

Граняк В. Ф.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

**«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ»**

Модуль 2

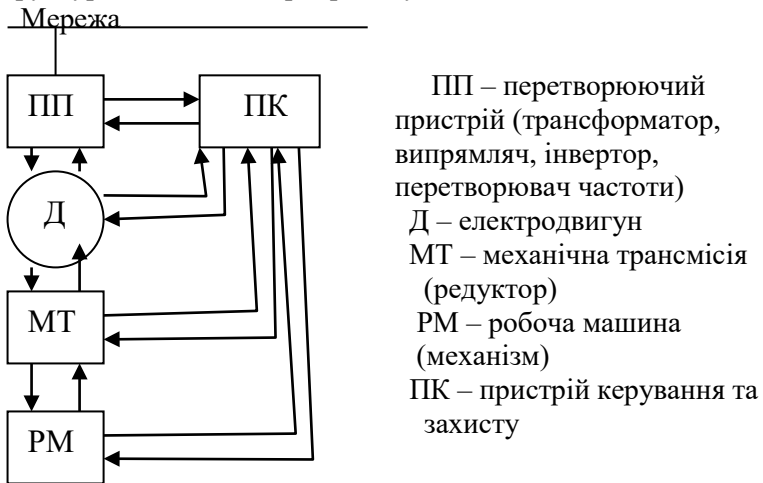
ВСТУП. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО ЕЛЕКТРОПРИВОД.

Історію розвитку електроприводу починають з 1838 року, коли російський академік Б.С. Якобі розробив ДПС обертального руху. Цей двигун був встановлений на катер, який виконав випробувальний рейс по Неві. В 1889 р. М.О.Доливо-Добровольський розробив систему трифазного струму та 3-фазний АД (1890), що створило реальні технічні та економічні посилання для широкого використання електроприводу.

Основним засобом електрифікації та автоматизації технологічних процесів, створення високопродуктивних машин та механізмів є електропривод ЕП.

Електроприводом називають сукупність електромеханічних пристроїв, призначених для перетворення електричної електроенергії в механічну і які забезпечують керування та захист.

Структурна схема електроприводу:



Класифікація електроприводу:

- 1) за кількістю двигунів: груповий, індивідуальний (привод млинів, насосів, сепараторів, конвеєрів, живильників) та багатодвигунний (привод екскаваторів, бурових верстатів, конвеєри підземних трактів);
- 2) За призначення – головний та допоміжний;
- 3) За характером зміни параметрів – регульований та нерегульований;
- 4) За напрямком обертання – реверсивний та нереверсивний;

5) За родом струму – змінного та постійного струму.

Функції електроприводу:

I. Основні:

- 1) пуск, зупинка, реверс, гальмування;
- 2) стабілізація параметрів
- 3) слідування – обробка з певною точністю довільно змінюваного завдання;
- 4) програмне керування

II. Додаткові:

1) захист – технічні заходи по запобіганню розвитку аварії
2) блокування – технічні заходи, які запобігають появі аварійної ситуації в результаті неправильних дій обслуговуючого персоналу або пристроїв керування.

3) Сигналізація – отримання інформації про функціонування об'єкту

Вимоги, які висувають до ЕП:

- 1) технологічні вимоги – оптимальна відповідність властивостей електропривода технологічним умовам роботи
- 2) надійність – ймовірність безвідмовної роботи об'єкту протягом заданого періоду часу
- 3) економічність – мінімальні приведені витрати на установку та експлуатацію ЕП протягом заданого періоду часу
- 4) безпечність – ймовірність не ураження обслуговуючого персоналу в процесі експлуатації.

Тема: **МЕХАНІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА**

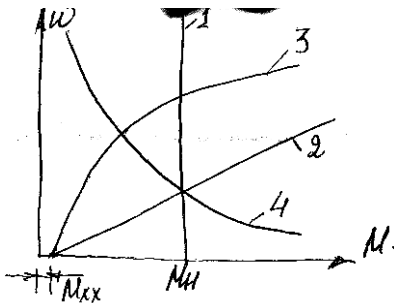
План.

1. Поняття про механічні характеристики.
2. Рівняння руху електроприводу.
3. Приведення статичних моментів та моментів інерції до валу двигуна.

1. **Механічною характеристикою робочої машини** називають залежність моменту опору (моменту навантаження, статичного моменту) від частоти обертання машини.

$$M = f(\omega) = M_{xx} + (M_n - M_{xx}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x$$

де x – параметр, який характеризує характер навантаження;
 M_{xx} – момент холостого ходу, $M_{xx} = (5 \div 10)\% M_n$;
 M_n – номінальний момент



Розглянемо випадки:

1) $x = 0$,

$M_c = M_n = const$, тобто механічна характеристика не залежить від швидкості. До цієї групи відносять всі вантажопідіймальні механізми.

2) $x = 1$, $M_c \cong \omega$ -

лінійно зростаюча

характеристика (привод генератора, що працює на постійний опір)

3) $x = 2$, $M_c \cong \omega^2$ - вентиляторна характеристика (вентилятори, повітродувки, турбонасоси)

4) $x = -1$, $M_c \cong \frac{1}{\omega}$ - токарні верстати

Потужність, яку споживає електродвигун витрачається на подолання статичних та динамічних навантажень.

Статичний момент (навантаження) – це робочі моменти та зусилля разом з силами тертя в механічній передачі.

За характером дії моменти навантаження ділять на активні та реактивні.

Активним називають статичний момент, який при одному напрямку перешкоджає обертанню, а при іншому – сприяє. Він виникає незалежно від руху і створюється сторонніми джерелами механічної енергії (момент від вантажу, що висить на канаті). Момент завжди направлений в один бік і при зміні напрямку обертання знак свій не змінює.

Реактивний статичний момент – виникає лише внаслідок руху та направлений проти нього, тобто цей момент завжди є гальмівним. При зміні напрямку обертання реактивний момент змінює свій знак. Обумовлений силами тертя.

Динамічний момент визначається запасом кінетичної енергії рухомих мас механізму. Виникає і діє лише при прискоренні та гальмуванні руху електроприводу. За рахунок цього моменту змінюється кутова швидкість. Причини динамічного навантаження – пуск, гальмування, реверс, регулювання швидкості.

Механічна характеристика двигуна – це залежність його швидкості від моменту, що розвивається $\omega = f(M)$. Розрізняють:

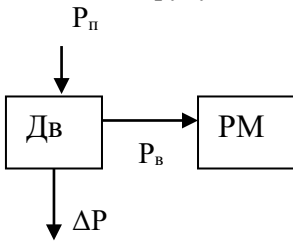
- 1) природну – відповідає основній (паспортній) схемі включення двигуна та номінальним параметрам напруги живлення;
- 2) штучні характеристики – коли в схему вводять додаткові елементи (резистори, конденсатори) або змінюють параметри мережі живлення.



