

Міністерство освіти і науки
Чернігівський промислово-економічний коледж
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____ С.В.Бондаренко

_____ 20__ р.

**Методичне забезпечення
лекційного курсу з дисципліни
Основи електропривода
для студентів 3 курсу
спеціальності 5.05070104 "Монтаж та експлуатація
електроустаткування підприємств і цивільних споруд**

Уклав

О.В. Шевченко

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних
дисциплін

Протокол №__ від _____ 20__ року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

Лекція №1

Вступ. Основні поняття про електропривод Призначення і види електропривода

Мета: оволодіти визначенням та поняттями про електропривод

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Коротка історична довідка
- 2 Призначення і види електропривода
- 3 Структура електроприводу

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Сучасний машинний пристрій складається з великої кількості окремих машин, механізмів, апаратів, вузлів й деталей, які виконують різні функції, а усі разом узяті здійснюють певну роботу, спрямовану на забезпечення певного виробничого процесу.

Будь-який розвинений машинний пристрій складається з трьох основних частин:

- двигуна;
- передавального механізму;
- робочого органа.

Перші дві частини призначені для приведення до руху третьої, тобто робочого органа. Отже, перші дві частини являють собою ПРИВОД.

Найбільш простий та давній привод – мускульний, він у деяких різновидах зберігся і до теперішніх часів. Наприклад, ручний, ножний, кінний й таке інше.

На зміну мускульному приводу прийшов механічний (використання енергії вітру та води), який майже такий стародавній, як і мускульний. Відоме застосування водяних колес ще за 3000 років до н.е. (Китай). Зараз також широко використовується механічний привод:

- парові, газові й гідравлічні турбіни;
- двигуни внутрішнього згоряння;
- пневмодвигуни;
- гідродвигуни й таке інше.

Але основним видом приводу зараз є електропривод (ЕП), обсяг його використання незрівнянно більше усіх приводів інших типів разом узятих.

Визначення електричному приводу можна дати таке.

Електропривод – це електромеханічна система, що складається з електродвигунового, перетворювального, передавального та керуючого пристроїв, призначена для приведення до руху виконавчих органів робочої машини, й керування цим рухом.

В окремих випадках цій системі бракують перетворювальні та передавальні пристрої.

Сучасним ЕП властивий високий ступінь автоматизації їх роботи. Це забезпечує можливість роботи ЕП у найбільш оптимальних режимах.

Структурна схема системи автоматизованого ЕП наведена на рисунку 1.1.

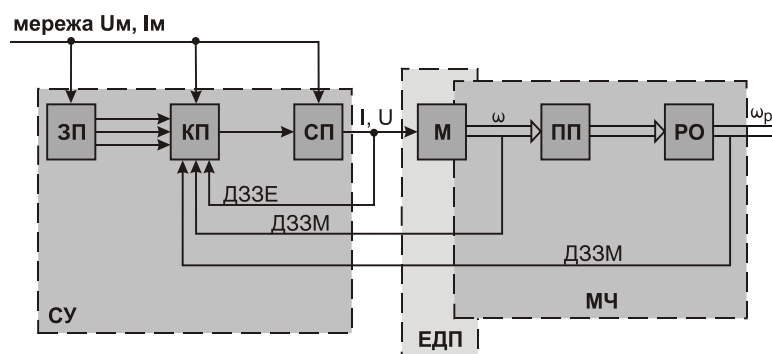


Рисунок 1.1 – Структурна схема автоматизованого ЕП.

На рисунку прийняті такі умовні позначення:

ЗП – задавальний пристрій;

КП – керуючий пристрій;

СП – силовий перетворювач (перетворювальний пристрій);

М – електродвигун (електромашинний перетворювач);

ПП – передавальний пристрій;

РО – робочий орган;

ДЗЗЕ, *ДЗЗМ* – давач зворотнього зв'язку електричний, механічний відповідно;

СК – система керування (складається із силової частини *СП* й інформаційної частини);

ЕДП – електродвигуневий пристрій;

МЧ – механічний передавальний пристрій (механічна частина) ЕП;

I_m , U_m – струм і напруга мережі живлення відповідно;

I , U – струм і напруга живлення двигуна відповідно;

ω_p – кутова швидкість робочого органа.

Електрична енергія, що споживається з мережі (автономного джерела), і яка має нерегульовні параметри I_m , U_m у силовій частині *СП* системи керування *СК* перетворюється у регульовні параметрами I , U , а звідти подається на обмотку електродвигуна *М*, де вона перетворюється у механічну потужність на валу двигуна з кутовою швидкістю ω . Механічна енергія від вала двигуна подається механічному перетворювальному пристрою *ПП*, який здійснює подальше її перетворення. Ця енергія надходить на робочий орган *РО* машини. Керуючий пристрій *КП* здійснює керування силовим перетворювачем *СП* одержуючи командні сигнали від задавального пристрою *ЗП* та поточну інформацію про стан *ЕП* й технологічного процесу, що виконує *ЕП*, за допомогою давачів зворотних зв'язків електричних *ДЗЗЕ* або механічних *ДЗЗМ*. За допомогою цих давачів струм, напруга, потужність електродвигуна; зусилля, швидкість, момент, положення робочого органа (або інші механічні, електричні, теплові й таке інше) параметри перетворюються у пропорційні цим параметрам електричні сигнали. Ці сигнали й подаються у керуючий пристрій *КП*. Тут вони (тобто інформація про поточний стан *ЕП* й технологічного процесу) порівнюються з заданими (від задавального пристрою *ЗП*) і при наявності розузгодження їх (сигналів від *ДЗЗЕ*, *ДЗЗМ* та сигналів від *ЗП*) у керуючому пристрої *КП* вироблюється керуючий сигнал, що діє на силовий перетворювач *СП*, який у свою чергу діє на електричний двигун *М* своїми зміненими параметрами I , U у напрямку усунення розузгодження, що виникло, з необхідною точністю й швидкодією.

Таким чином, у структурній схемі *ЕП* можна виділити три основних блока:

- система керування *СК*, яка складається з силової перетворювальної частини *СП* та інформаційної частини *ІСК*, до якої належать:

1) керуючий пристрій *КП*;

- 2) задавальний пристрій *ЗП* ;
- 3) система давачів зворотних зв'язків *ДЗЗ* ;
- 4) елементи захисту, сигналізації, індикації *ЕЗСІ* ;

- електродвигуневий пристрій *ЕДП* призначений для перетворення електричної енергії у механічну, або навпаки, механічної енергії у електричну (електродвигун може працювати як у двигуневому режимі, так і у режимі генератора);

- механічна частина (механічний передавальний пристрій) - *МЧ*, яка складається з рухомої частини електродвигуна й усієї механічної частини *ПП* від двигуна до робочого органа *РО*; призначена для передачі механічної енергії від двигуна до робочого органа, або навпаки, від робочого органа *РО* до двигуна *М*, й для перетворення виду руху і механічних параметрів руху (швидкості, моменту, зусилля і таке інше).

Із вищесказаного випливає, що автоматизований ЕП (крім своєї основної стародавньої функції привода – приводити до руху робочий механізм) володіє також системою керування, яка забезпечує раціональне, оптимальне ведення необхідного режиму роботи.

Електричний привод народжувався у надрах доби пари, попервах його застосування зводилось до заміни парової машини, яка приводила до руху трансмісію заводу або цеху, електричним двигуном. Таким чином, першим ЕП був трансмісійним.

Трансмісійний (груповий) електропривод (рисунок 1.2). Тут один двигун *М* приводить до руху за допомогою трансмісій або інших передач групи робочих машин, або механізмів однієї робочої машини. Кінематична схема механічної частини складна, громіздка, неекономічна, використовується зараз рідко.

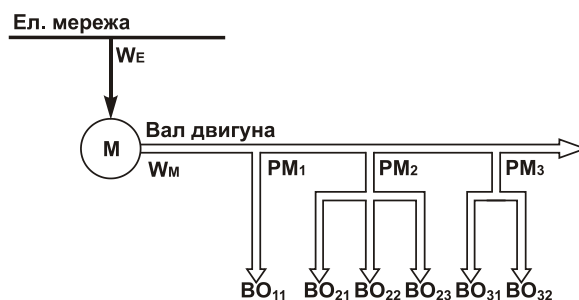


Рисунок 1.2 – Трансмісійний (груповий) ЕП.

На цьому та двох наступних рисунках прийняті такі умовні позначення.

WE – електрична енергія;

WM – механічна енергія;

PM – робоча машина;

BO – виконавчий орган робочої машини.

Зараз найбільш розповсюдженим є індивідуальний електропривод.

Індивідуальний електропривод. Тут кожний виконавчий орган робочої машини приводиться до руху одним окремим електродвигуном (індивідуальний поодинокий ЕП, рисунок 1.3) або декількома електродвигунами (багатодвигуневий ЕП, рисунок 1.4).

Порівняно з груповим (трансмійним) індивідуальний ЕП забезпечує суттєве спрощення механічної частини ЕП, дає можливість оперативно керувати технологічним процесом робочої машини.

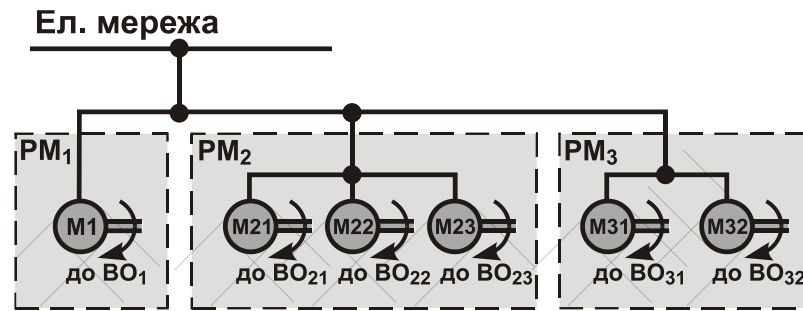


Рисунок 1.3 - Індивідуальний однодвигуневий (поодинокий) ЕП.

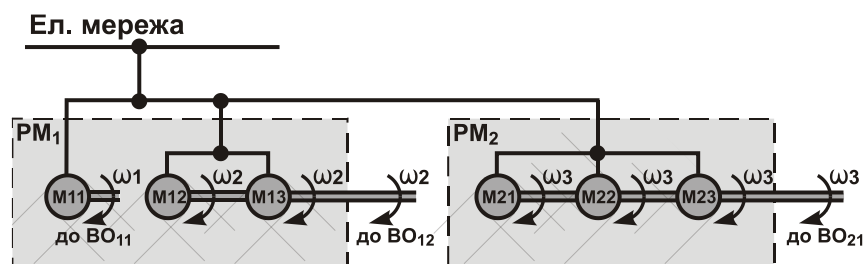


Рисунок 1.4 - Індивідуальний багатодвигуневий ЕП.

ЕП органічно зливається з робочим механізмом і машиною у єдину систему, дозволяє виконати раціональне компонування привода і системи, підвищити технічні, економічні й ергономічні показники. Багатодвигуневий ЕП дозволяє симетрувати навантаження PO , зменшувати навантаження стрічки (ланцюга) їх натяг, замінити зосереджене навантаження розподіленим.

Лекція № 2

Тема: Рівняння руху електроприводу та його види

Мета: оволодіти знаннями про механіку електроприводу, вивчити рівняння руху електроприводу

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Кінематична схема електроприводу
- 2 Елементи схеми електроприводу
- 3 Рівняння руху електроприводу

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Механічний рух від вала електродвигуна до робочого органа (або навпаки, від робочого органа до двигуна) здійснюється за допомогою механічного передавального пристрою (МПП), який, у загальному випадку, складається з певної кількості елементів механічної частини електропривода:

- передач;
- перетворювальних ланок.

Найпростіша структурна схема електропривода має вигляд поданий на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Найпростіша структурна схема ЕП.

За величиною електрична потужність двигуна ($P_{ел}$), механічні потужності ЕД ($P_{мх1}$), МПП ($P_{мх2}$) та РО ($P_{мх3}$) різняться урахуванням значень відповідних ККД.

Будову і складність МПП, у першу чергу, визначають особливості динамічних станів РО, характер технологічного процесу, властивості ЕД та його системи регулювання. Найбільш розвинений МПП у глибокорегульованих приводах зі складним характером руху РО. У цих випадках регулювання координат і зміна характеру руху здійснюється не тільки з боку ЕД, а і з боку МПП.

За таких обставин слід дійти висновку: чим більше будуть удосконалені двигун та його системи керування, чим більше на них можна буде реалізувати різних динамічних станів, тим простішим буде МПП [6, 7]. На разі за технічними показниками таких досконалих електроприводів ще не існує, а навпаки існує ціла низка сучасних електроприводів з розвиненим складним, або надзвичайно складним МПП.

З іншого боку кінематичний ланцюг ЕП може бути доволі простий (інколи механічна частина ЕП практично відсутня, і тоді вал двигуна безпосередньо з'єднується з робочим органом).

До робочих органів (у залежності від призначення) слід віднести:

- гак
 - кліть
 - тейфер
 - шпіндель
 - стіл
 - патрон
 - валки (прокатні машини);
 - пуасон (преси);
 - ківш (екскаватори);
 - стрічка (конвейери);
 - гребний гвинт (водяні й повітряні судна).
- } – підймальні машини;
- } – верстати;

Як уже згадувалось, елементи механічної частини електродвигуна ЕП або обертаються або рухаються поступально з різною швидкістю, при цьому

мають різну жорсткість, мають різні маси, або моменти інерції, а з'єднання між ними, у більшості випадків, мають проміжки.

Наявність таких особливостей механічної частини ЕП вносить певні спотворення у процес передавання руху від електродвигуна до робочого органа та вимагає відповідного урахування.

Механічний рух будь-яких елементів ЕП (і силових і елементів керування) описується за допомогою законів електромеханіки. У першу чергу, це другий закон Ньютона, який описує рух матеріального тіла.

Якщо тверде тіло рухається поступально, закон формулюється так:

$$\sum \bar{F} = m \cdot \frac{d\bar{v}}{dt}, \quad (2.1)$$

якщо обертається навколо своєї осі:

$$\sum \bar{M} = J \cdot \frac{d\bar{\omega}}{dt}. \quad (2.2)$$

Тут $\sum \bar{F}$, $\sum \bar{M}$ - векторні суми відповідно сил і моментів, що діють на тіло;

m , J - відповідно маса і момент інерції тіла;

$\frac{d\bar{v}}{dt}$, $\frac{d\bar{\omega}}{dt}$ - відповідно прискорення й кутове прискорення тіла що

рухається поступально, або обертається.

Оскільки при русі тіла навколо нерухомої осі або при поступальному русі тіла вздовж прямолінійної осі усі вектори спрямовані вздовж однієї осі, то замість векторних величин можна використати скалярні.

Рівняння (2.1) й (2.2) дозволяють однозначно визначити характер механічного руху електропривода.

$$\left. \begin{array}{l} \sum F = 0 \\ \sum M = 0 \end{array} \right\} \text{привод рухається з усталеною} \quad (2.3)$$

швидкістю, або знаходиться у стані спокою.

$$\left. \begin{array}{l} \sum F \neq 0 \\ \sum M \neq 0 \end{array} \right\} \text{привод рухається з прискоренням.} \quad (2.4)$$

Знаходження залежності швидкості руху у часі $\omega(t)$ й $v(t)$ здійснюється шляхом рішення (інтегрування) рівнянь руху (2.1) чи (2.2), при цьому повинні бути задані:

- маса або момент інерції;
- характер дії сил (зусиль) або моментів.

Лекція №3

Тема: Розрахункові схеми механічної частини електроприводу

Мета: оволодіти знаннями про розрахункові схеми та зведення моменту інерції

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

1 Розрахункові схеми механічної частини електроприводу

2 Розрахункова еквівалентна схема

3 Зведення моменту інерції

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с

2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с

3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с

4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Елементи механічної частини ЕП механічно пов'язані один з одним і утворюють єдиний кінематичний ланцюг від електродвигуна до виконавчого органа. Кожний елемент має власну швидкість й характеризується своїми моментом інерції або масою, а також сукупністю моментів або сил, що діють на нього. Рух кожного з цих елементів можна описати одним з рівнянь (2.3) або (2.4), при цьому обов'язково урахувати взаємодію цього елемента з рештою елементів кінематичного ланцюга. Найбільш зручно таке урахування здійснити шляхом зведення моментів, зусиль, моментів інерції та мас.

У результаті виконання цієї операції зведення реальна кінематична схема замінюється розрахунковою енергетично еквівалентною схемою, основою якої є той елемент, рух якого розглядається.

Зведення названих величин може бути здійсненим до будь-якого елемента механічної частини ЕП, але найчастіше таким елементом є вал електродвигуна.

Суть операції зведення розглянемо на прикладі електропривода піднімальної лебідки. Кінематична схема такого пристрою має вигляд поданий на рисунку 2.2.

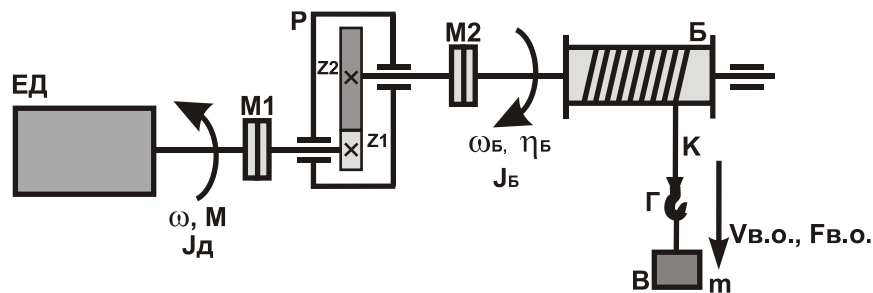


Рисунок 2.2 – Реальна кінематична схема пристрою.

На рисунку 2.2 прийняті такі умовні позначення:

- ЕД** – електродвигун;
- М1, М2** – з'єднувальні муфти;
- Р** – редуктор;
- Б** – барабан;
- В** – вантаж;
- Г** – гак;
- К** – канат.

Двигун **ЕД** через з'єднувальну муфту **М1** редуктор **Р**, муфту **М2** обертає барабан **Б**, на якому намотаний канат **К**. Кінець каната **К** з'єднаний з гакom **Г** (виконавчий орган механізму), на якому підвішений вантаж **В** масою **m**.

Навантаження ЕП визначається дією сили ваги, а також тертям рухомих частин. Останній вид навантаження зветься втратами на тертя й ураховується ККД редуктора (η_p) і ККД барабана (η_b).

У результаті зведення усіх моментів інерції, мас й зусиль, що мають місце у вищенаведеній реальній схемі ЕП, до вала електродвигуна одержимо еквівалентну розрахункову схему (рисунку 2.3). У якій належить визначити зведене значення момента навантаження **Мс** (статичного момента опору) та зведене значення момента інерції **J**. Здійснюється це наступним чином.

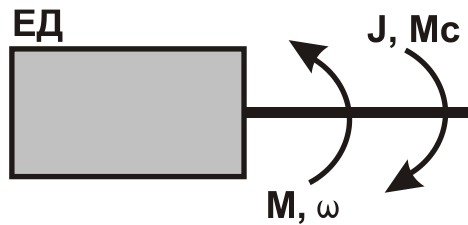


Рисунок 2.3 - Зведена розрахункова схема.

Зведення момента навантаження здійснюється, виходячи з рівності механічної потужності навантаження двигуна у реальній й в еквівалентній (зведеній розрахунковій) схемах.

Для випадку піднімання вантажу двигун здійснює корисну роботу підняття вантажу й покриває втрати потужності на тертя у кінематичному ланцюгу. Енергія спрямовується від двигуна до виконавчого органу, а баланс потужності у цьому випадку має вигляд

$$M_c \cdot \omega = \frac{F_{B.O.} \cdot V_{B.O.}}{\eta_p \cdot \eta_B},$$

звідки

$$M_c = \frac{F_{B.O.} \cdot V_{B.O.}}{\omega \cdot \eta_p \cdot \eta_B} = \frac{F_{B.O.} \cdot \rho}{\eta_p \cdot \eta_B} \quad [\text{Н} \cdot \text{м}],$$

де M_c – зведений до вала двигуна момент навантаження (статичний момент опору), [Н·м];

ω – кутова швидкість вала двигуна [$1/c$];

$F_{B.O.} = m \cdot g$ - сила ваги, [Н];

$V_{B.O.}$ - лінійна швидкість піднімання вантажу, [м/с];

$\rho = V_{B.O.} / \omega$ - радіус зведення, [м];

m - маса вантажу, [кг].

Зведення моментів інерції та мас елементів здійснюється виходячи з рівності запасу кінетичної енергії у реальній та у еквівалентній (зведеній розрахунковій) схемах.

$$\frac{J \cdot \omega^2}{2} = \frac{J_d \cdot \omega^2}{2} + \frac{J_B \cdot \omega_B^2}{2} + \frac{m \cdot V_{B.O.}^2}{2},$$

звідки

$$J = J_d + J_B \frac{\omega_B^2}{\omega^2} + m \frac{V_{B.O.}^2}{\omega^2},$$

або

$$J = J_d + \frac{J_B^2}{i^2} + m \cdot \rho^2,$$

де J - зведений до вала двигуна момент інерції МПП, [кг·м²];

J_d - момент інерції двигуна, муфти **M1** й шестерні **Z1**, [кг·м²];

J_B - момент інерції барабана, муфти **M2** й шестерні **Z2**, [кг·м²].

Таким чином, для зведення моменту інерції обертального елемента до вала двигуна слід поділити його момент інерції на квадрат передаточного числа ділянки кінематичного ланцюга проміж двигуном та цим елементом.

Для зведення маси елемента, що рухається поступально, слід помножити його масу на квадрат радіуса зведення ділянки кінематичного ланцюга проміж двигуном та цим елементом.

Лекція №4

Тема: Енергетичні режими роботи ДПС НЗ

Мета: оволодіти знаннями про режими роботи ДПС НЗ

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Двигуневий режим роботи ДПС НЗ
- 2 Рекуперативне гальмування ДПС НЗ
- 3 Гальмування проти вмикання ДПС НЗ
- 4 Електродинамічне гальмування ДПС НЗ

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

В електроприводі, крім двигунового режиму роботи, бувають й гальмівні режими роботи електродвигунів. Таких режимів електричного гальмування три:

- гальмування з віддачею енергії до мережі (рекуперативне гальмування);
- гальмування противімкненням;
- електродинамічне гальмування.

В усіх цих режимах електродвигун працює як генератор, відмінність полягає у тому, як е.р.с. генератора зорієнтована відносно напруги мережі.

Так при рекуперативному гальмуванні е.р.с. машини (як і у двигуновому режимі) спрямована назустріч напрузі мережі, проте стає більше цієї напруги, що й зумовлює зміну напрямку струму, при переході з двигунового режиму в гальмівний, на протилежний.

У режимі гальмування противімкненням е.р.с. машини й напруга мережі діють узгоджено (в одному напрямку), а струм зумовлюється сумою е.р.с. машини й напруги мережі.

У режимі електродинамічного гальмування якірне коло машини відмикається від мережі й замикається на зовнішній резистор, тобто напруга на машині відсутня, а сама машина є генератор, що працює на ізольоване навантаження.

Режим рекуперативного гальмування

Перехід у такий режим буде відбуватися у тому випадку, коли з боку виконавчого механізму на вал двигуна діють у двигуновому режимі моменти, що співпадають за напрямком з моментом, що розвиває двигун. Внаслідок чого швидкість двигуна почне збільшуватись й стане більшою швидкості ідеального неробочого ходу, а е.р.с. двигуна при цьому стане більшою прикладеної до двигуна напруги (напруги мережі). Двигун тут буде працювати у режимі генератора паралельно з мережею, якій він віддає електричну енергію (рекуперация енергії). Струм при цьому змінює свій напрямок на протилежний.

$$I_{я} = \frac{U_{м} - E_{я}}{R_{я}} \quad (3.16)$$

де $E_{я} = C_{м} \cdot \Phi \cdot I_{я}$, $|\omega| > |\omega_0|$, $|E_{я}| > |U_{м}|$.

Отже струм змінить знак на протилежний, змінить знак і момент, оскільки

$$M = C_{м} \cdot \Phi \cdot I_{я}.$$

Таблиця 3.2 – Електричний стан двигуна.

