

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____ С.В.Бондаренко

_____ 20__ р.

**Методичні вказівки щодо організації
самостійної роботи студентів
З дисципліни Основи електроприводу
Спеціальність 5.05070104 Монтаж і експлуатація
підприємств і цивільних споруд**

Уклав

О.В. Шевченко

Розглянуто на засіданні

циклової комісії

(назва)

Протокол №__ від __ _____ 20__ року

Голова циклової комісії

В.В. Олійник

Самостійна робота №1

Тема: Поняття про одно-і багатомасові системи

Мета: оволодіти знаннями про одно-і багатомасові системи

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Поняття про одномасову систему
- 2 Багатомасові системи
- 3 Розрахункові схеми одно-і багатомасової системи

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Визначення моменту в рухомому режимі
- 2 Визначення моменту в генераторному режимі
- 3 Приведіть кінематичну схему ЕП

При розгляді режимів роботи електроприводу всі моменти і зусилля, як правило, приводяться до валу двигуна.

На валу двигуна діють два моменти:

а) обертальний момент двигуна M або $M_{\text{дв}}$,

б) момент опору механізму M_c .

Кожен з цих моментів може бути рушійним або гальмуючим.

Результуючий момент двох моментів M і M_c називається динамічним моментом $M_{\text{дин}}$:

$$M_{\text{дин}} = M + M_c$$

де M і M_c – алгебраїчні величини, їх знаки визначаються режимом руху.

Момент $M_{\text{дин}}$ визначає динаміку приводу.

Момент M двигуна в руховому режимі (рис. 2.1) направлений згідно обертанню:

ω і M збігаються

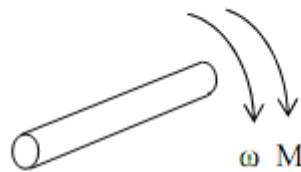


Рис. 2.1 – Момент M двигуна в руховому режимі

Момент M двигуна в генераторному режимі (гальмівному) (рис. 2.2) направлений зустрічно обертанню:

ω і M направлені зустрічно

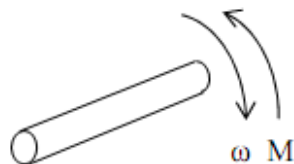


Рис. 2.2 – Момент M двигуна в генераторному режимі

Елементи створюючи механічну частину електроприводу, зв'язані між собою і надають тим самим один на одного відповідну дію. Тому, аналізуючи механічний рух того або іншого елементу, необхідно враховувати вплив на нього інших елементів кінематичної схеми ЕП. Це досягається перерахунком рівнянь (2.1) – (2.4.) сил, моментів, мас і моментів інерції до елементу, рух якого розглядається.

Такий розрахунок в теорії ЕП отримав назву операції приведення, а самі перераховані змінні і параметри – приведеними.

Приклад: Механічна частина ЕП підйомної лебідки (рис.2.3):

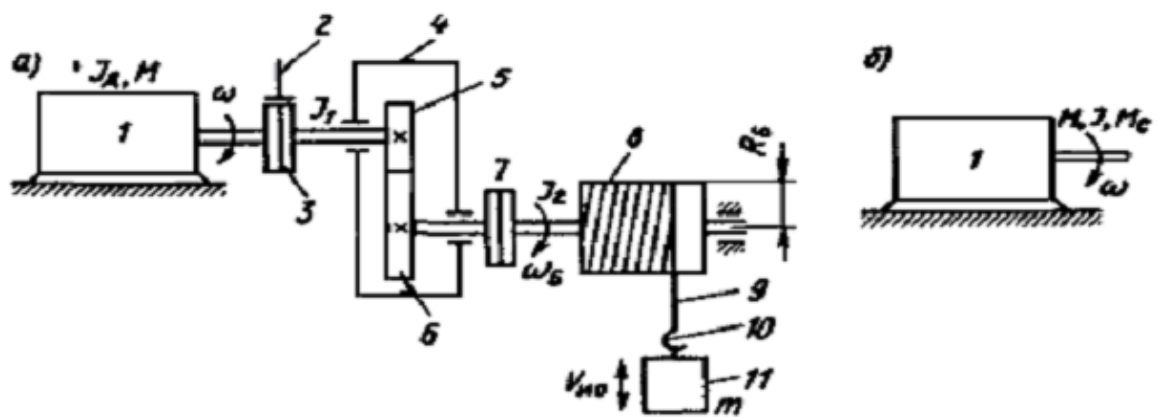


Рис. 2.3 – Кінематична схема підйомної лебідки - а), б) - її розрахункова схема

Електродвигун 1 обертається з моментом J_D інерції через одноступінчатий редуктор 4 з парою шестерень 5 і 6 приводить в обертання з кутовою швидкістю ω_B барабан 8 підйомної лебідки, який за допомогою троса 9 і крюка 10 піднімає (або опускає) з лінійною швидкістю $v_{\text{вик}}$ грузу 11 масою m . На схемі показані також сполучні механічні муфти 3 і 7, перша з яких служить шківом для механічного гальма 2.

Прийmemo допущення, що всі елементи кінематичної схеми є абсолютно жорсткими і між ними відсутні зазори.

Зазвичай елемент до якого виконують приведення вибирають двигун, що є джерелом механічного руху. Реальна схема (рис. 2.3, а), замінюється розрахунковою схемою (рис. 2.3, б), а решта елементів схеми представлена приведеними моментом навантаження M_c і моментом інерції J .

Самостійна робота №2

Тема: Встановлений рух електропривода та його стійкість

Мета: оволодіти знаннями про встановлений рух електропривода та його стійкість

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Механічна характеристика двигуна
- 2 Природна характеристика двигуна
- 3 Моменти навантаження

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Дайте визначення механічної характеристики двигуна
- 2 Дайте визначення природної характеристики двигуна
- 3 Охарактеризуйте моменти навантаження

Система, складовою частиною якої є автоматизований електропривод, може знаходитись в одному з двох режимів: усталеному, або перехідному. Умови усталеного і перехідного режимів визначаються рівняннями руху (2.19 – 2.21).

Умовою усталеного обертального руху системи ЕП, механічна частина якого зводиться до жорсткої механічної ланки, є рівність моменту двигуна і приведенного моменту навантаження:

$$M = M_c$$

Ці моменти в загальному випадку залежать від швидкості.

Механічною характеристикою двигуна називається залежність його швидкості від моменту, що розвивається $\omega(M)$ або зусилля $v(F)$.

Розрізняють природну і штучну характеристики двигунів.

Природна характеристика двигуна (вона у нього єдина) відповідає основній (паспортній) схемі його включення і номінальним параметрам напруги живлення. На природній характеристиці розташовується точка номінального (паспортного) режиму двигуна з координатами $\omega_{ном}$, $M_{ном}$ (рис. 2.6).

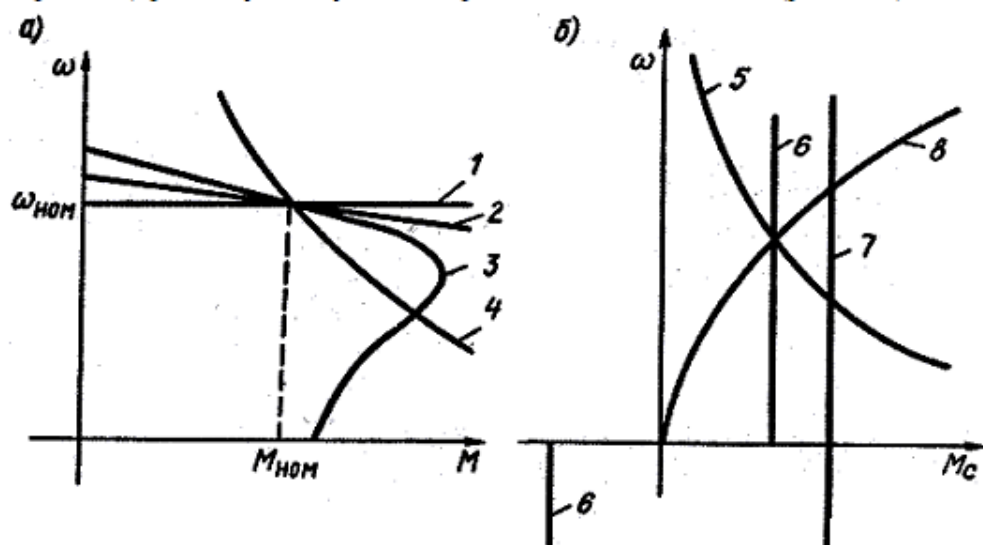


Рис. 2.6 – Механічні характеристики двигунів (а) і виконавчих органів (б)

де 1- синхронного двигуна;

2 - двигуна постійного струму з незалежним збудженням;

3 - асинхронного двигуна;

- 4 – двигуна постійного струму з послідовним збудженням;
- 5 – механізму головного двигуна металообробного верстата;
- 6 – транспортера, механізму подачі верстата;
- 7 – підйомного механізму;
- 8 – вентилятора, компресора і відцентрового насоса.

Якщо двигун включений не по основній схемі, або в його електричні кола включені будь-які додаткові електротехнічні елементи – резистори, конденсатори, або двигун живеться неномінальними параметрами, то двигун матиме штучні характеристики. Таких характеристик у двигуна може бути скільки завгодно багато. Оскільки ці характеристики отримують з метою регулювання змінних (координат) двигуна – струму, моменту, швидкості, положення, то вони іноді називаються регульовальними.

Механічною характеристикою виконавського органу (ВО) називається залежність швидкості його руху від зусилля $v_{ио}(F_{ио})$ або моменту $\omega_{во}(M_{во})$ на ньому. У результаті операції приведення ці характеристики перетворюються в залежності виду $\omega(M_c)$, де ω – швидкість електродвигуна, а M_c – приведений до його валу момент навантаження.

По характеру дії моменти навантаження M_c діляться на активні і реактивні.

Активний момент має постійний, не залежний від швидкості напрям своєї дії. Такі моменти створюються так званими потенційними силами – силами притягання землі, силами упругої деформації (характеристика – 7, рис. 2.6, б).

Реактивний момент створюється в основному силами тертя, завжди протидіючими руху і тому змінює свій знак із зміною напрямку руху (характеристика – 6, рис. 2.6, а).

Кількісно механічні характеристики двигуна і виконавчого органу оцінюються жорсткістю β :

$$\beta = dM / d\omega \approx \Delta M / \Delta \omega \quad (2.26)$$

Самостійна робота №3

Тема: Невстановлений рух електропривода при постійному динамічному моменті

Мета: оволодіти знаннями про нестановлений рух електропривода при постійному динамічному моменті

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Поняття про неустановлений рух ЕП
- 2 Механічні характеристики двигуна і виконавчого механізму
- 3 Рівняння руху ЕП

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Охарактеризуйте неустановлений рух ЕП
- 2 Опишіть механічні характеристики двигуна і виконавчого механізму
- 3 Наведіть рівняння руху ЕП

Неусталений рух має місце, коли моменти двигуна і навантаження відрізняються один від одного, $M \neq M_c$. В цьому випадку динамічний момент не дорівнює нулю і відбувається збільшення швидкості або зниження швидкості двигуна. Прикладом такого руху в ЕП є, пуск, гальмування і реверс двигуна, а також його перехід з однієї швидкості на іншу.

Неусталений рух відповідає переходу ЕП із усталеного режиму з одними параметрами до усталеного руху з іншими параметрами (якщо рух є стійким). Тому неусталений рух називають перехідним процесом або перехідним режимом ЕП.

Метою розгляду неусталеного руху є отримання залежностей механічних змінних (координат) ЕП – моментів, швидкості і кута обертання вала двигуна від часу, тобто залежностей $M(t)$, $\omega(t)$ і $\varphi(t)$.

Ці залежності виходять вирішенням рівняння механічного руху:

$$\pm M \pm M_c = J d\omega / dt \quad (2.31)$$

де M – момент двигуна;

M_c – момент опору;

J – момент інерції;

А так само диференціального рівняння повороту, що зв'язує кут φ вала двигуна і його швидкість ω .

Механічні характеристики двигуна **2** і виконавчого органу **1**, при яких їх моменти незмінні і тим самим динамічний момент постійний і позитивний (рис. 2.8, а) (t_m – час перехідного процесу).

Рівняння (2.31) в цьому випадку вирішується методом розділення змінних і його рішення має вигляд:

$$\omega = \left[\frac{(M - M_c)}{J} \right] \cdot t + C. \quad (2.32)$$

Постійна інтегрування C знаходиться з початкових умов перехідного процесу: при $t=0$ $\omega=\omega_{\text{поч}}$ і $C=\omega_{\text{поч}}$.

Перехідні процеси неусталеного руху (рис. 2.8) можна розділити на три основні групи:

- з постійним динамічним моментом;
- з динамічним моментом, лінійно залежним від швидкості;
- з довільним динамічним моментом.

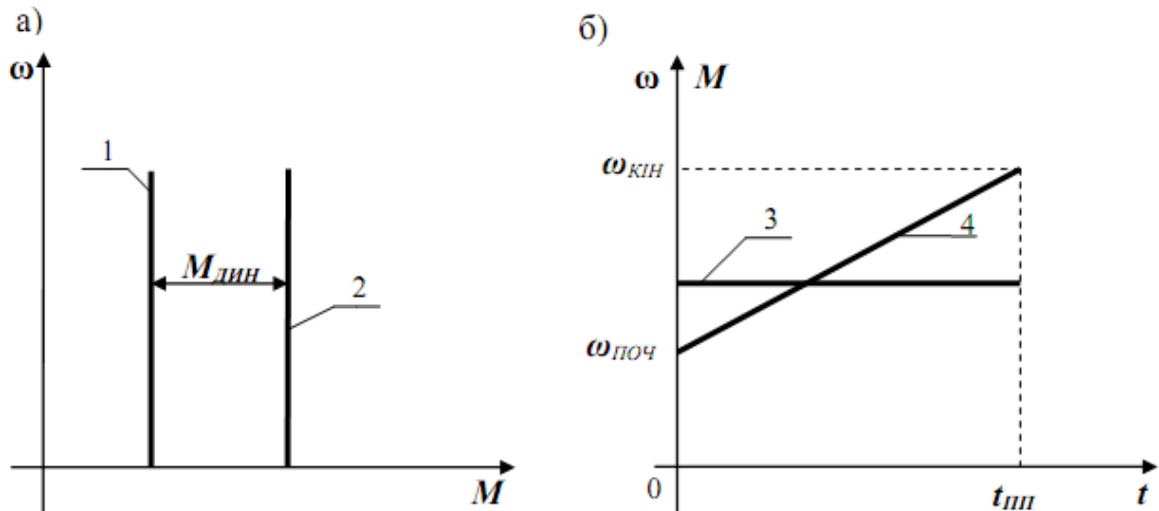


Рис. 2.8 – Механічні характеристики двигуна і виконавчого органу а) і графіки перехідного процесу розгону ЕП б)

$$\omega = \left[\frac{(M - M_c)}{J} \right] \cdot t + \omega_{\text{поч}} \quad (2.33)$$

Отримана формула показує, що в даному випадку швидкість $\omega(t)$ лінійно залежить від часу:

при $(M - M_c) > 0$ вона збільшується (рис. 2.8, б (графік 4)), а при $(M - M_c) < 0$ швидкість знижується.