характеризується жорсткістю механічної характеристики. За жорсткістю електродвигуни поділяють на групи:

- 1) абсолютно жорстка характеристика (СД)
- 2) жорстка характеристика (АД, ДПС НЗ)
- 3) м'яка – збільшення моменту супроводжується значним зменшення швидкості (ДПС ПЗ, ДПС ЗЗ)

2. Рівняння руху ЕП.



$P_{п}$ – потужність, яку споживає двигун із мережі

$P_{в}$ – потужність на валу двигуна

ΔP – втрати потужності

$$P_{п} = P_{в} + \Delta P + P_{дин} = P_{с} + P_{дин}$$

де $P_{дин}$ – потужність, що витрачається на

зміну запасу кінетичної енергії

$$P_{дин} = J\omega \frac{d\omega}{dt}, \text{ де } J - \text{момент інерції, кгм}^2$$

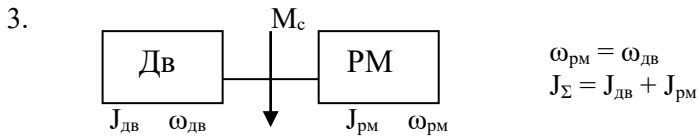
$$J = m\rho^2$$

$$\frac{P_{п}}{\omega} = \frac{P_{с}}{\omega} + J \frac{d\omega}{dt}$$

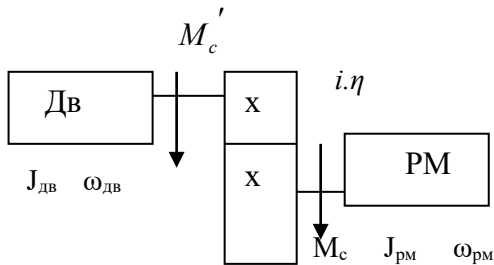
$$M_{дв} = M_{с} + J \frac{d\omega}{dt} - \text{рівняння руху електроприводу}$$

Якщо:

- 1) $M_{дв} > M_c \quad \frac{d\omega}{dt} > 0$ - прискорення
- 2) $M_{дв} < M_c \quad \frac{d\omega}{dt} < 0$ - гальмування
- 3) $M_{дв} = M_c \quad \frac{d\omega}{dt} = 0$ – сталий режим работ ЕП



В загальному вигляді система може мати вигляд:



i – передаточне число редуктора
 η – ККД редуктора

Для спрощення розрахунків динаміки привода проводять приведення (перерахунок) моментів опору та моментів інерції від однієї осі обертання до іншої, зазвичай до осі двигуна.

Приведення M_c ґрунтується на балансі потужностей:

$$M'_c \omega_{дв} = M_c \omega_{рм} \cdot \frac{1}{\eta}$$

$$M'_c = M_c \frac{\omega_{рм}}{\omega_{дв}} \cdot \frac{1}{\eta} = M_c \cdot \frac{1}{\eta \cdot i}$$

Приведення моментів інерції ґрунтується на рівенстві запасу кінетичної енергії:

$$J' \frac{\omega_{дв}^2}{2} = J_{рм} \frac{\omega_{рм}^2}{2} \Rightarrow J' = J_{рм} \cdot \frac{1}{i^2}$$

В довідниках вказують маховий момент GD^2 :

$$J = \frac{GD^2}{4} \text{ [кгм}^2\text{]}, \quad J = \frac{GD^2}{4g} \text{ [Нм}^2\text{]}$$

Тема: ЕЛЕКТРОПРИВОД З ДПС

План:

1. Загальні відомості про ДПС.
2. Механічні властивості ДПС НЗ.
3. Механічні властивості ДПС ПЗ.
4. Гальмівні режими роботи ДПС.

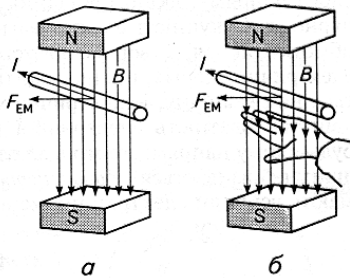
1. Основне достоїнство ДПС полягає в можливості плавного регулювання частоти обертання й одержання великих пускових моментів. Тому ДПС використовуються як тягові двигуни на електричному транспорті, а також як привод різного технологічного обладнання.

Загальним недоліком ДПС є їх конструктивна складність, пов'язана переважно з колекторно-щітковим апаратом. Крім того, в колекторно-щітковому апараті, що здійснює постійну пере комутацію кіл електричної машини, виникає іскріння. Це знижує надійність машин і обмежує їх застосування. Істотним недоліком ДПС є необхідність попереднього перетворення для них електричної енергії змінного струму на електричну енергію постійного струму.

ДПС застосовуються в промислових, транспортних та інших установках, де потрібне широке плавне регулювання частоти обертання (прокатні стани, електрична тяга, екскаватори).

За способом збудження двигуни постійного струму бувають з незалежним, паралельним, послідовним та змішаним збудженням.

Принцип роботи ДПС ґрунтується на перетворенні електричної енергії в механічну.



Суть перетворення полягає у виникненні електромагнітної сили взаємодії F_{em} при протіканні через провідник, що перебуває у магнітному полі (B), електричного струму I (рис. 1а). Під впливом електричного струму навколо провідника утвориться власне магнітне поле яке взаємодіятиме із зовнішнім магнітним полем полюсів. Унаслідок взаємодії зовнішнього

магнітного поля з магнітним полем провідника на останній діятиме електромагнітна сила: $F = BI l$

де I – струм у провіднику, l – довжина провідника.

Напрямок електромагнітної сили F_{em} визначається за допомогою правила “лівої руки” (рис. 1б), щ формулюється

Рис.1 так: “Якщо ліву руку розташувати так, аби магнітні силові лінії входили в долоню, а витягнуті пальці долоні спрямувати в напрямі струму через провідник, то відігнутий великий палець укаже напрям сили, яка діє на провідник у магнітному полі”.