Двигуневий режим	Режим ідеального неробочого ходу	Режим рекуперативного гальмування
$\omega < \omega_0$	$\omega = \omega_0$	$\omega > \omega_0$
$ E_{я} < U_{м} $	$ E_{я} = U_{м} $	$ E_{я} > U_{м} $
$I_{я} > 0$	$I_{я} = 0$	$I_{я} < 0$

У режимі рекуперативного гальмування, перетворюючи механічну енергію підведену до вала двигуна з боку виконавчого механізму, в

електричну, двигун створює гальмівний генераторний момент. Електропривод досягає ustalеної швидкості, коли зростаючий момент двигуна не стане рівним рушійному моменту виконавчого механізму.

У наслідок того, що перехід від двигунного режиму до гальмівного здійснився без зміни параметрів двигуна і схеми вмикання його у мережу, а тільки за рахунок підведення до вала двигуна додаткового момента, рівняння механічної характеристики залишається у такому ж вигляді, як і для двигунного режиму.

Рекуперативному гальмуванню буде відповідати ділянка механічної характеристики, розташованої у другому квадранті (рисунок 3.7), тобто при $\omega > \omega_0$ і $M < 0$.

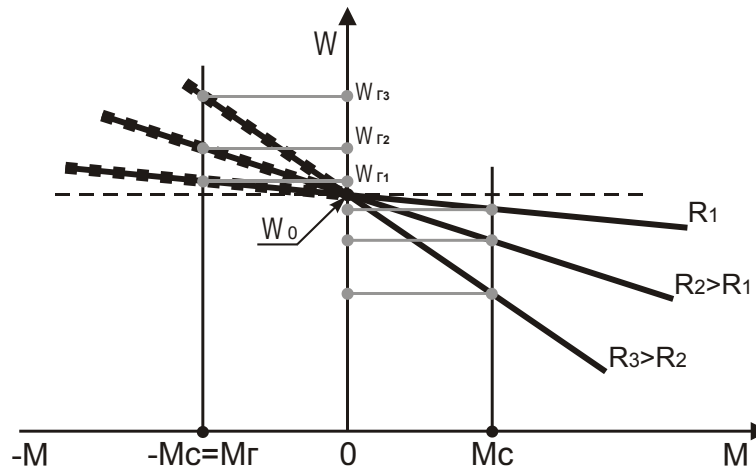


Рисунок 3.7 – Характеристики гальмування.

Як і для двигунного режиму, збільшення опору в колі якоря збільшує крутизну характеристик (зменшує жорсткість), а одній і тій же величині гальмівного моменту M_g буде відповідати збільшення швидкості гальмування ($\omega_{z1} < \omega_{z2} < \omega_{z3} < \dots$) зі зростанням опору (рисунок 3.7).

Таким чином, графічно механічні характеристики гальмівного режиму є продовження відповідних механічних характеристик двигунного режиму у другий квадрант.

Такий спосіб гальмування можливий, наприклад, у приводах вантажопіднімальних механізмів при опусканні вантажу, або в транспортних механізмах при русі під схил.

Рекуперативне гальмування є вельми економічним, так як воно супроводжується віддачею електричної енергії у мережу. В цю енергію двигун перетворює механічну енергію на валу, яку він одержує від виконавчого механізму.

Але гальмування цим способом суттєво обмежене, оскільки не у всіх приводах і не у всіх випадках може дотримуватись умова

$$\omega > \omega_0.$$

Режим гальмування противімкненням

При цьому режимі двигун обертається за рахунок запасу кінетичної енергії або потенціальних сил виконавчого механізму у бік, протилежний дії

момента, що розвиває двигун, (тобто обмотки двигуна увімкнені на обертання в один бік, але за рахунок накопиченої кінетичної або потенціальної енергії, що діє з боку виконавчого механізму на вал двигуна, він обертається у протилежний бік).

Це може відбуватись у вантажопіднімальному механізмі, коли електродвигун увімкнений на піднімання вантажу, а момент, що створює вантаж, змушує двигун обертатися у бік опускання вантажу. Такий же режим відбувається при перемиканні обмоток електродвигуна при його обертанні на реверс (від початку перемикання до повної зупинки).

Взагалі, а з наведених вище прикладів зокрема, слід розрізняти два випадки реалізації гальмування противвмкненням:

- при накопиченні потенціальної енергії (з активним статичним моментом);
- при накопиченні кінетичної енергії (з реактивним статичним моментом).

I випадок. Графічне зображення статичної механічної характеристики, наприклад, для так званого гальмівного спускання, вантажу, має вигляд показаний на рисунку 3.8. Механічна характеристика для режиму гальмування противвмкненням є продовження характеристики двигуневого режиму у четвертий квадрант.

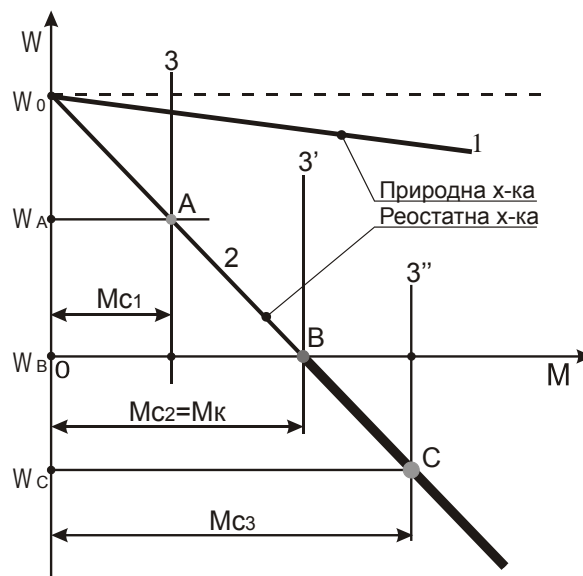


Рисунок 3.8 – Характеристики гальмування з активним M_c .

При вмиканні обмоток двигуна для піднімання вантажу, двигун може бути запущеним у хід лише тоді, коли

$$M_c < M_k = M_{\text{пуск}}, \quad (3.17)$$

де M_c - статичний момент опору вантажу, умова (3.17) буде чинна, наприклад, коли $M_c = M_{c1}$ (точка **A**, рисунок 3.8);

$M_k = M_{\text{пуск}}$ - момент двигуна на початку пуску, ще при нерухомому якорі, тобто момент короткого замкнення (точка **B**).

Якщо момент опору вантажу під час пуску складає M_{c1} , то після запуску двигуна швидкість його буде збільшуватись до значення швидкості ω_A , тобто до усталеної швидкості у точці A , а струм двигуна визначається:

$$I_{яА} = \frac{U_m - E_{яА}}{R_я}. \quad (3.18)$$

Якщо під час піднімання вантажу збільшувати масу вантажу (тобто характеристику виконавчого механізму 3, дивись рисунок, зміщувати вправо), то швидкість двигуна буде спадати по ділянці характеристики AB , швидкість піднімання вантажу буде зменшуватись, якщо збільшити при цьому вантаж до створення моменту опору M_{c2} (характеристика механізму 3'), що буде дорівнювати пусковому моменту

$$M_{c2} = M_{пуск} = M_k,$$

а двигун зупиниться, швидкість піднімання вантажу $\omega_B = 0$.

Для цієї швидкості рівняння (3.18) буде мати вигляд

$$I_{яВ} = \frac{U_m - 0}{R_я} = \frac{U_m}{R_я} = I_k = I_{пуск}.$$

Якщо в подальшому ще збільшувати масу вантажу, то момент вантажу перевищить пусковий момент двигуна і під дією надлишку моменту опору двигун почне обертатися у протилежний бік а вантаж почне опускатися по ділянці характеристики BC , швидкість опускання почне збільшуватись. Якщо установити незмінним вантаж, наприклад такий, що створює момент вантажу M_{c3} (характеристика механізму 3''), то збільшення швидкості опускання вантажу буде тривати до точки C , після якої опускання вантажу вже буде тривати з усталеною швидкістю ω_c .

Таким чином, двигун при цьому буде обертатися у протилежний бік, магнітний потік двигуна зберіг свій напрямок, значить напрямок е.р.с. двигуна зміниться на протилежний, а струм двигуна у відповідності до (3.17) буде

$$I_{яС} = \frac{U_m - (-E_{яС})}{R_я} = \frac{U_m + E_{яС}}{R_я},$$

величина якого, як видно з виразу, буде більшою, ніж у двигуневому режимі.

Відповідно струмові збільшиться й момент ДПС НЗ у гальмівному режимові порівняно з двигуневим.

Розглянутий вище процес роботи електропривода вантажопіднімального механізму можна подати у вигляді таблиці (таблиця 3.3), що показує три режиму роботи привода (відповідно для трьох точок характеристики A , B і C рисунка 3.8).

Таблиця 3.3 – Електричний стан двигуна.

Точка А	Точка В	Точка С
$\xrightarrow{U_m}$	$\xrightarrow{U_m}$	$\xrightarrow{U_m}$
$\xleftarrow{E_{яА}}$	$E_{яВ} = 0$	$\xrightarrow{E_{яС}}$
Двигуневий режим	Двигун нерухомий	Режим гальмування противвімкненням

Як видно із таблиці 3.3, при гальмуванні противімкненням е.р.с. машини спрямована послідовно - узгоджено з напругою мережі, тобто двигун працює у генераторному режимі послідовно з мережею, одержуючи механічну енергію з вала від виконавчого механізму й перетворюючи її в електричну енергію. Споживається електрична енергія й з мережі. Вироблена машиною електроенергія й електроенергія, що споживається з мережі марно витрачається у вигляді теплоти на опорах якірного кола, підігрівуючи машину й навколишнє середовище (джоулева дисипація енергії).

II Випадок. Значно частіше розповсюджене гальмування противімкненням за рахунок накопичення механізмом кінетичної енергії (з реактивним статичним моментом) шляхом змінювання полярності живлення якірного кола двигуна при його обертанні на протилежну. При цьому, як і у I-му випадку, е.р.с. спрямована узгоджено з напругою мережі, а момент двигуна спрямований проти обертання якоря. Механічна характеристика II-го випадку гальмування противімкненням розташована у другому квадранті, рисунок 3.9, для прямого напрямку обертання.

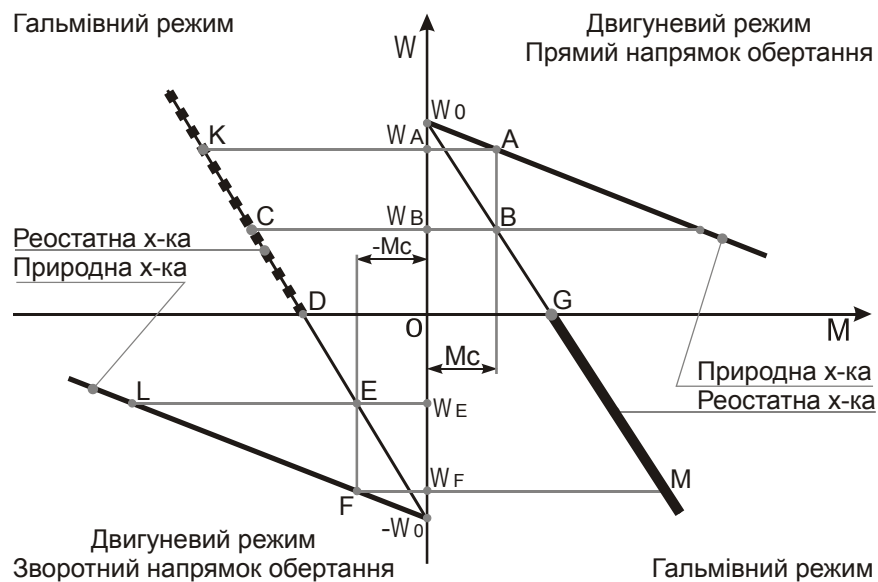


Рисунок 3.9 – Характеристики гальмування з реактивним M_c .

Нехай до змінювання полярності двигун працював на природній характеристиці з заданою швидкістю ω_A при моменті опоры M_c у двигуневому режимі заданого (прямого) напрямку обертання – тобто у I-му квадраті.

Для того, щоб здійснити гальмування противімкненням при реактивному статичному моменті опоры слід:

а) у коло якоря ввести додатковий опір $R_{я0}$ для зменшення струму гальмування, швидкість двигуна уповільниться і він перейде працювати з природної характеристики (точка A) на реостатну характеристику (у точку B), якщо не зміниться величина моменту опоры M_c ;

б) при швидкості двигуна ω_B змінити полярність живлення якірного кола на протилежну, якщо при цьому не змінювати величину додаткового

опору якiрного кола $R_{я0}$, то робота двигуна перейде у точку C причому вiдрiзок KE буде рiвнобiжним вiдрiзку BM ;

в) пiд впливом гальмiвного момента двигуна буде компенсуватись накопичена кiнетична енергiя i швидкiсть буде зменшуватись по реостатнiй характеристикi до точки D , у якiй повнiстю погаситься накопичена кiнетична енергiя, швидкiсть двигуна буде дорiвнювати нулю (вiн зупиниться);

г) на цьому (точка D) процес гальмування завершився, але на якiр двигуна продовжує дiяти момент двигуна i щоб двигун пiд дiєю цього моменту не почав обертатись у протилежний бiк (3-й квадрант), у точцi D двигун вiдмикається вiд мережi – гальмування здiйснено;

д) якщо у точцi двигун не вiдiмкнути вiд мережi то вiн почне обертатись у протилежний бiк у двигуневому режимi зворотного обертання по характеристикi KE ;

е) якщо при цьому не вiдбулася змiна величини статичного моменту опору M_c , збiльшення швидкостi обертання двигуна у зворотному напрямку буде здiйснюватись до точки E i в подальшому вiн буде обертатись з усталеною швидкiстю ω_E ;

ж) при бажаннi перейти на природну характеристику слiд вивести додатковий опiр якоря $R_{я0}$ - двигун збiльшить свою швидкiсть i перейде працювати у точку F на природнiй характеристикi з усталеною швидкiстю ω_F .

Зауваження. Починати гальмування можна безпосередньо з природнiй характеристик, для цього:

а) при роботi у двигуневому режимi попереднього (прямого) напрямку обертання на природнiй характеристикi у точцi A з швидкiстю ω_A здiйснити змiнювання полярностi напруги живлення якiрного кола на протилежну;

б) ввести додатковий опiр $R_{я0}$ i двигун при швидкостi ω_A перейде на роботу у гальмiвний режим (2-й квадрант) у точку K , на вiдмiну вiд попереднього гальмування (при швидкостi ω_B) струм i момент двигуна будуть бiльшими;

в) пiд впливом гальмiвного момента двигуна буде компенсуватись накопичена кiнетична енергiя i швидкiсть почне зменшуватись по реостатнiй характеристикi вiд точки K до точки C ;

г) далi процеси гальмування не будуть вiдрiзнятись вiд попереднього режиму (початок гальмування зi швидкiстю ω_B).

З розглянутого видно, що при реверсi ДПС НЗ змiною полярностi живлення якiрного кола у будь-якому випадку автоматично присутнє гальмування противвiмкнення з реактивним статичним моментом.

Дiлянка характеристик (четвертий квадрант) вiдповiдає гальмiвному режиму противвiмкнення з реактивним статичним моментом для зворотного напрямку обертання двигуна в двигуневому режимi його роботи (рисунок 3.9).

Якщо ще раз змiнити полярнiсть напруги живлення якоря, то за попереднiм сценарiєм, двигун знову перейде у режим гальмування противвiмкненням по напрямку $FMGBA$ i вийде у двигуневий режим роботи прямого напрямку обертання – 1-й квадрант.

Обидва різновиди гальмівного режиму протипротивлення, порівняно з іншими видами електричного гальмування мають такі переваги:

- широкий діапазон застосування цього способу гальмування, так як його можна реалізувати практично у будь-якому випадку роботи (реальної) електропривода;

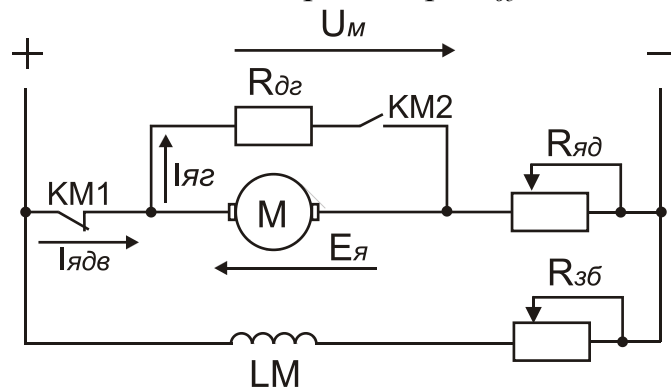
- висока ефективність гальмування оскільки при цьому мають місце значні струми й моменти (не тільки більші, ніж у двигуновому режимі, а й більші відповідних параметрів пускового режиму), що дозволяє це гальмування використовувати у аварійних ситуаціях при великих швидкостях – гальмування реверсом по природній механічній характеристиці (при відсутності додаткового опору $R_{яд}$).

Режим електродинамічного гальмування

Для спрощення цей режим будемо називати скорочено:

- динамічне гальмування.

У режимі динамічного гальмування двигун використовується як генератор постійного струму незалежного збудження замкнутого на незалежне навантаження у вигляді зовнішнього резистора $R_{оз}$ за схемою, рисунок 3.10.



КМ1 – замкнено; КМ2 – розімкнено – двигуновий режим

КМ1 – розімкнено; КМ2 – замкнено – гальмівний режим

Рисунок 3.10 – Схема для здійснення режиму динамічного гальмування.

У наведеній схемі на рисунку 3.10 прийняті такі умовні позначення:

$КМ1$ - лінійний контактор для вмикання якорного кола двигуна;

$КМ2$ - контактор динамічного гальмування;

$I_{ядв}$ - струм якоря у двигуновому режимі двигуна;

$I_{яг}$ - струм якоря у гальмівному режимі двигуна;

$E_я$ - е.р.с. якоря двигуна;

LM - обмотка незалежного збудження двигуна;

$R_{яд}$ - додатковий резистор у якорному колі двигуна в двигуновому режимі;

$R_{зб}$ - додатковий резистор у колі збудження;

$R_{оз}$ - гальмівний резистор.

Тобто динамічне гальмування відбувається, якщо якорне коло відімкнути від мережі і замкнути його на резистор $R_{оз}$. Обмотка збудження LM двигуна залишається увімкненою на живлення і у двигуновому, і у гальмівному режимах. У цьому випадку машина працює генератором за рахунок

накопиченої кінетичної енергії в обертальних частинах привода, або за рахунок накопиченої потенціальної енергії вантажу. В обох випадках генерована електрична енергія витрачається на нагрівання обмоток якоря й гальмівного резистора $R_{\partial z}$ (тому динамічне гальмування ще зветься резисторним гальмуванням).

У наслідок того, що е.р.с. якоря при динамічному гальмуванні зберігає той же знак, що й у двигуновому режимі, а напруга до якоря ззовні не прикладається ($U_m = 0$), то, у відповідності до рівняння (3.16), напрямок струму динамічного гальмування змінюється на протилежний порівняно з двигуновим режимом

$$I_{я} = \frac{U_m - E_{я}}{R_{я}},$$

при $U_m = 0$

$$I_{яz} = \frac{0 - E_{я}}{R_{я}} = -\frac{E_{я}}{R_{я}}, \quad (3.19)$$

де $R_{я} = R_{яв} + R_{\partial z}$ - сумарний опір якірного кола при гальмуванні.

За тих же причин ($U_m = 0$) механічна характеристика буде мати інший вид у гальмівному режимі порівняно з двигуновим.

$$\omega = \frac{U_m}{C_m \cdot \Phi} - M_{\partial z} \cdot \frac{R_{я}}{C_m^2 \cdot \Phi^2},$$

при $U_m = 0$

$$\omega = -M_{\partial z} \cdot \frac{R_{я}}{C_m^2 \cdot \Phi^2}, \quad (3.20)$$

де $M_{\partial z}$ - гальмівний момент двигуна.

У відповідності до прийнятих раніше припущень рівняння (3.20) математично являє собою лінію вигляду

$$y = k \cdot x,$$

тобто пряму лінію, що проходить через початок координат із 2-го у 4-й квадранти (рисунок 3.11). Жорсткість (крутизна) характеристик, як і раніше, залежить від величини опору якірного кола двигуна. Найбільш інтенсивно відбувається гальмування при замкненому накоротко якірному колі ($R_{\partial z1} = 0$), при цьому характеристика гальмування буде рівнобіжною природній характеристиці двигуна у двигуновому режимі (лінія 2-2' || 1).

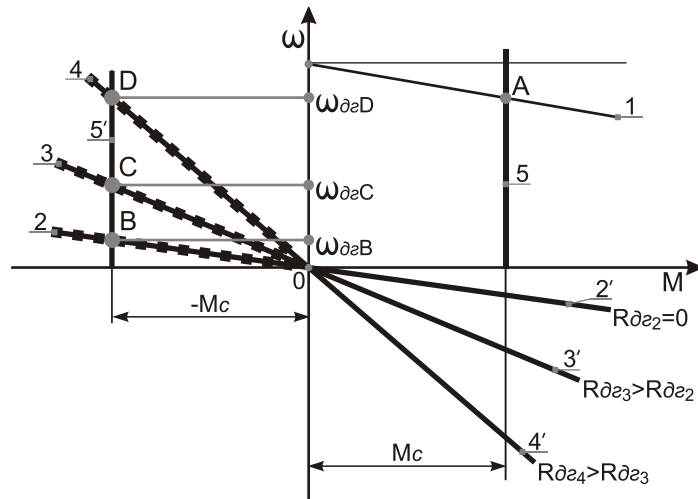


Рисунок 3.11 – Характеристики гальмування.

За цих обставин струм якоря $I_{я2}$ буде відповідати струму короткого замкнення $I_{як3}$, тобто зavelикий, а для обмеження струму КЗ слід гальмувати при замкненому накоротко колі якоря тільки при малих значеннях швидкості якоря, наприклад, точка В. Реалізація гальмування у точці В здійснюється при гальмівному спусканні вантажу (у вантажопіднімальних механізмах). В цьому випадку усталений режим спускання вантажу визначиться перетином лінії (характеристики) статичного моменту 5' з характеристикою двигуна 2 (точка В). Для реалізації динамічного гальмування на більш високих швидкостях уводиться резистор динамічного гальмування (точки С і D з відповідними резист. $R_{д23}$ й $R_{д24}$).

Переваги динамічного гальмування:

- як і гальмування противвімкненням, динамічне гальмування має широкий діапазон його практичної реалізації;
- хоча при динамічному гальмуванні і не відбувається рекуперация електричної енергії, однак економічно цей режим вигідний, тому що він не потребує витрат електричної енергії з мережі, двигун генерує її сам, що значно вигідніше ніж при гальмуванні противвімкнення; втрати енергії на збудження малі й вони присутні у всіх режимах електричного гальмування;
- струмові навантаження при динамічному гальмуванні більш полегшені ніж при гальмуванні противвімкненням, динамічні навантаження на механічну частину привода й удари менші;

Лекція №5

Тема: Регулювання швидкості ДПС НЗ резистором в колі якоря

Мета: оволодіти знаннями про регулювання швидкості ДПС НЗ за допомогою резистора в колі якоря, вивчити електричну схему

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Електрична схема ДПС НЗ
- 2 Реостатні характеристики
- 3 Основні показники регулювання швидкості

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Для таких електродвигунів, у відповідності до їх електромеханічної характеристики

$$\omega = \frac{U_M - I_A R_A}{C_M \Phi},$$

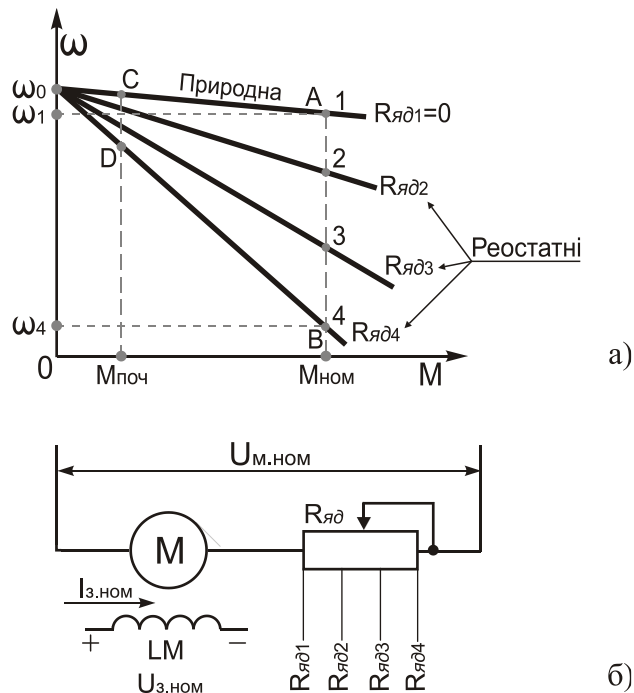
можливі три основні способи регулювання швидкості:

- змінювання величини напруги мережі живлення (U_M);
- змінювання опору якорного кола (R_A);
- змінювання величини основного магнітного потоку двигуна (Φ).