Момент двигуна від часу не залежить, тому залежність $M(t)$ зображається горизонтальною лінією (рис. 2.8, б (графік 3)).

Час перехідного процесу $t_{\text{пр}}$, за який швидкість змінюється від деякого $\omega_{\text{поч}}$ до кінцевого $\omega_{\text{кін}}$ рівня, визначається:

$$t_{\text{пр}} = \frac{J \cdot (\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}})}{(M - M_c)} \quad (2.34)$$

Самостійна робота №4

Тема: Невстановлений рух електропривода при лінійних механічних характеристиках двигуна і виконавчого механізму

Мета: оволодіти знаннями про нестановлений рух електропривода при лінійних механічних характеристиках двигуна і виконавчого механізму

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Опишіть лінійні механічні характеристик двигуна та виконавчого механізму
- 2 Наведь рівняння руху ЕП.

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Лінійні механічні характеристик двигуна та виконавчого механізму
- 2 Рівняння руху ЕП пр.

При лінійних характеристиках двигуна і виконавчого органу динамічний момент також лінійно залежить від швидкості. Такі перехідні процеси характерні для ЕП з двигунами постійного струму незалежного збудження (рис. 2.9, а).

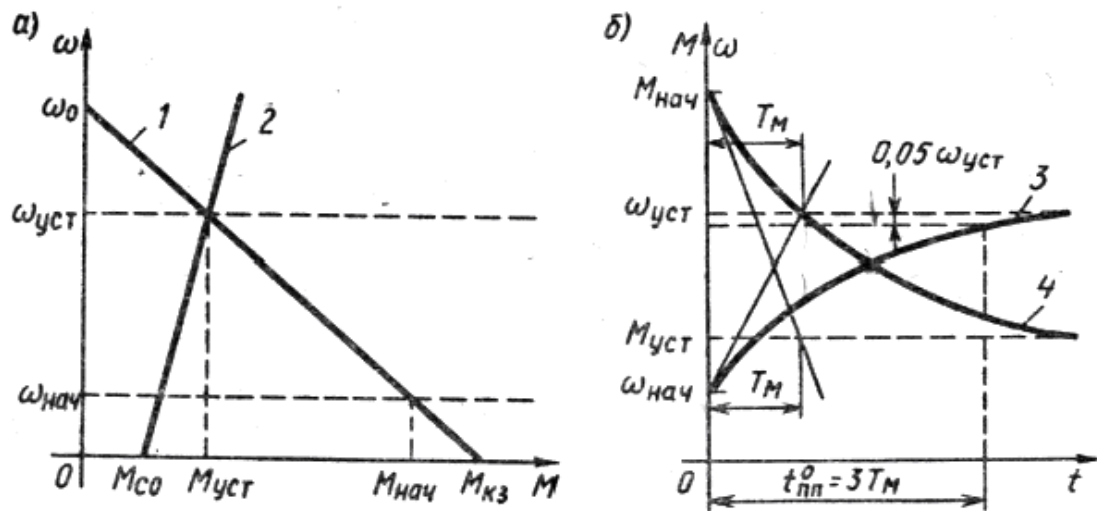


Рис. 2.9 – Лінійні механічні характеристики двигуна і виконавчого органу (а) і графіки перехідного процесу розгону ЕП (б)

На (рис. 2.9, а) показані лінійні механічні характеристики 1 – двигуна, 2 – виконавського органу, побудовані по наступних алгебраїчних рівняннях:

$$\begin{aligned} M &= M_{\kappa} - \beta\omega; \\ M_c &= M_{c0} + \beta_c\omega \end{aligned} \quad (2.36)$$

де M_{κ} – момент двигуна при нульовій швидкості;

M_{c0} – момент виконавчого органу при нульовій швидкості;

β – жорсткість механічної характеристики двигуна;

β_c – жорсткість механічної характеристики виконавчого органу.

Підставивши ці рівняння в рівняння 2.31, отримаємо:

$$M - M_c = M_{\kappa} - \beta\omega - M_{c0} - \beta_c\omega = J \frac{d\omega}{dt} \quad (2.37)$$

Виконав математичні перетворення залежність $\omega(t)$ набуває кінцевого виду:

$$\omega(t) = (\omega_{\text{нач}} - \omega_{\text{уст}})e^{-t/T_M} + \omega_{\text{уст}}. \quad (2.38)$$

Момент двигуна у функції часу:

$$M(t) = (M_{\text{поч}} - M_{\text{уст}})e^{-t/T_m} + M_{\text{уст}} \quad (2.39)$$

З краткого аналізу перехідних процесів розглядаємого прикладу з урахуванням отриманих виражень (2.38 і 2.39) слідує, що швидкість і момент змінюються у часі згідно експоненціальної функцією, характеризуємої постійної часу T_m .

На (рис. 2.9, б) показані криві перехідного процесу $\omega(t)$ -3 і $M(t)$ - 4 при збільшенні швидкості двигуна від $\omega_{\text{поч}}$ до $\omega_{\text{уст}}$ відповідно (рис. 2.9, а), в чому відбивається зв'язок усталеного і перехідного руху ЕП.

Теоретично час досягнення сталого рівня швидкості або моменту (тобто час перехідного процесу) є нескінченно великим. У зв'язку з цим в технічних розрахунках оперують з так званим практичним часом перехідного процесу що приймається зазвичай рівним трьом постійним часу T_m , тобто $t_{\text{пр}} = 3T_m$. За цей інтервал часу швидкість досягає 95% свого усталеного значення.

T_m – параметр має розмірність часу [с], має назву електромеханічною постійною часу.

$$T_m = J / \beta = J\omega_0 / M_{\text{кз}} \quad (2.40)$$

Кількісно T_m дорівнює часу розгону t_p двигуна в на холостому ходу ($M_c=0$) з нерухомого стану ($\omega_{\text{поч}}=0$) до швидкості ідеального холостого ходу $\omega_{\text{кін}}=\omega_0$ під дією пускового моменту $M_{\text{кз}}$.

Самостійна робота №5

Тема: Невстановлений рух електропривода при довільному моменті

Мета: оволодіти знаннями про нестановлений рух електропривода при довільному момен

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Невстановлений рух електропривода при довільному моменті
- 2 Механічні характеристик двигуна та виконавчого механізму
- 3 Графік перехідного процесу руху електропривода

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть нестановлений рух електропривода при довільному моменті
- 2 Приведіть механічні характеристик двигуна та виконавчого механізму
- 3 Приведіть графік перехідного процесу руху електропривода

Перехідні процеси цього вигляду відносяться до випадків, коли моменти двигуна і виконавчого органу є різними, у тому числі і нелінійними функціями швидкості, часу або положення. Основні труднощі набуття шуканих значень залежностей $M(t)$ $\omega(t)$ пов'язані з інтегруванням рівняння руху, яке із-за безлічі можливих варіантів не мають єдиного універсального рішення.

Приклад рішення залежностей $M(t)$ $\omega(t)$ чисельним інтегруванням рівняння руху (методом Ейлера).

На (рис. 2.10) зображені механічні характеристики двигуна 1 і виконавчого органу 2. Отримати залежності $\omega(t)$ – 3 і $M(t)$ – 4 при пуску двигуна, використовуючи чисельний метод Ейлера. Момент інерції ЕП рівний $0,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

Застосування чисельного методу пов'язане із заміною в рівнянні 2.31 диференціалів змінних на їх кінцеві прирости і його запису в наступному вигляді:

$$\Delta t = J \Delta \omega / (M - M_c) \quad (2.41)$$

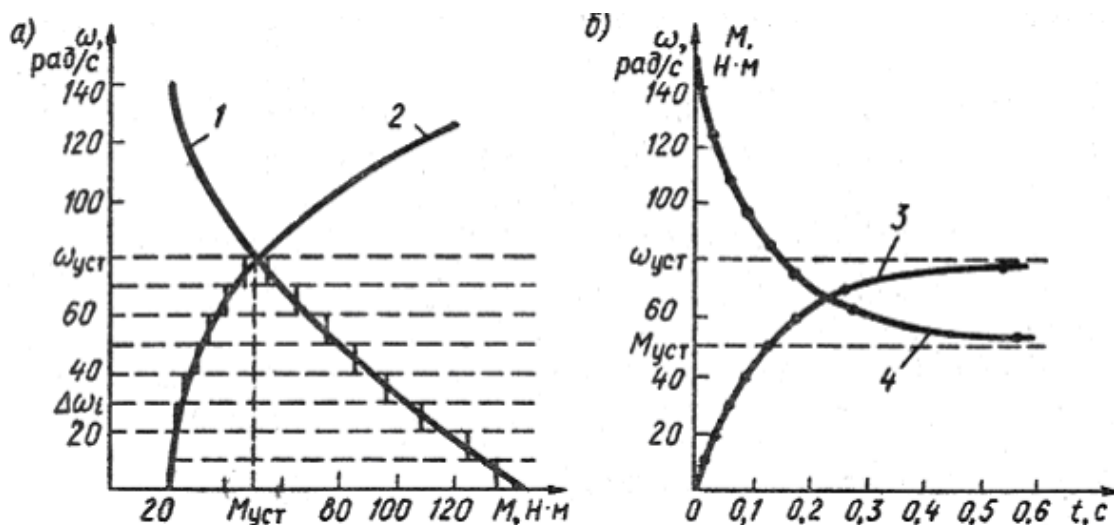


Рис. 2.10 – Механічні характеристики (а) і графіки перехідного процесу (б) Порядок розрахунку кривих $M(t)$ і $\omega(t)$ наступний.

Вісь швидкості розбивається на ряд інтервалів (приростів) $\Delta \omega_i$ (у даному прикладі - 8), які заносяться в табл. 2.1.

По формулі 2.41 для кожного інтервалу швидкості розраховують відповідний інтервал часу Δt_i .

Складанням розрахованих інтервалів часу отримують поточний час перехідного процесу.

Використовуючи дані табл.2.1 будують шукані залежності представлені на (рис. 2.10, б).

Необхідна точність досягається за рахунок вибору величини інтервалів

Таблиця 2.1- Розрахункові данні інтергування

$\Delta\omega_i$ рад/с	$\omega_i = \omega_{i-1} + \Delta\omega_i$ рад/с	M_i Н·М	M_{ci} Н·М	$\Delta t_i,$ с	$T_i = t_{i-1} + \Delta t_i;$ с
10	10	136	20	0.015	0.015
10	20	124	21	0.020	0.035
10	30	108	22	0.023	0.058
10	40	96	25	0.028	0.086
10	50	84	29	0.036	0.124
10	60	74	34	0.050	0.174
10	70	64	40	0.083	0.257
10	80	54	47	0.286	0.543

Самостійна робота №6

Тема: Регулювання координат ЕП

Мета: оволодіти знаннями про регулювання координат ЕП

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Структури ЕП при регулюванні координат
- 2 Робота розімкненого ЕП при регулюванні координат
- 3 Робота замкненого ЕП

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Наведіть Структури ЕП при регулюванні координат
- 2 Опишіть роботу розімкненого ЕП
- 3 Опишіть роботу замкненого ЕП

Залежно від виконуваних функцій, вигляду і кількості регульованих координат і степені автоматизації технологічних процесів реалізація ЕП може бути найрізноманітнішою (рис. 3.1).



Всі ЕП діляться на дві групи – неавтоматизовані і автоматизовані.

Неавтоматизованим називається ЕП, управління яким виконується за допомогою простих засобів оператора. Він здійснює пуск і зупинку ЕП, зміну швидкості і реверсування відповідно до заданого технологічного циклу. Для допомоги операторові ЕП забезпечений необхідними елементами захисту, блокувань і сигналізації.

У автоматизованому ЕП операції управління відповідно до вимог технологічного процесу виконуються системою управління. На оператора покладається тільки функція по включенню і відключенню ЕП на початку і в кінці його роботи, наладці і контролю над його роботою.

Найбільш ефективним і економічно доцільним є автоматизований ЕП.

Всі автоматизовані ЕП діляться, у свою чергу, ще на дві групи – розімкнені і замкнуті.

Робота розімкненого ЕП характеризується тим, що всі зовнішні збурення (наприклад, момент навантаження M_c) впливають на вихідну координату ЕП, наприклад його швидкість. Іншими словами, розімкнений ЕП не відбудований від впливу зовнішніх збурень, всі зміни яких відбиваються на його роботі. Розімкнений ЕП з цієї причини не може забезпечити високої якості регулювання координат, відрізняючись в той же час простою схемою реалізації.

Розімкнені схеми зазвичай застосовуються для забезпечення пуску, гальмування або реверсу двигунів. *У таких схемах ЕП використовується інформація про поточні швидкості, часу, струму (моменту) або шляху, що дозволяє автоматизувати вказані процеси.*

Замкнутий ЕП, як і будь-яка система автоматизованого регулювання, може бути реалізована за принципом відхилення з використанням зворотних зв'язків або принципом компенсації зовнішнього збурення.

Основною відмінною ознакою замкнутих систем є повне або часткове усунення впливу зовнішнього збурення на регульовану координату. Через цю обставину замкнутий ЕП забезпечує якісніше управління рухом виконавчих органів, хоча його схеми виявляються складнішими.

Реалізація принципу компенсації збурюючої дії додатковий сигнал, пропорційний збуренню, подається на вхід ЕП разом з сигналом завдання. В результаті цього сумарний сигнал забезпечує таке управління ЕП, при якому здійснюється компенсація зовнішньої дії і усунення тим самим його впливу на регульовану координату ЕП.

Не дивлячись на всі достоїнства такого управління, широкого застосування в ЕП такий принцип не знайшов, із-за практичної складності реалізації датчиків збурюючих дій, зокрема моменту навантаження M_c .

Особливістю ЕП, побудованого за принципом відхилення, є наявність кола зворотного зв'язку, по якому інформація про регульовану координату подається на вхід ЕП у вигляді сигналу зворотного зв'язку. Цей сигнал порівнюється із задаючим сигналом, і результуючий сигнал (сигнал розузгодження) є керуючим сигналом для ЕП.