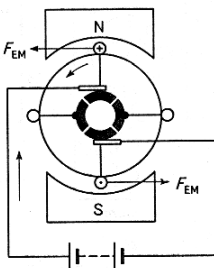
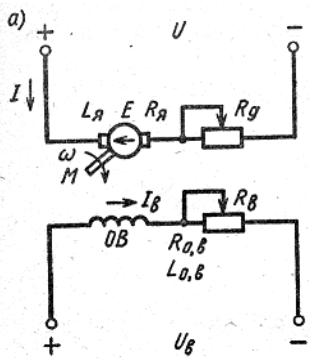


Рис.2 Якщо до щіток машини підімкнути джерело енергії постійного струму, то електричний струм, пройшовши крізь щітки й колектор, потече провідниками обмотки якоря. (рис.2). На струми, що проходять у провідниках обмотки якоря й взаємодіють із зовнішнім магнітним полем, починають діяти електромагнітні сили. При цьому сила F_{em} якогонебудь провідника зі струмом не змінить свого напрямку, якщо провідник опиниться під полюсом іншої полярності. Сукупність електромагнітних сил, що діють на провідники обмотки якоря, створює обертальний момент якоря. В результаті електрична енергія, що надходить в електричну машину, перетворюється на механічну, і електрична машина почне працювати в режимі двигуна.

Конструктивно ДПС складається з статора з системою збудження (індуктор), ротора з обмоткою (якір) та колекторно-щіткового апарату. Система збудження своїми головними полюсами створює потік збудження: $i_s \rightarrow \Phi_s \rightarrow E_s$. Φ_s перетинає обмотку якоря і наводить в ній ЕРС.



2. Основна схема включення ДПС НЗ представлена на рис.3, де прийняті позначення: I , I_B – струми в колах якоря та збудження ОВ; E – ЕРС якоря, ω та M – кутова швидкість та момент двигуна; $R_я$ – опір якоря, який складається з опорів обмотки якоря, додаткових полюсів, компенсаційної обмотки та щіткового контакту; $R_{об}$ – опір обмотки збудження. На схемі показані додаткові резистори в колах обмоток якоря R_d та збудження R_B .

Рис.3 Схема включення ДПС НЗ

Рівняння напруг, вирази ЕРС якоря та електромагнітного моменту записують у вигляді:

$$U = E + IR_{\Sigma}$$

$$E = k\Phi\omega$$

$$M = k\Phi \cdot I$$

де $R_{\Sigma} = R_я + R_d$ – повний опір кола якоря;

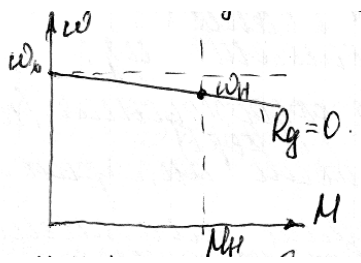
Φ – магнітний потік.

Швидкісна (електромеханічна) характеристика ДПС НЗ:

$$\omega = \frac{U - IR_{\Sigma}}{k\Phi}$$

Механічна характеристика ДПС НЗ:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{MR_{\Sigma}}{k\Phi^2} = \omega_0 - \Delta\omega$$



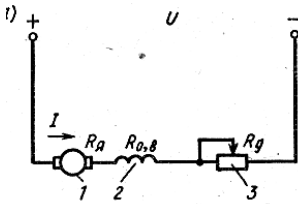
ω_0 – швидкість ідеального холостого ходу

$\Delta\omega$ – перепад швидкості.

Мал.4 Природна характеристика ДПС НЗ

3. В ЕП електричного транспорту та підйомних машин і механізмів знайшли широке поширення ДПС послідовного збудження.

Основна особливість цих двигунів є включення обмотки 2 збудження послідовно з обмоткою 1 якоря (мал.5), внаслідок чого струм якоря одночасно є і струмом збудження.



Мал.5 Схема включення ДПС ПЗ

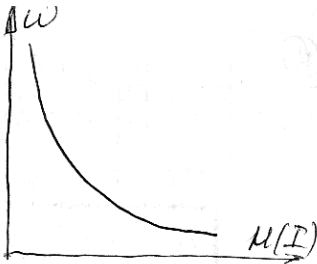
Момент дорівнює $M = k\Phi \cdot I = \kappa a I^2$

Для ДПС ПЗ швидкісна характеристика:

$$\omega = \frac{U}{\kappa a I} - \frac{R_{\Sigma}}{\kappa a}$$

Механічна характеристика ДПС ПЗ:

$$\omega = \frac{U}{\sqrt{\kappa a I}} - \frac{R_{\Sigma}}{\kappa a}$$



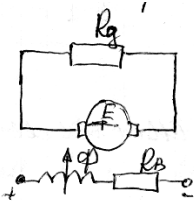
Т.ч. швидкісні та механічні характеристики мають гіперболічний характер.

При $I \rightarrow 0, M \rightarrow 0 \Rightarrow \omega \rightarrow \infty$, робота двигуна без навантаження (в природній схемі включення) неможлива, оскільки двигун піде в “розніс”.

Для ДПС ПЗ не існує режиму холостого ходу та рекуперативного гальмування. ДПС ПЗ мають більші тягові можливості, ніж ДПС НЗ.

4. ДПС НЗ може працювати в трьох режимах гальмування:

1) генераторний режим з віддачею енергії в мережу (рекуперативне гальмування) – виникає коли частота обертання двигуна стає більшою за швидкість ідеального холостого ходу ω_0 .



2) динамічне гальмування – здійснюють відключенням якоря від мережі та замиканням його на додатковий опір при підключенні до мережі обмотки збудження. Двигун працює в режимі генератора, перетворюючи механічну енергію в електричну, яка розсіюється у вигляді тепла на резисторах якірного кола. Механічні характеристики проходять через початок координат.

3) Гальмування протivismиканням виникає у випадку, коли двигун увімкнено на один напрямок обертання, а під дією навантаження обертається в іншому напрямку (спуск вантажу).

Електроенергія надходить з мережі та виробляється двигуном за рахунок механічної енергії робочої машини і розсіюється у вигляді тепла в резисторах кола якоря. Гальмування протivismканням можливе і іншим способом – зміною полярності обмотки якоря двигуна на ходу (реверс).

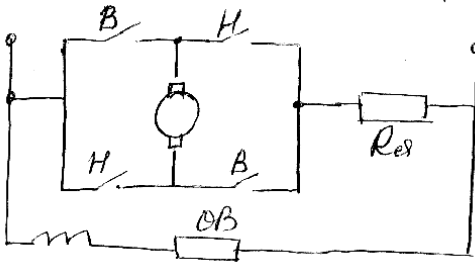
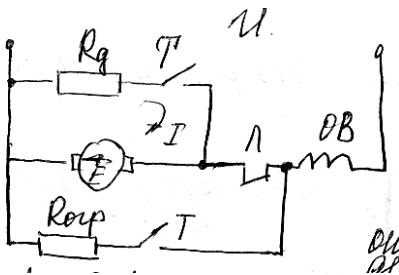


рис.7 Схema реверсу ДПС НЗ

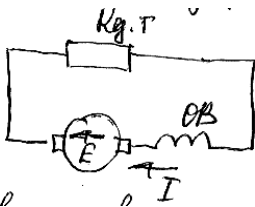
ДПС ПЗ може працювати в наступних режимах гальмування:

1) режим динамічного гальмування може бути реалізований по двом схемам:

а) з незалежним збудженням – спочатку двигун відключають від мережі. Потім обмотку збудження відключають від якоря і підключають до мережі живлення послідовно з обмежувальним резистором, а якорь замикається на зовнішній опір.



