереження в асинхронних ЕП є зниження напруги в колі статора асинхронного двигуна (АД) під час його роботи з малими навантаженнями або під час холостого ходу. Під час зниження напруги знижуються споживання реактивної енергії й теплові втрати в елементах системи електропостачання електропривода, а за певних значень коефіцієнта k_3 завантаження і в самому двигуні. Це положення ілюструють залежності струму намагнічування I_μ і приведенного струму ротора I_2' від напруги $U_1^* = U_1/U_{1ном}$ за різних моментів навантаження M_c , що наведені на рисунку 12.3.

З рисунку бачимо, що зниження напруги призводить до зменшення струму намагнічування і відповідно тієї частини споживаної реактивної потужності, яка йде на створення головного магнітного потоку АД. Водночас за незмінного моменту навантаження через зниження напруги зростають струми в колах статора і ротора, що викликає

збільшення споживання реактивної енергії, яка йде на створення полів розсіювання обмоток статора і ротора. Це означає, що зниження напруги можна здійснювати лише за малих навантажень двигуна або під час холостого ходу, коли зниження напруги та обумовлене цим зменшення магнітного потоку двигуна не викликає значного збільшення струмів у колах обмоток двигуна.

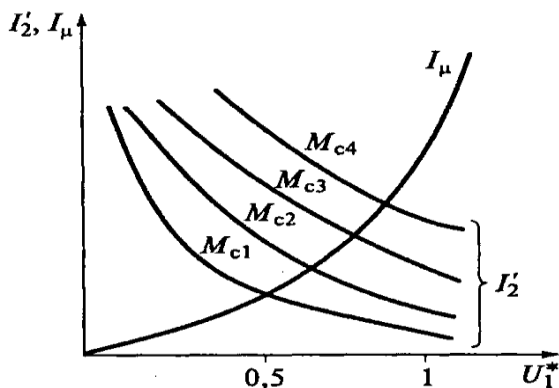


Рисунок 12.3 – Залежності струмів ротора та намагнічування асинхронного двигуна від напруги живлення обмотки статора

Споживана реактивна потужність АД визначається рівнянням

$$Q = Q_0 + k_3^2 \Delta Q_{\text{ном}}, \quad (12.2)$$

де Q_0 – реактивна потужність у разі холостого ходу;

$\Delta Q_{\text{ном}} = Q_{\text{ном}} - Q_0$ – прирощення реактивної потужності за переходу двигуна із режиму холостого ходу в номінальний режим.

Реактивна потужність у номінальному режимі визначається за формулою

$$Q_{\text{ном}} = 3 U_{1\text{ном}} I_{1\text{ном}} \sin\varphi_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \operatorname{tg}\varphi_{\text{ном}}/\eta_{\text{ном}}. \quad (12.3)$$

На практиці знайшли 2 способи зниження напруги живлення асинхронних двигунів: перемиканням обмотки статора зі схеми «трикутник» на схему «зірка» та застосуванням системи електропривода «тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун» (ТРН – АД).

У схемі «трикутник» (Δ) фазова напруга обмотки статора АД дорівнює лінійній напрузі мережі. Якщо ця схема є натурною схемою обмотки статора, то фазова напруга $U_1 = U_{1\text{ном}}$ і під час навантаження, близькому до номінального, двигун працює з повним магнітним потоком.

За істотного зниження навантаження обмотку статора перемикають на схему «зірка» (λ), фазова напруга на обмотці статора знижується в $3^{1/2} = 1,73$ рази, внаслідок чого зніжуються струм намагнічування, реактивна потужність, втрати енергії в системі електропостачання. Водночас втрати потужності в двигуні можуть як знижуватися, так і зростати, залежно від величини коефіцієнта завантаження.

Залежність реактивної потужності АД від напруги визначається формулою

$$Q \approx k_U^2 Q_0 + k_z^2 \Delta Q_{\text{ном}}/k_U^2, \quad (12.4)$$

де k_U – коефіцієнт зниження напруги, що дорівнює 1 під час з'єднання фазових обмоток статора за схемою «трикутник» та $1/3^{1/2}$ під час з'єднання обмоток за схемою «зірка».

Залежність втрат активної потужності АД від напруги визначається формулою

$$\Delta P = k_U^2 \Delta P_0 + k_3^2 \Delta P_{\text{ном}} / k_U^2, \quad (12.5)$$

де ΔP_0 – втрати потужності в АД за холостого ходу.