Самостійна робота №7

Тема: Регулювання швидкості

Мета: оволодіти знаннями про регулювання швидкості

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Механічний спосіб регулювання швидкості
- 2 Електричний спосіб регулювання швидкості
- 3 Комбінований спосіб регулювання швидкості

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть механічний спосіб регулювання швидкості
- 2 Охарактеризуйте електричний спосіб регулювання швидкості
- 3 Охарактеризуйте комбінований спосіб регулювання швидкості

Регулювання швидкості руху виконавчих органів здійснюється в прокатних станах, підйомно-транспортних механізмах, гірничодобувних і папероробних машинах, металообробних верстатах і так далі. За допомогою ЕП забезпечуються різні швидкості руху виконавчих органів, стабілізація швидкості на заданому рівні, зміна швидкості відповідно до заданого сигналу або заздалегідь заданої програми управління.

Із загальної схеми ЕП, швидкості виконавчого органу і двигуна при обертальному і поступальному русі зв'язані між собою співвідношеннями

$$\omega_{во} = \frac{\omega}{i} \quad (3.1)$$

$$v_{во} = \omega \cdot \rho \quad (3.2)$$

З виразу (3.1) видно, що регулювання швидкості руху виконавчого органу може бути досягнуте дією на механічну передачу або на двигун, або на те і інше одночасно.

Механічний спосіб регулювання пов'язаний із зміною передавального числа i або радіусу приведення ρ механічної передачі при постійній швидкості двигуна. Для його реалізації, при ступінчастому регулюванні використовуються коробки передач, а для плавного регулювання застосовуються варіатори і електромагнітні муфти.

Такий спосіб регулювання застосовується рідко, із-за складності автоматизації технологічних процесів, невисокої надійності.

Електричний спосіб передбачає дію на двигун при незмінних параметрах механічної передачі.

Широке застосування даного способу обумовлене хорошими регульовальними характеристиками, простотою і зручністю використання в загальній схемі автоматизації технологічних процесів і економічності.

Комбінований спосіб знаходить обмежене застосування в основному в ЕП металообробних верстатах.

Управління рухом виконавчих органів в більшості випадків досягається за рахунок цілеспрямованої дії на електродвигун за допомогою його системи управління, що дозволяє регулювати швидкості двигуна і виконавчого органу (рис. 3.2).

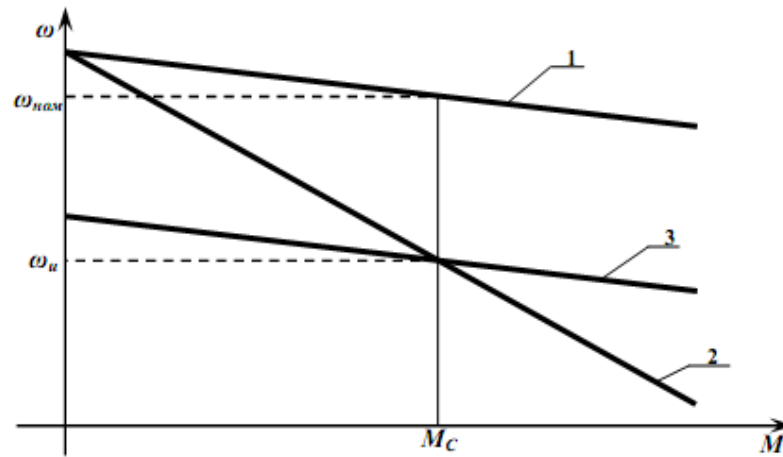


Рис. 3.2 – Характеристики двигуна (ДПСНЗ) при регулюванні швидкості
1 – природна механічна характеристика;

2 – штучна характеристика, при введенні в коло якоря додаткового резистора;

3– штучна характеристика, при зменшенні напруги, що подається на якір.

Обидві ці штучні характеристики забезпечують при моменті навантаження M_c зниження швидкості до рівня ω_u .

Регулювання швидкості оцінюється шістьма основними показниками.

Самостійна робота №8

Тема: Регулювання моменту, струму і положення

Мета: оволодіти знаннями про регулювання моменту, струму і положення

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Регулювання моменту, струму ЕП
- 2 Регулювання положення
- 3 Характеристики двигунів при регулюванні моменту, струму

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Регулювання моменту, струму ЕП
- 2 Регулювання положення
- 3 Точність регулювання моменту, струму

При формуванні заданого графіка руху виконавчих органів часто буває необхідно забезпечувати необхідне його прискорення або уповільнення. Це реалізується за рахунок регулювання прикладеного до виконавчих органів з боку ЕП моменту або зусилля.

Крім того, в деяких технологічних процесах (прокатних станах, виготовлення проводів і кабелю, паперове і текстильне виробництва) потрібно, щоб виконавчі органи робочих машин створювали необхідне натяжіння в оброблюваному матеріалі або виробі. Це забезпечується за допомогою ЕП так само за рахунок регулювання створюваного ним моменту або зусилля на виконавчих органах відповідних робочих машин або механізмів

Іноді потрібно обмежувати момент ЕП для запобігання поломці робочої машини або механізму при раптовому припиненні руху виконавчого органу (буріння свердловини). Основними показниками для оцінювання того чи іншого способу регулювання (обмеження) моменту є точність та економічність.

Розвиваємий електричним двигуном момент M пропорційний перемноженню магнітного потоку Φ і струму I

$$M = k \cdot \Phi \cdot I \quad (3.4)$$

де k – конструктивний коефіцієнт двигуна.

Таким чином, за рахунок зміни цих змінних і може бути досягнене регулювання моменту.

Обмеження струму і моменту є самостійним завданням. Так, при пуску двигунів постійного струму з міркувань нормальної роботи їх колекторно-щіткового вузла струм має бути обмежений на рівні 2÷3 крат його номінального значення. Необхідність обмеження струму виникає і у разі пуску потужних двигунів постійного і змінного струму, коли великі пускові струми можуть привести до неприпустимого зниження напруги живлячої мережі.

При аналізі процесу регулювання струму доцільне поняття про електромеханічної характеристики двигуна (іноді її називають швидкісною). Для двигунів постійного струму незалежного збудження при постійному (нерегульованому) магнітному потоці електромеханічна характеристика повторює механічну. Найпростішим методом регулювання моменту є включення в кола електродвигуна додаткових резисторів або зміною напруги. Регулювання струму та моменту може бути здійснено тільки під час динамічного режиму ЕП, оскільки у усталеному режимі струм та момент двигуна визначається їх механічним навантаженням.

Обмеження струму і моменту у діапазоні від 0 до ω_1 здійснюється за допомогою додаткового резистора R_d в колі якоря (рис. 3.3), який спочатку включається в коло двигуна (характеристика 1), а потім виводиться (шунтується) - характеристика 2. Як видно, регулювання струму і моменту проводиться ступінчато відповідно в межах I_1-I_2 і M_1-M_2 і характеризується невисокою точністю.

Для підвищення точності необхідно використовувати декілька ступенів резисторів, в цьому випадку розмах зміни струму I і моменту M звужиться. Даний спосіб отримав назву параметричного, характеризується простотою реалізації, але недостатньою точністю.

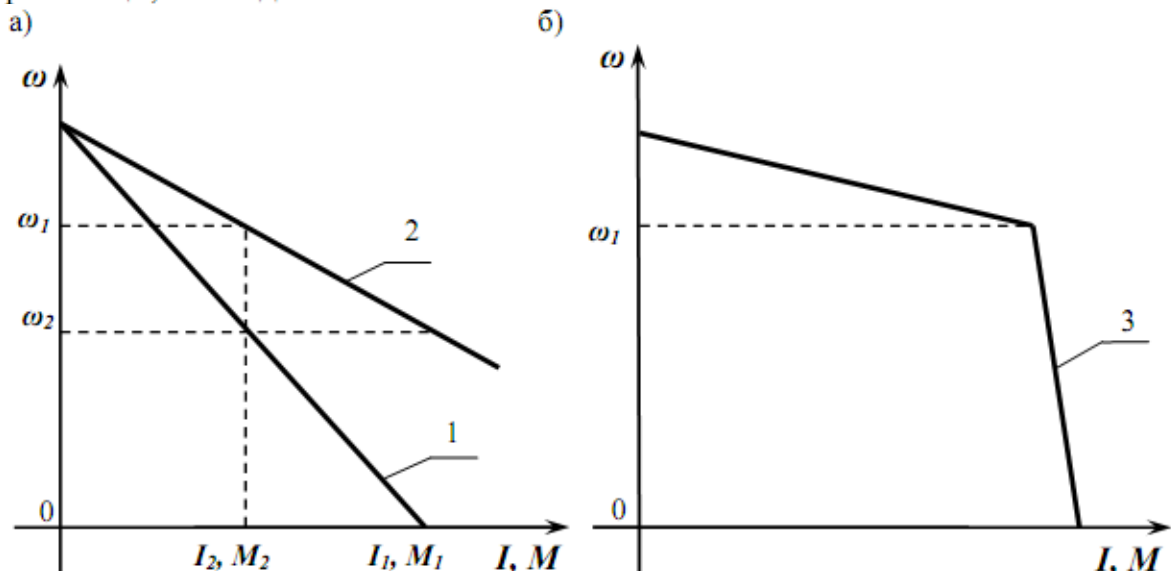


Рис. 3.3 – Характеристики двигунів при регулюванні струму і моменту за допомогою резистора в розімкненому ЕП (а) і в замкнутій системі «перетворювач – двигун» (б)

Самостійна робота № 9

Тема: Схема вмикання і статичні характеристики ДПС незалежного збудження (НЗ)

Мета: оволодіти знаннями про схему вмикання і статичні характеристики ДПС незалежного збудження (НЗ)

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання ДПС незалежного збудження (НЗ)
- 2 Електромеханічна характеристика ДПС НЗ
- 3 Механічна характеристика ДПС НЗ

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Наведіть схема вмикання ДПС незалежного збудження (НЗ)
- 2 Опишіть електромеханічна характеристика ДПС НЗ
- 3 Опишіть механічна характеристика ДПС НЗ

Для здійснення примусового електричного гальмування ЕП двигун має бути переведений в генераторний режим роботи.

Динамічне гальмування ДПС ПЗ.

Цей режим може бути реалізований за двома схемами - з незалежним збудженням і з самозбудженням.

Динамічне гальмування ДПС ПЗ з незалежним збудженням реалізується по схемі рис. 3.7 і аналогічно режиму, розглянутому для ДПС НЗ. Характеристики описуються рівняннями (3.18) і (3.19) і мають вид прямих 1—3, координат, що проходять через початок, як це показано на рис. 3.29.

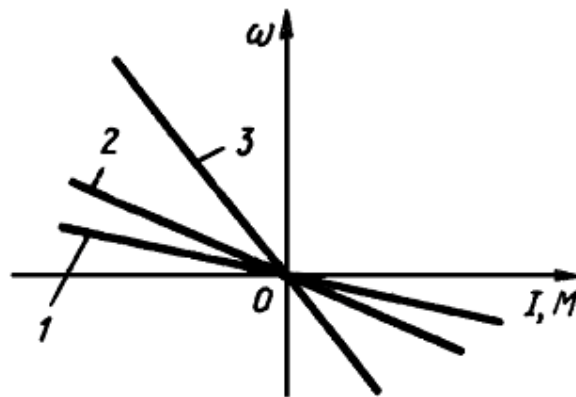


Рис. 3.29 – Характеристики динамічного гальмування з незалежним збудженням ДПС ПЗ

Динамічне гальмування з самозбудженням реалізується в схемі (рис.3.30, а) з послідовним з'єднанням обмоток якоря 1, збудження 2 і резистора 3 (резистор може бути відсутнім).

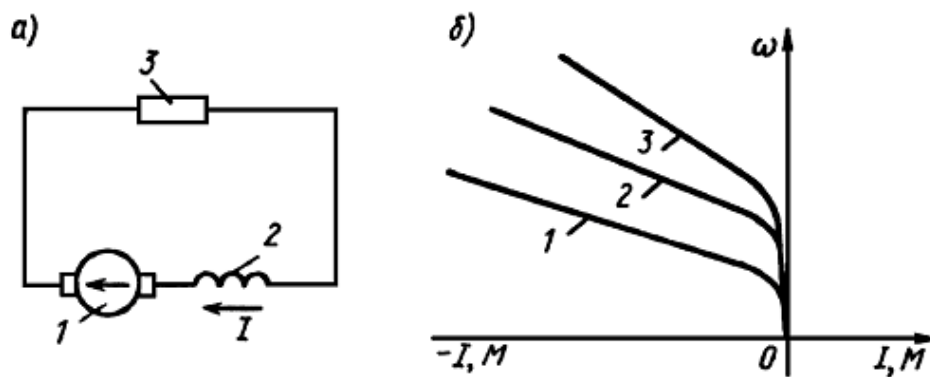


Рис.3.30 – Схема динамічного гальмування ДПС ПЗ з самозбудженням а) та механічні характеристики б)

Динамічне гальмування з самозбудженням відбувається таким чином. За наявності залишкового магнітного поля і обертанні якоря у ньому наводиться ЕРС, під дією якої з якоря і обмотки збудження двигуна почне протікати струм. Цей струм створює основний магнітний потік Φ , який, збігаючись по напрямку із залишковим потоком $\Phi_{ост}$, приведе до збільшення ЕРС. Це, у свою чергу, спричинить збільшення струму в двигуні і такий процес його самозбудження продовжуватиметься до тих пір, поки ЕРС не стане рівною сумарному падінню напруги в колі якоря.

Універсальні характеристики 1—3 ДПС ПЗ в цьому режимі, відповідні різним додатковим опорам, $R_1 < R_2 < R_3$, показані на рис. 3.30, б.

Гальмування противключенням ДПС ПЗ. Цей режим здійснюється змінок полярності напруги на обмотці якоря при збереженні того ж напрямку струму в обмотці збудження (або навпаки). При цьому відповідно до (3.18) змінюється знак моменту двигуна. Для обмеження струму в цьому режимі в колі якоря вводить додатковий резистор 2. Схема включення двигуна, що має ті ж позначення, що і початкова схема рис. 3.21, а, приведена на рис. 3.31, а.