б) із самозбудженням. Умова виникнення самозбудження – наявність залишкового магнітного потоку Φ_3 у двигуні та співпадіння за напрямком Φ_3 та основного магнітного потоку Φ , створеного струмом збудження. За наявності Φ_3 та обертання якоря в ньому наводиться ЕРС під дією якої по якорю та обмотці збудження починає протікати струм. Цей струм створює основний магнітний потік Φ , який співпадає за напрямком з Φ_3 , призводить до збільшення ЕРС.



починає протікати струм. Цей струм створює основний магнітний потік Φ , який співпадає за напрямком з Φ_3 , призводить до збільшення ЕРС.

Це в свою чергу призведе до зростання струму і так до тих пір, поки ЕРС не стане рівною сумарному падінню напруги в колі якоря.

2) Режим гальмування противмиканням реалізується при:

а) коли двигун навантажений активним моментом. Такий спосіб застосовують в ЕП вантажопідіймальних машин.

б) зміною полярності напруги на обмотці якоря при збереженні того ж напрямку струму в обмотці збудження (реверс двигуна).

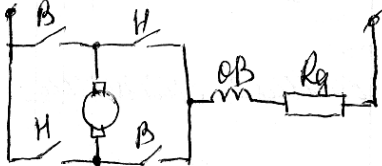


Рис.10 Схема реверсу ДПС ПЗ

В обох випадках цього виду гальмування необхідно вводити додатковий пір для обмеження струму.

Тема: РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ДПС

План.

1. Основні показники регулювання швидкості.
2. Способи регулювання швидкості ДПС.

1. Регулювання швидкості – примусова зміна швидкості за допомогою спеціальних регульовальних пристроїв відповідно до вимог технологічного процесу.

Регулювання швидкості оцінюють показниками:

- 1) діапазон регулювання швидкості

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

2) плавність регулювання – характеризується кількістю сталих швидкостей в заданому діапазоні регулювання. Визначається зміною швидкості при переході з однієї штучної характеристики на іншу. Чим більше штучних характеристик, тим плавніше буде проходити регулювання швидкості.

3) Стабільність швидкості – характеризує зміну швидкості при можливих коливаннях моменту навантаження на валу двигуна. Цей

показник визначається жорсткістю механічних характеристик, чим вона більша, тим стабільніша швидкість.

4) Економічність – характеризується ККД, величиною капітальних та експлуатаційних витрат, надійністю, зручністю та простотою в експлуатації.

5) Напрямок регулювання швидкості – вгору або вниз від основної. Основна швидкість лежить на природній характеристиці.

Способи регулювання частоти обертання ДПС:

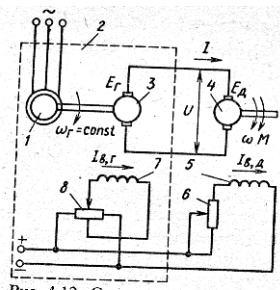
1) введенням додаткових резисторів в коло якоря – спосіб поширений при невисоких вимогах до показників якості регулювання швидкості. $D=2-3$. Напрямок регулювання швидкості – вниз від природної характеристики.

2) Зміною магнітного потоку – магнітний потік при використанні цього способу тільки зменшують порівняно з номінальним. $D=3-4$. Напрямок регулювання – вгору від природної характеристики. Плавність регулювання швидкості визначається плавністю регулювання струму збудження. Цим способом доцільно регулювання швидкості при постійній механічній потужності навантаження, що забезпечує повне використання двигуна при роботі на усіх штучних характеристиках.

3) Зміною напруги живлення – реалізація цього способу передбачає живлення якоря ДПС НЗ від перетворювача. При зменшенні напруги живлення частота обертання ДПС зменшується. Керований перетворювач виконують у вигляді електромашинної системи Г-Д або системи ТП-Д.

СИСТЕМА Г-Д

Система Г-Д відноситься до широкого класу систем, в яких



керування ЕП здійснюється за допомогою зміни величини напруги живлення. В цій системі якір 4 двигуна безпосередньо приєднується до якоря 3 генератора, який разом з приводним двигуном 1 утворює електромашинний випрямляч 2 трифазного змінного струму в постійний (мал.1). Регулювання напруги на якорі ДПС здійснюється за рахунок зміни струму

збудження генератора, при регулюванні якого за допомогою потенціометра 8 змінюється ЕРС генератора E_r і відповідно напруга на

якорі двигуна U . Регулювання напруги в цій системі може поєднуватися з впливом на магнітний потік двигуна, що забезпечує двохзонне регулювання швидкості. Регулювання магнітного потоку двигуна здійснюється за рахунок включення в коло обмотки 5 збудження двигуна резистора 6. В замкнених ЕП живлення обмотки 7 збудження генератора виконується від регульованого джерела постійного струму

Механічна характеристика системи Г-Д:

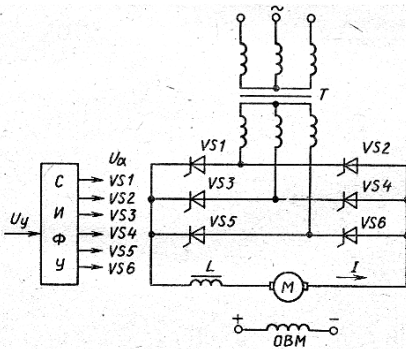
$$\omega = \frac{E_r}{k\Phi_{дв}} - \frac{MR_{\Sigma}}{(k\Phi_{дв})^2}$$

Система Г-Д працює як в режимі двигуна, так і в гальмівних режимах. Реверсування ЕРС генератора здійснюється зміною полярності напруги збудження.

Достоїнства системи Г-Д: значний діапазон та плавність регулювання швидкості; лінійність характеристик; відсутність викривлень мережі живлення.

Недоліки: низький ККД; шум в роботі; інерційність процесу регулювання.