Розглянемо їх у такій послідовності.

Регулювання кутової швидкості за допомогою додаткових резисторів у колі якоря

Регулювання кутової швидкості змінюванням опору якорного кола (фрагмент б рисунка 4.5) не вимагає особливих пояснень. Цей спосіб впливає з розглянутих раніше реостатних характеристик ДПС НЗ (фрагмент а рисунка 4.5).



а – механічні характеристики; б – схема.

Рисунок 4.5 – Уведення додаткового опору в коло якоря.

Цей спосіб називається реостатним, є вельми простий за своєю реалізацією і тому широко використовується для регулювання швидкості, моменту, струму й інших координат.

Сім'я реостатних характеристик (дивись фрагмент а рисунка 4.5) виходить із однієї точки, точки ідеального неробочого ходу ω_0 , тобто величина ω_0 не залежить від опору $R_{яд}$. Нахил характеристик визначається опором якорного кола (при фіксованому значенні моменту) і при зростанні опору

$R_{яд1} < R_{яд2} < R_{яд3} < R_{яд4}$ збільшується (зменшується жорсткість характеристик). Регулювання здійснюється при номінальних параметрах двигуна (змінюється тільки опір $R_{яд}$ якрірного кола):

$$U_M = U_{МНОМ}; I_3 = I_{3НОМ}; U_3 = U_{3НОМ}.$$

Основні показники регулювання швидкості

Діапазон регулювання. Діапазон ($D = \omega_1 : \omega_2$ для номінального навантаження) незначний, не перевищує 2 – 3, зі зменшенням навантаження вироджується до 1 (до швидкості неробочого ходу ω_0). Так при моменті $M_{НОМ}$ діапазон $D = AB$, а при моменті $M_{НОЧ}$ діапазон $D = CD$ (дивись фрагмент а рисунка 4.5).

Напрямок регулювання. Однозонне, вниз від основної швидкості $\omega_{НОМ}$.

Плавність регулювання. Визначається конструкцією реостата $R_{яд}$. Якщо його опір можна змінювати плавно, значить і регулювання швидкості буде плавним. Зазвичай це ступінчасте регулювання.

Стабільність швидкості. Зменшується в міру зменшення діапазону регулювання. Взагалі стабільність низька. При коливаннях момента опору M_c у межах $\pm \Delta M_c$ коливання швидкості при швидкості ω_1 складає $\Delta \omega_1$, а при швидкості ω_2 складає $\Delta \omega_2$, тобто стабільність різко погіршується зі зростанням $R_{яд}$ (дивись рисунок 4.2).

Допустиме навантаження у діапазоні регулювання. Оскільки при такому регулюванні струм збудження стала величина, а для будь-якої швидкості струм навантаження не може перевищувати $I_{яНОМ}$ (за умов нагрівання), то допустимий момент буде

$$M_{доп} = C_M \Phi_{НОМ} I_{НОМ} = M_{НОМ} = Const$$

незалежно від величини швидкості.

Таким чином, регулювання швидкості здійснюється при сталому моменті, що дорівнює номінальному. Потужність зі зростанням швидкості збільшується за лінійним законом

$$P_2 = M_{НОМ} \omega,$$

оскільки $M_{НОМ} = Const$, а математично це рівняння прямої типу $y = k \cdot x$, де k є коефіцієнт пропорціональності.

Економічність регулювання. Витрати на спорудження способу незначні (мала вартість регулівного реостату $R_{яд}$).

Якщо робота на зниженій швидкості не тривала, то регулівний реостат не потрібний, можна для цієї мети використати пусковий реостат, який уже є. Експлуатаційні витрати значні (додатковий опір вводиться у коло головного струму – коло якоря). Спосіб не економічний. Так якщо при регулювання швидкості зменшити швидкість у два рази порівняно з ω_0 , то це призведе до того, що половина потужності, яка споживається, буде витрачатися на втрати потужності у самому двигуні, тобто ККД не може асимптотично перевищувати 50%.

Незважаючи на низькі техніко-економічні показники реостатне регулювання швидкості використовується дуже широко із-за простоти своєї реалізації, коли треба незначний діапазон регулювання, а час роботи на знижених швидкостях теж незначний, зокрема, у електроприводах вантажопіднімальних механізмів (крани, ліфти й таке інше), деяких верстатів та іншого обладнання.

Лекція №6

Тема: Регулювання струму і моменту при пуску, гальмуванні і реверсі ДПС НЗ

Мета: оволодіти знаннями про регулювання струму і моменту в різних режимах роботи ДПС НЗ

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Регулювання струму ДПС НЗ
- 2 Регулювання моменту ДПС НЗ
- 3 Основні показники якості регулювання моменту та струму

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

На електропривод покладаються дві вельми важливі взаємопов'язані функції:

- електромеханічне перетворення енергії;
- керування технологічним процесом установки.

Технологічні вимоги визначають необхідність на певних етапах задавати й з потрібною точністю підтримувати на заданому рівні ті чи інші **механічні змінні**:

- положення робочого органа;
- швидкість робочого органа;
- прискорення;
- момент двигуна;
- навантаження й таке інше;

чи примусово змінювати ці параметри у процесі керування технологічним процесом, або обмежувати їх рівнем, допустимим за умов технології, чи міцності механічного обладнання, а також за нагріванням та перевантажувальною здатністю двигуна.

У залежності від задач керування електроприводом та виробничим механізмом регулювання координат може здійснюватись з метою:

- підтримки заданого рівня змінних;
- переміна змінних за потрібним законом;
- обмеження змінних допустимим значенням;
- відпрацювання довільних законів руху, що задаються на вході системи, з потрібною точністю (стежний електропривод).

Можливі способи керування змінними електропривода поділяються на дві численні групи:

- параметричні способи керування, що використовуються у розімкнених системах керування;
- способи автоматичного регулювання координат за допомогою тих або інших зворотних зв'язків (у локально – замкнених та замкнених системах

Таким чином, загальне керування рухом електропривода для виконання технологічного процесу визначає необхідність регулювання змінних електромеханічної системи – координат електропривода.

Необхідність регулювання координат ЕП визначається технологічними вимогами, при цьому вибір раціонального способу регулювання з декількох можливих є важливою задачею, що вирішується при проектуванні ЕП.

Щоб здійснити такий вибір, слід знати основні узагальнені показники регулювання:

- точність регулювання;
- діапазон регулювання;
- плавність регулювання;
- стабільність;
- напрямок регулювання;
- допустиме навантаження у діапазоні регулювання;
- швидкодія, коливальність, перерегулювання;
- економічність регулювання.

Розглянемо ці показники регулювання на прикладі регулювання швидкості.

Основні узагальнені показники регулювання швидкості електропривода

При роботі різних виконавчих механізмів часто виникає потреба регулювання швидкості, яка обумовлена, у першу чергу, необхідністю забезпечення раціональності проведення технологічного процесу.

До таких механізмів слід віднести:

- металооброблювальні верстати;
- піднімально-транспортні машини;
- прокатні стани;
- транспорт і таке інше.

Регулювання швидкості не слід плутати з природною зміною швидкості, що виникає у ЕП, при змінюванні навантаження на виконавчому органі механізму.

Тому:

регулювання швидкості є примусове змінювання величини швидкості шляхом використання спеціальних заходів, незалежно від величини і характеру діючого навантаження.

Для регулювання швидкості робочого органу існує дві можливості:

- змінювання швидкості електродвигуна;
- змінювання параметрів кінематичного ланцюга механічної частини ЕП.

Перша реалізується впливом на електродвигун, а друга – на механічну частину ЕП.

В існуючих електроприводах використовуються обидві можливості, особливо для глибокорегульованих ЕП. Натомість слід відзначити, що чим удосконалішим буде ЕП, тим більше буде питома вага першої можливості, оскільки розгалуджена механічна частина ЕП має низку суттєвих вад, але сучасний стан технічного прогресу ще не дозволяє позбавитися механічної частини, особливо глибокорегульованих ЕП.

В історичному розвитку ЕП друга можливість була початковим кроком при переході від нерегульованого ЕП до регульованого. І сьогодні механічна частина є досить складною, громіздкою, не досить надійною конструкцією (коробки швидкості, редуктори, варіатори і таке інше). Крім того, тут важко одержати плавне регулювання швидкості. За цих умов зараз все ширше використовується регулювання швидкості безпосереднього джерела енергії ЕП – електричного двигуна.

Розглянемо докладніше вищезгадані показники регулювання.

Точність регулювання

Це визначається можливим відхиленням швидкості від її заданого значення під дією збурних факторів, таких як, змінювання навантаження під

час регулювання швидкості, змінювання швидкості при регулюванні момента, коливання напруги при регулюванні й таке інше.

Оцінкою точності регулювання швидкості може правити такий параметр, як відношення найбільшого відхилення швидкості $\Delta\omega_{\max}$ від її середнього значення $\omega_{\text{сеп}}$ ($\Delta\omega_{\max}$ – відносна помилка регулювання).

$$\Delta\omega_{\max}^* = \frac{\Delta\omega_{\max}}{\omega_{\text{сеп}}} = (\omega_{\max} - \omega_{\min})(\omega_{\max} + \omega_{\min}),$$

де ω_{\max} та ω_{\min} – відповідно максимальне й мінімальне, значення швидкості при заданих значеннях швидкості ω (дивись рисунок 4.1).

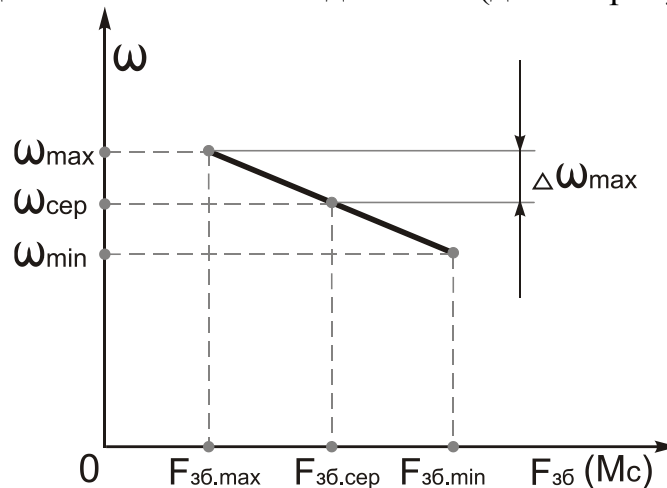


Рисунок 4.1 – Оцінювання точності регулювання швидкості.

Таким чином, кількісна оцінка способу регулювання швидкості у відносних одиницях залежить від середнього значення швидкості, що регулюється, й визначається конкретними межами зміни збудованої дії (від $F_{\text{зб.min}}$ до $F_{\text{зб.max}}$).

Діапазон регулювання швидкості

Заданий діапазон регулювання швидкості D характеризує межі змінювання середніх значень швидкості, які можливі при заданому способі регулювання швидкості

$$D = \frac{\omega_{\text{ср.max}}}{\omega_{\text{ср.min}}}$$

Верхня межа швидкості $\omega_{\text{ср.max}}$ обмежується максимально допустимим, або максимально можливим значенням швидкості, наприклад, для ДПС – це механічна міцність колектора та бандажа (тобто якоря), погіршенням комутації й інше.

Нижня межа швидкості $\omega_{\text{ср.min}}$ обмежується необхідною точністю підтримки заданої швидкості при коливанні величини збудованої дії (при коливанні статичного момента опору) на низьких швидкостях.

Діапазон регулювання позначається літерою “ D заглавне” й записується у вигляді ділення на одиницю, наприклад:

$$\omega_{\text{ср.min}} = 1,2 \cdot 1/c, \quad \omega_{\text{ср.max}} = 1200 \cdot 1/c, \quad \text{тоді}$$

$$D = 1000:1$$

Такий діапазон регулювання швидкості (й значно більший) можуть мати металорізальні верстати, при цьому основний (головний) привод верстата має діапазон регулювання швидкості $D = 100:1$.

Сучасні системи регулювання дозволяють реалізувати й значно більший діапазон.

Плавність регулювання швидкості

Плавність регулювання швидкості характеризує стрибок швидкості при переході від даної швидкості до найближчої можливої. Плавність тим вище, чим менше цей стрибок.

Число швидкостей, одержаних у даному діапазоні, визначається плавністю регулювання. Її можна оцінювати коефіцієнтом плавності регулювання, який визначається як відношення двох стійких сусідніх значень кутових швидкостей при регулюванні

$$K_{пл} = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}$$

де ω_i, ω_{i-1} – кутові швидкості на i -тому та на $(i-1)$ -му ступені регулювання.

Чим більше число ступенів регулювання Z , що реалізується, тим вище плавність.

Чим менша потужність електричного кола, у якому треба здійснювати змінювання параметру, тим можлива плавність вище.

При плавному регулюванні число ступенів регулювання Z прямує до нескінченності

$$Z \rightarrow \infty$$

тобто коефіцієнт плавності прямує до одиниці

$$K_{пл} \rightarrow 1$$

При ступінчастому регулюванні коефіцієнт плавності суттєво відрізняється від одиниці, наприклад $K_{пл} = 2$.

Плавність регулювання швидкості суттєво залежить від типу електродвигуна та конструкції регулювального пристрою. Так асинхронний багатошвидкісний двигун має найгіршу плавність, ДПС НЗ з регулюванням швидкості ослабленням поля може мати досить високу плавність регулювання швидкості.

Стабільність кутової швидкості

Стабільність – це змінювання кутової швидкості при заданому відхиленні моменту навантаження, залежить від жорсткості механічної характеристики. Вона тим вища, чим більше жорстка механічна характеристика.

Якщо під час регулювання швидкості жорсткість механічної характеристики змінюється, то й відхилення швидкості від заданої теж буде змінюватись.

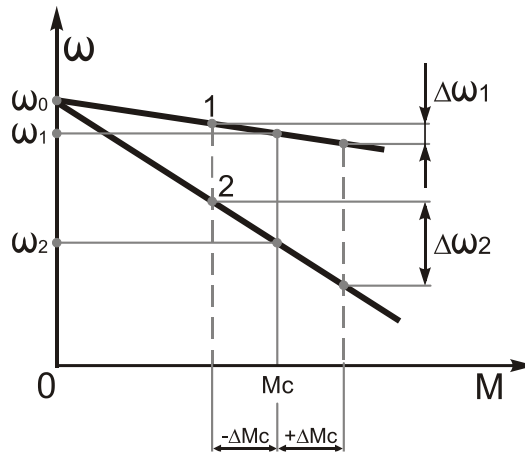


Рисунок 4.2 – До пояснення стабільності кутової швидкості.

На рисунку 4.2 показані дві характеристики ДПС НЗ з різною жорсткістю, характеристика 1 більш жорстка ніж характеристика 2. Регулювання швидкості тут здійснюється уведенням у коло якоря додаткового опору. Якщо момент опору M_c залишається незмінним і для характеристики 1, і для характеристики 2, то двигун, працюючи з кутовою швидкістю ω_1 , після уведення додаткового резистора перейде на швидкість ω_2 . Але при змінюванні моменту опору M_c у деяких межах $\pm \Delta M$ коливання швидкості $\Delta \omega_1$ буде значно меншим по характеристиці 1, ніж коливання швидкості $\Delta \omega_2$ по характеристиці 2.

Такі відхилення швидкості від середнього її значення у багатьох випадках обмежують діапазон регулювання швидкості.

Напрямок регулювання

Напрямок регулювання швидкості, тобто зменшення або збільшення її відносно основної швидкості, залежить від вибраного способу регулювання швидкості.

Розрізняють однозонне регулювання швидкості вниз від основної швидкості, однозонне регулювання швидкості вверх від основної швидкості та двозонне регулювання і вверх, і униз від основної швидкості.

Основна швидкість (у більшості випадків це номінальна швидкість), наприклад, ДПС НЗ відповідає номінальному значенню напруги живлення, номінальному магнітному потоку при відсутності додаткового опору у колі якоря.

Якщо регулювати швидкість за рахунок уведення у коло ротора додаткового резистора – однозонне регулювання вниз від основної швидкості, якщо ослабленням поля – вверх від основної однозонне. Якщо регулювання здійснюється одночасно і зміною напруги живлення, і ослабленням поля, то це буде двозонне регулювання.

Допустиме навантаження у діапазоні регулювання

Можливість тривалої роботи під навантаженням електропривода з будь-якою швидкістю у заданому діапазоні регулювання визначає необхідність розгляду такого показника регулювання швидкості як допустиме навантаження у діапазоні регулювання.

Допустиме за нагріванням навантаження двигуна $M_{дон}$ при регулюванні швидкості може змінюватись, з одного боку, за рахунок збільшення втрат, що виділяються у двигуні при даному моменті навантаження при регулюванні, а з другого – у зв'язку зі зміною умов охолодження двигуна, особливо якщо двигун з самовентиляцією.

Якщо двигун має незалежну вентиляцію, то другий фактор відпадає, й критерієм допустимості навантаження при будь-якій швидкості приймається номінальне значення струму двигуна $I_{ном}$.

Найбільше значення моменту $M_{дон}$, яке двигун здатний розвивати тривало у заданому діапазоні регулювання швидкості, визначається нагріванням двигуна й для різних способів регулювання швидкості буде різним.

Змінювання моменту навантаження M_c у залежності від швидкості у різних виробничих механізмів різне (у відповідності до 4-х класів механізмів). Так механізми 1-го класу вимагають регулювання швидкості при сталому моменті навантаження M_c (піднімальні механізми, прокатні стани, й таке інше). З другого боку, є механізми, у яких регулювання швидкості відбувається зі сталою потужністю, наприклад, верстат (токарний), у якого при оброблюванні деталі бажано підтримання сталою швидкістю різання (лінійна швидкість) та сталим зусилля різання. За цих умов добуток швидкості різання на зусилля різання дає сталу потужність.

Підтримання незмінним значення швидкості різання досягається плавним регулюванням кутової швидкості електропривода.

Повне використання двигуна при його роботі на різних регулівних характеристиках з різними швидкостями буде тоді, коли при усіх цих змінюваннях незмінним залишається струм навантаження, рівним номінальному струму двигуна. (Якщо при роботі на усіх характеристиках споживаний струм буде дорівнювати номінальному струму, то це й буде означати, що двигун завантажений повністю на усіх швидкостях). При цьому мається на увазі, що умови охолодження (вентиляції) залишаються одними й тими ж, як при великих, так і при малих кутових швидкостях двигуна.

З урахуванням вищесказаного, можна дійти такого висновку.

Допустимим навантаженням двигуна можна вважати таке, при якому струм двигуна у його силових колах дорівнює номінальному, незалежно від величини швидкості цього обертання.

Тоді, наприклад, для ДПС допустимий момент буде

$$M_{дон} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{ном} \quad (4.1)$$

Якщо за умов рівняння (4.1) вибрати такий спосіб регулювання швидкості ДПС, що при цьому регулюванні магнітний потік ДПС залишиться незмінним

$$\Phi = Const ,$$

допустимий момент при такому регулюванні не зміниться

$$M_{дон} = Const .$$

Якщо ж вибрати такий спосіб регулювання швидкості ДПС, що при цьому магнітний потік не залишиться сталим, $\Phi = Var$, то допустимий момент навантаження при такому регулюванні буде змінюватись [у відповідності до (4.1)]

$$M_{дон} = Var .$$

Отже, момент залежить від вибраного способу регулювання. Розглянемо, наприклад ДПС НЗ.

Такий двигун має дві зони регулювання, як показано на рисунку 4.3.

Зона I (регулювання швидкості вниз від основної) відповідає регулюванню зі сталим моментом. Дійсно, якщо регулювання швидкості здійснюється за рахунок змінювання опору якірнього кола, або змінюванням напруги живлення якірнього кола при незмінному номінальному магнітному потоці двигуна, то при номінальному струмі якоря допустимий момент залишиться сталим (як вище й зазначалось):

$$M_{дон} = C_M \cdot \Phi_{ном} \cdot I_{ном} = Const = M_{ном} .$$

Потужність на валу двигуна P_2 у цій зоні змінюється за лінійним законом, так як вона пропорційна кутовій швидкості

$$P_2 = M_{ном} \cdot \omega .$$

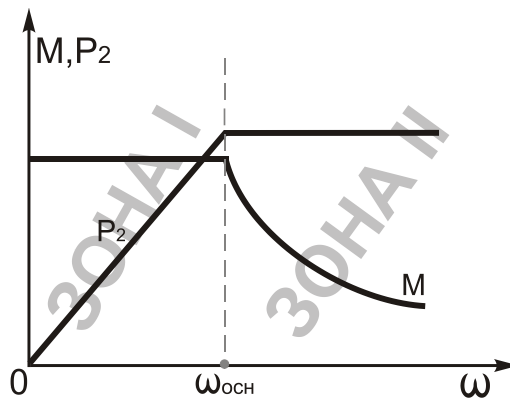


Рисунок 4.3 – Допустиме навантаження ДПС НЗ при двозонному регулюванні швидкості.

У зоні II регулювання швидкості відбувається зі сталою потужністю P_2 , якщо це регулювання виконується за рахунок змінювання магнітного потоку Φ .

У цьому випадку при незмінному струмі якоря, який дорівнює номінальному, магнітний потік зі збільшенням кутової швидкості слід регулювати за законом гіперболи, що впливає з рівняння електромеханічної характеристики

$$\omega = \frac{U_M - I_{я} \cdot R_{я}}{C_M \cdot \Phi} .$$

$$\Phi = \frac{(U_{м.ном} - I_{я.ном} \cdot R_{ном})}{C_M \cdot \omega} = \left(\frac{U_{м.ном} - I_{я.ном} \cdot R_{ном}}{C_M} \right) \cdot \frac{1}{\omega} = \frac{A}{\omega}, \quad (4.2)$$

тобто математично це рівняння типу $y = \frac{1}{x}$ - гіпербола.

Допустиме навантаження для других типів електродвигунів визначається аналогічними методами й міркуваннями.

У приводах з вентиляторним моментом двигун не може повністю завантажуватись при низьких швидкостях.

Особливістю регулювання таких приводів є збільшення моменту при зростанні кутової швидкості. Тому доводиться вибирати потужність двигуна за навантаженням при найбільшій кутовій швидкості, при решті менших швидкостях двигун буде недовантажений.

Економічність регулювання швидкості

Важливим показником регулювання швидкості є економічність. Застосування регульованого електропривода пов'язана з певними додатковими витратами, які повинні окупатися підвищенням продуктивності, надійності, якості й таке інше.

Економічність системи регулювання швидкості визначається двома факторами:

- первісні витрати на спорудження електропривода, які необхідні для установаження необхідного обладнання;
- експлуатаційні витрати.

Найбільш економічно вигідним буде той електропривод, який забезпечить найбільшу продуктивність механізму при необхідній якості технологічного процесу та малих термінах окупності. При цьому не слід забувати про надійність електропривода, дефіцитність та вартість матеріалів й обладнання.

Експлуатаційні витрати головним чином ураховують енергетичні показники електропривода (ККД й $\cos \varphi$) при регулюванні швидкості.

Тут слід розрізняти ККД й $\cos \varphi$ електропривода взагалі й середні за цикл їх значення.

Енергетичні показники електропривода:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + \Delta P},$$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S}$$

де P_1 – підведена до електропривода активна потужність, кВт;

P_2 – потужність на валу електродвигуна, кВт;

ΔP – втрати потужності електропривода при регулюванні швидкості, кВт;

S – повна потужність електропривода, кВА.