Підставивши в (12.4) та (12.5) значення k_U для схем Δ і λ , можемо визначити зниження реактивної потужності $\Delta Q_{\Delta \rightarrow \lambda}$ та втрат активної потужності $\Delta P_{\Delta \rightarrow \lambda}$ під час перемикання схеми обмотки статора з Δ на λ :

$$\Delta Q_{\Delta \rightarrow \lambda} = Q_{\Delta} - \Delta Q_{\lambda} = 2Q_0/3 - 2k_3^2 \Delta Q_{\text{ном}}; \quad (12.6)$$

$$\Delta P_{\Delta \rightarrow \lambda} = \Delta P_{\Delta} - \Delta P_{\lambda} = 2\Delta P_0/3 - 2k_3^2 \Delta P_{\text{ном}}. \quad (12.7)$$

Аналіз (12.6) за найбільш імовірних значень $Q_0 = (0,6; \dots; 0,75)Q_{\text{ном}}$ показує, що при $k_3 < 0,7$ реактивна потужність в схемі λ завжди менша, ніж у схемі Δ . Аналіз (12.7) за найбільш ймовірних значень $\Delta P_0 = (0,3; \dots; 0,35)\Delta P_{\text{ном}}$ показує, що зниження втрат активної енергії в АД під час переходу на схему λ буде при $k_3 < 0,4$. Отже, перемикання обмотки статора АД зі схеми «трикутник» на схему «зірка» за таких навантажень забезпечує ефект енергозбереження.

У деяких випадках зниження напруги потрібно лише для запуску двигуна. Таке завдання вирішується в ЕП за системою ТРН – АД (системи плавного пуску). В інших випадках можлива тривала робота двигунів за зниженої напруги, що також реалізовується за допомогою керованого електричного перетворювача і регулятора напруги в системі ТРН – АД. Функціональна та принципова електричні схеми системи ТРН – АД подані на рисунку 12.4.

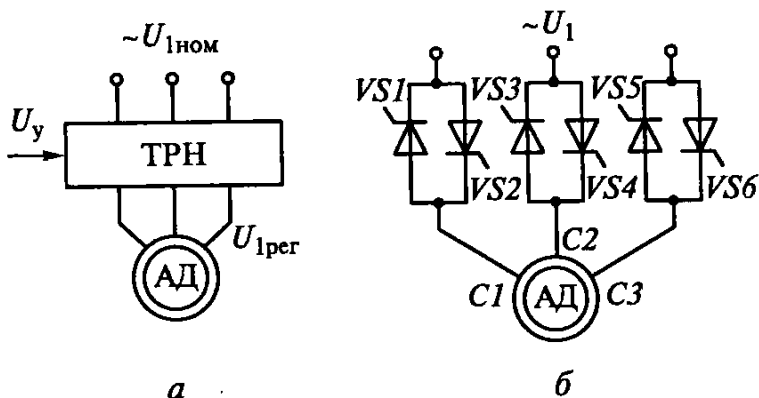


Рисунок 12.4 – Функціональна (а) та принципова електрична (б) схеми системи ТРН – АД

Тиристорний регулятор напруги змінює амплітуду напруги U_1 , що підводиться до обмотки статора АД, без зміни частоти. Він використовується в основному для управління пуском привода (м'які пускачі) та здійснення низки інших корисних функцій. Одна з них – підвищення енергетичних показників роботи асинхронних ЕП за малих навантажень. Можливість енергозбереження ілюструють залежності струму статора I_1 від напруги U_1 за різних моментів навантаження (рис. 12.5). Ці характеристики іноді називають U -подібними характеристиками двигуна.

Як бачимо із графіків U -подібних характеристик, під час кожного навантаження двигуна є така напруга, за якої струм статора має найменшу величину. Штрихова лінія, проведена через точки мінімумів струму для кожного навантаження, зазначає закон регулювання напруги в функції моменту навантаження. Під час реалізації такого закону з мережі споживається мінімальний струм. Зниження струму стається за рахунок зменшення його

реактивної складової. За рахунок цього забезпечується зниження втрат енергії в двигуні, підвищення його ККД і коефіцієнта потужності.