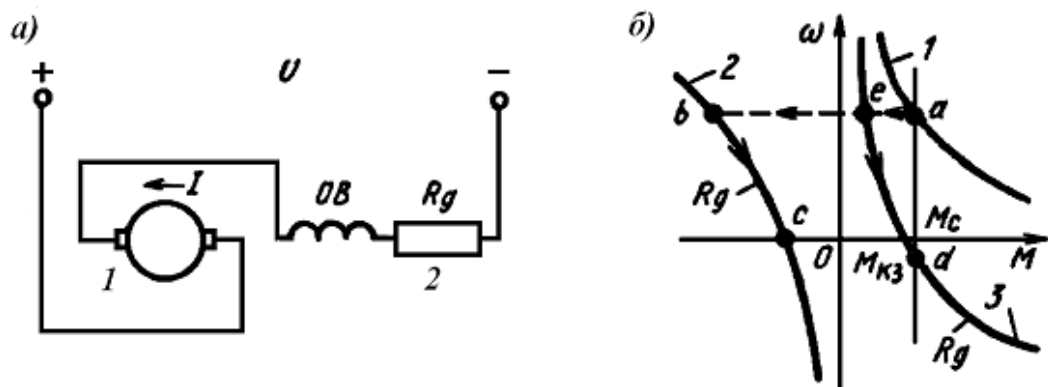


Рис. 3.31 – Схема гальмування противключенням ДПС ПЗ а) і механічні характеристики б)

Процес гальмування ілюструється рис. 3.31, б. До гальмування двигун працював в точці a на характеристиці 1, долаючи момент опору M_c . Після вказаних перемикань і введення в коло якоря додаткового резистора R_d двигун переходить на характеристику 2 в точку b . Починається процес гальмування противключенням, якому відповідає ділянка bc характеристики 2. У точці c

Самостійна робота №10

Тема: Розрахунок регулювальних резисторів в колі якоря

Мета: оволодіти знаннями про метод розрахунку регулювальних резисторів в колі якоря

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Способи пуску ДПС НЗ
- 2 Графікоаналітичний метод визначення пускових резисторів
- 3 Схема вмикання пускових резисторів

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Охарактеризуйте прямий спосіб пуску ДПС НЗ
- 2 Приведіть схема вмикання пускових резисторів
- 3 Опишіть графікоаналітичний метод визначення пускових резисторів

Графоаналітичний метод визначення опорів пускових резисторів

За каталожними даними двигуна будують природну EMX або EMX у відносних одиницях. Оскільки вони ідентичні (2.15), то на рис.2.6, б) побудована електромеханічна характеристика 1. На осі абсцис відкладають значення пускового струму I_1 і струму перемикання I_2 і через них проводять вертикалі.

Після цього будують штучну характеристику III, за якою відбувається пуск двигуна при найбільшому опорі кола ротора R_1 . В момент пуску двигун розвиває пусковий момент M_1 і в колі його якоря проходить пусковий струм I_1 . Двигун розганяється, його швидкість зростає, а пусковий струм зменшується і в т.б досягає значення I_2 .

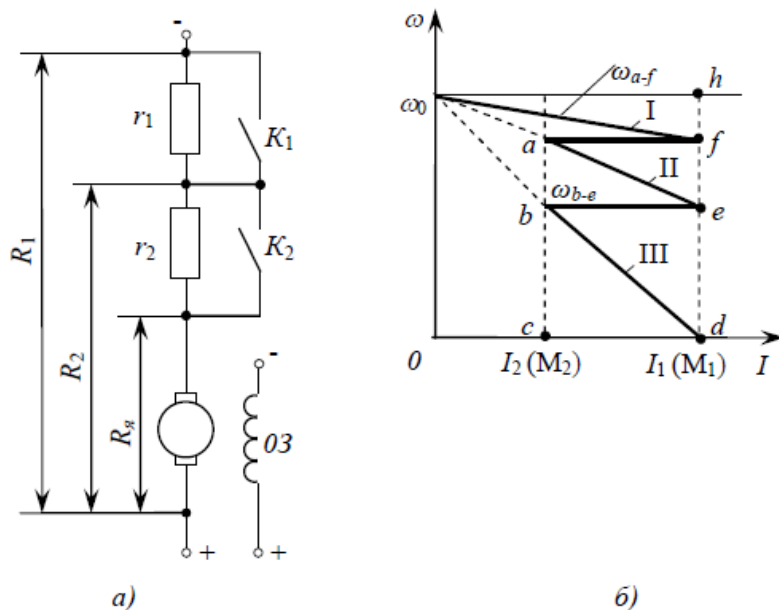


Рис. 2.6 Спрощена схема вмикання пускових резисторів ДПС НЗ (а); пускова діаграма та характеристики для розрахунку опорів пускових резисторів (б)

Контактором прискорення $K1$ закорочують (шунтують) першу секцію r_1 пускового реостата. При цьому швидкість двигуна через інерційність системи ЕД – РМ не може змінитися раптово, а величина струму, якщо не враховувати впливу індуктивності якоря, зростає миттєво до величини I_1 . Далі двигун буде розганятися відповідно до характеристики $(e-a - \omega_0^*)$, при опорі кола якоря R_2 . Пусковий струм знову зменшується до значення I_2 , при якому контактор $K2$ шунтує другу секцію r_2 пускового реостата. Перехід на природну EMX в точку f здійснюється по лінії $a-f$. Якщо в результаті побудови точка f не попаде на природну характеристику I, то слід змінити величини струму I_2 або I_1 і повторити побудову з тим, щоб значення струмів перемикання на всіх характеристиках були однаковими.

Після побудови пускової діаграми проводять горизонталь через ω_0 . Відрізок dh в масштабі дорівнює пусковому опорі R_1 кола якоря. Величини опорів ступенів пускового реостата знаходять безпосередньо з рис.2.6, б):

$$\left. \begin{aligned}
 R_1 &= U_{\text{ном}} / I_1; \\
 R_2 &= eh / dh \cdot R_1; \\
 R_p &= df / dh \cdot R_1; \\
 r_1 &= de / dh \cdot R_1; \\
 r_2 &= ef / dh \cdot R_1; \\
 R_{\text{ж}} &= fh / dh \cdot R_1.
 \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

Внутрішній опір двигуна

Самостійна робота №11

Тема: Перехідні процеси в розімкненій «перетворювач-двигун»

Мета: оволодіти знаннями про перехідні процеси в розімкненій «перетворювач-двигун»

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

1 Розімкнена схема «перетворювач-двигун»

2 Перехідні процеси в розімкненій «перетворювач-двигун»

Література:

1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.

2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.

3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

1 Наведіть розімкнену схему «перетворювач-двигун»

2 Опишіть перехідні процеси в розімкненій «перетворювач-двигун»

Необхідність вивчення перехідних режимів обумовлена рядом суттєвих обставин. Як буде показано нижче, при виборі електродвигуна за потужністю користуються навантажувальними діаграмами, тобто залежностями статичної потужності або статичного моменту виробничого механізму від часу: $P_c = f(t)$ або $M_c = f(t)$. В більшості випадків статичне навантаження на валу двигуна змінюється. Але через наявність махових мас в системі електродвигун – робоча машина момент двигуна змінюється інакше, ніж момент статичного навантаження. Тому доводиться спочатку попередньо вибирати тип і потужність двигуна, розраховувати перехідні процеси, будувати навантажувальну діаграму двигуна і лише тоді перевіряти правильність попереднього вибору.

Прискорення, які виникають у виробничих механізмах і передачах при перехідних процесах, можуть перевищити допустимі значення і привести до поломки окремих ланок кінематичної схеми, псування продукту або порушення вимог техніки безпеки. Тому при проектуванні електроприводів потрібно узгоджувати фактичну тривалість перехідних процесів з допустимою.

Для електроприводів, які тривалий час працюють у перехідних режимах, суттєве значення може мати витрата електроенергії на прискорення або гальмування системи. Ця енергія не виконує корисної роботи, внаслідок чого знижується ККД електропривода.

Ці та інші фактори свідчать, що знання законів перехідних процесів дає можливість вибрати електропривод, який би максимально забезпечував вимоги технологічного процесу при найкращому використанні електродвигунів.

Характери і тривалості перехідних процесів залежать від особливостей робочої машини, типу приводного електродвигуна, механічної передачі, перетворювального і керуючого пристроїв.

Перехід будь-якої системи від одного рівноважного стану до іншого пов'язаний з інерційністю окремих ланок системи. В електроприводах діють три основних види інерції:

- електромагнітна інерція, обумовлена індуктивністю обмоток електродвигунів, трансформаторів, реакторів, апаратів керування;
- механічна інерція робочої машини, двигуна, передачі і апаратів керування;
- теплова інерція електродвигунів та деяких елементів апаратів керування.

У більшості випадків теплові процеси відбуваються набагато повільніше за механічні і електромагнітні, суттєвого впливу на стан електропривода не мають,

Вплив електромагнітної інерції враховують при розрахунку швидкодіючих і точних електроприводів (регульованих, програмно-керованих, слідкуючих та ін.).

У багатьох же випадках, коли не потрібна висока точність розрахунків, обмежуються врахуванням лише механічної інерції. При цьому складається одне диференціальне рівняння руху системи, а співвідношення між електричними величинами описуються алгебраїчними рівняннями.

Самостійна робота №12

Тема: Регулювання швидкості ДПС шунтуванням якоря

Мета: оволодіти знаннями про регулювання швидкості ДПС шунтуванням якоря

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання ДПС
- 2 Механічні характеристики
- 3 Показники регулювання

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Наведіть схему вмикання ДПС
- 2 Охарактеризуйте показники регулювання
- 3 Механічні характеристики ДПС

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

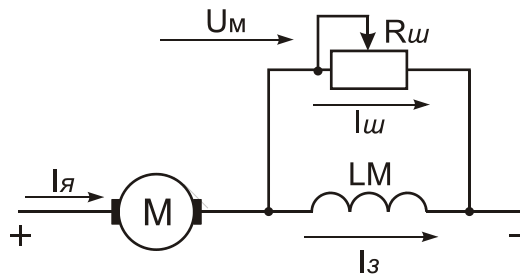


Рисунок 4.18 – Схема зі шунтуванням обмотки збудження.

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

$$I_3 = I_я - I_w$$

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

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

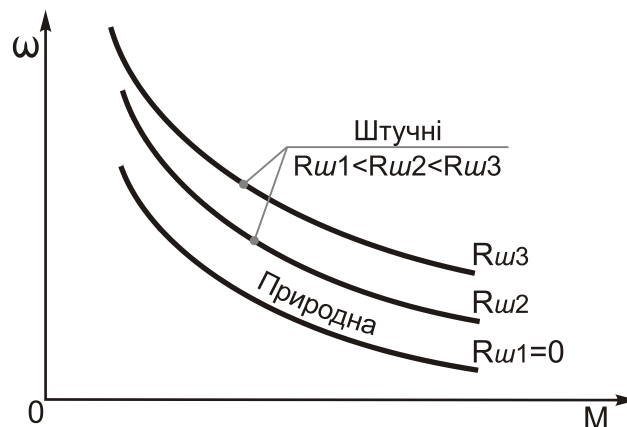


Рисунок 4.19 – Механічні характеристики.

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_w); 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.

Самостійна робота №13

Тема: Регулювання координат в системі «джерело струму-двигун»

Мета: оволодіти знаннями про регулювання координат в системі «джерело струму-двигун»

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання ДПС
- 2 Принцип роботи схеми
- 3 Показники регулювання в системі «джерело струму-двигун»

Література:

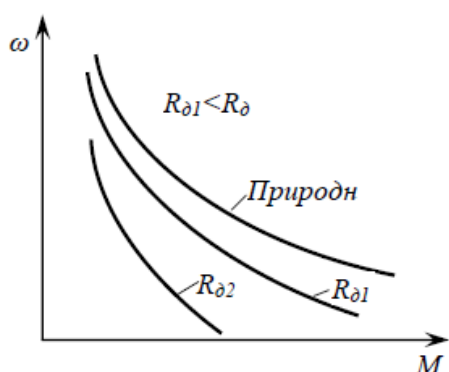
- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Схема вмикання ДПС
- 2 Опишіть принцип роботи системи
- 3 Наведіть основні показники при регулюванні координат в системі «джерело струму-двигун»

Двигуни послідовного збудження широко застосовують в приводах механізмів, де необхідно регулювати швидкість обертання: підйомно-транспортні машини і електромобілі (серії 3ДТ, 4ДТ); двигуни для мотор-колес автосамоскидів з дизель-електричним приводом, для самохідних кранів, електропоїздів, для міського транспорту (серія ДК); тягові двигуни для електровозів (серія ТЛ), тягові двигуни тепловозів (серія ЭД) та ін.

Аналitичні залежності $\omega = f(I_a)$, $\omega = f(M)$ для ДПС ПЗ такі ж, як і для ДПС НЗ. Різниця полягає лише в тому, що у двигунах послідовного збудження магнітний потік нестала величина і залежить від струму якоря. Швидкість обертання ДПС ПЗ можна регулювати резисторами в якорному колі, зміною напруги на якорі та зміною струму збудження.



4.38. Механічні характеристики ДПС ПЗ при регулюванні швидкості обертання резисторами в колі якоря

При введенні додаткового резистора в якорне коло одержимо сімейство штучних механічних характеристик (рис. 4.38). Діапазон реостатного регулювання швидкості становить 2 – 2,5. Модуль жорсткості характеристик при регулюванні знижується. Як правило, опір регулювальних реостатів змінюють ступінчасто, тому плавність регулювання невисока. Напрямок регулювання – тільки вниз від номінальної швидкості. Регулювання здійснюється при $M_c = const$, якщо двигун має незалежну вентиляцію. Для двигунів з самовентиляцією при

зниженій швидкості необхідно відповідно до рекомендацій заводу-виготівника знизити навантаження з метою запобігання їх перегріванню. Цей спосіб регулювання має невисокі економічні показники через значні втрати енергії в регулювальних резисторах. Може використовуватися при короточасній роботі на зниженій швидкості двигуна. Тягові двигуни в ряді випадків мають реостатне регулювання швидкості, оскільки воно надзвичайно просте.