При роботі електропривода на різних швидкостях за будь-який цикл слід визначати середній за цей цикл ККД й середній за цикл $\cos \varphi$ за загальним

правилом інтегрального оцінювання середніх значень змінних (вважаючи змінною кутову швидкість двигуна, що регулюється):

$$\eta_{сер} = \frac{1}{\omega_{max} - \omega_{min}} \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} \eta(\omega) d\omega;$$
$$\cos\varphi_{сер} = \frac{1}{\omega_{max} - \omega_{min}} \int_{\omega_{min}}^{\omega_{max}} \cos\varphi(\omega) d\omega$$

де ω_{max} і ω_{min} – відповідно найбільші й найменші значення кутової швидкості.

Величина ККД й $\cos\varphi$ значною мірою залежать від вибору способу регулювання, оскільки при регулюванні швидкості змінюються різні параметри власне електродвигуна й мережі живлення.

Втрати енергії значні, якщо регулювання здійснюється за рахунок зміни параметрів головного кола електродвигуна; вони будуть малі – якщо у допоміжних колах, наприклад, у колі збудження двигуна.

При виборі системи регулювання швидкості слід пам'ятати, що у багатьох випадках існує така закономірність у вартості способу регулювання: чим менша первинна вартість способу (вартість на спорудження способу), тим більші експлуатаційні витрати у нього, і навпаки, чим більше витрати на спорудження способу, тим менші будуть у нього експлуатаційні витрати.

Наприклад, регулювання швидкості уведенням у коло якоря ДПС додаткового резистора надзвичайно привабливий з погляду первісних затрат на спорудження способу (у деяких випадках навіть непотрібен реостат заново набувати, а можна використати для цього існуючий у схемі пусковий реостат), але втрати енергії при експлуатації будуть досить великими, оскільки ми вводимо додатковий опір у головне коло двигуна.

Такий спосіб доцільний тоді, коли робота на зниженій швидкості не тривала (регулівний реостат у коло основного стуму вводиться не надовго).

У переважній більшості випадків краще понести великі витрати на спорудження способу, це буде врешті-решт дешевше (бо при експлуатації будуть малі витрати енергії, прийнятий термін окупності, висока продуктивність, якість, надійність й таке інше).

Лекція №7

Тема: Регулювання швидкості ДПС ПЗ зміною магнітного потоку

Мета: оволодіти знаннями про регулювання швидкості ДПС ПЗ зміною магнітного потоку, напруги і шунтуванням резистора якоря

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Регулювання швидкості ДПС ПЗ зміною магнітного потоку
- 2 Схема включення ДПС ПЗ
- 3 Регулювання швидкості ДПС ПЗ шунтуванням резистора якоря
- 4 Основні показники регулювання швидкості

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Для загальнопромислових й спеціальних серій ДПС ПЗ ці характеристики дійсні для будь-якого двигуна даної серії, тому що вони наведені у відносних одиницях $\omega^* = f(I^*)$ і $M^* = f(I^*)$.

З урахуванням вищенаведеного природна механічна характеристика ДПС ПЗ має вигляд зображений на рисунку 3.14, де:

- характеристика 1, побудована для лінійної залежності $\Phi = f(I_a)$, тобто у відповідності до рівняння (3.26);

- характеристика 2 - реальна природна характеристика, побудована графоаналітичним способом з урахуванням насичення магнітної системи, вона має ділянку 2', де залежність майже лінійна. Це пояснюється тим, що гіперболічна залежність може існувати при малих струмах навантаження (ділянка АВ), коли ще магнітна система ненасичена, але при великих навантаженнях, коли магнітний потік стає майже постійним із-за значного насичення і механічна характеристика набуває майже лінійного характеру (ділянка ВС).

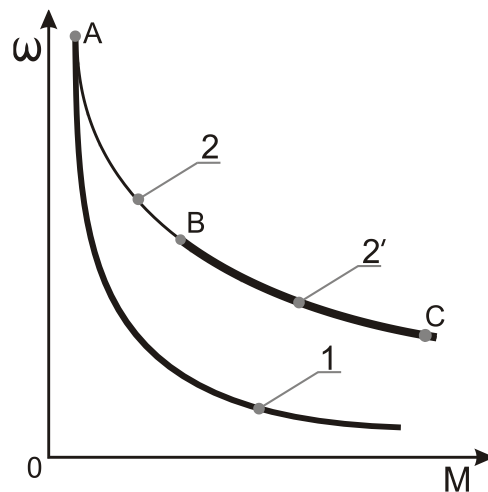


Рисунок 3.14 – Ідеалізована і реальна природні механічні характеристики.

Механічні реостатні характеристики будуються тільки графоаналітичними методами, або графічними методами й мають вигляд зображений на рисунку 3.15.

Зі збільшенням опору якірного кола за рахунок R_{oz} жорсткість характеристик подає (при одному й тому ж статичному моменті опору швидкість зменшується). Це пояснюється й тим фактом, що зі зростанням опору якірного кола зростає й падіння напруги у ньому, отже зменшується швидкість.

Із рівняння (3.26) видно, що при прагненні величини моменту (струму) до нуля $M \rightarrow 0$ (тобто при ідеальному неробочому ході) швидкість двигуна прагне до нескінченності $\omega \rightarrow \infty$.

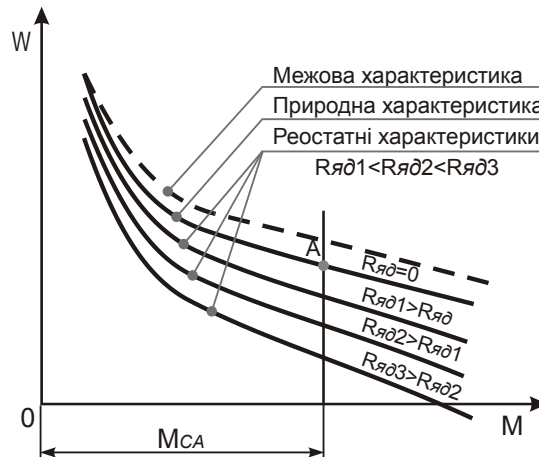


Рисунок 3.15 – Сім'я механічних характеристик.

У дійсності ж необмеженого зростання швидкості при наближенні її до швидкості ідеального неробочого ходу не відбувається. Це обумовлено наступним:

- наявність механічних втрат неробочого ходу (тертя у підшипниках, щітках, об повітря і таке інше);
- наявність залишкового магнітного потоку незалежно від струму якоря.

Однак при неробочому ході швидкість досить висока, сягає $\omega_{\max} = (5-8) \cdot \omega_{\text{ном}}$.

Таке перевищення швидкості в реальних умовах неприпустиме за двох причин:

- межа механічної міцності деталей двигуна, що обертаються, у першу чергу, колектора й бандажів;
- різке погіршення комутації на високих швидкостях із-за зростання $e_{\text{ком}}$ (е.р.с., яка наводиться при комутації), що може привести навіть до кругового вогню по колектору.

За цих умов стандарти допускають у звичайних ДПС ПЗ перевищення швидкості не більше $\omega_{\max} = (3-3.5) \cdot \omega_{\text{ном}}$.

Це з одного боку, з другого - ДПС ПЗ забороняється експлуатувати в умовах, які допускають режим неробочого ходу з малими втратами. Тому межі застосування ДПС ПЗ не поширюється на ЕП такого типу, а також на ЕП, у механічних частинах яких застосовують пасові, зубчасто-пасові та ланцюгові передачі, оскільки у таких передачах можливе обривання або зісковзування гнучкого елемента з шківів або зірочок, а отже й створення умов неробочого ходу з малими втратами, що може привести до розносу двигуна (руйнування двигуна від завеликих швидкостей). У реальних умовах механічного розносу електричних колекторних машин практично не трапляється, бо йому буде передувати електричне руйнування - к.з. на вході машини (круговий вогонь по колектору).

Із сім'ї кривих наведених на графіку рисунка 3.15 слід виділити.

Природна характеристика (знята при відсутності додаткового опору в якрному колі).

Межова характеристика (природна характеристика ідеалізованого двигуна, що має реальну магнітну систему, але відсутній внутрішній опір якірного кола, тобто $R_{я\text{вн}}=0$; $R_{з\text{бвн}}=0$). Оскільки межова характеристика не залежить від опору якірного кола, вона є універсальною для певної серії електродвигунів.

Реостатні характеристики, про які вже було сказано вище.

Слід нагадати про реверс ДПС ПЗ. Як і для інших ДПС, умови реверсу: зміна знаку моменту двигуна $M = c_m \cdot \Phi \cdot I_a$ на протилежний можливий двома способами:

$$1\text{-й спосіб, } M = c_m \cdot \Phi \cdot (-I_a);$$

$$2\text{-й спосіб, } M = c_m \cdot (-\Phi) \cdot I_a.$$

На відміну від ДПС НЗ, у ДПС ПЗ в електричному відношенні обмотка якоря й обмотка збудження між собою схожі (практично однакові площа поперечного перетину проводів та величина струму). Реверс струму у обмотці збудження недоцільний, оскільки слід уникати перемагнічення машини для збереження залишкового намагнічення (однієї з необхідних умов самозбудження МПС з самозбудженням)

Схема для реалізації цього способу має вигляд зображений на рисунку 4.18.

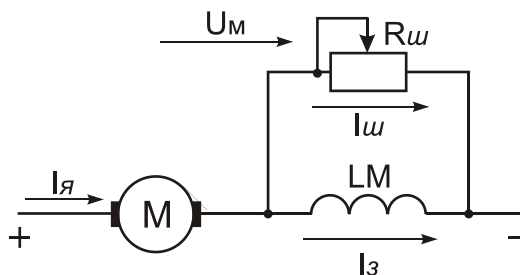


Рисунок 4.18 – Схема зі шунтуванням обмотки збудження.

Тут паралельно обмотці збудження підімкнений шунтуючий резистор R_w , змінюючи опір якого можна змінювати струм обмотки збудження, а отже й магнітний потік.

$$I_z = I_a - I_w$$

Оскільки струм а отже й магнітний потік, можна тільки зменшувати (за нормальних умов магнітна система двигуна насичена), то регулювання швидкості буде здійснюватись уверх від основної, а механічні характеристики двигуна будуть мати вигляд наведений на рисунку 4.19.

Тут також для усіх характеристик ордината є асимптотою, бо як і у попередньому випадку

$$I_a \rightarrow 0; M \rightarrow 0; \Phi \rightarrow 0; \omega \rightarrow \infty.$$

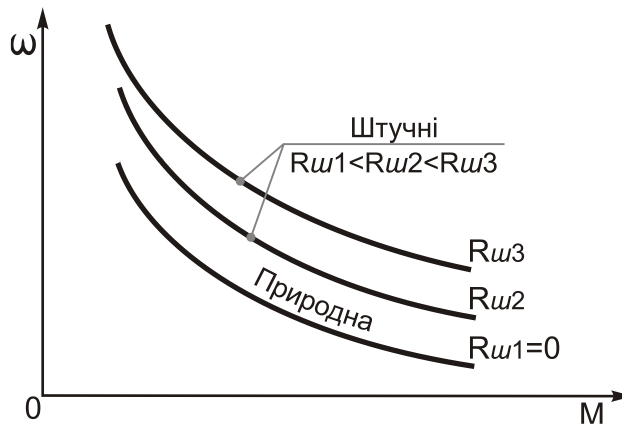


Рисунок 4.19 – Механічні характеристики.

Показники регулювання аналогічні таким, як при регулюванні швидкості ДПС НЗ послабленням поля: спосіб економічний, бо втрати при послабленні потоку малі (малий опір LM , значить малий і опір R_u); регулювання здійснюється при сталій потужності, а при збільшенні швидкості допустимий момент навантаження зменшується за гіперболічним законом; діапазон регулювання незначний $D=(2-2.5):1$ – обмежується якістю комутації та механічною міцністю якоря. Застосовуються у тих випадках, коли потрібне підвищення швидкості при малих навантаженнях. Шунтування обмотки збудження використовується у приводах металорізальних верстатів.

Лекція №8

Тема: Регулювання координат ЕП з ДПС НЗ зміною напруги якоря. Система "перетворювач-двигун"

Мета: оволодіти знаннями про регулювання координат ЕП з ДПС НЗ зміною напруги якоря, вивчити схему та принцип дії керованого перетворювача

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Регулювання координат ЕП з ДПС НЗ зміною напруги якоря
- 2 Принцип дії керованого перетворювача, функціональна схема
- 3 Основні показники регулювання швидкості

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, наочність

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Регулювання швидкості таким способом здійснюється при живленні якоря ДПС НЗ від керованого джерела (керованого перетворювача *КП*), утворюючи систему перетворювач-двигун, рисунок 4.10.

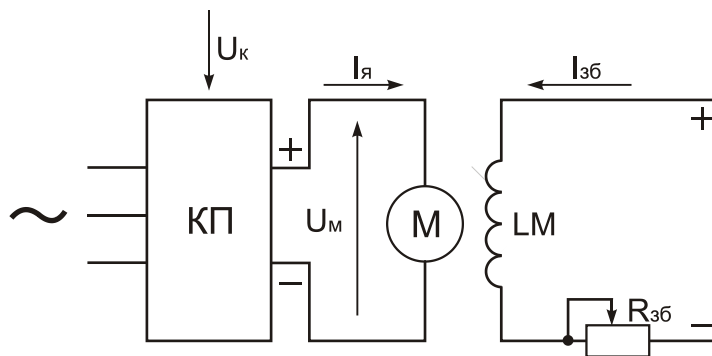


Рисунок 4.10 – Схема регулювання напруги живлення ДПС НЗ.

Керованим перетворювачем *КП* може бути або електромашинний, або статичний регулівний перетворювачі.

Обмотка збудження *LM* ДПС НЗ живиться від окремого джерела постійного струму, наприклад, від некерованого (нерегульовного) випростувача. Перетворювач *КП* характеризується передатним коефіцієнтом (коефіцієнтом підсилення)

$$K_n = \frac{U_m}{U_k},$$

де U_k – вхідний керуючий сигнал.

Статичні характеристики ДПС НЗ, при знехтуванні реакцією якоря двигуна, будуть прямолінійними, їх вигляд наведений на рисунку 4.11.

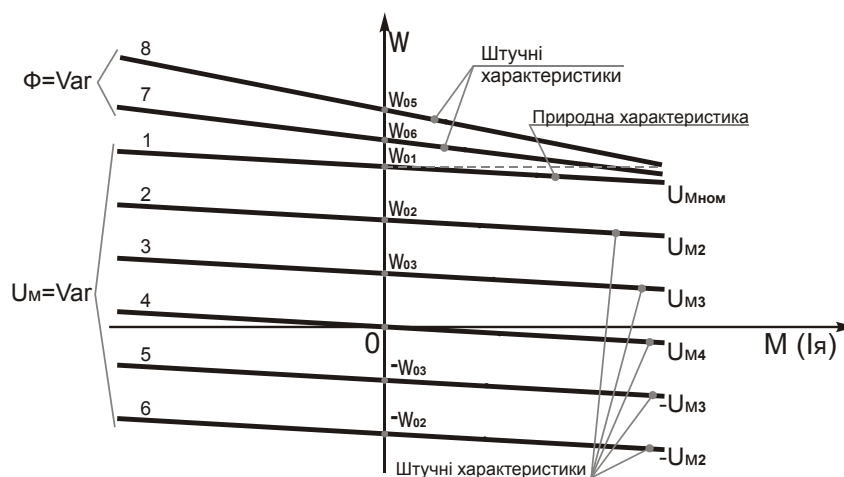


Рисунок 4.11 – Статхарактеристики ДПС НЗ при змінюванні напруги живлення якоря.

Оскільки при ідеальному неробочому ході швидкість його визначається

$$\omega_0 = \frac{U_m}{C_m \cdot \Phi},$$

то при змінюванні напруги живлення двигуна U_m пропорційно змінюється швидкість ідеального неробочого ходу на штучних характеристиках 2, 3, 4, 5, 6 (ω_{02} , ω_{03} , $-\omega_{03}$, $-\omega_{02}$).

Характеристики 1, 2, 3, 4, 5, 6 розташовані у всіх чотирьох квадрантах і паралельні. Слід звернути увагу, що при $U_m = 0$ (характеристика 4) двигун працює в режимі динамічного гальмування.

Основні показники регулювання швидкості

Діапазон регулювання значний (до $D = 20:1$). Нижня межа швидкості визначається падінням напруги у якірному колі. Якщо при зниженні напруги живлення U_m вона стає співмірною з вищеназваним падінням напруги (особливо при повному навантаженні), то при навіть незначних коливаннях навантаження з'являються значні коливання швидкості, і навіть зупинка якоря. Регулювання швидкості вгору від номінальної напруги практично неможливе із-за насичення магнітної системи двигуна яке є верхньою межею швидкості.

Напрямок регулювання. Регулювання однозначне (якщо не використовується ослаблення поля) вниз від основної до мінімальної із реверсом від мінімальної до основної у зворотному напрямку.

Плавність регулювання. Регулювання плавне, відповідно плавності регулювання напруги, яку достатньо легко реалізувати на керованому перетворювачі незалежно від його типу.

Стабільність швидкості. Стабільність постійна, незалежна від величини навантаження. Стабільність досить висока, оскільки характеристики прями паралельні природній характеристиці, отже досить жорсткі.

Допустиме навантаження. Регулювання швидкості здійснюється при сталому моменті, оскільки струм збудження (магнітний потік) стала величина, а струм навантаження не може перевищувати номінальний струм якоря $I_{я.ном}$.

$$M_{доп} = C_m \Phi_{ном} I_{я.ном} = M_{ном}.$$

Економічність регулювання. Експлуатаційні витрати досить малі при регулюванні напруги живлення, тому з цього погляду спосіб досить економічний, але первісні витрати на спорудження електропривода значні із-за високої вартості перетворювача.

Як відмічалось вище, керованим перетворювачем, що живить якірне коло ДПС, може бути або електромашинний, або статичний перетворювачі. Розглянемо їх докладніше.

Система статичний перетворювач – двигун (ТП – Д)

Основним типом керованих перетворювачів у сучасному регульованому електроприводі постійного струму є напівпровідникові статичні перетворювачі тиристорні, або транзисторні.

Вони являють собою керовані реверсивні або неререверсивні випростувачі, що зібрані за нульовою, або мостовою однофазною чи трифазною схемами.

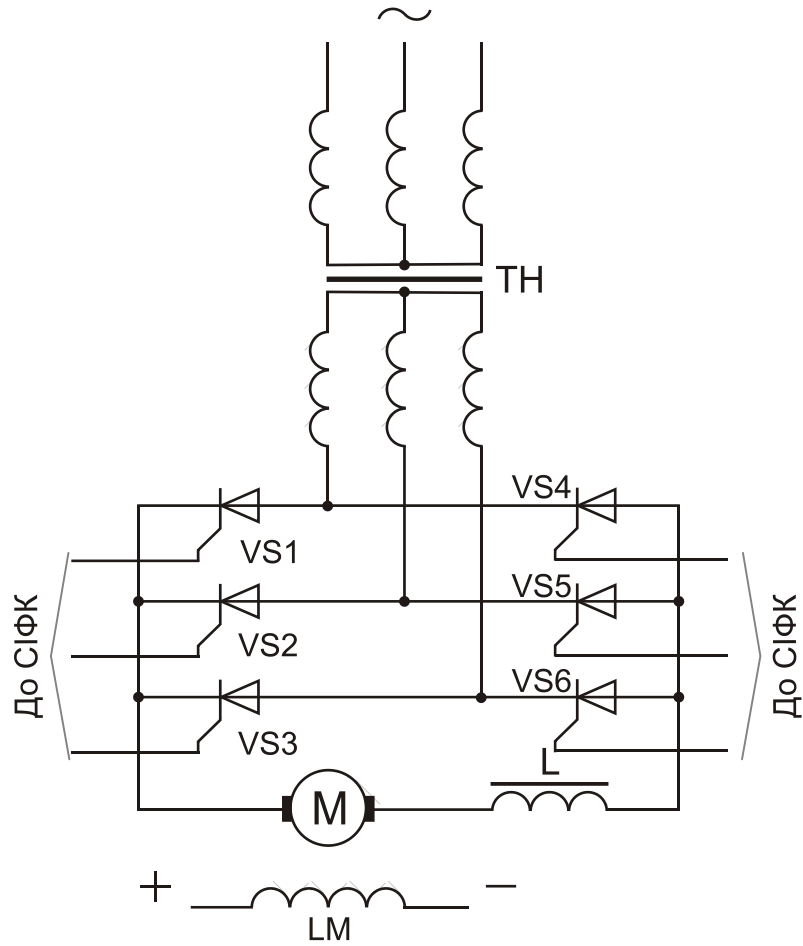
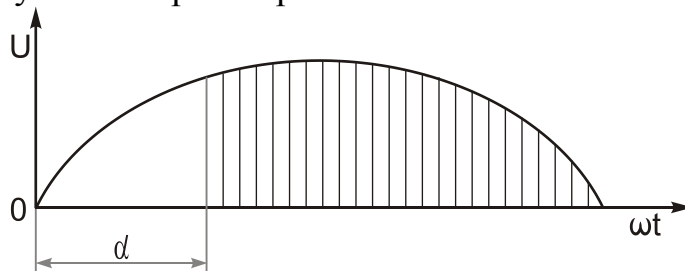


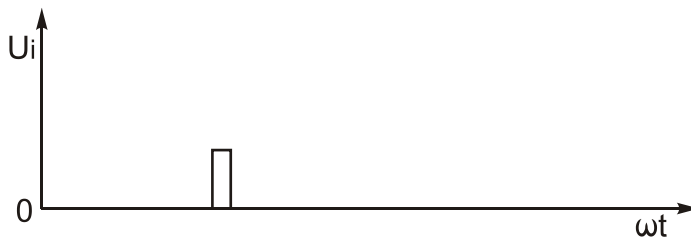
Рисунок 4.13 – Схема ТП-Д.

Розглянемо принцип дії, властивості та характеристики системи тиристорний перетворювач – двигун (ТП - Д) за схемою, де перетворювачем вибраний трифазний керований тиристорний нереверсивний випростувач, зібраний за мостовою схемою.

Перетворювач (рисунок 4.13) має узгоджувальний трансформатор $ТН$, 6 тиристорів $VS1-VS6$, систему імпульсно-фазового керування СІФК та згладжувальний реактор L .



а)



б)

а – напруга живлення;
б – напруга керування.

Рисунок 4.14 – Графік змінювання напруги.

Перетворювач забезпечує регулювання напруги, що живить якірне коло двигуна, за рахунок зміни кута керування тиристорів α . Кут α є кут затримки відкриття тиристорів відносно моменту їх природного відкриття (рисунок 4.14, фрагмент а).

Коли $\alpha=0$ тиристори одержують імпульси керування U_i від СІФУ у момент їх природного відкриття, перетворювач здійснює двополуперіодне випрямлення й до ДПС прикладається повна напруга. Якщо за допомогою СІФУ здійснити подачу імпульсів U_i не в момент природного відкриття тиристорів (рисунок 4.14, фрагмент б), а з зсувом на кут $\alpha \neq 0$, то ЕРС перетворювача зменшиться і до ДПС буде підводитись менша напруга.

Пульсуючий характер ЕРС перетворювача призводить до пульсації струму в колі якоря ДПС; це спричиняє шкідливу дію на роботу ДПС, погіршує комутацію, тобто погіршує роботу колектора, збільшує втрати енергії та нагрівання.

Для зменшення пульсацій струму в коло якоря ДПС підмикається згладжувальний реактор L (рисунок 4.13), крім того, до зменшення пульсацій призводить збільшення числа фаз випрямляча.

Статичні характеристики електропривода для трифазного мостового неререверсивного випростувача наведені на рисунку 4.15.

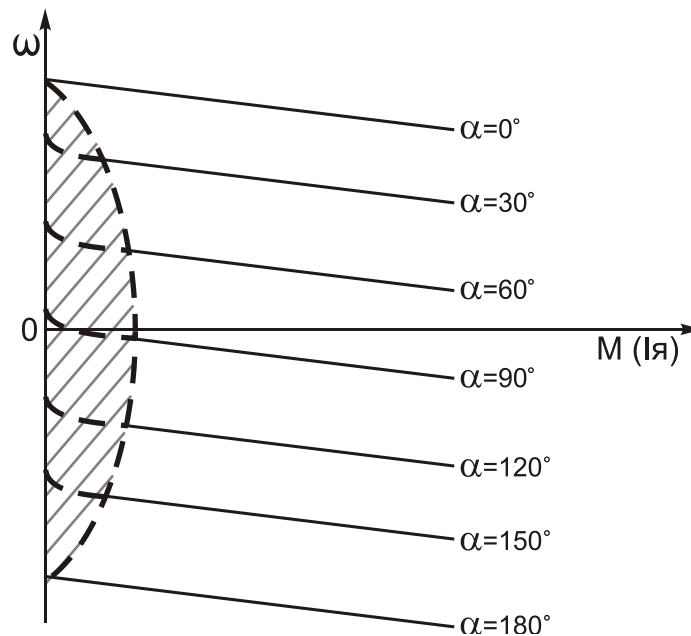


Рисунок 4.15 – Статхарактеристики ЕП у системі ТП-Д.