СИСТЕМА ТП-Д



Основні перетворювачі, які застосовуються в регульованому ЕП – тиристорні перетворювачі. Перетворювач містить в собі трансформатор T , тиристири, згладжу вальний реактор L та СИФУ (систему імпульсно-фазового керування тиристорами). ТП забезпечує регулювання напруги на двигуні за рахунок зміни середнього

значення U_d . Це досягається регулюванням за допомогою СИФУ по сигналу $U_{кер}$ кута α керування тиристорами. Залежність середнього значення напруги від кута α :

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha$$

Рівняння механічної характеристики системи ТП-Д:

$$\omega = \frac{U_{d0} \cos \alpha}{k\Phi} - \frac{MR_{\Sigma}}{k\Phi^2}$$

Достоїнства системи ТП-Д: плавність та значний діапазон регулювання; велика жорсткість характеристик; високий ККД ЕП; безшумність в роботі; простота обслуговування та експлуатації.

Недоліки: ТП має однобічну провідність; напруга на якорі та струм мають пульсуючий характер; робота ТП характеризується режимом перерваного струму, при якому різко падає жорсткість характеристик і вони стають нелінійними.

4) регулювання швидкості шунтуванням якоря використовують для отримання знижених швидкостей ЕП з ДПС ПЗ та певної швидкості ХХ. Штучні характеристики розташовані нижче природної. Шунтування обмотки якоря не вигідне, оскільки з'являються додаткові втрати. Тому цей спосіб застосовують для ДПС малої потужності.

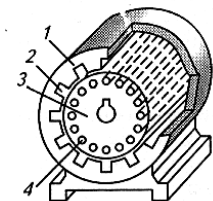
5) Імпульсний спосіб – регулювання здійснюють імпульсною зміною напруги живлення, магнітного потоку або опору резистора в колі якоря. Імпульсне регулювання здійснюють за допомогою керованого ключа. Основним показником роботи є коефіцієнт заповнення імпульсів або сквапність – це відношення часу замкненого стану ключа до періоду його комутації. Існує два способи імпульсного регулювання:

- широтно-імпульсне регулювання (змінюється ширина імпульсів при незмінному періоді їх слідування)
- частотно імпульсне керування (змінюється період комутації при незмінній ширині імпульсів)

Тема: ЕЛЕКТРОПРИВОД З АД.

План.

1. Загальні відомості про АД.
2. Механічні властивості АД.
3. Гальмівні режими роботи АД.

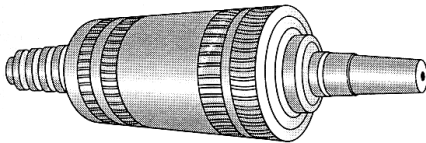


1. Електропривод з АД є самим масовим приводом в промисловості. Причина цього –

простота конструкції АД; низька вартість та простота експлуатації.

Асинхронна машина (рис.1) є машиною змінного струму. Статор 1 являє собою порожнистий циліндр, виготовлений з листової електротехнічної сталі; листи мають форму кілець зі штампованими пазами. В пази 2 на внутрішні поверхні циліндра закладається статорна обмотка, яка виконується так, що при вмиканні її в мережу змінного струму в розточці статора (всередині циліндра) утворюється магнітне поле, яке обертається навколо осі статора зі сталою частотою. Ротор 3 машини має вигляд циліндра, набраного з круглих листів сталі. Біля поверхні ротора вздовж його твірних розміщено провідники 4, що утворюють обмотку ротора. Вона зазвичай не зв'язана із зовнішньою електричною мережею.

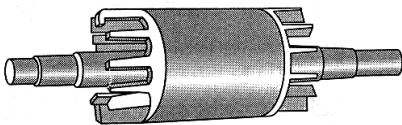
Асинхронні двигуни випускаються з фазним та короткозамкненим ротором.



Фазний ротор (рис.2) має трифазну обмотку, виконану, подібно до статорної, з тим самим числом полюсів. Обмотка з'єднується зіркою або

трикутником; три кінці обмотки виводяться на три ізольованих контактних кільця, що обертаються разом з валом машини. Через щітки, які закріплені на нерухомій частині машини й ковзають по трьох контактних кільцях, у ротор вмикається трифазний пусковий чи регульовальний реостат, тобто в кожен фазу ротора вводиться активний опір. АД з ф.р. застосовують там, де потрібне регулювання швидкості механізму, що приводиться в рух, а також при частих пусках двигуна під навантаженням.

Конструкція короткозамкненого ротора набагато простіша, ніж фазного. Отвори поблизу



зовнішнього кола кожного листа (з яких набирають осердя ротора) утворюють в осерді поздовжні пази.

В ці пази заливається алюміній; після його тверднення в роторі утворюються поздовжні струмові дні стержні. По обох торцях ротора заодно відливаються алюмінієві кільця, які закорочують алюмінієві стержні. Таку струмовідну систему зазвичай називають "білячою кліткою". На торцях ротора є вентиляційні лопаті, що відливаються заодно з коротко замикальними кільцями. Для зменшення злипання та магнітного шуму пази скошено на один пазовий розподіл уздовж ротора. Конструкція "біляча клітка"

проста, не має ковзних контактів. Тому трифазні АД з к.з. ротором найдешевші й надійні в експлуатації, а отже, найпоширеніші.

Принцип дії АД: прикладена напруга створює струм статора, а той – поле статора. Основний магнітний потік перетинає обмотку ротора і наводить в ній ЕРС. Під дією ЕРС в роторі створюється струм ротора, який створює магнітний потік ротора. Взаємодія двох магнітних полів створює обертальний момент. Струми в обмотці ротора виникають унаслідок того, що ротор при обертанні відстає від обертового поля. Значення цих струмів визначається частотою обертання магнітного поля відносно ротора. Для оцінки цієї частоти вводиться поняття відносної різниці частот обертання, або ковзання,

$$\text{АД:} \quad s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

де n_0 – частота обертання магнітного потоку, або синхронна частота

n – частота обертання ротора, об/хв.

2. Схема включення АД з ф.р. (рис 4а) та з к.з.ротором (рис.4б)

Для дослідження механічних властивостей АД приймаємо наступні допущення:

- напруга усіх трьох фаз двигуна симетрична та синусоїдальна
- параметри фаз двигуна рівні між собою
- сталь АД не насичена.

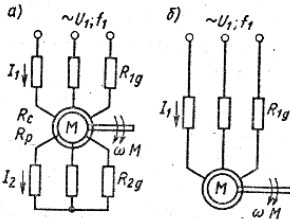
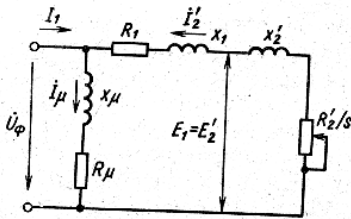


Рис.4

Для отримання виразу для статичної характеристики застосовують схему заміщення, на якій кола статора і ротора представлені опорами.