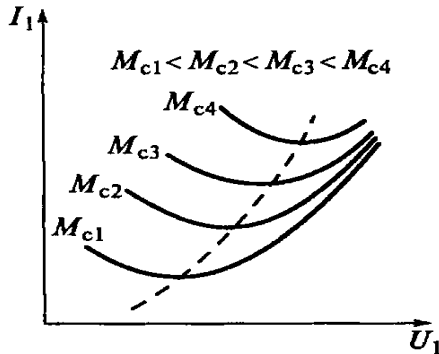


Рисунок 12.5 – U -подібні характеристики асинхронного двигуна

Проте необхідно звернути увагу на те, що під час зменшення напруги пропорційно квадрату напруги зменшуються значення максимального (критичного) і пускового моментів двигуна. Тому для оцінювання можливості зниження напруги (будь-яким способом) необхідно робити перевірку перевантажувальної здатності двигуна за зниженої напруги.

12.7. Використання синхронної машини як компенсатора реактивної потужності

Циркуляція реактивної потужності між системою електропостачання і електроприводом супроводжується втратами енергії, і водночас призводить до додаткового падіння напруги в лініях електропередачі й трансформаторах. У зв'язку з цим компенсація реактивної

потужності, тобто зниження її рівня, є одним із чинників енергозбереження.

Компенсацію реактивної потужності здійснюють за допомогою таких технічних засобів: конденсаторні батареї, фільтрокомпенсувальні пристрої, синхронні двигуни та синхронні компенсатори.

Конденсаторні батареї є основним засобом компенсації реактивної потужності за напруги в електроустановках меншої ніж 10 кВ. Вони характеризуються простотою під час монтажу та експлуатації, малими власними втратами потужності, невисокою вартістю. Їхнім недоліком є неможливість плавного регулювання генерованої реактивної енергії, чутливість до несинусоїдальності напруги мережі та пожежонебезпечність.

Фільтрокомпенсувальні пристрої доцільно застосовувати на підприємствах з змінним електричним навантаженням, що викликає великі коливання напруги та спотворення форми кривих струму і напруги. Ці пристрої здійснюють компенсацію реактивної потужності і одночасно фільтрацію вищих гармонік напруги та струму. Ті самі функції, але без фільтрації вищих гармонік, виконують статичні тиристорні компенсувальні пристрої.

Синхронні двигуни (СД), приводячи в рух робочі органи виробничих механізмів, можуть одночасно генерувати реактивну потужність. Завдяки цьому ЕП на базі СД може працювати з потрібним коефіцієнтом потужності і мінімальними втратами потужності (максимальним ККД). Діяння на ці енергетичні показники здійснюється шляхом регулювання струму збудження СД в автоматичному режимі за заданим критерієм якості.

Здатність роботи СД як джерела реактивної енергії ілюструють U -подібні характеристики залежностей струму статора I_1 і $\cos\varphi$ від струму I_b збудження за напруги

живлення обмотки статора $U_1 = \text{const}$, частоті $f_1 = \text{const}$ і потужності споживання активної енергії з мережі $P_1 = \text{const}$ (рис. 12.6). Ці характеристики мають мінімум, якому відповідає максимум коефіцієнта потужності $\cos\varphi = 1$.

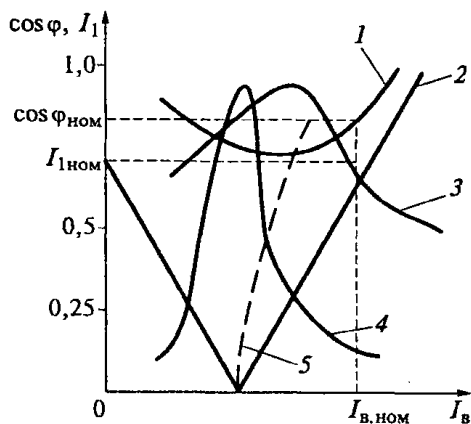


Рисунок 12.6 – U-подібні характеристики синхронного двигуна

Показані на рисунку 12.6 графіки залежностей $I_1(I_B)$ (криві 1 і 2) та $\cos\varphi(I_B)$ (криві 3 і 4) відповідають двом рівням навантаження двигуна: номінальному ($P_{\text{ном}}$, криві 1 і 3) та холостому ходу (криві 2 і 4). Область характеристик праворуч від пунктирної лінії 5 відповідає роботі двигуна з випереджувальним кутом φ (коли струм I_1 випереджує по фазі напругу U_1), ліворуч від неї – із запізнювальним кутом φ , а на самій лінії 5 $\cos\varphi = 1$.