Самостійна робота №14

Тема: Імпульсне регулювання швидкості ЕП з ДПС НЗ

Мета: оволодіти знаннями про імпульсне регулювання швидкості ЕП з ДПС НЗ

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання ДПС
- 2 Принцип роботи схеми
- 3 Характеристики імпульсного регулювання

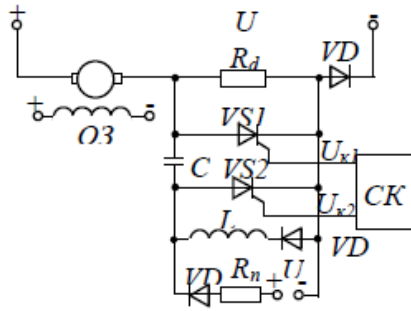
Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

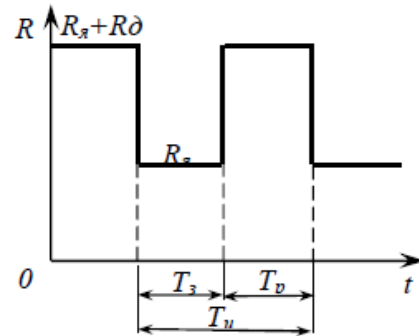
Питання для самоконтролю:

- 1 Наведіть схема вмикання ДПС
- 2 Опишіть принцип роботи схеми
- 3 Переваги та недоліки імпульсного регулювання

Імпульсний спосіб регулювання швидкості ДПС НЗ полягає в тому, що резистор в якорному колі чи колі збудження шунтується за допомогою ключа, в результаті чого напруга на обмотках періодично змінюється. Якщо для шунтування резистора в колі якоря або в колі збудження використовується тиристорний ключ (рис. 4.30), то таку схему можна застосовувати в розімкненій



4.30. Схема імпульсного реостатного регулювання швидкості обертання ДПС НЗ



4.31. Діаграма зміни опору в колі якоря при імпульсному регулюванні

і замкненій системах регулювання швидкості.

Тиристорний ключ працює так. Коло якоря вмикають до джерела з напругою U_a та до малопотужного джерела з напругою U (рис. 4.30). Двигун запускається на штучній характеристиці з введеним резистором R_d . Від джерела напругою U заряджається конденсатор C по колу: $R_n - VD3 - C - R_d$. При подачі сигналу $U_{к1}$ від системи керування CK на тиристор $VS1$ останній відкривається і шунтує резистор R_d . Після подачі сигналу $U_{к2}$ відкривається тиристор $VS2$, що створює коло для розряду конденсатора C через резистор R_d . Зворотний потенціал на резисторі R_d надійно закриває тиристор $VS1$. В коло якоря

вмикається резистор R_d (штучна механічна характеристика). Через $VS2$ до конденсатора C прикладена напруга, що дорівнює спаду напруги на R_d . При наступному відкриванні тиристора $VS1$ шунтується резистор R_d і створює коло для перезарядження конденсатора: $C - VS1 - VD2 - L$. Нижня обкладинка конденсатора має знак плюс. Ключ займає вихідне положення. Система працює в квазіусталеному режимі. При цьому в колі якоря з досить великою частотою 800–1020 Гц вмикається і вимикається резистор R_d . Отже, в колі діє осереднене значення додаткового опору. Режим комутації характеризується шпаруватістю імпульсів (рис. 4.31), яка визначається залежністю:

$$\varepsilon = \frac{t_z}{t_z + t_p},$$

де t_z – тривалість замкненого стану ключа; t_p – тривалість перебування ключа в розімкненому стані. При цьому еквівалентний додатковий опір

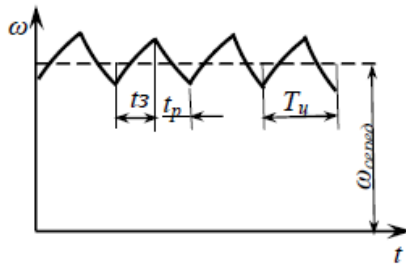
$$R_{d,e} = R_d(1 - \varepsilon).$$

Рівняння електромеханічної і механічної характеристик з урахуванням параметру $R_{\delta, \epsilon}$ матимуть вид:

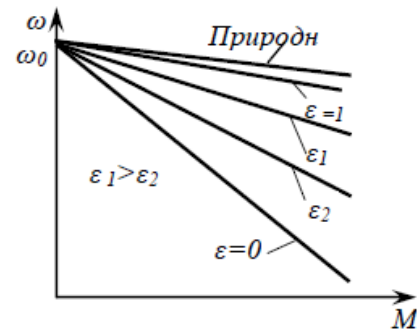
$$\omega = \frac{U - I_{\text{я}} [R_{\text{я}} + R_{\delta} (1 - \epsilon)]}{K\Phi_{\text{ном}}}, \quad (4.38)$$

$$\omega = \frac{U}{K\Phi_{\text{ном}}} - \frac{M [R_{\text{я}} + R_{\delta} (1 - \epsilon)]}{(K\Phi_{\text{ном}})^2}. \quad (4.39)$$

У залежностях (4.38), (4.39) швидкість обертання характеризується



4.32. Діаграма зміни швидкості при імпульсному керуванні резистором у колі якоря



4.33. Механічні характеристики ДПС НЗ при імпульсному регулюванні опору в колі якоря

середнім значенням (рис. 4.32). Період комутації $T_u = t_z + t_p$ при широтно-імпульсному керуванні тиристорним ключем залишається незмінним.

Економічні показники регульованого привода з імпульсним введенням резистора в якірне коло нижчі, ніж при реостатному регулюванні (ступінчасте введення резистора), що пояснюється появою змінної складової в струмі якоря, яка створює додаткові втрати енергії.

Імпульсне регулювання швидкості ДПС НЗ можна також здійснювати зміною опору в колі обмотки збудження. При цьому використовують транзисторні ключі, розраховані на значно меншу потужність ніж тиристорні. Шунтування опору в колі обмотки збудження забезпечує регулювання швидкості обертання двигуна вище номінальної, тобто в другій зоні.

Система з імпульсним регулюванням опорів в якірному колі і колі збудження може працювати в замкненій системі. При цьому значно підвищується модуль жорсткості механічних характеристик, розширюється діапазон регулювання.

Самостійна робота №15

Тема: Схема вмикання і статичні характеристики і режими роботи ДПС послідовного збудження (ПЗ)

Мета: оволодіти знаннями про схему вмикання і статичні характеристики і режими роботи ДПС послідовного збудження (ПЗ)

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання ДПС послідовного збудження (ПЗ)
- 2 Статичні характеристики ДПС (ПЗ)
- 3 Режими роботи ДПС (ПЗ)

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Приведіть схема вмикання ДПС послідовного збудження (ПЗ)
- 2 Опишіть статичні характеристики ДПС (ПЗ)
- 3 Охарактеризуйте режими роботи ДПС (ПЗ)

Нормальна схема вмикання у мережу двигуна постійного струму послідовного збудження показана на рисунку 3.12.

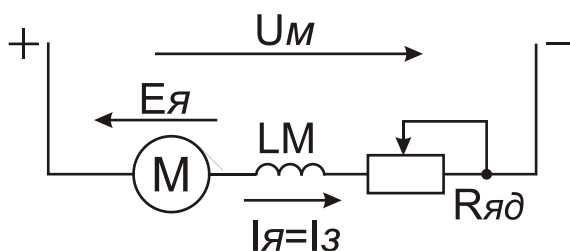


Рисунок 3.12 – Нормальна схема вмикання ДПС ПЗ.

На схемі прийняті такі позначення:

$I_я$ - струм якоря;

$I_з$ - струм збудження;

$R_{яд}$ - додатковий опір у колі якоря.

На відміну від ДПС НЗ тут магнітний потік Φ є функцією струму якоря, оскільки обмотка збудження LM підімкнена послідовно з обмоткою якоря, тобто $I_я = I_з$ отже магнітний потік є і функцією навантаження, бо $I_я = I_{наб}$.

З другого боку залежність магнітного потоку від струму якоря є магнітною характеристикою $\Phi = f(I_я)$ (кривою намагнічування) дивись рисунок 3.13.

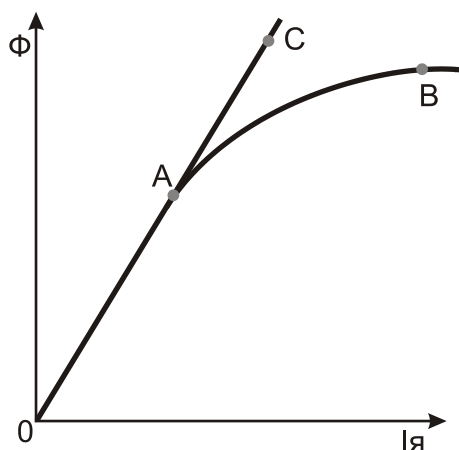


Рисунок 3.13 – Залежність $\Phi = f(I_я)$.

Оскільки крива намагнічування є нелінійною характеристикою й немає точного її аналітичного виразу, то важко одержати й точний аналітичний вираз для механічної характеристики ДПС ПЗ, на відміну від ДПС НЗ.

Для одержання приблизного аналітичного виразу механічної характеристики знехтуємо нелінійною залежністю, якою пов'язані між собою струм $I_я$ й магнітний потік Φ , (вважати цю залежність лінійною) тобто реальну залежність ОАВ на рисунку 3.13 замінити ідеалізованою залежністю

у вигляді прямої ОАС. Це з погляду фізики значить, що сталь двигуна має нескінченну магнітну проникність μ , тобто при будь-якому струмові залишається ненасиченою.

Навіть і з таким припущенням аналітичний вираз механічної характеристики буде досить складним.

Його можна одержати таким чином. При лінійній залежності $\Phi = f(I_{я})$, цю залежність можна записати так: $I_{я} \equiv \Phi$, тобто

$$\Phi = \alpha \cdot I_{я}, \quad (3.21)$$

де α - коефіцієнт пропорційності між Φ і $I_{я}$.

На підставі (3.21) вираз для моменту буде виглядати

$$M = c_m \cdot \Phi \cdot I_{я} \\ M = c_m \cdot \alpha \cdot I_{я} \cdot I_{я} = \alpha \cdot c_m \cdot I_{я}^2 \quad (3.22)$$

де c_m і α - сталі величини.

У загальному вигляді рівняння електромеханічної характеристики ДПС відоме:

$$\omega = \frac{U_m - I_{я} \cdot R_{я}}{c_m \cdot \Phi}. \quad (3.23)$$

Підставивши у рівняння (3.23) значення магнітного потоку з (3.21) одержимо

$$\omega = \frac{U_m - I_{я} \cdot R_{я}}{c_m \cdot \Phi} = \frac{U_m}{c_m \cdot \alpha \cdot I_{я}} - \frac{R_{я}}{c_m \cdot \alpha}. \quad (3.24)$$

Рівняння (3.24) являє собою залежність $\omega = f(I_{я})$, тобто електромеханічну характеристику ДПС ПЗ.

Із рівняння (3.22) значення (для двигуневого режиму) струму буде

$$I_{я} = \sqrt{\frac{M}{\alpha \cdot c_m}} \quad (3.25)$$

Значення струму якоря із (3.25) підставимо у рівняння (3.24), одержимо:

$$\omega = \frac{U_m}{c_m \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{M}{\alpha \cdot c_m}}} - \frac{R_{я}}{c_m \cdot \alpha} \quad (3.26)$$

Рівняння (3.26) являє собою залежність $\omega = f(M)$, тобто механічну характеристику ДПС ПЗ. Математичне тлумачення цього виразу являє собою криву гіперболічного характеру вигляду $y = \frac{A}{x} + B$.

Таким чином, для ненасиченого ДПС ПЗ механічна характеристика має гіперболічну залежність для якої вісь ординат є асимптотою. Особливістю механічної характеристики ДПС ПЗ є її велика крутизна у межах малих значень моменту (струму). Це пояснюється залежністю швидкості не тільки від падіння напруги у якірному колі (як і у ДПС НЗ), а й від зміни магнітного потоку зі зміною струму, особливо при малих значеннях струму.

Рівняння (3.26) дає лише загальне уявлення про механічну характеристику ДПС ПЗ. При розрахунках цим рівнянням користуватися не слід, оскільки МПС з ненасиченою магнетичною системою майже не будують. У наслідок того, що реальні механічні характеристики ДПС ПЗ значно різняться від характеристик виражених рівнянням (3.26), побудову механічних характеристик доводиться виконувати графоаналітичними способами, керуючись даними каталогів, де наводяться природні характеристики ДПС ПЗ $\omega = f(I)$ і $M = f(I)$.

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).

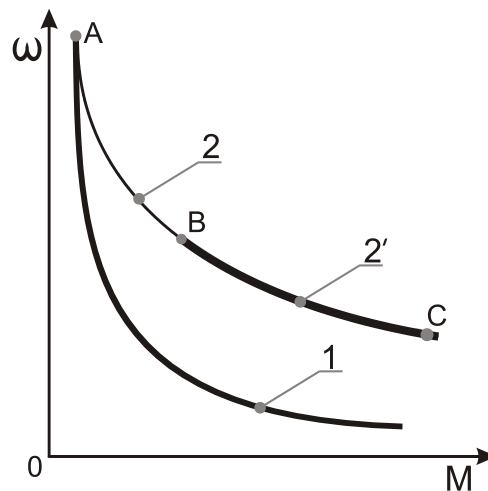


Рисунок 3.14 – Ідеалізована і реальна природні механічні характеристики.

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_{o_2} 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 $\omega \rightarrow \infty$.

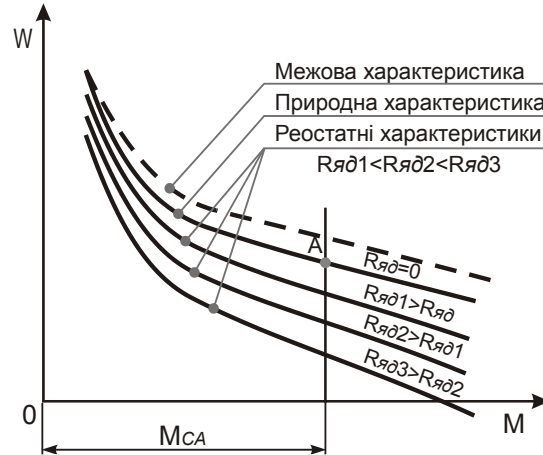


Рисунок 3.15 – Сім'я механічних характеристик.

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 занадто великих 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 якірному колі).

Межова характеристика (природна характеристика ідеалізованого двигуна, що має реальну магнітну систему, але відсутній внутрішній опір якірного кола, тобто $R_{яви} = 0$; $R_{збви} = 0$). 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-й спосіб, $M = c_m \cdot \Phi \cdot (-I_a)$;

2-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).