На схемах прийняті позначення: U_1 , U_ϕ – діюче значення лінійної і фазної напруги мережі; I_1 , I_μ , I_2 – фазні струми статора, намагнічування та приведений ротора; x_1 , R_1 – індуктивний та активний опір кола статора, x_2 , R_2/s – індуктивний та

активний опір ротора, приведений до статора; $R'_{2л}$ – додатковий опір ротора, приведений до статора; p – число пар полюсів АД; f – частота мережі живлення.

Синхронна частота обертання:
$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}$$

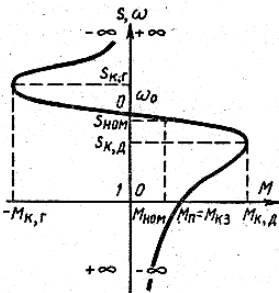
Механічна характеристика АД:

$$M = \frac{3R_{\Sigma}U_{\phi}^2}{\omega_0 s \left[\left(R_1 + \frac{R_{\Sigma}}{s} \right)^2 + x_k^2 \right]}, \text{ де } x_k = x_l + x'_2; R_{\Sigma} = R'_2 + R'_{2л}$$

Критичне ковзання:
$$s_{кр} = \pm \frac{R_{\Sigma}}{\sqrt{R_1^2 + x_k^2}} \approx \pm \frac{R_{\Sigma}}{x_k}$$

Критичний момент:
$$M_{кр} = \frac{3U_{\phi}^2}{2\omega_0 \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + x_k^2} \right)}$$

Пусковий момент:
$$M_n = \frac{3R_{\Sigma}U_{\phi}^2}{\omega_0 \left[\left(R_1 + R_{\Sigma} \right)^2 + x_k^2 \right]}$$



Механічна характеристика має

вигляд:

Характерні точки механічної характеристики: $s=0, \omega=\omega_0, M=0$ – точка ідеального холостого ходу; $s=1, \omega=0, M=M_n$ – точка короткого замикання.

В деяких випадках для побудови механічної характеристики АД застосовують спрощену формулу Клосса:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}$$

$$M_{кр} = \lambda_m M_n$$

де

$$s_{кр} = s_n \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right)$$

3. АД може працювати в наступних режимах гальмування:

1) гальмування противмиканням виникає у випадку, коли ротор АД обертається в напрямку, протилежному напрямку обертання магнітного поля статора. Цього можна досягти наступними способами:

а) перемиканням обмоток статора на протилежний напрямок обертання (зміна чередування двох фаз напруги живлення)

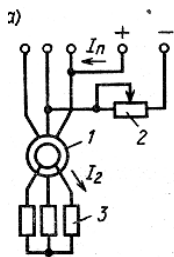
б) переведення АД в режим гальмування противмиканням при активному моменті навантаження (спуск вантажу)

2) рекуперативне гальмування виникає при $\omega > \omega_0$ ($s < 0$) і двигун працює в генераторному режимі паралельно з мережею. Такий режим виникає:

а) у багатшвидкісних АД при переході (без зупинки) ЕП з більшої швидкості на меншу

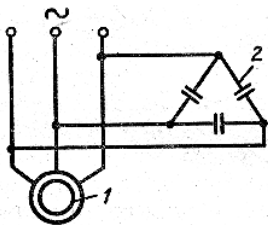
б) в системі ПЧ-АД при зупинці АД або його переході з характеристики на характеристику

3) динамічне гальмування – обмотку статора АД відключають



від мережі змінного струму та підключають до джерела постійного струму. Постійний струм I_n протікаючи по обмоткам статора, створює нерухоме в просторі магнітне поле, яке перетинає ротор і наводить в ньому змінну ЕРС та струм I_2 . Взаємодія струму I_2 з магнітним полем статора обумовлює появу гальмівного моменту. АД при динамічному гальмуванні працює генератором у якого енергія розсіюється в колі ротора.

а) динамічне гальмування із самозбудженням – паралельно



обмоткам фаз статора підключена конденсаторна батарея. При роботі в режимі двигуна КБ не впливає. При відключенні двигуна від мережі реактивна потужність, необхідна для створення магнітного потоку в статорі двигуна, генерується конденсаторами С. Цей режим називають режимом конденсаторного гальмування. На час гальмування АД стає самозбудженим асинхронним генератором, енергія гальмування в якому перетворюється в теплову і розсіюється в довкіллі.

Тема: РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ АД.

План.

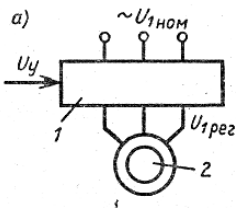
1. Регулювання частоти обертання АД за допомогою резисторів.
2. Регулювання частоти обертання АД зміною напруги живлення. Система ТРН-АД.
3. Зміна числа пар полюсів двигуна.
4. Частотний спосіб регулювання швидкості.

1. Регулювання частоти обертання АД за допомогою резисторів здійснюється введенням додаткових опорів в коло статора або ротора АД.

Введення додаткових резисторів в коло статора застосовують для регулювання (обмеження) в перехідних процесах струму та моменту АД з к.з.ротором. При цьому способі синхронна частота обертання не змінюється, критичний та пусковий моменти зменшуються, критичне ковзання зменшується. Цей спосіб застосовують рідко, оскільки механічні характеристики забезпечують незначний діапазон зміни швидкості; при збільшенні додаткового опору знижується жорсткість характеристик, низька економічність. Таку схему застосовують у ліфтах, що мають двошвидкісний АД.

Включення додаткових резисторів в коло ротора застосовують для регулювання струму, моменту та швидкості. При цьому критичне ковзання та пусковий момент зростають, критичний момент та синхронна частота обертання не змінюються, швидкість АД зменшується. Але одночасно зі зростанням ковзання зростають втрати в колі ротора, тому реалізація великого діапазону регулювання швидкості призводить до значних втрат енергії та зниженню ККД ЕП. Застосовують при незначному діапазоні регулювання швидкості або короткочасній роботі на знижених швидкостях (ЕП підйомно-транспортних машин та механізмів). Доцільно застосовувати при навантаженні на валу, близькому до номінального.