Їх особливістю є наявність ділянки переривистих струмів (виділена на рисунку штриховою лінією й заштрихована). На цій ділянці помітна зміна жорсткості характеристик, внаслідок чого характеристики у цілому будуть нелінійними.

При скінчених значеннях індуктивності згладжувального реактора й малих навантаженнях настає режим переривистих струмів, при якому має місце різке піднімання характеристик. Явище переривистих струмів обумовлене тим, що зі зменшенням навантаження знижується кількість енергії, накопиченої у індуктивності L , і настає момент, коли створена нею ЕРС самоіндукції виявляється недостатньою для підтримки струму, що призводить до збільшення напруги, отже й швидкості при неробочому ході. Внаслідок чого статичні характеристики будуть нелінійними. Внаслідок односторонньої провідності такої схеми статичні характеристики розташовуються тільки у I та IV квадрантах. Для одержання характеристик, що розташовуються у всіх чотирьох квадрантах, слід використовувати реверсивні перетворювачі, у яких крім комплекту тиристорів на задану полярність (у схемі 6 штук) необхідний такий же комплект тиристорів на зворотню полярність. Ці комплекти з'єднуються проміж собою перехресним, або зустрічно-паралельним способом.

У наведеній схемі ДПС може працювати у двигуневому режимі, у режимі гальмування, противімкнення з активним статистичним моментом (при незмінному напрямку струму якоря), а також у режимі динамічного гальмування при $\alpha = 90^\circ$, тобто ЕРС перетворювача дорівнює нулю й на якорі нема напруги.

Достоїнства системи ТП - Д:

- плавність й значний діапазон регулювання швидкості, до $D = 10:1 - 16:1$;
- висока жорсткість характеристик;
- високий ККД електропривода за рахунок високого ККД силових елементів перетворювача ($\eta_{трансф.} = 0,93 - 0,98$; $\eta_{моста} = 0,9 - 0,92$);
- висока швидкодія, що особливо важливо для швидкісних глибокорегульованих електроприводів;
- малий рівень величини сигналу керування;
- порівняно з електромашинними перетворювачами кращі масогабаритні показники, нема необхідності у фундаментах, додаткових електричних машинах й таке інше, крім того, безшумність у роботі й простота обслуговування.

Вади системи ТП - Д:

- одностороння провідність напівпровідникових елементів вимагає для реверсування двох комплектів випрямлячів;
- пульсації струму якоря обумовлюють погіршення роботи ДПС;
- перетворювач спотворює форму напруги й струму мережі живлення;
- перетворювач має малу завадозахищеність й сам є джерелом радіозавад;
- мала перевантажувальна здатність за струмом і напругою;
- має місце режим переривистих струмів, що знижує жорсткість, підвищує нелінійність статичних характеристик.

Лекція №9

Тема: Схема вмикання, статичні характеристики і режими роботи асинхронного двигуна (АД)

Мета: оволодіти знаннями про режими роботи асинхронного двигуна, статичні характеристики.

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Схема вмикання АД
- 2 Статичні характеристики АД
- 3 Режими роботи асинхронного двигуна

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, наочність

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Асинхронні (індукційні) електродвигуни (особливо трифазні) мають саме широке застосування посеред усіх електродвигунів. Це обумовлено простотою конструкції, високою надійністю в експлуатації, порівняно низькою вартістю, кращими масогабаритними показниками. У нього, наприклад, витрати активних матеріалів на виготовлення в 1,5 – 2,0 рази менші ніж у ДПС. Він не має колектора й у багатьох випадках для його живлення не треба перетворювальних пристроїв – він безпосередньо живиться від мережі змінного струму промислової частоти.

Асинхронні двигуни, як і ДПС, мають властивість оборотності (може працювати як у двигуневому, так і у генераторному режимах), може реалізувати усі три відомі способи електричного гальмування:

- рекуперативне;
- противвімкнення;
- динамічне.

Кожному з названих режимів відповідають певні межі зміни ковзання.

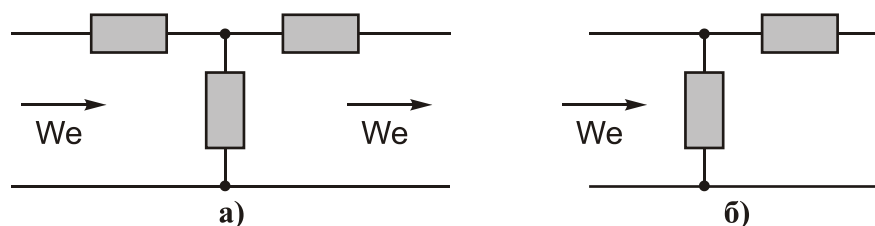
Особливо широко розповсюдження набуває зараз асинхронний регульований електропривод з векторним керуванням на базі сучасних статичних перетворювачів з мікропроцесорними контролерами. Такий привод третього покоління в Україні створюється в Запоріжжі, Харкові та інших промислових центрах. Відомі зарубіжні фірми створюють такі привода, це в першу чергу: SIEMENS, ALAN BRENDLI, ABB та інші.

Основним методом аналізу усталених статичних режимів роботи АД є використання еквівалентних заступних схем.

Заступна схема АД

З огляду на те, що трифазний АД має електричну й магнітну симетрію фаз, заступні схеми будуються на одну фазу двигуна зі з'єднанням у подальшому фаз обмоток статора і ротора у зірку або трикутник (рисунок 3.31).

Найбільш зручна для аналізу роботи АД є так звана Г-подібна еквівалентна схема з намагнічувальним контуром, що винесений на затискачі первинного кола (рисунок 3.31, фрагмент б). За фізичними процесами АД мало відрізняється від трансформатора, особливо коли АД у режимах з нерухомим ротором, однак заступна схема трансформатора краща у Т-подібному вигляді (рисунок 3.31, фрагмент а), ніж Г-подібному. Це пояснюється тим, що електрична енергія надходить до трансформатора і виходить із нього W_e , а у АД до нього надходить електрична енергія W_e й тут же і „вмирає” (перетворюючись у механічну).



а – „Т”-подібна заступна схема;

б – „Г”- подібна заступна схема.
Рисунок 3.31 – Заступні схеми.

Для одержання аналітичного виразу механічної характеристики АД з певним наближенням слід скористатися спрощеною заступною Г-подібною схемою однієї фази АД (рисунок 3.32).

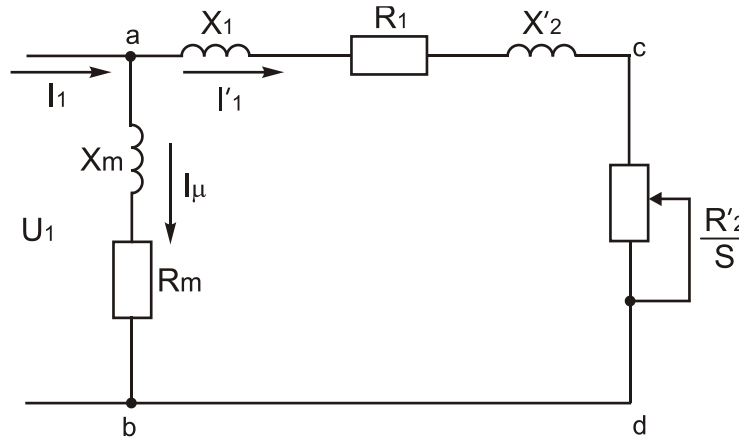


Рисунок 3.32 – Розрахункова Г-подібна заступна схема.

Ця схема відома із загального курсу електричних машин, нагадаємо лише деякі особливості.

Параметри заступної схеми:

- $U_1, [B]$ - первинна фазна напруга (живлення фази статора);
- $I_1, [A]$ - фазний струм статора;
- $I'_2, [A]$ - зведений фазний струм ротора;
- $X_1, [Om]$ - первинний реактивний опір розсіювання;
- $X'_2, [Om]$ - зведений вторинний реактивний опір розсіювання;
- $R_1, [Om]$ - первинний активний опір;
- $R'_2, [Om]$ - зведений вторинний активний опір;
- $I_\mu, [A]$ - струм намагнічування;
- $X_m, [Om]$ - реактивний опір контура намагнічування;
- $R_m, [Om]$ - активний опір контура намагнічування;

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, [в.о.] - \text{ковзання АД,}$$

де $\omega_0 = \frac{2 \cdot p}{60} \cdot n_0, [1/c]$ - синхронна кутова швидкість двигуна (у системі СІ);

$n_0, [об./хв.]$ - синхронна частота обертання двигуна (у практичній системі одиниць).

Статичні механічні характеристики асинхронних двигунів (АД)

Заступна схема АД є математичною моделлю АД у якій механічні, магнітні та електричні процеси реального двигуна еквівалентують тільки у вигляді електричних процесів, тобто реальна магнітна система, механічна

частина та не пов'язані між собою електрично обмотки статора і ротора подаються у вигляді тільки електричного кола:

- магнітна система – намагнічувальний контур схеми (R_m, X_m, I_μ);

- обмотка ротора й статора у схемі з'єднуються між собою електрично, для цього усі параметри однієї із обмоток (наприклад, ротора) зводяться до параметрів другої обмотки (статора);

- механічна енергія двигуна й характер її зміни еквівалентується на електричних втратах енергії на нелінійному опорі схеми R'_2/S .

У цьому випадку нема необхідності виконувати складні розрахунки (електричних, магнітних і механічних процесів), а досить виконати розрахунки на його моделі (заступній схемі), тобто тільки розрахувати електричне коло, користуючись тільки законами електричних кіл (Кірхгофа). Результати розрахунків перенести на реальний двигун, користуючись тими ж параметрами зведення, які ми установлювали при переході від реального двигуна до заступної схеми.

Аналітичний вираз механічної статичної характеристики АД

Отже, у відповідності до схеми (рисунок 3.32), значення вторинного струму буде:

$$I'_2 = \frac{U_1}{Z}$$

де Z – загальний опір обмоток статора й ротора (коло acdb);

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{S}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} \quad (3.27)$$

Потужність двигуна (для значення ковзання S) дорівнюється

$$P = M \cdot \omega_0 \cdot S \quad (3.28)$$

З другого боку ця потужність є електричні втрати енергії кола схеми acdb:

$$P = (I'_2)^2 \cdot R'_2 \quad (3.29)$$

Це на одну фазу, а на весь двигун ($m=3$) втрати енергії будуть

$$P = 3 \cdot (I'_2)^2 \cdot R'_2 \quad (3.30)$$

Після прирівнювання (3.28) й (3.30)

$$M \cdot \omega_0 \cdot S = 3 \cdot (I'_2)^2 \cdot R'_2$$

можна визначити величину моменту АД:

$$M = \frac{3 \cdot (I'_2)^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot S} \quad (3.31)$$

У рівнянні (3.31) замість вторинного струму I'_2 підставимо його значення із (3.27), одержимо вираз електромагнітного моменту для АД:

$$M = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right] \cdot S} \quad (3.32)$$

У рівнянні (3.32), правій його частині усі параметри для даного двигуна й даного статичного режиму є сталими, а незалежною змінною (аргументом) є ковзання S , тому рівняння (3.32) можна подати в узагальненому вигляді (функції)

$$M = f(S). \quad (3.33)$$

Рівняння (3.32) й (3.33) є механічна характеристика АД, виражена через ковзання S . Електромагнітний момент є складною функцією ковзання, крива має два екстремума – один у двигуновому режимі, другий - у генераторному. Для знаходження цих максимумів достатньо дослідити криву (3.32) на екстремум звичайним способом.

Для цього слід взяти першу похідну від M за ковзанням S й зрівняти її з нулем

$$\frac{dM}{dS} = 0. \quad (3.34)$$

Вирішуючи рівняння (3.32) за умов (3.34), одержимо ковзання ($S_{кр}$), при якому двигун розвиває максимальний момент:

$$S_{кр} = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (3.35)$$

Підставляючи значення $S_{кр}$ із (3.35) у рівняння (3.32), одержимо вираз максимального момента

$$M_{\max} = \pm \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}. \quad (3.36)$$

Знак „+” у рівняннях (3.35) й (3.36) відноситься до двигунового режиму (або гальмівного режиму противвімкненням), а знак „-” – до генераторного режиму рекуперативного гальмування.

Якщо рівняння (3.32) поділити на рівняння (3.36) та провести відповідні перетворення, то буде

$$M = \frac{2M_{\max} \cdot (1 + a \cdot S_{кр})}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S} + 2a \cdot S_{кр}}, \quad (3.37)$$

$$\text{де } a = \frac{R_1}{R'_2}.$$

Із рівнянь (3.32) й (3.36) видно, що при заданому ковзанні момент, який розвиває АД, пропорційний квадратові підведеної напруги, більше того решта параметрів, що входить до складу рівнянь (3.32) й (3.36) для конкретного двигуна є величинами сталими, отже момент АД визначається тільки напругою живлення, хоча такий параметр, як вторинний опір, для конкретного двигуна легко змінювати, уводячи у коло ротора додатковий опір (якщо АД є двигун з фазним ротором).

З вищевикладеного випливає дуже важливий наслідок:

квадратична залежність момента АД від напруги живлення спричиняє значну чутливість АД до коливань напруги мережі (зменшення напруги, наприклад, вдвоє призводить до зниження момента, що розвиває двигун, у чотири рази).

Така квадратична залежність притаманна усім двигунам й іншим електромеханічним системам індукційного типу, а оскільки у реальних умовах використовується тільки один двигун індукційного типу – асинхронний, то на практиці з усіх двигунів, що використовуються, єдиний двигун, що значно чутливий до коливань напруги це АД.

З цих причин величина напруги мережі змінного струму суворо регламентується. Так стандартом забороняється експлуатація асинхронних електродвигунів, якщо падіння напруги мережі перевищує 10%.

Лекція №10

Тема: Регулювання координат АД за допомогою резисторів

Мета: оволодіти знаннями про регулювання координат АД за допомогою резисторів в колі статора

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Схема вмикання АД
- 2 Характеристики АД при регулюванні координат АД за допомогою резисторів в колі статора
- 3 Основні показники якості регулювання за допомогою резисторів

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки, наочність

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Розглянуті вище характеристики й властивості ДПС показують, що вони дозволяють одержати глибоке й плавне регулювання координат. Це є одно з основних достоїнств приводів постійного струму.

Однак ДПС мають низку вад порівняно з АД:

- наявність джерела постійного струму для живлення двигуна, бо в звичайних умовах є джерело змінного струму промислової частоти;
- масогабаритні показники ДПС гірші ніж АД, (майже у два рази);
- вартість ДПС суттєво більше, ніж АД (у 3 – 5 разів);
- будова й конструкція ДПС значно складніша, а надійність роботи гірша.

Таким чином, АД за експлуатаційними та економічними показниками перевершують ДПС, але за технічними характеристиками й властивостями поступаються ним, хоч останнім часом ситуація суттєво змінюється, дивись преамбулу до підрозділу 3.10.

Найбільш широке розповсюдження одержали наступні способи регулювання швидкості АД:

- за допомогою резисторів у колах ротора й статора;
- змінюванням числа пар полюсів;
- змінюванням напруги живлення статора;
- частотне регулювання;
- спеціальне (каскадне, імпульсне й інше) регулювання.

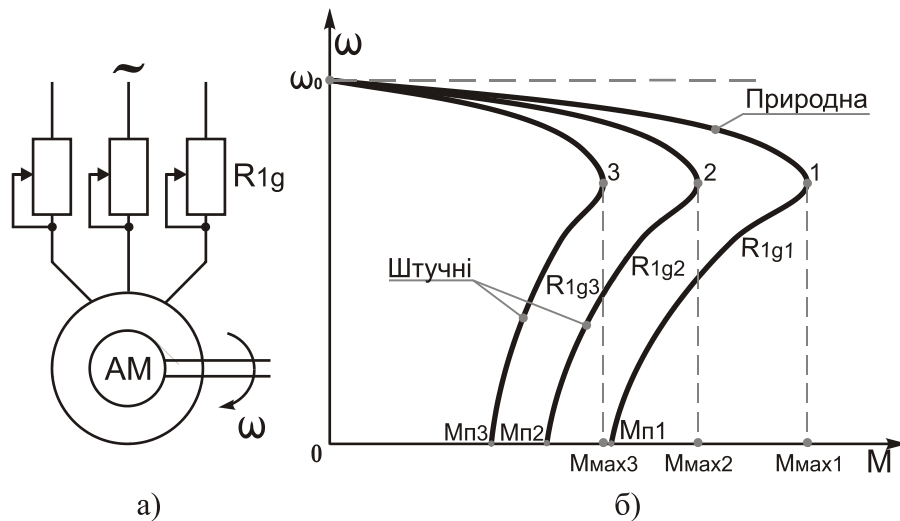
Регулювання координат АД за допомогою резисторів у колі статора

Спосіб дозволяє регулювати координати АД за рахунок додаткових резисторів у колі статора. Краще цей спосіб застосовувати для АД з короткозамкненим ротором, для яких неможливе використання будь-яких регулівних пристроїв у колі ротора. Цьому способу відповідає схема (фрагмент **а** рисунка 4.26) і характеристики (фрагмент **б** рисунка 4.26).

Регулювання швидкості цим способом малоефективне, діапазон регулювання швидкості незначний, регулювання неекономічне, жорсткість характеристик не стала, перевантажувальна здатність двигуна також не стала й зменшується зі зростанням опору $R_{1\sigma}$.

Особливості механічних характеристик (дивись фрагмент **б** рисунка 4.26):

- швидкість ідеального неробочого ходу ω_0 не залежить від опору $R_{1\sigma}$;
- максимальний момент двигуна зменшується зі зростанням опору $R_{1\sigma}$;
- пусковий момент зменшується зі зростанням опору $R_{1\sigma}$;
- жорсткість характеристик знижується зі зростанням $R_{1\sigma}$.



а – схема;

б – характеристики.

Рисунок 4.26 – Спосіб регулювання з резистором в колі статора.

З урахуванням вищесказаного, регулювання таким способом застосовується нечасто й тільки для АД з короткозамкненим ротором, коли вибір способів регулювання обмежений.

Цей спосіб застосовується частіше для регулювання інших координат, таких як струм і момент АД з короткозамкненим ротором, для їх обмеження у перехідних процесах при пуску, реверсі й гальмуванні, наприклад, у двошвидкісному ЕП ліфтів при переході з вищої швидкості на нижчу. Причому, у коло статора резистор вмикається тільки в одну фазу. На характеристики двигуна це мало впливає, а схема суттєво спрощується.

Лекція №11

Тема: Регулювання координат електропривода з АД зміною напруги

Мета: оволодіти знаннями про регулювання координат АД змінюванням напруги

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Регулювання координат АД змінюванням напруги
- 2 Тиристорний регулятор напруги
- 3 Механічні характеристики АД

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Одним з можливих способів регулювання координат АД є змінювання напруги живлення обмотки статора без змінювання частоти.

Для реалізації цього способу між мережею живлення й АД розташовується перетворювач напруги, наприклад, ТРН – тиристорний регулятор напруги, для змінювання величини напруги у відповідності до сигналу керування U_k , що підводиться до статорного кола, рисунок 4.34.

При такому регулюванні синхронна кутова швидкість та критичне ковзання залишаються незмінними при зменшенні напруги, жорсткість механічних характеристик падає. Це не кращий спосіб регулювання швидкості, бо зі зменшенням напруги діапазон регулювання змінюється мало, проте суттєво зменшуються максимальний та поточний моменти двигуна (з огляду на те, що $M \equiv U^2$), а отже і його перевантажувальна здатність (дивись штучні характеристики 1-3, рисунок 4.35), натомість цей спосіб більш доцільний при регулюванні інших координат АД, наприклад, момента і струму.

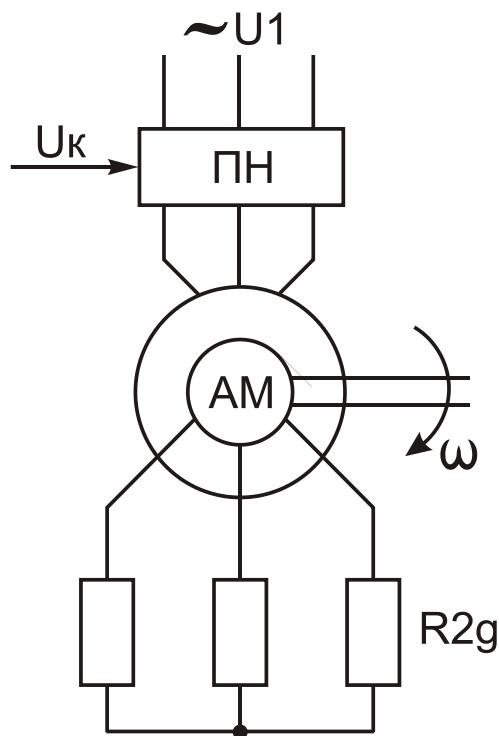


Рисунок 4.34 – Схема живлення АД з регулятором напруги.

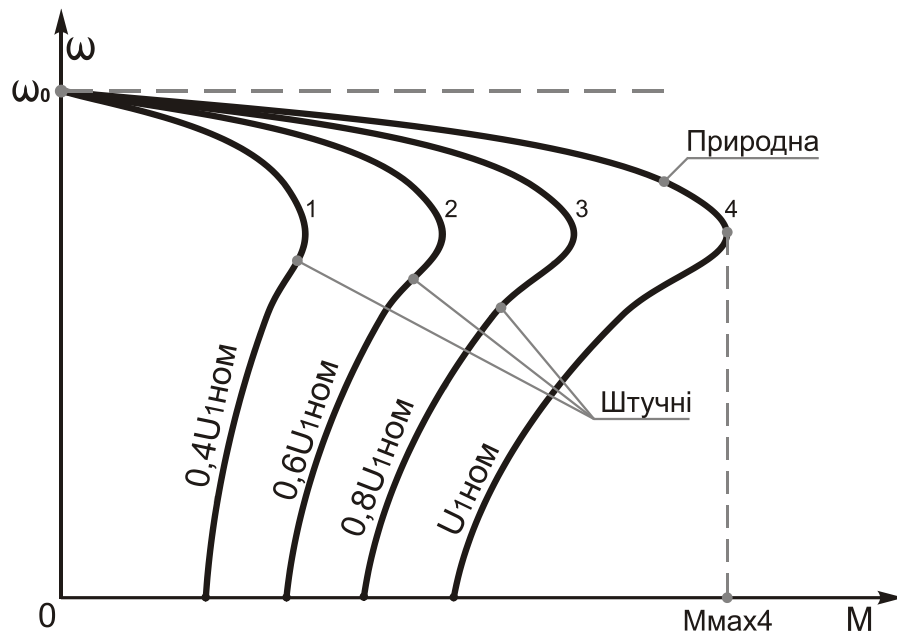


Рисунок 4.35 – Механічні характеристики АД при зменшенні напруги живлення.

Лекція №12

Тема: Регулювання швидкості АД зміною частоти

Мета: оволодіти знаннями про регулювання швидкості АД зміною частоти

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Регулювання швидкості АД зміною частоти
- 2 Статичні перетворювачі частоти (СПЧ)
- 3 Основні показники якості регулювання

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Частотний спосіб регулювання швидкості АД у різних його різновидах є одним із найрозповсюджених. Суть способу витікає з відомої залежності для синхронної швидкості

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p},$$

звідки видно, що кутова швидкість ω_0 змінюється не тільки при змінюванні числа пар полюсів p , але й при змінюванні частоти живлення.

Цей спосіб має найкращі показники регулювання швидкості порівняно з іншими способами. Єдиним стримуючим фактором тут є висока, поки що, вартість перетворювача частоти живлення. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості у широкому діапазоні, а одержані статичні характеристики мають високу жорсткість. Частотний спосіб має таку важливу властивість як сталість ковзання при регулювання швидкості (цього немає при реостатному регулювання). За цієї обставини втрати ковзання ($\Delta P_2 = P_1 \cdot s$) незначні, тобто спосіб економічний.