Самостійна робота №16

Тема: Регулювання координат ЕП з ДПС ПЗ за допомогою резисторів

Мета: оволодіти знаннями про регулювання координат ЕП з ДПС ПЗ за допомогою резисторів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Механічні реостатні характеристики ДПС ПЗ
- 2 Основні показники якості регулювання

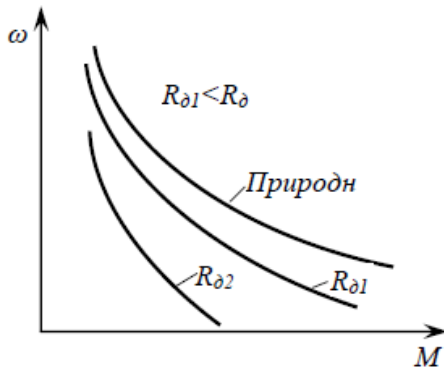
Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть природну характеристику ДПС ПЗ
- 2 Опишіть реостатні характеристики ДПС ПЗ
- 3 Назвіть основні характеристики

Аналітичні залежності $\omega = f(I_a)$, $\omega = f(M)$ для ДПС ПЗ такі ж, як і для ДПС НЗ. Різниця полягає лише в тому, що у двигунах послідовного збудження магнітний потік нестала величина і залежить від струму якоря. Швидкість обертання ДПС ПЗ можна регулювати резисторами в якірному колі, зміною напруги на якорі та зміною струму збудження.



4.38. Механічні характеристики ДПС ПЗ при регулюванні швидкості обертання резисторами в колі якоря

При введенні додаткового резистора в якірне коло одержимо сімейство штучних механічних характеристик (рис. 4.38). Діапазон реостатного регулювання швидкості становить 2 – 2,5. Модуль жорсткості характеристик при регулюванні знижується. Як правило, опір регулювальних реостатів змінюють ступінчасто, тому плавність регулювання невисока. Напрямок регулювання – тільки вниз від номінальної швидкості. Регулювання здійснюється при $M_c = const$, якщо двигун має незалежну вентиляцію. Для двигунів з самовентиляцією при

зниженій швидкості необхідно відповідно до рекомендацій заводу-виготівника знизити навантаження з метою запобігання їх перегріванню. Цей спосіб регулювання має невисокі економічні показники через значні втрати енергії в регулювальних резисторах. Може використовуватися при короточасній роботі на зниженій швидкості двигуна. Тягові двигуни в ряді випадків мають реостатне регулювання швидкості, оскільки воно надзвичайно просте.

Самостійна робота №17

Тема: Регулювання швидкості ДПС зміною напруги якоря

Мета: оволодіти знаннями про регулювання швидкості ДПС зміною напруги якоря

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання ДПС
- 2 Робота схеми та її елементів
- 3 Показники регулювання

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1Приведіть схему вмикання ДПС
- 2Опишіть роботу схеми та її елементів
- 3 Наведіть основні показники регулювання швидкості

Регулювання здійснюється у відповідності до схеми, де живлення якоря забезпечує керований випростувач КП, утворюючи систему перетворювач – двигун (рисунок 4.20).

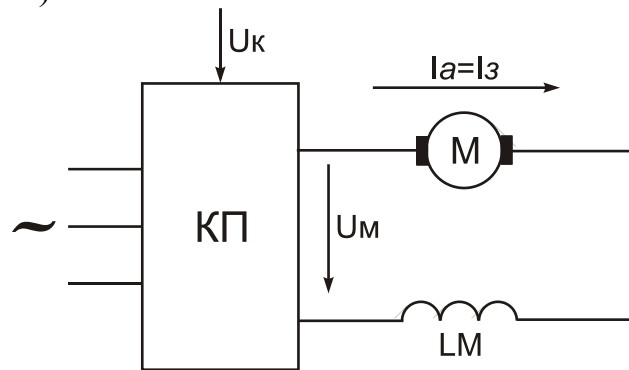


Рисунок 4.20 – Змінювання напруги живлення за допомогою керованого випрямляча.

Вихідна напруга перетворювача U_m регулюється у відповідності до вхідного сигналу керування U_k .

Механічні характеристики ДПС ПЗ мають вигляд зображений на рис. 4.21.

Якщо знехтувати малим внутрішнім опором перетворювача КП (при $U_{1m} = U_{mном}$) характеристику 1 можна вважати природною. При зниженні напруги швидкість ДПС ПЗ зменшується, а штучні характеристики розташовуються нижче природної. Жорсткість характеристик не змінюється при зменшенні напруги, як і раніше вісь абсцис є асимптотою характеристик, бо $I_a \rightarrow 0$; $M \rightarrow 0$; $\Phi \rightarrow 0$; $\omega \rightarrow \infty$.

Показники регулювання у основному відповідають таким, як при регулювання швидкості змінюванням напруги ДПС НЗ.

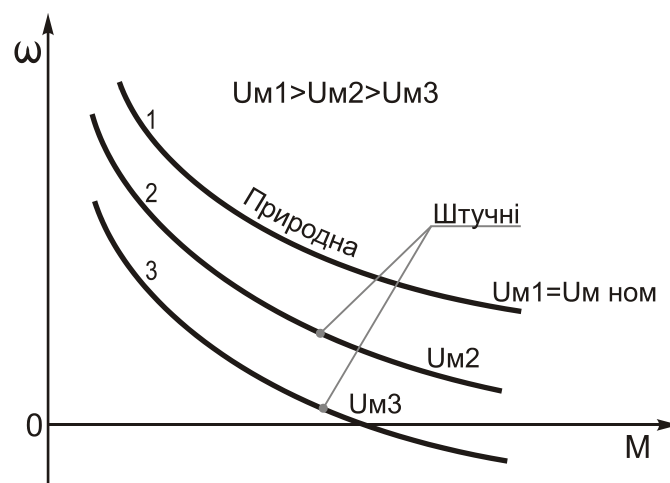
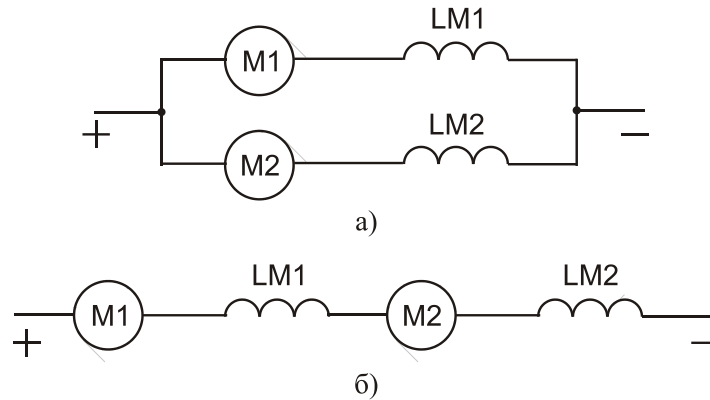


Рисунок 4.21 – Механічні характеристики.

Різновидом способу регулювання швидкості ДПС ПЗ змінюванням напруги живлення двигуна є змінювання схеми вмикання ДПС ПЗ у багатодвигуневому приводі, коли декілька однакових ДПС ПЗ працюють на

спільний вал. Така система знаходить застосування на транспорті (електровози, тепловози, трамваї й таке інше), потужних металургійних кранах та іншому важкому металургійному обладнанні, наприклад, доменний підіймач.

Змінювання напруги, що підводиться до кожного двигуна, здійснюється за рахунок схеми паралельно-последовного з'єднання двигунів між собою (рисунок 4.22).



- а – паралельне з'єднання двигунів;
- б – послідовне з'єднання двигунів.

Рисунок 4.22 – Змінювання напруги живлення за допомогою схеми з'єднання двигунів між собою.

Так для дводвигуневого електропривода при паралельному з'єднанні двигунів (фрагмент а рисунка) на кожний двигун припадає повна (номінальна) напруга й двигуни обертаються з відповідною швидкістю, а при послідовному з'єднанні двигунів (фрагмент б рисунка) на кожний двигун припадає половинна напруга, і двигуни обертаються з удвоє меншою швидкістю. Отже цей спосіб є ступінчастим регулюванням. Нижче наведені характеристики такого регулювання, дивись рисунок 4.23.

Таким чином, маємо два значення швидкості без додаткових втрат енергії на регулювання. При пуску ЕП двигуни з'єднують послідовно, щоб мати меншу швидкість для полегшення умов пуску.

З метою повного використання двигунів регулювання слід проводити при незмінному навантажувальному моменті рівному номінальному.

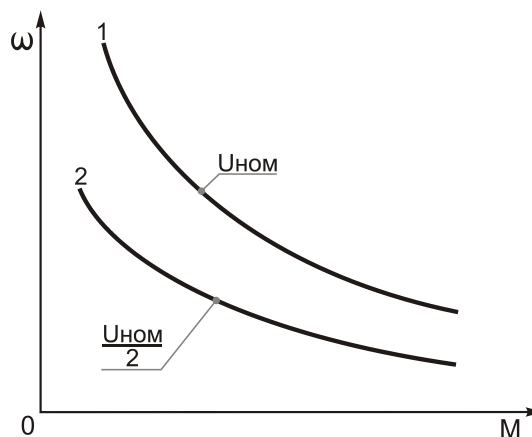


Рисунок 4.23 – Механічні характеристики.

Самостійна робота №18

Тема: Гальмування ЕП з ДПС

Мета: оволодіти знаннями про гальмування ЕП з ДПС

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Динамічне гальмування ЕП з ДПС
- 2 Гальмування проти включенням
- 3 Динамічне гальмування ЕП з ДПС з самозбудженням

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть динамічне гальмування ЕП з ДПС
- 2 Дайте характеристику гальмуванню проти включенням
- 3 Опишіть динамічне гальмування ЕП з ДПС з самозбудженням

Режим гальмування протипротивв'їмкненням є основним гальмівним режимом ДПС ПЗ. Він знаходить широке застосування у вантажопіднімальних механізмах (з активним статичним моментом) й у механізмах пересування та повороту (з реактивним статичним моментом).

При роботі у гальмівному режимі протипротивв'їмкненням у якірне коло двигуна вмикається додатковий резистор для збільшення опору з метою обмеження струму якоря. Режим гальмування буде можливо здійснити, якщо рушійний момент навантаження стане більшим момента короткого замкнення M_k двигуна. Навантаження двигуна при протипротивв'їмкненні повинне бути обмежено припустимим значенням струму якірного кола.

Гальмування протипротивв'їмкненням ДПС ПЗ здійснюється за тих же умов, що й для ДПС НЗ. Маємо також два випадки.

1-й випадок. Якір двигуна під дією зовнішнього момента або сил інерції обертається в одному напрямку, а обмотки двигуна увімкнені на обертання у зворотному напрямку (другими словами, обмотки двигуна увімкнені на один напрямок обертання, а двигун за рахунок зовнішнього момента обертається навпаки, у протилежному напрямку). Тобто гальмування відбувається при активному статичному моменті (умова гальмування $M_c > M_k = M_{пуск}$). Механічна характеристика у цьому випадку (рисунок 3.17) є продовження реостатної характеристики двигунного режиму у 4-й квадрант – у зону від'ємних швидкостей. Процес відбувається так. Двигун вантажопідіймального механізму у двигуневому режимі з ustalеною швидкістю піднімає вантаж (точка А) тут ustalений режим: момент опору M_{CA} (по характеристиці 3) дорівнює рушійному моменту двигуна M_A (по характеристиці 1). Вводиться резистор у якірне коло, ДПС ПЗ переходить на реостатну характеристику 2 (точка В); тут рівновага порушується – момент опору вантажу залишається незмінним M_{CA} , а рушійний момент M_B зменшиться.

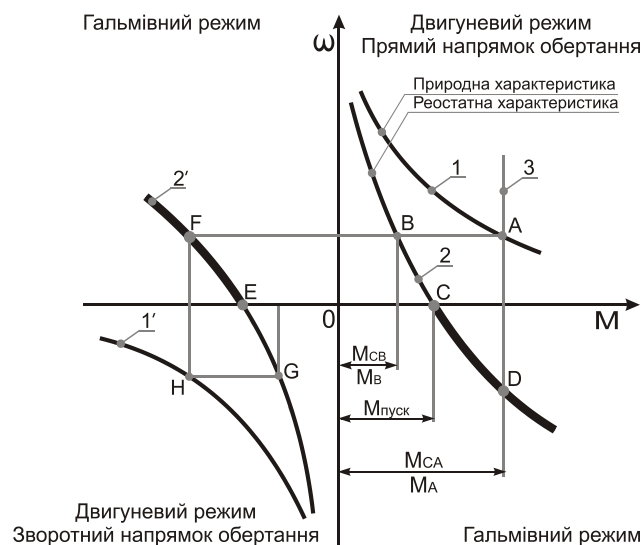


Рисунок 3.17 – Характеристики гальмування.

Під дією надлишку статичного моменту вантажу швидкість піднімання вантажу почне зменшуватись по характеристиці 2 у напрямку від В до С. У точці С швидкість стане рівною нулю $M = M_k = M_{\text{пуск}}$ і при подальшій дії надлишку моменту (статичного) вантажу двигун почне обертатись у протилежний бік, а вантаж почне опускатися; у точці Д момент рушійний двигуна M_A (по характеристиці 2) буде дорівнювати моменту опору вантажу M_{AC} (по характеристиці 3), тобто буде усталене гальмівне опускання вантажу. Зміна напрямку обертання двигуна обумовлює зміну знака е.р.с. E_g набуває напрямку узгодженого з напрямком напруги живлення (генератор послідовно з'єднаний з мережею) – виконується основна ознака противвімкнення.

2-й випадок. Гальмування за рахунок накопичення механізмом кінетичної енергії (з реактивним статичним моментом) шляхом зміни полярності живлення якорного кола двигуна під час його обертання у відповідності до схеми, що використовується при реверсі двигуна (дивись рисунок 3.16). Фізичні процеси гальмування аналогічні такому випадку для ДПС НЗ, тобто е.р.с. спрямована узгоджено з напругою мережі (генератор підімкнений послідовно з мережею), а момент двигуна спрямований проти напрямку обертання двигуна.

Нехай до зміни полярності двигун працював на природній характеристиці у точці А й долав момент опору вантажу M_{CA} (дивись характеристики на рисунку 3.17).

Для того, щоб здійснити гальмування слід у коло якоря ввести додатковий опір для обмеження величини струму при противвімкненні – двигун перейде працювати на реостатну характеристику 2 у точку В, залишившись у двигуневому режимі і виконати противвімкнення, причому струм якоря й момент двигуна миттєво змінять свій знак, а рухома частина двигуна у наслідок дії інерції ще збереже свою кутову швидкість (величину й напрямок), тобто робота двигуна перейде на точку F у другий квадрант (змінивши напрямок струму й момента). Під впливом дії гальмівного моменту двигуна буде компенсуватись кінетична енергія, що накопичена у обертальних частинах привода й швидкість буде зменшуватись по статичній характеристиці 2' від точки F до точки Е, у якій повністю погаситься накопичена енергія й двигун зупиниться (швидкість буде дорівнювати нулю).

На цьому процес гальмування завершився, але на якорі продовжує діяти момент двигуна, і щоб двигун під дією цього момента не почав обертатись у протилежному напрямку (3-й квадрант), у точці Е двигун слід відімкнути від мережі.