За невеликих значень струму збудження струм статора відстає за фазою від напруги на кут φ , що відповідає роботі СД із запізнювальним кутом φ і споживанню ним реактивної енергії з мережі. За певного струму збудження

реактивна складова струму статора стає такою, що дорівнює нулю, струм статора має мінімальне значення, а $\cos\varphi = 1$. За подальшого збільшення струму збудження з'являється реактивна складова струму статора, що випереджує напругу на 90 ел. град, струм статора стає випереджувальним щодо напруги, СД генерує реактивну енергію та видає її в живильну мережу.

Як бачимо з рисунку 12.6, зі зростанням навантаження область генерації реактивної енергії зсовується у бік більших значень струму збудження. Отже, якщо СД працює з змінним навантаженням на валу, то для повного використання його компенсувальної здатності потрібно здійснювати відповідне змінення струму збудження. Номінальний струм збудження серійних СД такий, що за номінального навантаження він працює з випереджувальним $\cos\varphi$ у межах 0,8–0,9, тобто передбачене його використання як компенсатора реактивної потужності.

Синхронні компенсатори (СК) являють собою СД полегшеної конструкції, що працюють без механічного навантаження. Застосування синхронних компенсаторів дає можливість швидко і плавно регулювати генерацію реактивної енергії. Проте внаслідок високої вартості СК їх застосування доцільно лише за необхідності генерації значної реактивної потужності (50 МВАр і вище).

12.8. Зменшення втрат енергії в перехідних процесах

У перехідних режимах струми, що проходять по обмотках двигуна, істотно перевищують значення, які вони мають в усталених режимах, і тому викликають підвищені втрати енергії та додаткове нагрівання двигуна. Зниження втрат енергії в перехідних процесах має особливо велике значення для електроприводів, у яких динамічні режими займають значний час у робочому циклі (електроприводи

прокатних станів, підйомних кранів, шахтних підйомних машин тощо).

Потужність втрат енергії, що виділяються в роторі АД або в колі якоря двигуна постійного струму (ДПС), можна визначити як різницю електромагнітної та механічної потужностей:

$$\Delta P_{v2} = M\omega_0 - M\omega = M\omega_0(\omega_0 - \omega)/\omega_0 = M\omega_0 s, \quad (12.8)$$

де M – електромагнітний момент, створюваний двигуном;

ω_0 – швидкість ідеального холостого ходу;

$s = (\omega_0 - \omega)/\omega_0$ – ковзання асинхронного двигуна або відносний перепад швидкості двигуна постійного струму;

$\omega = \omega_0(1 - s)$ – фактична швидкість обертання двигуна.

В асинхронному двигуні змінні втрати відбуваються ще й в обмотці статора, їх потужність

$$\Delta P_{v1} = \Delta P_{v2} R_1 / R_2', \quad (12.9)$$

де R_1 – активний опір фазової обмотки статора;

R_2' – приведений опір фази кола ротора.

Повні змінні втрати в асинхронному двигуні дорівнюють

$$\Delta P_v = \Delta P_{v2} + \Delta P_{v1} = M\omega_0 s (1 + R_1 / R_2'), \quad (12.10)$$

а для ДПС вони визначаються формулою (14.8).

Із порівняння (12.8) і (12.10) бачимо, що як в АД, так і в ДПС потужність повних змінних втрат зазначається втратами в колах обмоток ротора або якоря, за формулою (12.8). Тому завдання енергозбереження в перехідних процесах (пуску, гальмування, реверсу) потрібно вирішувати як завдання зменшення змінних втрат саме в

цих колах, користуючись формулою (12.8) та основним рівнянням руху електропривода

$$M = M_c + J(d\omega/dt), \quad (12.11)$$

де M_c – момент механічного навантаження двигуна (статичний момент);

J – приведений до швидкості ω (до вала двигуна) підсумований момент інерції електропривода.