Для кращого використання АД, одержання високих енергетичних характеристик ($\cos \varphi$, ККД та перевантажувальної здатності), одночасно зі змінюванням частоти живлення f_1 слід і змінювати й величину напруги живлення U_1 . Закон змінювання напруги при цьому залежить від характеру момента навантаження.

Якщо при виборі співвідношення між f_1 та U_1 виходити з міркувань підтримки постійності момента навантаження (перший клас механізмів) при регулювання швидкості, то при цьому слід зберігати незмінним магнітний потік.

Із формули Капа (визначає величину ЕРС для гармонічного закону змінювання струму)

$$E_1(U_1) = 4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi \cdot w_1 \cdot k_0,$$

де f_1 – частота змінного струму;

Φ – магнітний потік;

w_1 – число витків обмотки статора;

$k_0 = k_p \cdot k_y \cdot k_z$ – обмоточний коефіцієнт;

U_1 – фазна напруга,

впливає закон змінювання напруги й частоти

$$\frac{U_1}{f_1} = Const \text{ (формула Костенка).}$$

Для механізмів третього класу (з вентиляторним моментом навантаження) цей закон має бути:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = Const.$$

Для механізмів четвертого класу (M_c зменшується нелінійно при збільшенні швидкості) цей закон має бути:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = Const.$$

Механічні характеристики АД для закону регулювання $\frac{U_1}{f_1} = Const$ подані на рисунку 4.36.

Для частот регулювання $f_1 \leq f_{ном}$ максимальний момент M_{max} практично постійний (збереження високої перевантажувальної здатності $\lambda_m = \frac{M_{max}}{M_{ном}}$).

Для частот регулювання $f_1 > f_{ном}$, коли напруга U_1 не можна збільшуватись із-за насичення магнітної системи і практично залишається незмінною, рівною $U_{1ном}$, максимальний момент двигуна знижується.

Зауваження. Вищенаведені висновки одержані у знехтуванні активних опором обмотки статора. Це припущення не зовсім коректне при малих частотах, коли зменшується індуктивний опір і зростає відносний активний опір. Падіння напруги на ньому потребує зменшення напруги у меншій мірі, ніж це вимагає співвідношення $\frac{U_1}{f_1} = Const$.

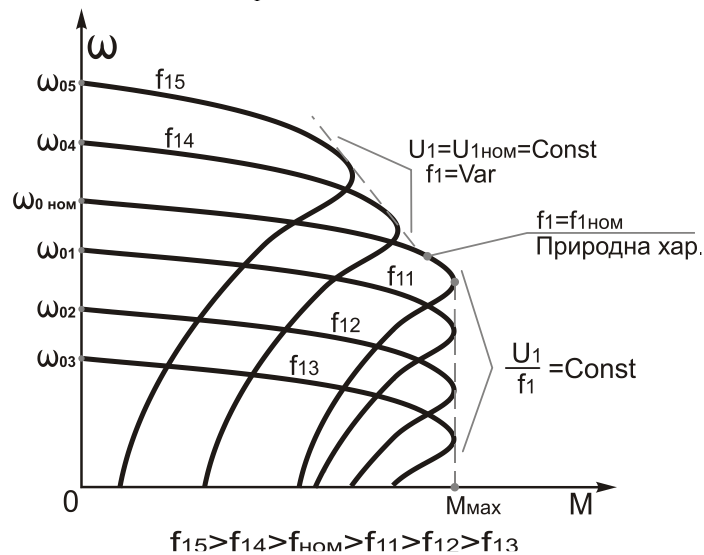


Рисунок 4.36 – Механічні характеристики АД при частотному регулюванні.

Слід відзначити, що частотне регулювання, особливо останнім часом застосовується й для регулівного синхронного ЕП. Необхідним елементом ЕП при частотному керуванні є перетворювач частоти (і напруги).

Різні види перетворювачів частоти, які знайшли застосування при частотному регулюванні, можна поділити на дві групи:

- статичні перетворювачі, які мають найбільш широке застосування;
- електромеханічні перетворювачі на базі звичайних, або спеціальних електричних машин, раніш вони мали широке розповсюдження, але й зараз ще знаходяться в експлуатації, особливо в потужних та деяких спеціальних ЕП.

Статичні перетворювачі частоти (СПЧ)

Як уже зазначалось, широке розповсюдження останнім часом СПЧ завдячено створенню потужних силових тиристорів та транзисторів, успіхом

мікроелектроніки та мікропроцесорної техніки. Сучасні СПЧ с мікропроцесорним керуванням, високим ККД та великою швидкодією – це основні чинники запровадження силових СПЧ.

СПЧ можна поділити на дві групи:

- перетворювачі з безпосереднім зв'язком мережі живлення й навантаження;
- перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму.

Перетворювачі з безпосереднім зв'язком

Такі СПЧ використовуються для живлення АД на низьких частотах (≈ 10 Гц та нижче) при промисловій частоті живлення 50 Гц.

Спрощена схема такого перетворювача наведена на рисунку 4.38.

Силова частина тиристорного перетворювача складається з узгоджуючого трансформатора TH та двох груп тиристорів на кожен фазу ($VS1-VS6$ на фазу A). Система керування - CK . Розглянемо принцип дії на прикладі фази A . Величина вихідної напруги $U_{2\phi A}$ й частота f_2 залежать від режиму роботи двох груп тиристорів $VS1-VS3$ та $VS1-VS6$.

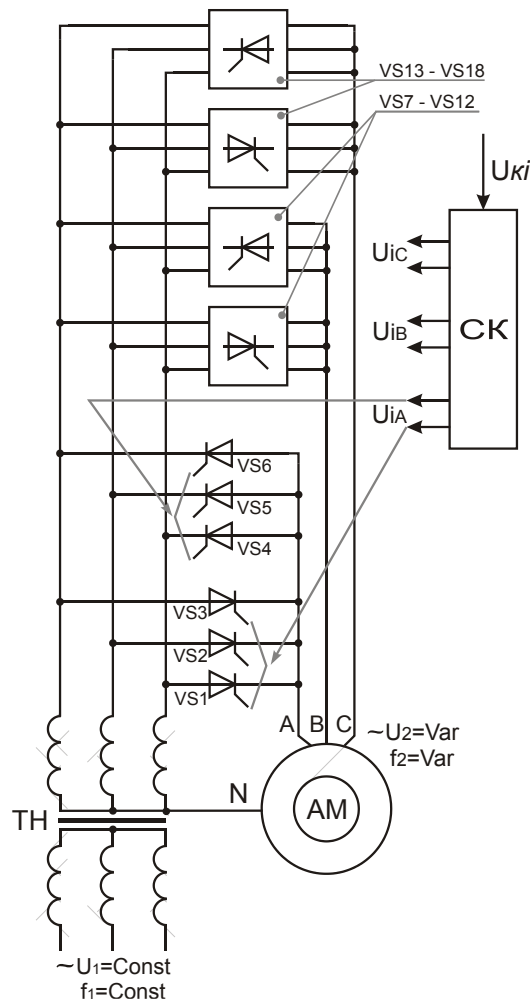


Рисунок 4.38 – Спрощена схема перетворювача частоти з безпосереднім зв'язком мережі живлення й навантаження.

Частота залежить від часу роботи тиристорних груп (період коливань τ_2 напруги $U_{2\phi A}$ визначається часом роботи кожного тиристора додатної та від'ємної півхвиль вхідної напруги U_1 з періодом τ_1), дивись рисунок 4.39.

Час t_0 - пауза проміж вимиканням однієї тиристорної групи й вмиканням другої. Вона може регулюватися й може дорівнювати нулю:

$t_0 = 0$ – дискретне регулювання,

$t_0 \neq 0$ – плавне регулювання.

Величина $U_{2\phi A}$ регулюється зміною величини кута керування α .

Отримання на навантаженні трифазної вихідної напруги зі зсувом фаз на третину періоду досягається тим, що керуючі імпульси на тиристорних групах U_{iA} , U_{iB} , U_{iC} подаються зі зсувом на третину періоду вихідної напруги у відповідності з сигналами керування U_{ki} , рисунок 4.38.

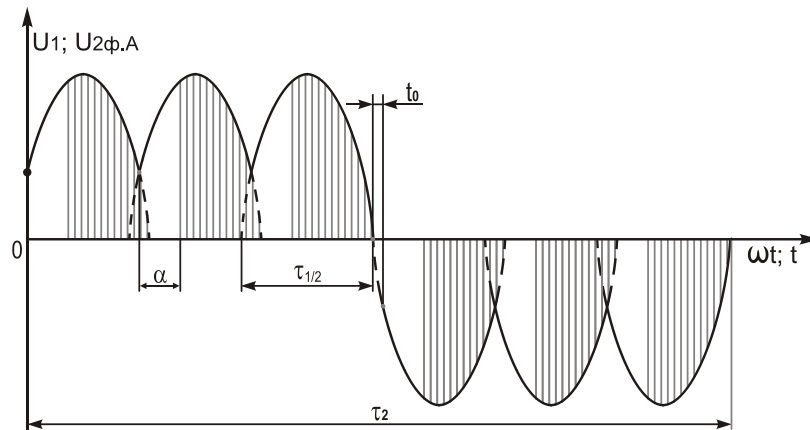


Рисунок 4.39 – Отримання вихідної напруги U_2 фази А при трифазній вхідній напрузі U_1 .

Певним недоліком схеми є наявність на навантаженні нульового проводу N , та обмежений діапазон регулювання.

Цих недоліків позбавлені перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму, які знайшли значно ширше розповсюдження.

Лекція №13

Тема: Регулювання швидкості АД зміною числа пар полюсів

Мета: оволодіти знаннями про регулювання швидкості АД змінюванням числа пар полюсів

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Регулювання швидкості АД змінюванням числа пар полюсів
- 2 Багатошвидкісні АД

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Цей спосіб вживається для АД з короткозамкненим ротором, оскільки змінювати число пар полюсів у таких АД слід тільки на обмотці статора, а на обмотці ротора – білічий клітці полюсність устанавлюється автоматично у відповідності до полюсності обмотки статора (полісінхронізм). Для АД з фазним ротором цей спосіб застосовувати недоцільно, оскільки змінювати число пар полюсів при цьому необхідно і на обмотці ротора і на обмотці статора, бо за будовою ці обмотки ідентичні.

Фізична можливість регулювання швидкості цим способом впливає із суті кутової швидкості обертового магнітного поля

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p},$$

де f – частота струму живлення статора; p – число пар полюсів.

Як видно з формули, швидкість можна регулювати змінюванням числа пар полюсів і це регулювання може бути лише ступінчастим, оскільки $p=1, 2, 3, \dots$ – ціле число.

Причому, одержати можна тільки обмежену кількість фіксованих швидкостей, тому що збільшення їх призвело б до ускладнення конструкції перемикача швидкостей або до погіршення використання активних матеріалів двигуна.

Отже, для змінювання числа пар полюсів є два напрямки.

1 напрямок. На статорі розташовується декілька обмоток на різне число p , які по черзі вмикаються на необхідну швидкість. Із міркувань використання активних матеріалів кількість обмоток, розташованих на статорі, не доцільно вибирати більше двох.

2 напрямок. На статорі розташована одна обмотка, облаштована перемикачем, який забезпечує перемикання обмотки на різне число p . Із міркувань виключення громіздкої й складної конструкції перемикача число фіксованих швидкостей не доцільно вибирати більше двох.

З огляду на це створюються такі багатошвидкісні АД:

- двошвидкісний АД, на статорі має одну полюсоперемикальну обмотку;
- тришвидкісний АД, на статорі має одну полюсоперемикальну обмотку й одну обмотку на фіксоване число пар полюсів;

Але переважна більшість багатошвидкісних АД – це двошвидкісні.

У полюсоперемикальних обмотках перехід від схеми з більшим p до схеми з меншим p можливий, як при паралельному, так і при послідовному вмиканні двох однакових частин обмоток кожної фази.

Розглянемо це на прикладі спрощеної обмотки статора, яка має дві однакових половини, складених з одного витка (тобто з двох провідників). Другими словами, обмотка статора у спрощеному вигляді має дві секції:

1-а секція з позначеннями початку і кінця 1Н – 1К;

2-а секція з позначеннями початку і кінця 2Н – 2К.

На фрагменті **а** рисунка 4.27 показана схема з'єднання двох секцій у фазу, струм якої створює систему з чотирма полюсами ($p=2$). На фрагменті **б** показана схема фази з двома полюсами ($p=1$) при послідовному з'єднанні

секцій, а на фрагменті **в** – з двома полюсами ($p=1$) при паралельному з'єднанні обмоток.

У двох останніх випадках число p зменшилось у два рази, тобто швидкість поля збільшилась у два рази.

Визначимо допустиму потужність АД для трьох вищенаведених з'єднань обмоток, якщо допустимий струм секції

$$I_{1\text{доп}} = I_{1\text{ном}}$$

залишається незмінним при перемиканні схем.

Схема фрагмента **а** рисунка 4.27 ($p=2$)

$$P_{1\text{доп}(2)} = 3U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1.$$

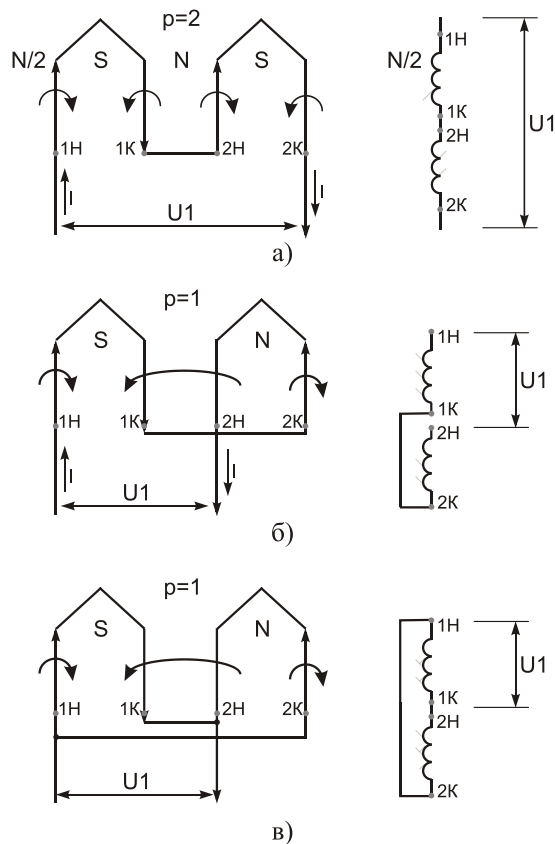
Схема фрагмента **б** рисунка 4.27 ($p=1$)

$$P_{1\text{доп}(1)} = 3U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1.$$

Схема фрагмента **в** рисунка 4.27 ($p=1$)

$$P_{1\text{доп}(1)} = 3U_1 \cdot 2I_1 \cdot \cos \varphi_1.$$

Таким чином, допустима потужність для $p=2$ (схема **а**) і для $p=1$ (схема **б**) залишилось незмінною – одна і та ж напруга й один і той же допустимий струм, оскільки перетин проводів, якими тече струм, залишився незмінним і для схеми **а** і для схеми **б**. У схемі **в** допустима потужність збільшується у два рази, тому що напруга залишається незмінною до і після перемикання, а допустимий струм можна збільшити у два рази, оскільки у два рази збільшився перетин проводів, якими тече струм.



а – чотириполюсна система;

б – двополюсна система при послідовному з'єднанні секцій;

в - двополюсна система при паралельному з'єднанні секцій.

Рисунок 4.27 – Схеми переходу на менше число пар полюсів полюсоперемикальних обмоток АД.

Тоді остаточно:

$$M_{\text{дон}(2)} = \frac{P_{\text{дон}}}{\omega} = \frac{3U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{\omega_1} \left. \vphantom{M_{\text{дон}(2)}} \right\} \text{ (схема а);}$$

$$M_{\text{дон}(1)} = \frac{3U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{2\omega_1}, \left. \vphantom{M_{\text{дон}(1)}} \right\} \text{ (схема б);}$$

$$M_{\text{дон}(1)} = \frac{M_{\text{дон}(2)}}{2},$$

$$M_{\text{дон}(1)} = \frac{3U_1 \cdot 2I_1 \cdot \cos \varphi_1}{2\omega_1}, \left. \vphantom{M_{\text{дон}(1)}} \right\} \text{ (схема в).}$$

$$M_{\text{дон}(1)} = M_{\text{дон}(2)},$$

Таким чином, допустимий момент двигуна для $p=2$ і для $p=1$ за схемою б – різні. При переході на вищу швидкість він зменшується у два рази. А допустимий момент двигуна для $p=2$ і для $p=1$ за схемою в один і той же. Значить, при переході від меншої швидкості до більшої у цьому випадку допустимий момент не змінюється.

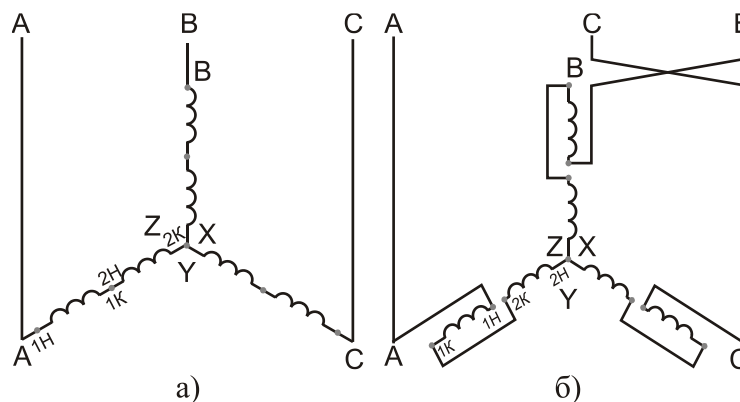
Вищенаведені схеми статорних обмоток взяті для однієї фази.

Найбільш уживані трифазні схеми обмотки статора при перемиканні на різне p наступні.

Перехід від $p=2$ до $p=1$ з постійною потужністю (момент зменшується вдвоє) здійснюється за такими схемами з'єднання фазних обмоток:

зірка – зірка (Y/Y), рисунок 4.28;

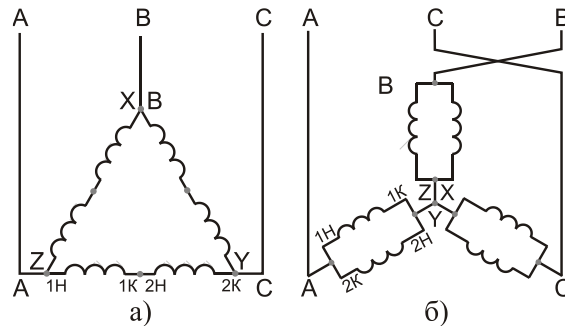
трикутник – подвійна зірка (Δ/YY), рисунок 4.29.



а – зірка (Y), $p=2$;

б – зірка (Y), $p=1$.

Рисунок 4.28 – Схема на послідовне перемикання обмоток.



а – трикутник (Δ), $p = 2$;

б – подвійна зірка (YY), $p = 1$.

Рисунок 4.29 – Схема на паралельне перемикання обмоток.

У схемі, рисунок 4.28, перехід від узгоджено-послідовного з'єднання секцій (1Н – 1К, 2Н – 2К) у фазах зірки (фрагмент а) до зустрічно-послідовного їх з'єднання (1Н – 1К, 2К – 2Н) у фазах зірки (фрагмент б) здійснюється у відповідності до схем рисунка 4.27 (фрагменти а й б).

У схемі, рисунок 4.29, перехід від узгоджено-послідовного з'єднання секцій (1Н – 1К, 2Н – 2К) у фазах трикутника (фрагмент а) до зустрічно-паралельного їх з'єднання (1Н, 2К – 1К, 2Н) у фазах подвійної зірки (фрагмент б) здійснюється у відповідності до схем рисунка 4.27 (фрагменти а й в).

Механічні характеристики двошвидкісного АД для схем рисунка 4.28 (Y/Y) та рисунка 4.29 (Δ/Y) за умов регулювання швидкості з постійною потужністю

$$P_{\text{дон}(p=1)} = P_{\text{дон}(p=2)},$$

$$M_{\text{max}(p=1)} = 0,5M_{\text{max}(p=2)}$$

наведені на рисунку 4.30.

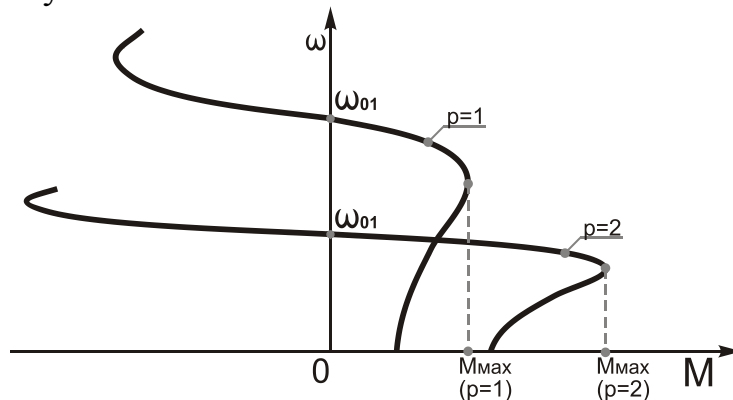


Рисунок 4.30 – Механічні характеристики двошвидкісного АД для схем Y/Y та Δ/Y .

Лекція №14

Тема: Імпульсний спосіб регулювання координат ЕП з АД

Мета: оволодіти знаннями про імпульсний спосіб регулювання координат ЕП з АД

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Схеми вмикання АД при імпульсному способі регулювання
- 2 Імпульсний спосіб регулювання координат ЕП з АД
- 3 Основні показники якості регулювання

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Розвиток напівпровідникової техніки активізував застосування імпульсного регулювання координат АД. Сутність його полягає в періодичній (імпульсній) зміні параметрів ланцюгів АД або живильної мережі. Стосовно до асинхронного ЕП найчастіше здійснюється імпульсна зміна напруги або опорів резисторів у ланцюгах ротора або статора. Ці способи застосовуються головним чином для регулювання швидкості, хоча при необхідності вони дозволяють регулювати (обмежувати) струм і момент АД.

Для імпульсного регулювання опору $R_{2л3}$ (рис. 1, а) у ланцюзі ротора АД 1 паралельно їм включаються контакти 2 керованого ключа (наприклад, електромагнітного або тиристорного контактора), що працює зі змінюваним заповненням (шпаруватістю) $0 < \gamma < 1$.

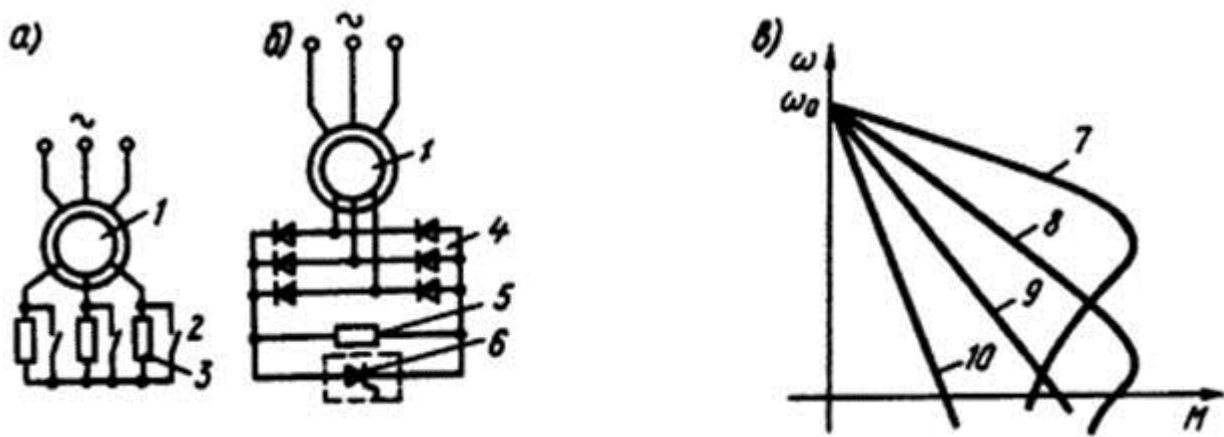


Рис 1

Аналогічно працює й схема імпульсного регулювання опору резистора 5, включеного в ланцюг випрямленого струму ротора АД 1 з випрямлячами 4. Шунтування резистора 5 здійснюється за допомогою тиристорного ключа 6, який також працює з керованим заповненням γ .