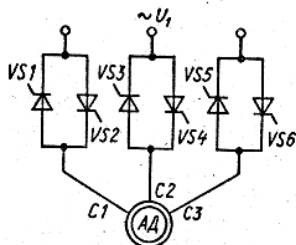
2. Зміна величини напруги підведеної до статора АД дає можливість здійснювати в статичних та динамічних режимах регулювання його координат з добрими показниками за допомогою відносно простих схем керування. Цей спосіб може використовуватися для забезпечення найбільш економічних режимів роботи АД.



1 – регулятор напруги (РН), вихідна напруга якого змінюється за допомогою малопотужного зовнішнього сигналу

керування. Змінюючи величину цього сигналу, можна регулювати напругу на статорі двигуна $U_{\text{пер}}$ в межах від $U_{\text{н}}$ до 0. Діапазон регулювання швидкості незначний (вниз від основної).

Для регулювання напруги на статорі АД застосовують різні електромеханічні пристрої – автотрансформатори, магнітні підсилювачі, тиристорні регулятори напруги (ТРН). ТРН характеризуються високим ККД, простотою в обслуговуванні, легкістю автоматизації роботи ЕП. Вони випускаються серійно.



Принцип дії схеми ТРН-АД: тиристори отримують імпульси від СІФК. Якщо на тиристори VS1 і VS2 не подаються імпульси, то вони закриті і напруга $U_{\phi}=0$. При подачі на тиристори імпульсів керування з кутом керування $\alpha = 0$ вони будуть повністю відкриті і до навантаження прикладена напруга $U_1 = U_{\text{пер}}$. Змінюючи α від 0 до π

можна регулювати напругу.

Крім регулювання координат двигуна ТРН дає можливість здійснювати реверс двигуна (п'ять пар зустрічно-паралельних тиристорів). За допомогою ТРН можна здійснювати примусове електричне гальмування АД. При недовантаженні АД його ККД та $\cos\phi$ знижуються, що погіршує економічні показники роботи ЕП. Регулювання напруги на статорі АД за допомогою ТРН дає можливість забезпечувати найбільш економічний режим роботи при зміні навантаження.

3. Регулювання швидкості АД зміною числа пар полюсів можна здійснити при використанні багатошвидкісних АД. Особливість цих АД полягає в тому, що їх статорна обмотка складається з двох однакових секцій (полу обмоток). За рахунок різних схем їх з'єднання може змінюватися число пар полюсів p АД.

Достоїнства цього способу – економічність (оскільки немає додаткових втрат в роторі – ротор к.з.); жорсткість механічних характеристик; достатня перевантажувальна здатність.

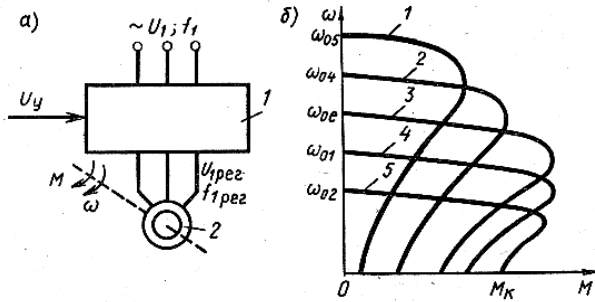
Недоліки – ступеневість зміни швидкості двигуна та незначний діапазон регулювання ($D=6-8$).

4. Частотний спосіб регулювання – один з найбільш перспективних. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні; характеристики мають високу жорсткість;

регулювання швидкості АД не супроводжується зростанням його ковзання, тому втрати потужності незначні.

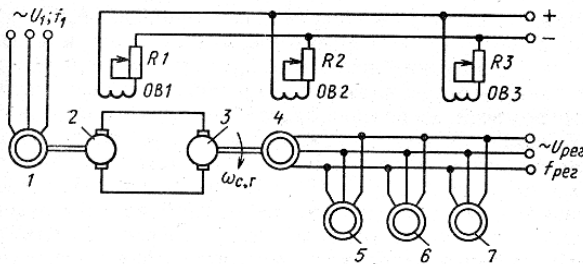
Для кращого використання АД і отримання високих енергетичних показників його роботи – $\cos\varphi$ і ККД – одночасно з частотою необхідно змінювати і напругу на статорі АД.

Для реалізації частотного способу регулювання швидкості АД використовують перетворювачі частоти, які дають можливість також регулювати і напругу на статорі АД.



ПЧ, які застосовують для частотного керування асинхронного ЕП ділять на дві групи:

1) електромашинні обертові ПЧ – в яких для отримання змінної частоти застосовують звичайні або спеціальні електричні машини (ПЧ з синхронними генераторами)



Недоліки цих ПЧ: громіздкість установки (необхідно 4 електричні машини); значні втрати енергії у всьому колі перетворення; низький ККД та шум в роботі.

2) статичні ПЧ – в них використовують елементи та пристрої, що не мають рухомих частин (напівпровідникові прилади, реактори, конденсатори).

Достоїнства статичних ПЧ: високий ККД, швидкість дії, усунення шуму, спрощення обслуговування.

Статичні ПЧ в свою чергу ділять на дві групи:

I. ПЧ без ланки постійного струму з безпосереднім зв'язком (рис.5а): 1 – ПЧ, 2 – блок керування, 3 – силова частина (тиристори), 4 – АД.

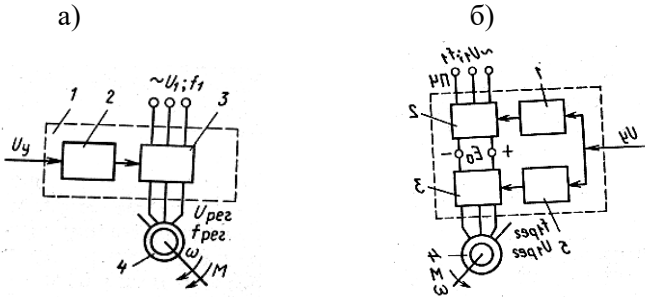


Рис. 5 Статичні ПЧ

II. ПЧ з ланкою постійного струму: 1,5 – блоки керування; 2 – випрямляч, 3 – інвертор.

Випрямлена і регульована напруга E_0 подається на вхід інвертора, який перетворює напругу постійного струму E_0 у трифазну напругу U_{1per} регульованої частоти f_{per} . Частота вихідної напруги інвертора регулюється блоком 5 керування у функції сигналу керування.

Тема: ПРИНЦИП ПОБУДОВИ ЗАМКНЕНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

План.

1. Загальні відомості.
2. Види зворотного зв'язку.
3. Схеми замкнених систем електропривода.