Реалізація енергозбережних перехідних процесів на практиці зводиться до формування відповідних тахограм $\omega(t)$ руху ЕП. Тому ми можемо обмежитись аналізом енерговитрат під час роботи ЕП на холостому ході, поклавши $M_c = 0$. У цьому разі електромагнітний момент двигуна буде визначатися лише його динамічною складовою $J(d\omega/dt)$, і з урахуванням рівності $\omega = \omega_0(1 - s)$ вираз (12.8) потужності змінних втрат набуває вигляду

$$\Delta P_{v0} = M\omega_0 s = J(d\omega/dt)\omega_0 s = J\omega_0^2(ds^2/dt)/2. \quad (12.12)$$

Інтегруючи праву частину (12.12) в межах довільного часу будь-якого перехідного процесу, одержимо вираз втрати енергії:

$$\Delta W_0 = J\omega_0^2(s_{\text{поч}}^2 - s_{\text{кін}}^2)/2, \quad (12.13)$$

де $s_{\text{поч}}$ і $s_{\text{кін}}$ – відповідно початкове і кінцеве значення ковзання (перепаду швидкості) на механічній характеристиці, на якій ЕП працює в перехідному процесі.

Вирази енергії змінних втрат у типових перехідних процесах електропривода наведені в таблиці 12.1.

Таблиця 12.1 – Енергія змінних втрат у перехідних процесах електропривода

Режим	$S_{\text{поч}}$	$S_{\text{кін}}$	ΔW_0
Пуск	1	0	$J\omega_0^2/2$
Динамічне гальмування	1	0	$J\omega_0^2/2$
Гальмування противмиканням	2	1	$3J\omega_0^2/2$
Реверс	2	0	$4J\omega_0^2/2$

Існує два основних способи зниження втрат енергії в перехідних процесах: зменшення моменту інерції ЕП та регулювання швидкості. Зменшити момент інерції можна такими способами:

- застосуванням малоінерційних двигунів (за однакової номінальної потужності вони мають збільшену довжину ротора (якоря) за меншого діаметра);
- раціональним конструюванням механічної передачі (оптимізацією передатного числа редуктора);
- заміною одного двигуна двома половинної потужності (сумарний момент інерції двох таких двигунів буде менше моменту інерції одного двигуна повної потужності).

Найбільш ефективним способом зниження втрат енергії є реалізація керованих перехідних процесів. Для обґрунтування цього положення розглянемо найпростіший спосіб керування пуском АД, коли швидкість ω_0 ідеального холостого ходу задається у два етапи. Такий процес пуску можна здійснювати під час використання двошвидкісного АД. Механічні характеристики двошвидкісного АД і тахограма процесу пуску подані на рисунку 12.7.

Втрати енергії в обмотці ротора АД за прямого (одноступінчастого) пуску на холостому ході на характеристиці II (див. табл. 12.1) дорівнюють:

$$\Delta W_{\Pi} = J\omega_0^2/2.$$

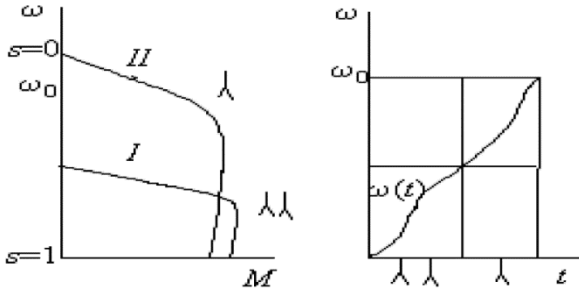


Рисунок 12.7 – Графічна ілюстрація процесу пуску АД у дві ступені

За двоступінчастого пуску втрати енергії під час розгону на характеристиці I (перший ступінь розгону) з урахуванням $\omega_{01} = \omega_0/2$, $s_{\text{поч}} = 1$, $s_{\text{кін}} = 0$ матиме

$$\Delta W_{\Pi 1} = J\omega_{01}^2/2 = J\omega_0^2/8,$$

а втрати енергії за наступного розгону по характеристиці II (другий ступінь розгону) з урахуванням $s_{\text{поч}} = 0,5$, $s_{\text{кін}} = 0$ матиме

$$\Delta W_{\Pi 2} = J\omega_0^2(s_{\text{поч}}^2 - s_{\text{кін}}^2)/2 = J\omega_0^2/8.$$

Сумарні втрати за двоступінчастого пуску

$$\Delta W_{\Pi} = \Delta W_{\Pi 1} + \Delta W_{\Pi 2} = J\omega_0^2/4,$$

що вдвічі менше, ніж за прямого пуску в один ступінь. Крім того, зниження втрат енергії в колі ротора АД викликає, згідно (12.9), зниження втрат в обмотках статора.