Якщо у точці Е двигун не відімкнути від мережі, то він почне обертатись у протилежний бік у двигуневому режимі зворотного обертання по реостатній характеристиці (від Е до G і далі).

Такі особливості гальмування двигунів з реактивним статичним моментом (усіх типів взагалі) мають два наслідки:

- якщо мета була загальмувати двигун до повної зупинки, а автоматика не спрацьована, то рух привода у протилежний бік може привести до аварій та нещасних випадків (наприклад привод повороту стріли крана переміщує вантаж, а за вантажем йде такелажник);

- звичайний реверс будь-якого двигуна на ходу електричними методами автоматичного супроводжується гальмівним моментом з реактивним статичним моментом для швидкості первинного напрямку обертання.

Самостійна робота №19

Тема: Властивості і характеристики ЕП з ДПС змішаного збудження

Мета: оволодіти знаннями про властивості і характеристики ЕП з ДПС змішаного збудження

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання ДПС ЗЗ
- 2 Статичні характеристики ДПС ЗЗ
- 3 Основні показники регулювання

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Наведіть схему вмикання ДПС ЗЗ
- 2 Опишіть статичні характеристики ДПС ЗЗ
- 3 Основні показники регулювання

Самостійна робота №20

Тема: Статичні характеристики ДПС 33 у гальмівних режимах

Мета: оволодіти знаннями про статичні характеристики ДПС 33 у гальмівних режимах

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Рекуперативне гальмування ДПС 33
- 2 Схеми рекуперативного гальмування ДПС 33
- 3 Гальмування проти ввімкненням ДПС 33

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Охарактеризуйте способи гальмування ДПС 33
- 2 Опишіть схему ввімкнення з зашунтованою обмоткою
- 3 Опишіть схему з вимкненою обмоткою

На відміну від ДПС ПЗ, двигун, що розглядається має усі три способи електричного гальмування:

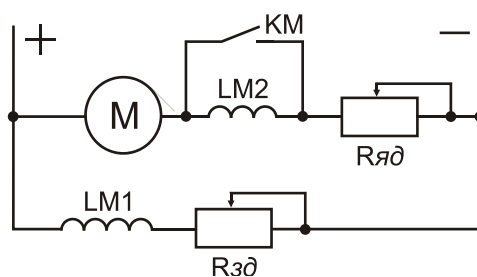
- рекуперативне;
- противвімкненням;
- динамічне.

Можливість рекуперативного гальмування обумовлена наявністю магнітного потоку обмотки НЗ. Незалежний потік дозволяє двигуну при досягненні швидкості, що перевищує швидкість ідеального неробочого ходу ω_0 , перейти у режим рекуперативного гальмування (генераторний з віддачею енергії в мережу). Однак при віддачі енергії у мережу напрямку струму в якорі й обмотці ПЗ зміниться на протилежний, і тому м.р.с. обмотки ПЗ при цьому буде здійснювати розмагнічувальну дію, що викличе уповільнене збільшення гальмівного моменту з ростом струму.

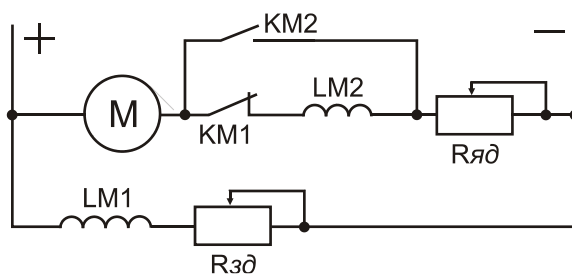
Щоб цього не трапилось йдуть двома шляхами.

1-й шлях. Змінити напрямку струму в обмотці ПЗ. Цей шлях складний, ним майже не користуються.

2-й шлях. Цей шлях широко використовується



а)



б)

а – з зашунтованою обмоткою LM2;

б – з вимкненою обмоткою LM2;

Рисунок – Схема рекуперативного гальмування.

Тут ДПС МЗ перетворюють у ДПС НЗ для чого обмотку ПЗ (LM2) або закорочують шунтвним контактором КМ (рисунок, фрагмент а), або вимикають (рисунок, фрагмент б), у цій схемі додатково використовуються два контактори (КМ1 розмикається, КМ2 замикається) замість одного, як це передбачено схемою фрагмента а.

Таким чином, при рекуперативному гальмуванні машина працює як генератор незалежного збудження. Тому механічні характеристики прямолінійні (характеристики 1' й 2'), як і у двигуна незалежного збудження. Характеристики 1'' й 2'' для випадку коли б обмотка послідовного збудження була б не зашунтована й зрєверсована.

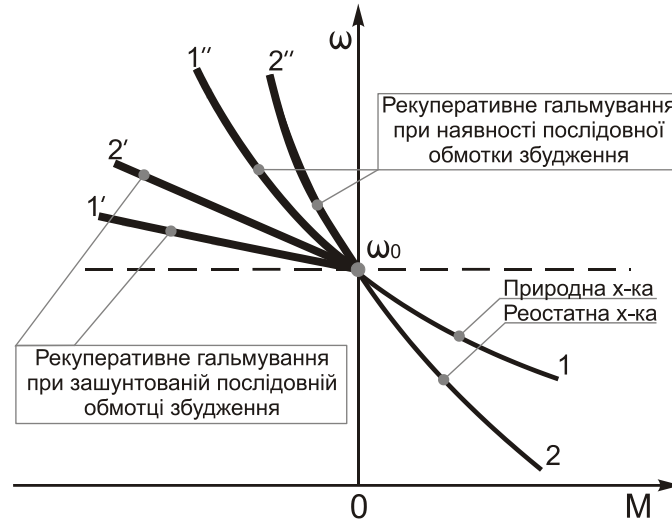


Рисунок – Характеристики рекуперативного гальмування.

Гальмування противімкненням суттєво не відрізняється від таких ДПС, що раніш розглядались. Наприклад при активному статичному моменті опору й великих значеннях додаткового опору у якірному колі $R_{я0}$ під дією потенціального момента (якщо статичний момент стане більше момента, що розвиває двигун) переходить у режим гальмування противімкненням з активним статичним моментом, рисунок. Характеристики розташовані у 4-му квадранті, як і раніш, з ростом опору якірного кола жорсткість характеристик падає ($R_{я01} < R_{я02} < R_{я03} < R_{я04}$), характеристики нелінійні. Нелінійність пояснюється, як і раніше, впливом м.р.с. обмотки ПЗ, яка змінюється, за рахунок зміни величини струму навантаження.



Рисунок – Характеристики гальмування.

Самостійна робота №21

Тема: Динамічне гальмування ДПС 33

Мета: оволодіти знаннями про електродинамічне гальмування ДПС 33

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання при електродинамічному гальмуванні ДПС 33
- 2 Принцип роботи та складові схеми
- 3 Основні показники роботи

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Приведіть схему вмикання при електродинамічному гальмуванні ДПС 33
- 2 Опишіть принцип роботи та складові схеми
- 3 Опишіть схему з вимкненою обмоткою ПЗ

Динамічне гальмування ДПС ЗЗ реалізується (у відповідності до схеми, рисунок) також двома шляхами:

- при увімкненій обмотці ПЗ;
- при вимкненій обмотці ПЗ.

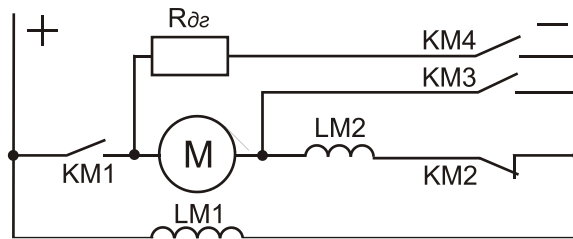


Рисунок – Схема динамічного гальмування.

Двигуневий режим: при замкненому контакторі КМ2 й розімкнених контакторах КМ3 й КМ4 вмикається лінійний контактор КМ1.

1-й шлях динамічного гальмування при увімкненій обмотці ПЗ (LM2): лінійний контактор КМ1 розімкнений, контактор КМ3 також розімкнений, контактори КМ4 й КМ2 – увімкнені. При цьому обмотка ПЗ буде розмагнічувати машину, а отже й зменшувати гальмівний момент, якщо при цьому не зрєверсувати струм якоря або струм обмотки ПЗ. Якщо це виконати, то магнітний потік обмотки ПЗ стане, навпаки намагнічувальним (відносно потоку обмотки НЗ), гальмівний момент збільшиться. Але це на практиці не застосовується, оскільки реверс струму якоря або обмотки ПЗ (додатково до самої схеми динамічного гальмування) ускладнює схему гальмування у цілому.

Таким чином має застосування 2-й шлях динамічного гальмування при вимкненій обмотці ПЗ (рисунок 3.29).

Тут при вимкненому лінійному контакторі КМ1 та вимкненому контакторі КМ2, вмикаються контактори КМ3 й КМ4. Тобто ДПС МЗ працює як звичайний ДПС НЗ. Той факт, що гальмування здійснюється при неповному магнітному потоці не має суттєвого значення, оскільки ефективність гальмування може бути підвищена за рахунок зростання струму якоря шляхом зменшення величини додаткового опору якірного кола.

Характеристики 1 й 2 відповідають динамічному гальмуванню при наявності струму в обмотці ПЗ, тому вони нелінійні. Характеристики 1' й 2' відповідають динамічному гальмуванню без обмотки ПЗ, тобто тільки при наявності обмотки НЗ, тому вони лінійні (рисунок).

Таким чином, ДПС МЗ у гальмівних режимах працює менш ефективно із-за розмагнічувальної дії обмотки ПЗ відносно магнітного потоку обмотки НЗ. Усунення цього недоліку зміною полярності струму якоря або обмотки ПЗ при переході у генераторний режим є недоцільним із-за ускладнення схеми електричного гальмування.

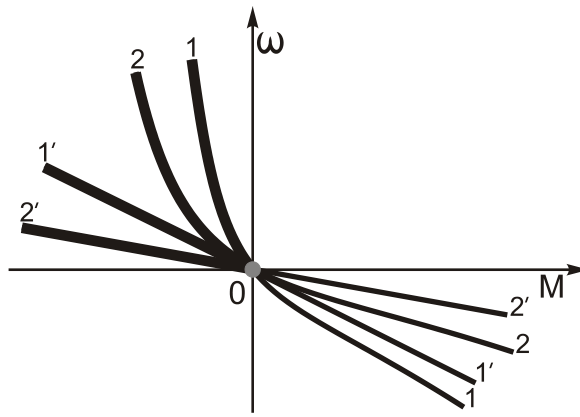


Рисунок – Характеристики гальмування.

У реальних умовах ця проблема вирішується просто: у більшості випадків гальмувань обмотку ПЗ виключають із процесу гальмування або шунтуючи її, або просто вимикаючи її. Тоді залишається тільки обмотка НЗ і характеристики ДПС МЗ стають аналогічними характеристикам ДПС НЗ.

Самостійна робота №22

Тема: Динамічне гальмування ДПС ПЗ

Мета: оволодіти знаннями про електродинамічне гальмування ДПС ПЗ

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схема вмикання при електродинамічному гальмуванні ДПС ПЗ
- 2 Принцип роботи та складові схеми
- 3 Основні показники роботи

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Приведіть схему вмикання при електродинамічному гальмуванні ДПС ПЗ
- 2 Опишіть принцип роботи та складові схеми
- 3 Опишіть схему при самозбудженні ДПС ПЗ

Режим динамічного гальмування ДПС ПЗ може здійснюватись двома способами:

- гальмування при самозбудженні машини постійного струму (МПС);
- гальмування при незалежному збудженні МПС.

Гальмування при самозбудженні розповсюджений більш широко, при цьому якір й обмотка збудження відмикаються від мережі й замикаються на гальмівний резистор $R_{д.з.}$ відповідно до схеми, рисунок .

Тут КМ1 увімкнений, КМ2 вимкнений – двигуневий режим, а КМ1 вимкнений, КМ2 увімкнений – гальмівний.

Цей спосіб гальмування не потребує зовнішнього джерела живлення для його реалізації, що обумовило його широке застосування, особливо у випадках аварійного гальмування, де незалежність від джерела живлення є обов'язковою умовою застосування гальмування.

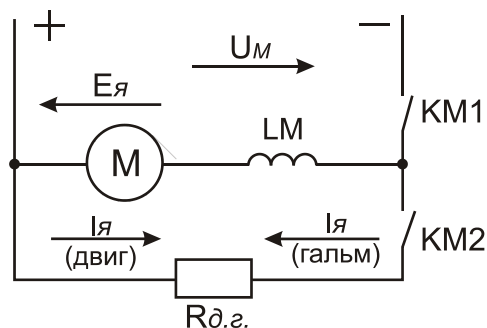


Рисунок – Схема гальмування при самозбудженні МПС.

Після відімкнення двигуна від мережі якір його продовжує обертатись за рахунок накопиченої кінетичної або потенціальної енергії. При такому обертанні за рахунок залишкового намагнічування у якорі буде індуктуватись е.р.с. При виконанні усіх умов самозбудження піде процес самозбудження (наведна е.р.с. збільшить струм, який, у свою чергу, підсилить магнітний потік, а той, у свою чергу, збільшить е.р.с.).

Із сказаного випливає, що для виникнення й розвитку самозбудження необхідно, щоб напрямок струму в обмотці збудження співпадав з напрямком струму в цій же обмотці у режимі роботи двигуна, що передувало гальмуванню, якщо при цьому напрямок обертання двигуна не змінювався.

Наприклад, якщо режиму динамічного гальмування з самозбудженням передувало двигуневий режим, то для сформульованої умови необхідно перемкнути полярність обмотки збудження (або якоря), оскільки у двигуневому режимі напрямок струму співпадає з напрямком напруги мережі, тоді як у гальмівному він повинен співпадати з напрямком е.р.с. ($E_я$) якоря (дивись рисунок). Тут гальмівному режиму (КМ1 вимкнено, КМ2 увімкнено) передувало двигуневий режим (КМ1 увімкнено, КМ2 вимкнено).

Механічні характеристики динамічного гальмування при самозбудженні (рисунок) розташовані у другому квадранті, мають більшу жорсткість при менших значеннях опору (як і для ДПС НЗ).