Використовуючи розглянуті схеми можна одержати сімейство штучних механічних характеристик АД при різних значеннях γ (див. рис. 1, в). Проаналізуємо характеристики 7 і 10, побудовані для граничних режимів роботи керованого ключа відповідно при $\gamma = 1$ і $\gamma = 0$. При $\gamma = 1$ (ключ 2 постійно замкнутий або тиристор 6 постійно відкритий) резистор закорочен і АД працює по природній механічній характеристиці 7. При $\gamma = 0$ (ключ 2 постійно розімкнутий або тиристор 6 постійно закритий) резистор повністю введений у ланцюг ротора й АД працює по штучній характеристиці 10. При проміжних значеннях заповнення $0 < \gamma < 1$ еквівалентний опір резистора в ланцюзі ротора змінюється відповідно до формули $R_{2екв} = (1 - \gamma)R_{2л3}$ і штучні характеристики 8 і 9 розташовуються між граничними.

У такий же спосіб можна одержати характеристики АД при імпульсному регулюванні опору $R_{1л}$ додаткових резисторів у ланцюзі статора. Включення керованих ключів паралельно резисторам у схемі, і їх робота зі змінним заповненням γ забезпечує одержання штучних електромеханічних і механічних характеристик АД у вигляді кривих, показаних на .

Імпульсне регулювання напруги на статорі АД може бути реалізоване за допомогою тиристорного регулятора напруги. У цьому випадку реалізуються штучні механічні характеристики.

Для поліпшення показників регулювання координат АД імпульсним способом створюються замкнені ЕП з використанням різних зворотних зв'язків. У результаті автоматичного регулювання γ механічні характеристики АД (рис. 2) стають жорсткими.

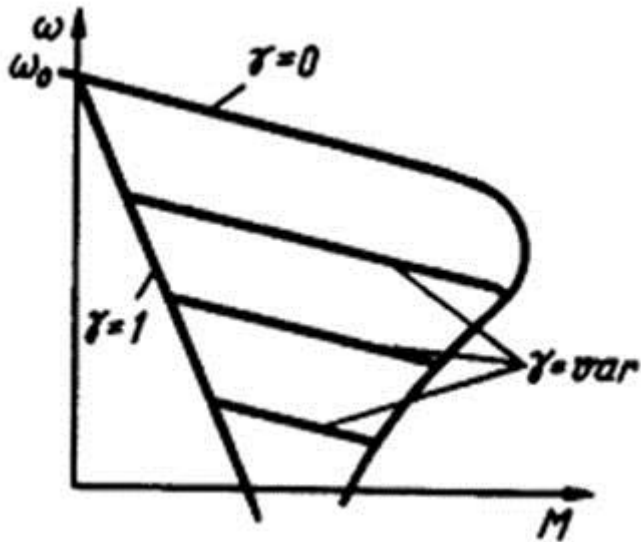


Рис. 2

Використання імпульсних способів дозволяє в ряді випадків здійснювати регулювання координат ЕП за допомогою більш простих схем керування.

Лекція №15

Тема: Електропривод з однофазним АД

Мета: оволодіти знаннями про різні схеми вмикання ЕП з однофазним АД

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Електропривод з однофазним АД
- 2 Схеми електроприводу з однофазним АД

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Однофазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором випускаються невеликої потужності (до 1,5 кВт) і використовуються для приводу малопотужних механізмів у сільському господарстві та побутових машин і електроінструментів. Однофазні АД порівняно з трифазними мають дещо гірші технічні характеристики. Їх потужність складає не більш 70% від потужності трифазного АД того ж габариту. Крім того, вони мають меншу перевантажувальну здатність.

В пази статора однофазного АД закладають основну (робочу) РО і спеціальну пускову ПО (рис.2.25) обмотки. Робоча обмотка звичайно займає 2/3 пазів статора, а пускова – решту. На статорі обмотки закладені так, що їх вісі зміщені одна від другої на 90° .

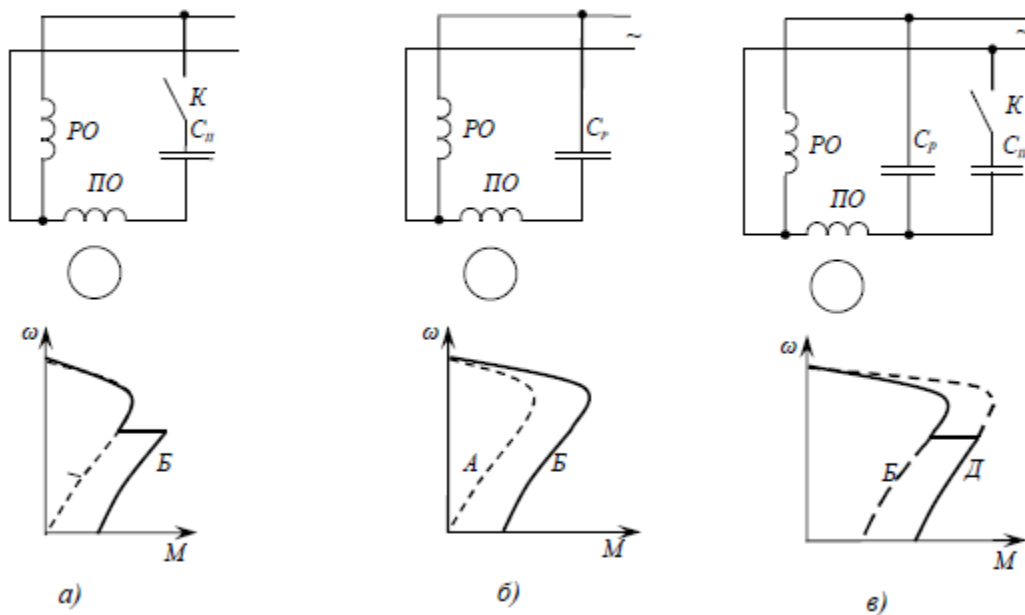


Рис.2.25. Схеми вмикання і механічні характеристики однофазних двигунів: а) з пусковим конденсатором; б) з робочим конденсатором; в) з пусковим і робочим конденсатором

При пропусканні струму тільки через робочу обмотку пусковий момент двигуна дорівнює нулю (характеристика А на рис. 2.25, а). Для створення обертового магнітного поля, а значить і пускового моменту достатньо, щоб струм пускової обмотки в часі був зсунутий відносно струму робочої обмотки. Для цього послідовно в коло пускової обмотки вмикають конденсатори.

Однофазні двигуни бувають з пусковим, робочим, пусковим та робочим конденсаторами.

Пускова обмотка з пусковим конденсатором C_n вмикається тільки на час пуску. Пуск відбувається згідно з характеристикою Б (рис. 2.25, а). Після досягнення ротором двигуна швидкості, близької до 0,75 синхронної, її вимикають. Для автоматичного вимикання використовують відцентрові вимикачі та різного роду реле (струму, часу тощо).

Щоб збільшити потужність однофазного двигуна, його обмотки закладають в однакові кількості пазів з фазною зоною 90° . Пускову обмотку вмикають через робочу ємність C_p (рис. 2.25, б). Двигун працює на характеристиці Б.

Якщо для приводу РМ потрібний двигун з більшою кратністю пускового моменту, застосовують двигун з пусковим і робочим конденсаторами (рис. 2.25, в), у якого робоча ємність C_p ввімкнена постійно, а пускова C_n - тільки на

період пуску. Значення пускового і максимального моментів залежить від ємності конденсаторів. Двигун розганяється по характеристиці Д, а після вимкання пускового конденсатора переходить на характеристику Б.

Для зміни напрямку обертання конденсаторного двигуна міняють місцями кінці однієї з його обмоток – пускової або робочої.

В якості однофазного АД при необхідності можуть бути використані звичайні трифазні двигуни з короткозамкненим ротором. Існує ряд схем з'єднання обмоток трифазного двигуна при його вмиканні в однофазну мережу, але він в усіх випадках набуває властивостей однофазного АД.

Універсальний колекторний двигун (рис.2.26) може працювати як на постійному, так і на змінному однофазному струмі. За конструктивним виконанням він подібний до малопотужних двигунів постійного струму послідовного збудження, але відрізняється від них будовою магнітопроводів ярма і полюсів та конструкцією обмоток збудження. В універсальному

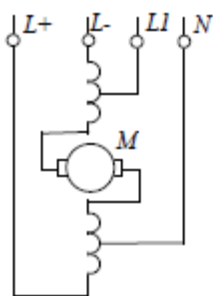


Рис. 2.26. Схема вмикання універсального колекторного двигуна

колекторному двигуні з метою зменшення втрат енергії на вихрові струми магнітопроводи ярма і полюсів набрані з листків електротехнічної сталі, а обмотки збудження мають відпайки.

Оскільки опір обмоток двигуна змінному струму більший, ніж постійному, то при однакових значеннях напруг джерел живлення швидкість обертання на змінному струмі буде меншою, ніж на постійному. Для забезпечення приблизно однакових швидкостей в мережу постійного струму двигун вмикають з повним числом витків обмоток збудження (затискачі $L+$ і $L-$), а в мережу змінного струму – із зменшеним числом витків (затискачі $L1$ і N).

Швидкість обертання на змінному струмі збільшується за рахунок зменшення магнітного потоку. Колекторні двигуни, призначені для вмикання тільки в мережу змінного струму, мають два виводи.

Електромеханічні та механічні характеристики універсальних колекторних двигунів подібні до відповідних характеристик двигунів постійного струму послідовного збудження (див. розділ 2.1).

Універсальні колекторні двигуни є основними двигунами приводу ручних електричних машин. Завдяки високій швидкості обертання вони мають значно меншу масу і габарити, ніж асинхронні двигуни нормальної частоти з такою ж номінальною потужністю.

Лекція №16

Тема:Схема вмикання, статичні характеристики і режими роботи синхронних двигунів (СД)

Мета:оволодіти знаннями про статичні характеристики і режими роботи синхронних двигунів

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1Схема вмикання СД
- 2 Режими роботи синхронних двигунів
- 3 Статичні характеристики синхронних двигунів

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теорияэлектропривода.- М.,Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основыэлектропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Основною властивістю СД є відповідність їх кутової швидкості частоті мережі живлення, а оскільки частота мережі $f_1 = const$, то $\omega = const$.

Застосовують СД для електроприводів, що не вимагають регулювання швидкості (насоси, компресори, холодильні машини, каменедробарки, повітродувки й таке інше), особливо коли такі приводи працюють в усталених режимах без частих пусків і, навіть майже без пусків (нафтогони, газогони, продуктогони й таке інше).

Останні роки синхронний привод розповсюджується і як регулівний, завдяки досягненням електроніки, силової електроніки та мікропроцесорної техніки створені керовані перетворювачі для живлення статорних кіл синхронних двигунів та статичні перетворювачі для живлення кіл збудження синхронних генераторів та двигунів.

Синхронний регулівний привод починає успішно конкурувати з асинхронним регулівним приводом, особливо за енергетичними характеристиками (к.к.д., $\cos \varphi$), переважувальною здатністю, відсутністю ковзання й таке інше.

Механічні характеристики СД

Кутова характеристика СД

Відомо, що механічна характеристика СД абсолютно жорстка й тому кутова швидкість його ω – стала ($\omega = const = \omega_0$), але миттєві значення цієї швидкості можуть дещо різнитися від ω_0 , це має місце, наприклад, при навантаженні СД коли вісь ротора починає відставати від умовної осі обертового поля й чим більше навантаження тим більше відставання ротора (при обертанні його з синхронною швидкістю). У синхронних генераторів навпаки, зі збільшенням навантаження, ротор випереджує умовну вісь обертання поля, обертаючись зі швидкістю поля.

Кут між геометричною віссю ротора й уявною віссю обертового поля (між вектором е.р.с. ротора й вектором напруги статора) називається кутом вильоту ротора Θ , який може змінюватись при короткочасних змінах параметрів. У цьому зв'язку важливою є залежність моменту СД від кута вильоту ротора $M = f(\Theta)$, дивись рисунок 3.51.

Ця залежність зветься кутовою характеристикою. Аналітичний вираз кутової характеристики розглядається у курсі електричних машин і має такий вигляд

$$M = \frac{m}{\omega_0} \left[\frac{U_M \cdot E_p}{X_d} \cdot \sin \Theta + \frac{U_M^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \cdot \sin 2\Theta \right],$$

де m - число фаз;

U_M - напруга мережі;

E_p - е.р.с. ротора СД;

X_d , X_q - синхронні індуктивні опори СД, відповідно по повздовжній d та по поперечній q осям.

Із наведеної формули видно що електромагнітний момент має дві складові.

1-а складова, момент пропорційний е.р.с. двигуна й напрузі (активний момент обумовлений основними процесами принципу дії СД) та синусу кута вильоту ротора.

2-а складова, реактивний момент, що виникає у наслідок явнополюсності системи не залежно від наявності збудження на СД (за рахунок різниці у величині опорів X_d й X_q), змінюється з подвійною частотою, порівняно з частотою змінювання активного момента.

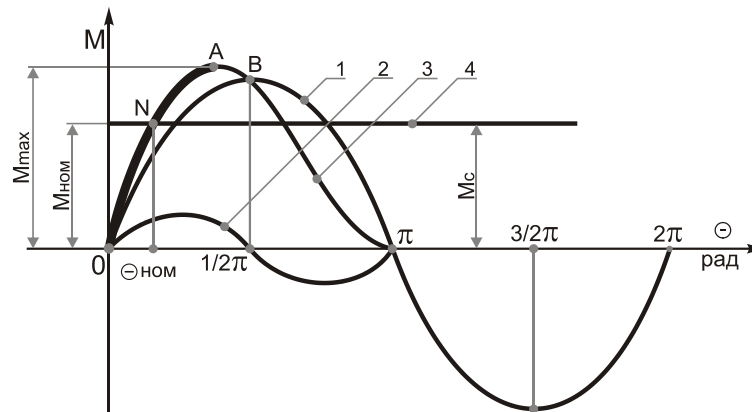


Рисунок 3.51 – Кутова характеристика СД.

На рисунку 3.51 прийняті такі позначення:

- 1 – характеристика першої складової (активного момента);
- 2 – характеристика другої складової (реактивного момента);
- 3 – вислідна характеристика $M = f(\Theta)$;
- 4 – механічна характеристика виконавчого механізму (механізм I-го класу).

Як відомо стійка робота СД буде при $\Theta < 90^\circ$, це умова статичної стійкості СД, якщо кут вильоту ротора буде $\Theta > 90^\circ$ - нестійкий стан, двигун випаде із синхронізму. Бажано мати номінальний кут вильоту ротора $\Theta_{ном} = 20^\circ - 30^\circ$, тоді при номінальному статичному моменті опору M_c перевантажувальна здатність буде

$$\lambda = \frac{M_{max}}{M_{ном}} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin(20-30)^\circ} = 2-3.$$

Якщо СД неявнополюсний, то реактивний момент у ньому не виникає, а кутова характеристика його (на відміну від явнополюсного) синусоїдальна.

Як видно із запису перевантажувальної здатності, формула стосується СД з неявновираженими полюсами ($\Theta_{max} = 90^\circ$), для СД з явновираженими полюсами максимум електромагнітного момента (за рахунок реактивного момента) настає при кутові Θ меншому 90° , $\Theta_{max} < 90^\circ$.

З огляду на сказане стійка рівновага явнополюсного СД буде на ділянці характеристики OA , а неявнополюсного – OB .

Лекція №17

Тема: Пуск СД

Мета: оволодіти знаннями про способи пуску СД

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

1 Пуск СД

2 Способи пуску СД

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с

2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с

3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с

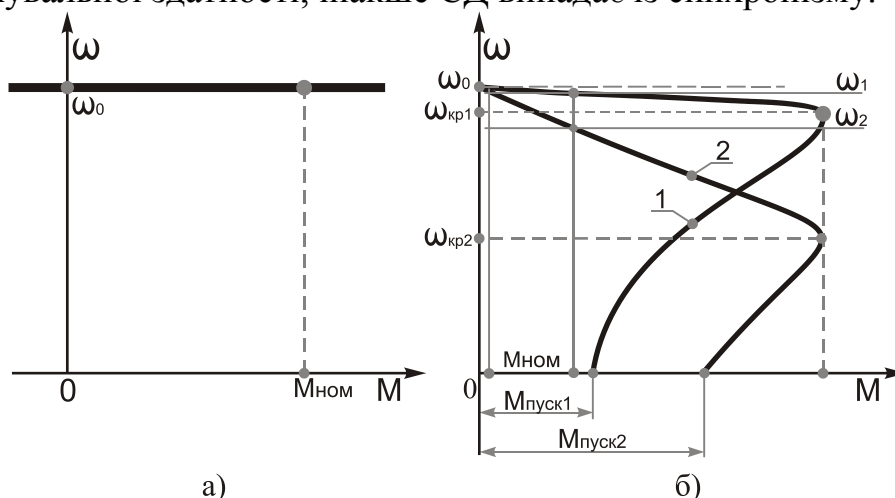
4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Ці характеристики слід розглядати для двох режимів.

1-й режим. Режим роботи, коли вже ротор втягнений у синхронізм й навантажується моментом опору.

2-й режим. Оскільки СД не має власного пускового момента, то запуск його, особливо коли живлення статора без частотного регулювання, становить певну проблему.

Механічна статична характеристика СД у робочому режимі, фрагмент **а** рисунка 3.50, являє собою пряму лінію, паралельну осі абсцис, тобто ця характеристика абсолютно жорстка, швидкість зі зміною навантаження залишається константою, незалежно від будь-яких чинників, крім частоти, єдиною умовою існування цієї характеристики є умова працювати у межах перевантажувальної здатності, інакше СД випадає із синхронізму.



а – режим роботи вже синхронізованого двигуна;

б – пусковий режим при асинхронному пуску.

Рисунок 3.50 – Механічні характеристики.

Механічні характеристики пускового режиму, фрагмент **б** рисунка 3.50 будуються у тому випадку, коли для здійснення пуску СД використовуються пускові обмотки (асинхронний пуск). Синхронний двигун у цьому випадку має спеціальну пускову обмотку у вигляді короткозамкненої клітки, а СД при запуску працює як звичайний АД. Синхронні двигуни мають два типи пускових кліток.

1-й тип. Йому відповідає механічна характеристика 1. Клітка при цьому має малий активний опір, тому пусковий момент $M_{\text{пуск1}}$ незначний, проте величина ковзання S_1 при швидкості ω_1 (і номінальному моменті опору) мала, тобто номінальна швидкість близька до підсинхронної швидкості (швидкість входження у синхронізм). Таким чином, 1-й тип клітки забезпечує збільшення моменту входження у синхронізм, але пусковий момент $M_{\text{пуск1}}$ замалий.

Такі пускові клітки використовуються у тих приводах, де полегшені умови запуску, це у першу чергу механізми з вентиляторною характеристикою (момент опору від неробочого ходу починає збільшуватися зі збільшенням швидкості: вентилятори, повітрорудки, відцентрові насоси, гребні гвинти і таке інше).

2-й тип. Йому відповідає механічна характеристика 2. Клітка при цьому має підвищений активний опір ротора, тому пусковий момент $M_{пуск2}$ значний, проте величина ковзання S_2 при швидкості ω_2 (і номінальному моменті опору) значна, тобто швидкість входження у синхронізм суттєво різниться від синхронної, що, у решті решт, утруднює процес входження у синхронізм.

Такі пускові клітки використовуються у таких приводах, у яких великий статичний момент опору під час пуску (важкий запуск), наприклад, нерегульовні прокатні стани.

Пускові клітки синхронних двигунів розраховані на короткочасний режим (тільки на час пуску) тривалістю до 30с. Триваліший час запуску призведе до перегрівання клітки.

Лекція №18

Тема: Схема пуску СД

Мета: оволодіти знаннями про способи пуску СД

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Схеми вмикання СД
- 2 Схеми вмикання СД при асинхронному пуску

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Лекція №19

Тема: Втрати потужності і енергії у встановлених режимах ЕП

Мета: оволодіти знаннями про роботу ЕП перехідних режимах

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Робота ЕП у встановлених режимах
- 2 Втрати потужності і енергії у встановлених режимах ЕП
- 3 Розрахунок потужності і енергії у встановлених режимах ЕП

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Потужність втрат у нерегульованому ЕП складається з потужності втрат у двигуні і механічній частині. Втрати потужності в механічній передачі $\Delta P_{\text{мех}}$ зумовлені в основному тертям у рухомих частинах. Ці втрати оцінюються величиною ККД, значення якого для різних видів передач і при різних навантаженнях є в довідковій літературі.

Втрати потужності у двигуні є сумою постійних ΔP_c і змінних ΔP_v втрат:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v \quad (6.6)$$

Під постійними втратами потужності розуміють втрати потужності, що не залежать від струму двигуна. До них належать: втрати в сталі магнітопровода, на тертя в підшипниках, вентиляційні, в провідниках обмоток збудження ДПС та синхронних двигунів.

Під змінними втратами розуміють такі, які виникають у провідниках обмоток двигуна під час протікання по них струму навантаження.

Змінні втрати потужності у двигунах постійного струму можна подати у вигляді:

$$\Delta P_v = I^2 R_{\text{дв}} = I_{\text{ном}}^2 R_{\text{дв}} \left(\frac{I}{I_{\text{ном}}} \right)^2 = \Delta P_{v,\text{ном}} \left(\frac{I}{I_{\text{ном}}} \right)^2 = \Delta P_{v,\text{ном}} K_3^2, \quad (6.7)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна; $\Delta P_{v,\text{ном}} = I_{\text{ном}}^2 \cdot R_{\text{дв}}$ – втрати потужності в колі якоря при номінальному навантаженні; I_n – номінальний струм двигуна; $R_{\text{дв}}$ – внутрішній опір кола якоря.

Змінні втрати в трифазних асинхронних двигунах:

$$\Delta P_v = 3I_1'^2 R_1 + 3I_2'^2 R_2' = 3I_{2,\text{ном}}'^2 \left(R_2' + \frac{R_1}{\sigma_{2,\text{ном}}} \right) \left(\frac{I_2'}{I_{2,\text{ном}}'} \right) = \Delta P_{v,\text{ном}} K_3^2, \quad (6.8)$$

де $\Delta P_{v,\text{ном}} = 3I_{2,\text{ном}}'^2 \left(R_2' + \frac{R_1}{\sigma_{2,\text{ном}}} \right)$ – номінальні змінні втрати потужності;

$\sigma_{\text{ном}} = \frac{I_{2,\text{ном}}'}{I_{1,\text{ном}}} \approx 0,85 \dots 0,95$, $\sigma = \frac{I_2'}{I_1}$ – відповідно номінальна і поточна кратності зведеного струму ротора і статора. Орієнтовні значення σ залежно від ковзання знаходять за кривими рис. 6.1.

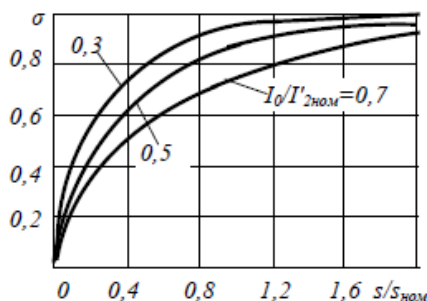


Рис. 6.1. Залежність відношення зведеного струму ротора і статора АД від ковзання при різних кратностях струму холостого ходу

Змінні втрати потужності у синхронних двигунах складають:

Визначення енергетичних показників роботи регульованих електроприводів є більш складною задачею, ніж нерегульованих. Факторами, які ускладнюють рішення цієї задачі, є:

1) зміна швидкості двигуна, яка призводить в загальному випадку до зміни постійних втрат потужності ΔP_c в двигуні. Особливо суттєво змінюються постійні втрати при регулюванні струму збудження ДПС НЗ і СД;

2) наявність силового перетворювача в ЕП вимагає додаткових розрахунків з визначення втрат потужності і енергії в перетворювачах;

3) спотворення синусоїдної форми кривих струму і напруги мережі змінного струму регульованим ЕП постійного струму вимагає визначення коефіцієнта потужності $\cos \phi$ і коефіцієнта спотворення K_c ;

4) різноманітність способів регулювання двигунів, кожен з яких характеризується своїми енергетичними показниками.