Якщо швидкість ідеального холостого ходу в перехідному процесі задається послідовно в n ступенів, втрати енергії зменшуються в n раз:

$$\Delta W_{\text{п}} = J\omega_0^2/2n,$$

де ω_0 – швидкість ідеального холостого ходу на останньому ступені.

Отже, чим більше ступенів розгону ЕП під час пуску, тим менше момент і втрати енергії. Міркуючи за індукцією при $n \rightarrow \infty$, прийдемо до висновку, що мінімізація втрат енергії досягається під час реалізації плавного пуску (шляхом плавного змінення задання ω_0), замість поступового перемикання ЕП з однієї механічної характеристики на іншу. Очевидно, що максимізація ефекту енергозбереження за рахунок плавного змінення задання ω_0 буде відбуватися і в будь-яких перехідних процесах, а наявність статичного навантаження не скасовує цього висновку.

Технічна реалізація законів плавного змінення координат руху ЕП у перехідних процесах здійснюється шляхом увімкнення керованого електричного перетворювача проміж мережею і двигуном, тобто в системах «Перетворювач – Двигун» (П – Д), які належать до категорії систем регульованого електропривода.

До середині 1980-х років єдиним рішенням регульованого ЕП був ЕП постійного струму. Через недоліки – високу вартість і необхідність обслуговування – ЕП постійного струму практично не використовувався в масових агрегатах (насосах, вентиляторах та ін.). На цей час на ринку з'явилися досконалі та доступні тиристорні регулятори напруги (ТРН) і електронні перетворювачі частоти (ПЧ). Це призвело до того, що в загальному парку електроприводів частка ЕП постійного струму знизилася

до 15 %, а основним видом регульованого ЕП масового застосування став асинхронний. Застосування багатошвидкісних АД стало неефективним – вони дорогі, схеми управління ними містять багато релейно-контактної апаратури, вартість привода в цілому сумірна з вартістю системи ПЧ–АД. Стало нераціональним неекономічне реостатне регулювання. Система ПЧ–АД (рис. 12.8) стала головним технічним рішенням масового регульованого електропривода.

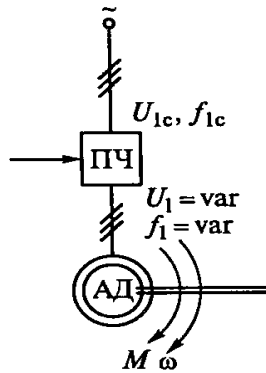


Рисунок 12.8 – Функціональна схема електропривода за системою ПЧ–АД

Корисна властивість частотного регулювання полягає в тому, що можна задавати будь-який темп змінення швидкості ω_0 обертання магнітного поля в двигуні для керування динамічними режимами зі скороченням втрат енергії під час пусків і гальмування ЕП.

На рисунку 12.9 показані два варіанти пуску АД на холостому ходу: прямим під'єднанням до мережі (1) і сповільненим зростанням задання швидкості ω_0 (2). Швидкість ω обертання ротора відстає за часом від

швидкості ω_0 обертання поля на величину електромеханічної сталої часу $T_M = J(\Delta\omega/\Delta M)$, що визначається відношенням $\Delta\omega/\Delta M$ на робочій ділянці механічної характеристики двигуна.

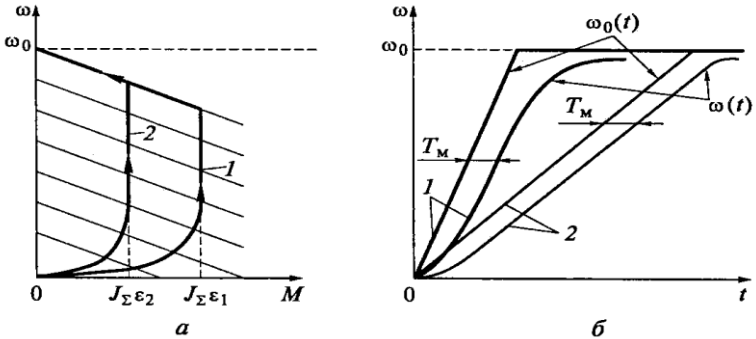


Рисунок 12.9 – Перехідні процеси пуску АД:

- а) пуск прямим вмиканням у мережу;
- б) плавний пуск

Момент, розвинений двигуном на основній ділянці перехідного процесу, пропорційний прискоренню: $M = J(d\omega/dt)$, а втрати за прямого пуску і прямого гальмування до зупинки

$$\Delta W_{\text{пр}} = J\omega_0^2(1 + R_1/R_2')(s_{\text{поч}}^2 - s_{\text{кін}}^2)/2.$$

Тут враховуються лише змінні втрати, які в динамічних режимах значно перевищують постійну складову втрат.

Втрати енергії під час пуску характеризуються площею, охопленою кривими електромагнітної потужності $P_{\text{ем}} = M\omega_0$ і механічної потужності $P_2 = M\omega$ (рис. 12.10).

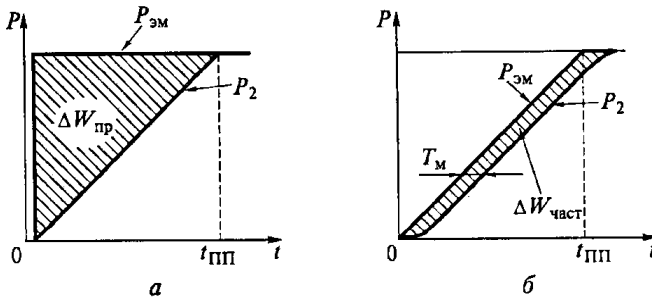


Рисунок 12.10 – Втрати енергії за прямого (а) і плавного (б) пуску

За прямого пуску (гальмування) електромагнітна потужність виникає практично миттєво, а механічна потужність зростає в некерованому темпі пропорційно швидкості. Втрати енергії визначаються площею трикутника (рис. 12.10 а).

Втрати енергії за частотного (плавного) пуску (гальмування) визначаються заштрихованою областю на рисунку 12.10 б. Вони залежать від керованого часу $t_{пп}$ перехідного процесу:

$$\Delta W_{\text{част}} = \Delta W_{\text{пр}} 2 T_M / t_{\text{пп}}.$$

Під час збільшення заданого часу $t_{пп}$ ці втрати зменшуються.

Отже, частотно-регульований асинхронний ЕП дозволяє регулювати швидкість обертання двигуна вниз і вгору від основної, яка відповідає частоті 50 Гц, керувати часом перехідних процесів за мінімально можливих втрат енергії.

Питання для самоперевірки

1. Чому енергозбереження є одним з основних напрямків технічної політики в усіх країнах світу?
2. Які технічні системи є основними споживачами електроенергії?
3. Чому насоси й вентилятори є основними об'єктами енергозбереження?
4. На які 2 групи діляться електроприводи як споживачі електроенергії?
5. З яких причин вибір двигуна завищеної номінальної потужності призводить до зниження його техніко-економічних показників?
6. З яких причин недопустимо застосування двигунів із заниженою номінальною потужністю?
7. Назвіть основний шлях енергозбереження в електроприводі.
8. Який економічний ефект досягається за рахунок усунення механічних передач?
9. У чому полягає важливість правильного вибору двигуна за потужністю?
10. Як визначається коефіцієнт завантаження двигуна?
11. Наведіть рекомендації Міністерства палива й енергетики України щодо вибору електродвигунів за потужністю.
12. Чому режим холостого ходу технологічної машини є економічно недоцільним?
13. Наведіть графіки залежностей струмів намагнічування та ротора від напруги живлення АД.
14. Запишіть формулу, якою визначається реактивна потужність АД у номінальному режимі.
15. Обґрунтуйте ефект енергозбереження за рахунок зниження напруги в колі статора асинхронного двигуна під

час його роботи з малими навантаженнями або під час холостого ходу.

16. За яких умов доцільно вимкнути асинхронний двигун під час його роботи на холостому ході?

17. Назвіть 2 способи зниження напруги живлення асинхронних двигунів.

18. За рахунок чого перемикання обмотки статора асинхронного двигуна зі схеми «трикутник» у схему «зірка» за малих навантажень може призвести до підвищення енергетичних показників його роботи?

19. Яку систему електропривода доцільно застосовувати, якщо зниження напруги потрібно лише для запуску двигуна?