Функції електромеханічних систем керування полягають у здійсненні пуску, регулювання швидкості, гальмування, реверсування для підтримання режиму роботи електропривода відповідно до вимог технологічного процесу. Системи керування поділяють на автоматизовані та неавтоматизовані. Автоматизовані системи керування підрозділяють на розімкнені та замкнені.

Розімкнені САК характеризуються тим, що вони не мають зворотних зв'язків, і при їх реалізації зміна збуду вальних впливів

(наприклад, навантаження на валу двигуна) спричиняє зміну раніше заданого режиму роботи привода.

Замкнені САК складніші, але водночас і досконаліші, ніж розімкнені. Замкнені структури ЕП застосовують у випадках, коли необхідно забезпечити рух виконавчих органів робочих машин з високими показниками – значним діапазоном регулювання швидкості та точністю її підтримання, заданими якістю перехідних процесів і точністю зупинки, а також високою економічністю або оптимальним функціонуванням технологічного обладнання і самого ЕП.

Основною ознакою замкнених структур є таке автоматичне керування, за якого ЕП найкраще виконує свої функції за будь-яких керуючих і зовнішніх збурень, що діють на робочу машину.

При побудові схеми замкненої ЕМС для регулювання вихідних координат – швидкості, прискорення, положення – зазвичай використовуються зворотні зв'язки за швидкістю, положенням, струмом і напругою.

Усі види зворотних зв'язків в ЕП ділять на позитивні та від'ємні, лінійні і нелінійні, жорсткі та гнучкі. Позитивним називається зворотний зв'язок, сигнал якого направлений узгоджено (складається) із задаючим сигналом, а сигнал від'ємного зв'язку направлений йому назустріч.

Жорсткий зворотний зв'язок характеризується тим, що він діє як у сталому, так і у перехідному режимах ЕП. Сигнал гнучкого зворотного зв'язку виробляється лише у перехідних режимах ЕП і призначений для забезпечення необхідної якості, наприклад стійкості руху, допустимого перерегулювання.

Лінійний зворотний зв'язок характеризується пропорційною залежністю між регульованою координатою і сигналом зворотного зв'язку, в той час як при реалізації нелінійного зв'язку ця залежність нелінійна.

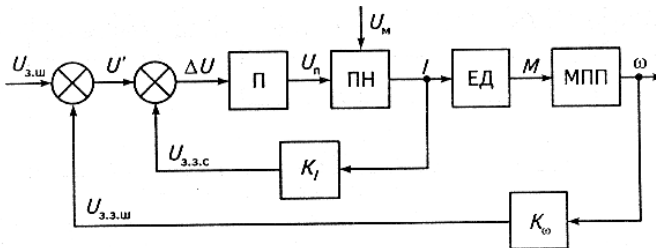


Рис.1 Структурна схема замкненої ЕМС із загальним підсумовувальним підсилювачем. На схемі ЕМС із загальним підсумовувальним підсилювачем (рис.1) електромеханічна частина представлена електродвигуном ЕД і

механічним перетворювальним пристроєм МПП. Електромагнітний момент M двигуна в загальному випадку є регульованою координатою електропривода.

Побудова схем із загальним підсилювачем основана на використанні підсилювача Π , на входи якого подається алгебрична сума заданого сигналу за швидкістю $U_{зш}$ і сигналів зворотних зв'язків за всіма координатами, наприклад за швидкістю $U_{зш}$ і струмом $U_{зс}$. Ці сигнали надходять із виходу системи за допомогою спеціальних датчиків із коефіцієнтами передачі відповідно K_{ω} і K_I . З виходу підсилювача U_{Π} подається на керуючий вхід перетворювача напруги ПН, в якому напруга мережі U_M перетворюється на напругу із заданими параметрами.

Дана схема порівняно проста, однак її недолік полягає в неможливості незалежного регулювання координат і, як наслідок, у труднощах досягнення оптимального регулювання водночас усіх координат.

Розвитком схеми із загальним підсилювачем є схема, зображена на рис.2, де використовуються нелінійні зворотні зв'язки. У результаті дії зворотних зв'язків у деякому діапазоні вони виявляються вже розділеними між собою, проте і в цій схемі неможливо здійснити незалежне регулювання всіх координат.

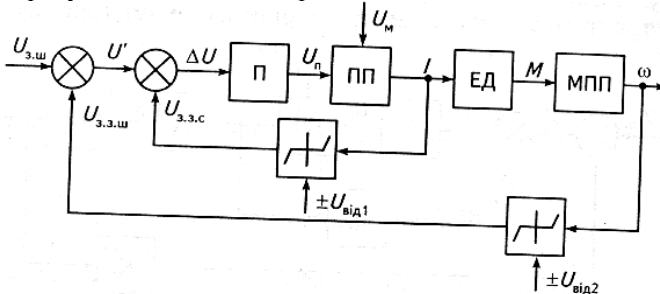


Рис.2

Зазначений недолік із загальним підсилювачем можна усунути використанням так званих систем підпорядкованого регулювання координат із послідовною корекцією (рис.3)

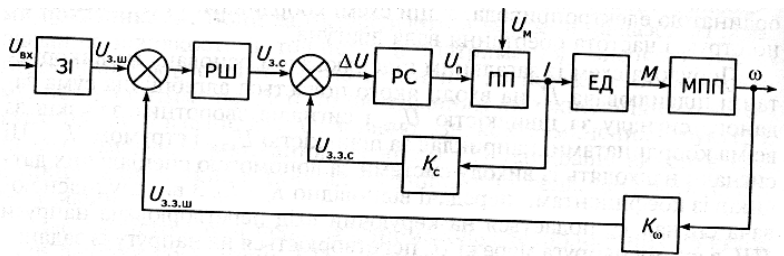


Рис.3

Особливість цих систем полягає у відповідності кількості підсилювачів і замкнених контурів числу регульованих координат. При цьому замкнені контури розташовуються таким чином, що вихідний сигнал зовнішнього контуру є задавальним входним сигналом внутрішнього контуру. Тим самим кожен внутрішній контур підпорядковується зовнішньому контуру. У схемі рис.3 першим контуром є контур струму (координата I), що підпорядковується зовнішньому відносно нього контуру швидкості (координата ω). Кожен контур має свій підсилювач і називається регулятором положення, швидкості, струму й моменту відповідно.

Схема рис.3 містить лише регулятори швидкості РШ й струму РС. Як приклад показано, що для забезпечення необхідної якості перехідного процесу входний задавальний сигнал за швидкістю $U_{зш}$ подається на вхід регулятора швидкості через так званий за датчик інтенсивності ЗІ. Така побудова системи забезпечує роздільне регулювання координат і роздільне (оптимальне) настроювання якості процесу регулювання.