Способи регулювання швидкості двигунів поділяються на економічні, яким відповідають незначні втрати, і неекономічні, пов'язані з суттєвими втратами потужності і енергії. До економічних способів належать, наприклад, частотне регулювання швидкості АД, регулювання швидкості АД в каскадних схемах, у яких частина втрат енергії повертається до мережі або після відповідного перетворення передається на вал двигуна; регулювання кутової швидкості ДПС НЗ за допомогою керованих перетворювачів. Найекономічнішими є системи, які забезпечують споживання з мережі стільки потужності, скільки її потрібно для приводу ВОРМ та на покриття втрат у двигуні і механізмі при тій чи іншій швидкості. Такі можливості мають системи з перетворювачами.

До неекономічних способів належить регулювання введенням опору в коло якоря або ротора. В цьому випадку чим більший діапазон регулювання, тим більша частина споживаної з мережі потужності розсіюється на резисторах у вигляді теплоти. Неeкономічним є також регулювання швидкості АД при несиметричній напрузі живлення.

Регульований електропривод з ДПС НЗ. Постійні втрати потужності ДПС НЗ складаються із втрат в колі збудження ΔP_z , механічних $\Delta P_{\text{м}}$ і втрат у сталі $\Delta P_{\text{ст}}$. Дві останні складові можуть бути визначені за наближеною формулою:

$$\Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{ст}} \approx (\Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{ст}})_{\text{ном}} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (6.21)$$

де $(\Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{ст}})_{\text{ном}}$ – втрати механічні і в сталі при номінальній кутовій швидкості.

Змінні втрати в якірному колі ДПС:

$$\Delta P_v = I^2 R_{\text{дв}} = M(\omega_{0p} - \omega), \quad (6.22)$$

де ω_{0p} – швидкість ідеального холостого ходу двигуна при його роботі на штучній (регульовальній) характеристиці; $R_{\text{дв}}$, $I_{\text{я}}$ – відповідно опір і струм якірного кола; M – електромагнітний момент двигуна при кутовій швидкості ω .

Лекція №20

Тема:Перевірка двигунів по нагріву прямим методом

Мета:оволодіти знаннями про режими роботи двигунів, нагрівання та охолодження двигунів.

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Режими роботи ЕП
- 2 Нагрівання та охолодження двигунів
- 3 Перевірка двигунів по нагріву прямим методом

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теорияэлектропривода.- М.,Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основыэлектропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

У переважній більшості випадків потужність ЕД вибирається за нагріванням, а потім йде перевірка за перевантажувальною здатністю.

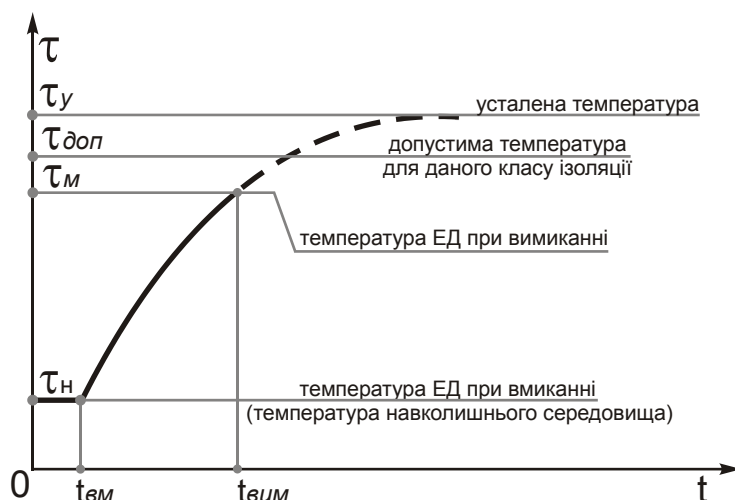


Рисунок 6.2 – До пояснення теплового режиму ЕД.

При цьому тепловий режим ЕД не обов'язково повинен відповідати усталеній температурі нагрівання, яка не перевищує допустиму для даного класу ізоляції. Навпаки у багатьох випадках усталена температура вища допустимої для класу ізоляції двигуна, але робота двигуна завершується раніш, ніж температура його досягла усталеного значення (дивись рисунок 6.2).

Час вмикання $t_{вм}$ й час вимикання $t_{вим}$ залежить від характеру змін навантаження виконавчого механізму, від технологічного процесу.

У будь-якому випадку вибір або перевірка ЕД за умовами нагрівання полягає у порівнюванні певним чином параметрів режиму роботи, для якого двигун проектується й виготовляється (цей режим називається номінальним) з параметрами режиму, в якому ЕД буде працювати у конкретній системі ЕП.

Дані, що мають у паспорті ЕД відносяться до певного номінальному режиму й зветься номінальним даним двигуна. Завод - виготовлювач гарантує (при роботі ЕД у номінальному режимі при номінальному навантаженні) повне використання його у тепловому відношенні.

Для ЕД, що виготовляються, передбачені вісім номінальних режимів, які у відповідності до міжнародної класифікації мають умовні позначення S1-S8.

Тривалий (довготривалий) номінальний режим (S1)

Це режим роботи електричної машини при незмінному навантаженні настільки тривалий, що перевищення температури усіх частин електричної машини досягає усталеного значення (рисунок 6.3).

На рисунку прийняті такі позначення: P - потужність на валу, ΔP - потужність втрат, τ - температура, τ_y - усталення температура, τ_n - температура навколишнього середовища, $t_{вм}$ - час вмикання двигуна.

У паспортних даних ЕД тривалого номінального режиму роботи наводяться такі номінальні параметри:

- потужність, $P_{ном}$ [кВт];
- частота обертання, $n_{ном}$ [об/хв];
- напруга, $U_{ном}$ [В];
- струм, $I_{ном}$ [А].

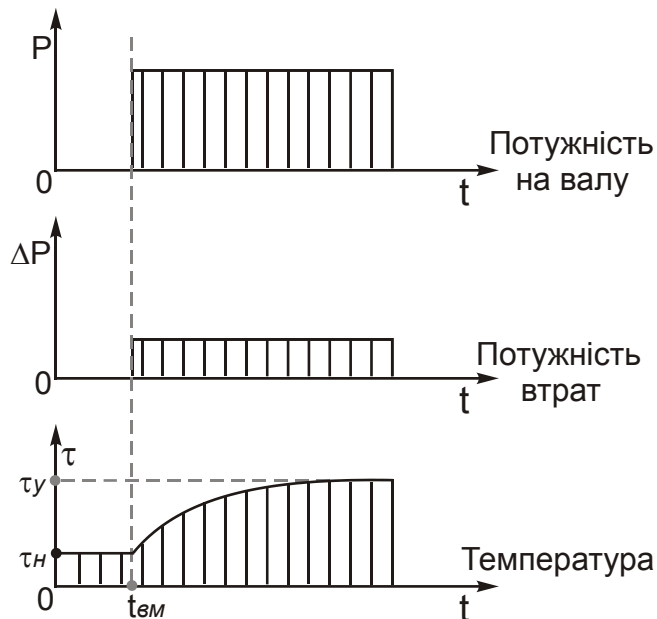


Рисунок 6.3 – Графіки тривалого режиму роботи.

Дотримання установлених норм нагрівання забезпечує нормативний термін служби ЕД (≈ 20 років) й навпаки, перевищення допустимої температури призводить до руйнування ізоляції й скороченню терміну служби. Так перевищення допустимої температури (навіть короткочасне) ЕД класу ізоляції А на $5\div 8^{\circ}\text{C}$ скорочує термін служби ЕД удвічі. Незалежно від технологічного процесу ЕД завжди нагрітий до температури навколишнього середовища τ_n , величина якої різна для різних кліматичних зон земної кулі. При розрахунках, пов'язаних з вибором ЕД, враховується максимальне значення її для відповідної кліматичної зони. Для України ця кліматична зона є зоною з помірно холодним кліматом, для якої

$$\tau_n = +35^{\circ}\text{C}.$$

Короткочасний номінальний режим (S2)

Це режим роботи електричної машини при якому за робочий період при незмінному навантаженні машина не встигає нагрітися до усталеної температури τ_y нагрівання, а пауза між вимкненим й увімкненим станом настільки тривала, що за цю паузу машина встигне охолонути до температури навколишнього середовища τ_n , дивись рисунок 6.4.

Для короткочасного номінального режиму роботи рекомендуються такі тривалості робочого періода t_g (тривалості вмикання):

$$t_g = 15; 30; 60; 90 \text{ (хвилини)}.$$

Відповідно номінальні дані ЕД мають свідчення про потужність, частоту обертання, напругу, струм при певній тривалості вмикання.

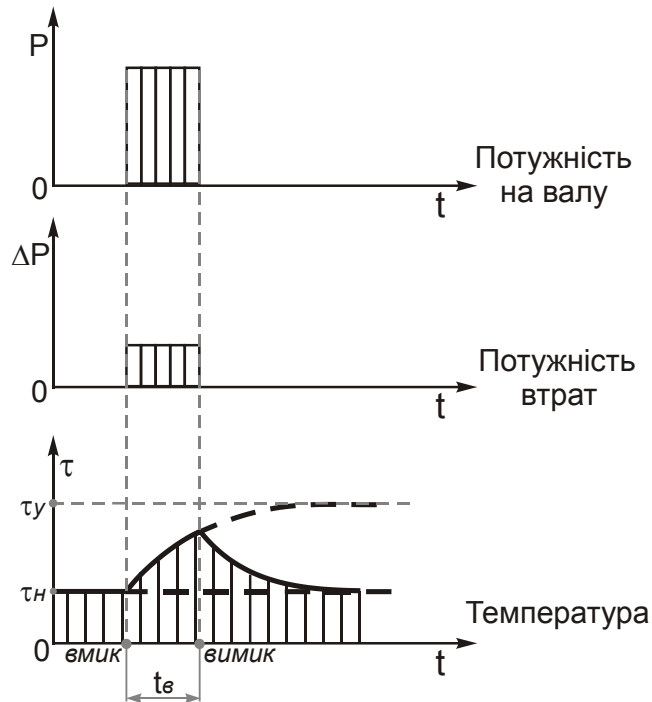


Рисунок 6.4 – Графіки короткочасного режиму роботи.

Повторно-короткочасний номінальний режим (S3)

Тут короткочасні періоди незмінного номінального навантаження (робочі періоди) чергуються з періодами відмикання машини (паузами), причому ні на одному з робочих періодів t_ϵ температура нагрівання ЕД не досягає усталеної температури нагрівання τ_y , а при будь-якій паузі t_0 двигун не встигає охолонути до температури навколишнього середовища τ_n , дивись рисунок 6.5.

Повторно-короткочасний номінальний режим роботи характеризується відносною тривалістю вмикання

$$TB = \frac{t_\epsilon}{t_\epsilon + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_\epsilon}{t_y} \cdot 100\% ,$$

де TB - тривалість вмикання;

$t_y = t_\epsilon + t_0$ - час циклу;

t_ϵ - час увімкненого стану (роботи);

t_0 - час паузи.

Значення TB нормується:

$TB = 15; 25; 40; 60$ (%), або

$$E = \frac{t_\epsilon}{t_y} = 0,15; 0,25; 0,40 \text{ і } 0,60.$$

Для режиму S3 номінальні дані відповідають тільки певному значенню TB й відносяться до робочого періоду. При цьому вводиться обмеження на допустиму тривалість циклу

$$t_y \leq 10 \text{ хвилин} .$$

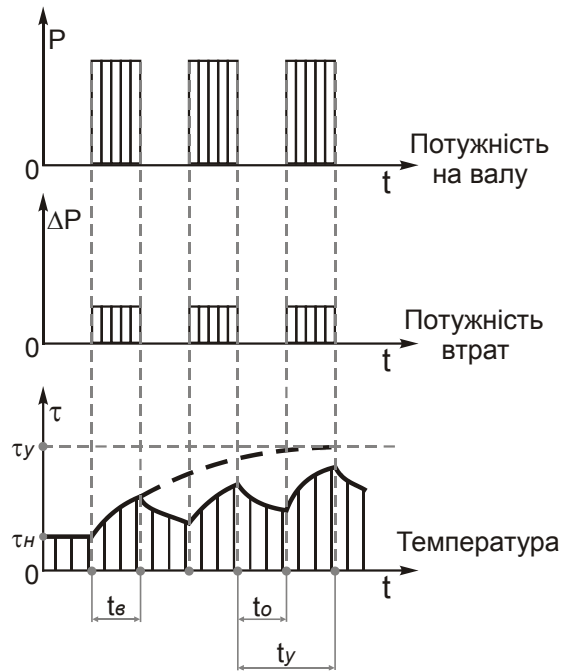


Рисунок 6.5 – Графіки повторно-короткочасного режиму роботи.

Режими S1-S3 є зараз основним. Номінальні дані на ЕМ для цих режимів вносяться у паспорт електричної машини та у відповідні каталоги.

Режими S1-S3 знаходять застосування посеред таких виробничих механізмів (дивись таблицю 6.1).

Таблиця 6.1 – Класифікація механізмів за видом їх основних номінальних режимів роботи.

S1	S2	S3
Вентилятори Насоси Компреси Гребні гвинти й таке інше	Розвідні мости Шлюзи Поворотні круги залізничні та трамвайні. Розсування завіс, фіранок, штор й таке інше	Вантажопідіймальні крани та механізми. Ліфти. Металорізальні верстати (не усі). Транспортні машини й таке інше

Лекція №21

Тема: Розрахунок потужності і вибір двигунів

Мета: оволодіти знаннями про правила розрахунку потужності та вибору двигунів

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

1 Розрахунок потужності двигуна

2 Вибір двигуна

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:

Плакати, картки

Література:

1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с

2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с

3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с

4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

Незмінне навантаження. Навантажувальна діаграма РМ з незмінним навантаженням зображена на рис.7.5.а. При відомій потужності РМ P_M , розрахункова потужність двигуна $P_{дв.розр}$ визначається :

$$P_{дв.розр} = \frac{K_{зан} P_M}{\eta_{пер}}, \quad (7.30)$$

де $K_{зан}$ — коефіцієнт запасу; $\eta_{пер}$ - ККД механічного передавального пристрою.

Номінальна потужність двигуна повинна бути не меншою за розрахункову, тобто:

$$P_{дв.ном} \geq P_{дв.розр}. \quad (7.31)$$

При виконанні цієї умови максимальне перевищення температури обмоток буде не вище гранично допустимого: $\tau_{max} \leq \tau_{дон}$.

Якщо навантажувальна діаграма РМ задана функцією $M_c = f(t)$, то потужність двигуна розраховується за формулою:

$$P_{дв.розр} = K_{зан} \frac{M_c \omega}{\eta_{пер}}, \quad (7.32)$$

де M_c - момент статичних опорів на приводному валу машини, Н·м; ω – кутова швидкість приводного вала РМ, рад/с.

Потужності, споживані РМ при незмінному навантаженні, у багатьох випадках розраховуються за простими формулами. Так, потужність, кВт, для приводу насоса визначають з виразу:

$$P_M = \frac{Q \rho H g 10^{-3}}{\eta_{нас}}, \quad (7.33)$$

де Q – подача насоса, м³/с; ρ - густина рідини, що подається насосом, кг/м³; H – розрахунковий напір, м; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Потужність, кВт, для приводу вентилятора:

$$P_M = \frac{L p 10^{-3}}{\eta_v}, \quad (7.34)$$

де L – подача вентилятора, м³/с; p – напір вентилятора, Па; η – ККД вентилятора.

Потужність, споживана скребковим конвеєром при транспортуванні суцільним потоком:

$$P_M = Q g (L f \cos \alpha + H) 10^{-3}, \quad (7.35)$$

де Q — розрахункова продуктивність конвеєра, кг/с; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; H —висота підйому продукту, м; L —довжина конвеєра , м; f_c — коефіцієнт опору рухові ; α — кут нахилу конвеєра.

У тому випадку, якщо пусковий момент (момент зрушення) робочої машини дуже великий, необхідна перевірка вибраного двигуна за умовами пуску. Двигун успішно запуститься , якщо :

$$M_n = M_{ном} M_n^* \geq (1,2 \dots 1,3) M_{с.зв.}, \quad (7.36)$$

де M_n , $M_{ном}$ — відповідно пусковий і номінальний моменти двигуна, Н·м; M_n^* — кратність пускового моменту; $M_{с.зв}$ — зведений до вала двигуна, момент зрушення РМ, Н·м.

Для приводів з великим коефіцієнтом інерції необхідна також перевірка двигуна на нагрівання під час пуску. З цією метою визначають час пуску привода t_n і порівнюють з допустимим часом пуску $t_{дон}$ за умовою:

$$t_n \leq t_{дон}. \quad (7.37)$$

Перевірити двигун на нагрівання під час пуску можна й іншим способом. Перегрівання двигуна понад допустиму температуру не буде при умові:

$$\tau_{дон} \geq V_t t_n, \quad (7.38)$$

де $\tau_{дон}$ — допустиме перевищення температури обмотки над температурою охолоджуючого середовища, $^{\circ}\text{C}$; V_t — швидкість наростання температури обмотки при загальмованому роторі (якорі), $^{\circ}\text{C}/\text{с}$; t_n — час пуску привода, с.

Для деяких серій двигунів величина V_t наводиться у довідниках. Орієнтовно швидкість наростання температури обмоток двигуна можна визначити за формулою:

$$V_t = \frac{(K_i j)^2}{200}, \quad (7.39)$$

де j — щільність струму в обмотці з мідного проводу при номінальному режимі, $\text{A}/\text{мм}^2$; K_i - кратність пускового струму.

Лекція №22

Тема: Коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності електропривода

Мета: оволодіти знаннями про коефіцієнт корисної дії та коефіцієнт потужності електропривода

Методи: словесний, практичний, наочний

План:

- 1 Коефіцієнт корисної дії електропривода**
- 2 Коефіцієнт потужності електропривода**

Матеріально-технічне забезпечення та дидактичні засоби, ТЗН:
Плакати, картки

Література:

- 1 Москаленко В.В. Электрический привод – М.: Высш.шк., 1991. – 430с
- 2 Ключев В.И. Теория электропривода.- М., Энергоатомиздат, 1998.-704с
- 3 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Основы электропривода.-СПб.: Энергоатомиздат, 1992.- 496с
- 4 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода.- М.: Энергоиздат, 1981.- 576с

До основних енергетичних показників роботи ЕП належать втрати потужності та енергії, коефіцієнт корисної дії (ККД) η і коефіцієнт потужності $\cos\varphi$. В ЕП із перетворювачами на основі напівпровідникових приладів (наприклад, вентильний регульований ЕП) суттєвим показником є коефіцієнт спотворення K_c , який характеризує ступінь відхилення струму і напруги від синусоїдної форми і дорівнює відношенню діючого значення першої гармоніки струму до діючого значення несинусоїдного струму, тобто $K_c = I_1/I$.

Енергетичні показники ЕП суттєво залежать від режиму його роботи, характеру зміни моменту навантаження і способів регулювання координат. Звичайно енергетичні показники нерегульованого і регульованого ЕП визначають окремо при їх роботі в усталеному і перехідному режимах.

Потужність P_1 , споживана електроприводом з мережі, витрачається на: реалізацію руху ВОРМ $P_m = M_m \cdot \omega_m$; зміну запасу кінетичної і потенціальної енергії в механічній частині ЕП; зміну запасу ЕЕ в ємностях та індуктивностях електричної частини; розсіювання у вигляді теплоти. В теплоту перетворюються втрати: в обмотках електричного й електромеханічного перетворювачів і керуючих пристроїв; пов'язані з перемагнічуванням сталі; в ємностях, на тертя у механічній частині.

Економічність роботи ЕП в будь-якому режимі характеризується відношенням виконаної механічної роботи до кількості електроенергії, спожитої з мережі:

$$\eta_y = \frac{A_{\text{мех}}}{A_{\text{ел}}} = \frac{\int_0^{T_y} M_m(t) \cdot \omega_m(t) dt}{\int_0^{T_y} P dt}, \quad (6.1)$$

де η_y - цикловий ККД ЕП; T_y - тривалість робочого циклу; $\Delta A_{\text{мех}}$, $\Delta A_{\text{ел}}$ - корисна механічна робота і споживана з мережі електрична енергія; P_1 - потужність споживана ЕП з мережі.

Приймаючи для окремих відрізків часу потужність сталою, замість формули (6.1) одержимо:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (6.2)$$

При відомих значеннях ККД перетворювача ЕЕ $\eta_{\text{н.ел}}$, двигуна $\eta_{\text{дв}}$ і механічних передач $\eta_{\text{мех}}$ вираз (6.2) буде мати такий вигляд:

$$\eta = \eta_{\text{н.ел}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{мех}}. \quad (6.3)$$

В ЕП змінного струму з'являється реактивна складова струму, яка не приймає безпосередньої участі у створенні активної потужності, але сприяє нагріванню ЕД. Так, якщо втрати під час передачі потужності постійним струмом $\Delta P_{\text{н.с.}}$, то при передачі тієї самої потужності змінним струмом, враховуючи $\cos\varphi$ ЕД, втрати її будуть:

$$\Delta P_{\text{з.с.}} = \frac{\Delta P_{\text{н.с.}}}{\cos^2\varphi}. \quad (6.4)$$

Економічність споживання активної потужності приводів із тиристорними перетворювачами характеризується коефіцієнтом потужності

$$K_n = K_c \cos \varphi_1, \quad (6.5)$$

де φ_1 – кут зсуву першої гармоніки струму.

Для електродвигунів змінного струму $\cos \varphi$ є важливим енергетичним показником, який залежить від навантаження на валу двигуна і показує, яка частина повної електричної потужності, що надходить з мережі, перетворюється на активну потужність. Характер зміни цієї залежності показано на рис. 6.2, б). При відсутності навантаження ($P_m = 0$) двигун споживає незначну активну потужність, яка практично дорівнює постійним втратам, і

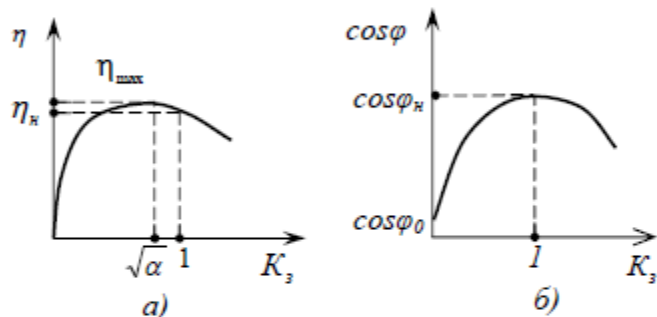


Рис.6.2. Залежності ККД (а) і $\cos \varphi$ (б) від кратності навантаження двигуна

значну реактивну потужність, яка витрачається в основному на створення магнітного поля двигуна. В цьому випадку $\cos \varphi$ має невелике значення.

Якщо навантаження збільшується, споживання реактивної потужності змінюється мало і тоді підвищується $\cos \varphi$. Подальше збільшення

навантаження призводить до росту споживання реактивної потужності за рахунок потоків розсіювання, що призводить до зменшення $\cos \varphi$.

З викладеного видно, що для кращого використання ЕЕ, зведення до мінімуму її втрат, досягнення максимального значення ККД двигуна в усталених режимах ЕП, кутова швидкість яких не регулюється, необхідно забезпечити номінальне завантаження та обмежити тривалість холостого ходу двигуна.

При наявності малозавантажених двигунів доцільно провести їх заміну на двигуни менших габаритів, потужність яких відповідає реальній потужності навантаження.

Розрахунки показують, що коли середнє навантаження двигуна складає менше 45% його номінальної потужності, то заміна цього двигуна менш потужним завжди доцільна. При завантаженні двигунів більше 70% номінальної потужності їх заміна взагалі недоцільна. Коли двигуни завантажені в межах 45...70% доцільність їх заміни повинна бути визначена додатковими розрахунками.

Для поліпшення енергетичних показників ЕП змінного струму шляхом підвищення їх коефіцієнта потужності можуть бути здійснені наступні заходи: заміна малозавантажених електродвигунів двигунами меншої потужності; обмеження холостого ходу АД шляхом автоматизації процесу завантаження РМ; заміна асинхронних двигунів синхронними, коли це економічно виправдано; використання СД або компенсуючих конденсаторів.