20. Накресліть функціональну схему системи ТРН – АД.

21. Використовуючи U-подібні характеристики асинхронного двигуна, поясніть ефект енергозбереження під час зниження напруги живлення обмотки статора.

22. Користуючись механічними характеристиками асинхронного двигуна за різних напруг живлення, поясніть вплив напруги на його перевантажну здатність.

23. Які енергетичні властивості асинхронного двигуна характеризує коефіцієнт потужності?

24. Чому компенсація реактивної потужності є чинником енергозбереження?

25. Якими технічними засобами здійснюють компенсацію реактивної потужності?

26. Яким способом здійснюють регулювання компенсувальної здатності синхронного двигуна?

27. Використовуючи U-подібні характеристики синхронного двигуна, поясніть ефект енергозбереження під час його роботи в режимі перезбудження.

28. Чим синхронний компенсатор відрізняється від звичайного синхронного двигуна?

29. Чому дорівнює потужність змінних втрат енергії, що виділяються в роторі АД або двигуна постійного струму? Наведіть формулу.

30. Чому зниження втрат енергії в перехідних процесах має особливо велике значення для електроприводів, у яких динамічні режими займають помітний час у робочому циклі?

31. Назвіть основні способи зниження втрат енергії в перехідних процесах електропривода. Який із них є найбільш ефективним?

32. Запишіть основне рівняння руху електропривода.

33. Чому дорівнюють втрати енергії в обмотці ротора АД за прямого (одноступінчастого) пуску на холостому ході?

34. Назвіть вид регульованого ЕП масового застосування, який став на цей час основним.

35. Чому частотно-регульований асинхронний електропривод став основним засобом енергозбереження під час переходу від нерегульованого електропривода до регульованого?

36. Накресліть функціональну схему частотно-регульованого асинхронного електропривода.

37. У чому полягає корисна властивість частотного регулювання в асинхронному електроприводі?

Список літератури

1. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для студ. высш. учебн. заведений / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – 3-е изд., испр. – Москва : Издательский центр «Академия», 2007. – 576 с.
2. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации : учеб. пособие для студ. высш. учебн. заведений / М. П. Белов и др. ; под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова. – Москва : Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
3. Автоматизація об'єктів періодичної дії : підручник для студентів ВНЗ / В. Г. Трегуб. – Київ : Ліра-К, 2019. – 136 с.
4. Автоматизація виробничих процесів : підручник / І. В. Ельперін, О. М. Пупена, В. М. Сідлецький, С. М. Швед. – 2-ге вид., випр. – Київ : Ліра-К, 2015. – 378 с.
5. Основи електропривода : підручник / Ю. М. Лавріненко та ін. ; за ред. Ю. М. Лавріненка. – Київ : Ліра-К, 2017. – 378 с.
6. Закладний О. М. Енергозбереження засобами промислового електропривода : навч. посібн. / О. М. Закладний А. В. Праховник, О. І. Соловей. – Київ : Кондор, 2005. – 408 с.
7. Моделювання електромеханічних систем : підручник / О. П. Чорний та ін. – Кременчук, 2001. – 376 с.
8. Василега П. О. Електропривод робочих машин : навч. посібник / П. О. Василега, Д. В. Муріков. – Суми : Університетська книга, 2006. – 228 с.
9. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посібник / М. Г. Попович та ін. ; за заг. ред. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – Київ : Либідь, 2005. – 680 с.

10. Введение в мехатронику: уч. пособие / А. И. Грабченко и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2014. – 264 с.

11. Electric Drives and Elektromechanical Systems: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/search?qs=&pub=Electric%20Drives%20and%20Elektromechanical%20Systems&cid=276781>.

Навчальне видання

Черв'яков Володимир Дмитрович,
Леонтьєв Петро Володимирович,
Соколов Сергій Вікторович

АВТОМАТИЗОВАНІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ

Конспект лекцій
для студентів спеціальності
*151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»*
освітнього ступеня «магістр»
усіх форм навчання

Відповідальний за випуск П. В. Леонтьєв
Редактор Н. М. Мажуга
Комп'ютерне верстання В. Д. Черв'яков,
П. В. Леонтьєв, С. В. Соколов

Підписано до друку 17.06.2021, поз.
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 15,35. Обл.-вид. арк. 14,76. Тираж 5 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.