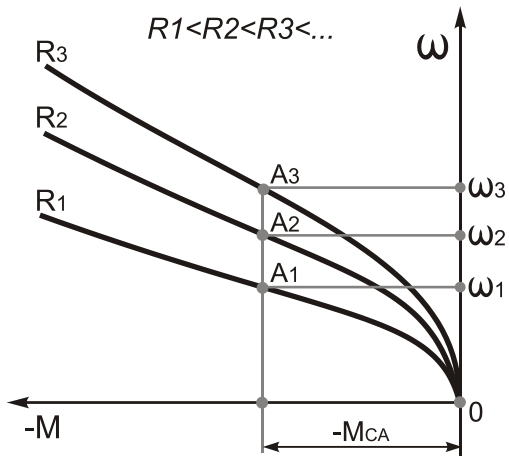


Рисунок – Характеристики при самозбудженні МПС.

Самостійна робота №23

Тема: Аналіз механічної характеристики АД, у вигляді спрощеної формули Клосса

Мета: оволодіти знаннями механічні характеристики АД, у вигляді спрощеної формули Клосса та провести аналіз

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Аналіз характеристики в зоні малих ковзань
- 2 Аналіз характеристики в зоні великих ковзань
- 3 Аналіз характеристики в зоні невизначеності

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Охарактеризуйте ділянку характеристики в в зоні малих ковзань
- 2 Охарактеризуйте ділянку характеристики в в зоні великих ковзань
- 3 Опишіть характеристики в зоні невизначеності

Цю характеристику (рисунок 3.34) можна розділити на дві ділянки.

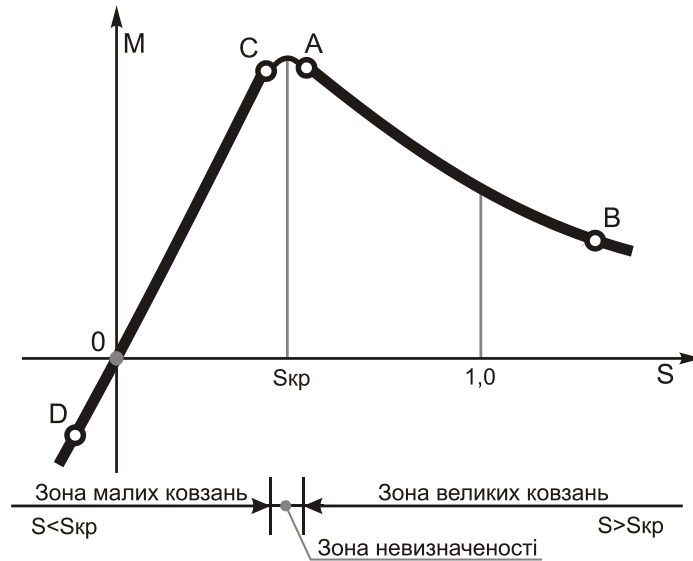


Рисунок – До аналізу механічної характеристики АД у координатах $M = f(S)$.

1-а ділянка. При великих значеннях ковзання $S > S_{кр}$ можна знехтувати другим членом знаменника формули (3.39) $\frac{S_{кр}}{S} \rightarrow 0$, тоді формула (3.39) перетвориться у такий вигляд

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{S}{S_{кр}}}; \quad M = 2M_{\max} \cdot \frac{S_{кр}}{S}; \quad M = \frac{A}{S}, \quad (1)$$

де $A = 2M_{\max} \cdot S_{кр}$ - стала величина.

Рівняння (1) у вигляді $M = \frac{A}{S}$ з погляду математики тлумачиться рівнянням гіперболи ($y = \frac{1}{x}$).

Таким чином ділянка характеристики \overline{AB} , тобто великих значень ковзання $S > S_{кр}$, являє собою гіперболічну залежність момента від ковзання як видно ця ділянка поширюється на двигуневий режим неробочої частини та на увесь режим гальмування протиувімкненням.

2-га ділянка. При малих значеннях ковзання $S < S_{кр}$ можна знехтувати першим членом знаменника формули Клосса (1) $\frac{S}{S_{кр}} \rightarrow 0$, тоді формула (1) перетвориться у такий вигляд:

$$M = \frac{2M_{\max}}{S_{кр}} ; M = 2M_{\max} \cdot \frac{S}{S_{кр}} ; M = B \cdot S, \quad (2)$$

де $B = \frac{2M_{\max}}{S_{кр}}$ - стала величина.

Рівняння (3.42) у вигляді $M = B \cdot S$ з погляду математики тлумачиться рівнянням прямої лінії що проходить через початок координат ($y = kx$).

Таким чином ділянка характеристики ДС, тобто малих значень ковзання $S < S_{кр}$ являє собою прямолінійну залежність моменту АД M від ковзання S . Як видно ця ділянка поширюється на генераторний режим рекуперативного гальмування та на двигуневий режим його робочої частини; тут знаходиться точка номінального режиму роботи двигуна N й точка синхронного режиму 0 ; на цій ділянці АД працює в усталеному режимі.

Самостійна робота №24

Тема: Узагальнення властивостей механічних характеристик АД

Мета: оволодіти знаннями про узагальнення властивостей механічних характеристик АД

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Властивості механічних характеристик АД
- 2 Параметри і особливості конструкцій АД
- 3 Параметри і особливості конструкцій АД з фазним ротором

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Охарактеризуйте властивості механічних характеристик АД
- 2 Поясніть особливості конструкцій АД
- 3 Опишіть особливості конструкцій АД з фазним ротором

Вище проведений аналіз механічних характеристик АД дозволяє сформулювати деякі властивості їх механічних характеристик (раніш уже визначені нами):

а) поточне значення моменту АД залежить від квадрата напруги живлення, активного та індуктивного опору обмоток ротора й статора при заданих ковзанні та синхронній кутовій швидкості ;

б) момент, що розвиває двигун є складною функцією ковзання, крива має два екстремума (один у двигуневому, другий – у генераторному режимах), ковзання що відповідають цим екстремумам називають критичними і за абсолютним значенням рівні між собою;

в) величина критичного ковзання залежить від величини активного опору кола ротора

г) величина максимального моменту АД не залежить від величини активного опору кола ротора;

д) спрощена формула Клосса, з одного боку, надзвичайно проста, до її складу входять тільки паспортні данні $S_{кр}$, $M_{max} = \lambda \cdot M_{ном}$, а з другого - з достатньою для практики точністю віддзеркалює фізику процесу ;

е) робоча ділянка механічної характеристики АД прямолінійна, як характеристика ДПС НЗ, що суттєво спрощує розгляд процесів, що протікають;

ж) механічна характеристика АД у вигляді $\omega = f(M)$, описуючи якийсь конкретний режим роботи АД, забезпечує розташування його у графічному вигляді повністю в одному квадранті прямокутної системи координат.

Розглянуті й сформульовані властивості дозволяють визначити деякі параметри й особливості конструкції АД, пов'язані з цими властивостями.

Величина номінального ковзання залежить від величини активного опору роторного кола. Найменше $S_{ном}$ (при однакових потужностях P і числі пар полюсів p) будуть мати АД з короткозамкненим ротором нормального виконання. У цих двигунах у силу конструктивних особливостей активний опір ротора буде незначний (короткозамкнена клітка), що призводить до зменшення $S_{ном}$ та $S_{кр}$. За тих же причин зі зростанням потужності АД (дивись графік на рисунку 3.37) зменшується його $S_{ном}$ (оскільки зменшується опір) й зростає жорсткість механічної характеристики.

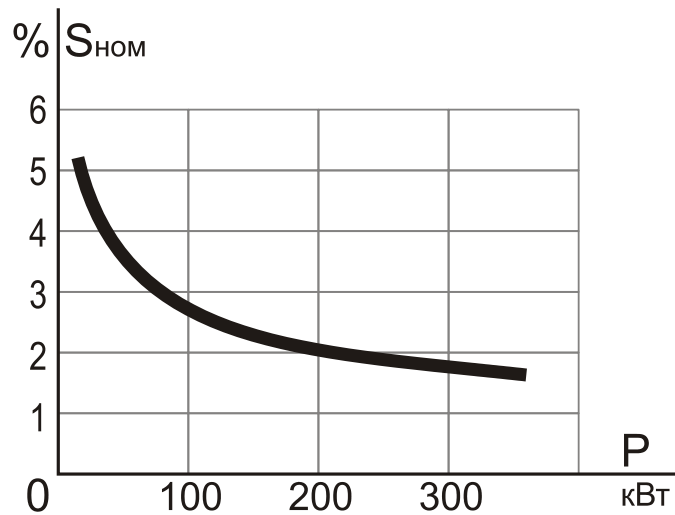


Рисунок – Номінальне ковзання АД.

Властивості АД ($s_{кр}$ залежить від R'_2 , а M_{max} не залежить від R'_2) використовується в АД з фазним ротором, наприклад для збільшення пускового моменту за рахунок збільшення активного опору роторного кола, рисунок .

При додатковому опорі $R_{2\delta 4}$ (характеристика 4) $M_{пуск} = M_{max}$. Характеристика 1 є механічною природною характеристикою, а характеристики 2, 3 та 4 – реостатними.

Обмотка ротора АД з фазним ротором намотана зі звичайного обмотувального проводу з достатньою кількістю витків, таким чином струм ротора не сягає значних величин, отже ефект витіснення струму значно не виявляється, тому механічна характеристика його у найбільшій мірі відповідає спрощеній формулі Клосса. У двигунах же з короткозамкненим ротором (великий струм короткозамкненої клітки) явище витіснення струму суттєве, тому параметри обмотки ротора R_2 та X_2 не можуть бути сталими, отже не сталі й механічні характеристики. Особливо це стосується АД з глибоким пазом та двокліткових.

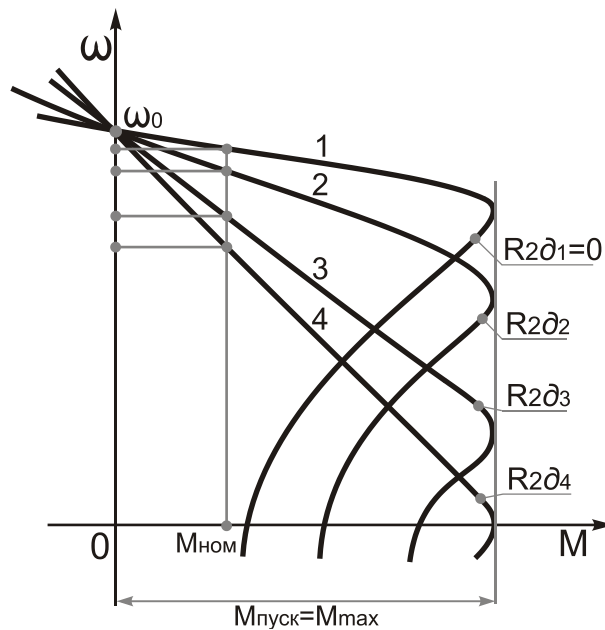


Рисунок – Природна й реостатні характеристики АД з фазним ротором.

Крім того у АД з короткозамкненим ротором нема можливості підмикати на період пуску в роторне коло пускового реостату, тому його пускові властивості гірші ніж у АД з фазним ротором.

Так кратність пускового момента K_M складає $K_M = \frac{M_{пуск}}{M_{ном}} = 1,0-1,8$, а

кратність пускового струму статора K_I складає $K_I = \frac{I_{пуск}}{I_{ном}} = 5,0-7,0$.

Відсутність пропорційності у АД між $M_{пуск}$ та $I_{пуск}$ пояснюється значним зниженням магнітного потоку при запуску АД та зменшенням $\cos \varphi_{пуск}$.

На механічні характеристики суттєво впливають аномальні симетричні режими, такі як зменшення величини напруги живлення статора та збільшення активного й індуктивного опорів у колі статора.

Оскільки струм двигуна пропорційний напрузі у першій степені, а момент – напрузі живлення у квадраті, та характеристики при зниженні напруги живлення змінюються як якісно так і кількісно й мають вигляд показаний на графіку, рисунок. Характеристики 1, 2, 3 є штучні (зняті при не номінальній напрузі) характеристика 4 - природна. Для усіх значень напруги критична швидкість $\omega_{кр}$ (критичне ковзання $S_{кр}$) не змінюються, тобто не залежать від величини напруги. Величина момента змінюється суттєво зі зміною напруги, так $M_{max1} = 4 \cdot M_{max4}$, оскільки напруга мережі зменшилася вдвічі. У реальних умовах у всіх промислових мережах може падати напруга, тому слід постійно контролювати наскільки істотним є зменшення максимального й пускового моментів приводів при зменшенні напруги й наскільки вони задовольняють умовам технологічного процесу.

Самостійна робота №25

Тема: Механічні характеристики АД у гальмівних режимах

Мета: оволодіти знаннями про механічні характеристики АД у гальмівних режимах

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Рекуперативне гальмування АД
- 2 Гальмування АД противімкненням
- 3 Характеристики рекуперативного гальмування АД

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть способи реалізації рекуперативного гальмування
- 2 Механічні характеристики АД при рекуперативному гальмуванні
- 3 Опишіть способи реалізації при гальмування АД противімкненням

АД можуть працювати у тих же гальмівних режимах, що й ДПС:

- рекуперативне гальмування;
- гальмування противімкненням;
- динамічне гальмування.

Принципово усі ці режими можуть бути застосовані як до АД з короткозамкненим ротором, так й до АД з фазним ротором.

Рекуперативне гальмування (з віддачею енергії у мережу)

Його можливо реалізувати при швидкості, що перевищує синхронну: $\omega > \omega_0$ й відповідно при від'ємному ковзанні ($S < 0$).

У двигуновому режимі обертове магнітне поле перетинає провідники обмоток статора й ротора в одному напрямку й тому е.р.с. статора й ротора співпадають за фазою.

У генераторному режимі провідники обмотки статора перетинаються обертовим магнітним полем у попередньому напрямку, а провідники ротора – протилежному (у двигуновому режимі ротор відставав від поля статора, а у генераторному навпаки, ротор випереджує поле статора). Отже, е.р.с. статора свого знака не змінює, а е.р.с. ротора змінює свій знак на протилежний. Зі струмом ротора – складніше. Активна його складова змінює свій знак на протилежний, так як у генераторному режимі момент машина змінює свій знак на протилежний. Реактивна складова струму ротора свого знака не змінює, оскільки машина і у двигуновому, і у генераторному режимах споживає реактивний струм із мережі для створення й проведення по магнітопроводу машини обертового магнітного поля.

Рекуперативне гальмування може бути реалізовано при опусканні вантажу. Під дією цього вантажу ротор АД може прискорюватись й досягти значення швидкості $\omega > \omega_0$ при цьому АД переходить у генераторний режим і починає створювати гальмівний момент.

Механічні характеристики АД у гальмівному режимі з віддачею енергії у мережу зображені на рисунку 3.40. Тут цьому гальмуванню відповідає ділянка характеристики, розташованої у II-му квадранті.

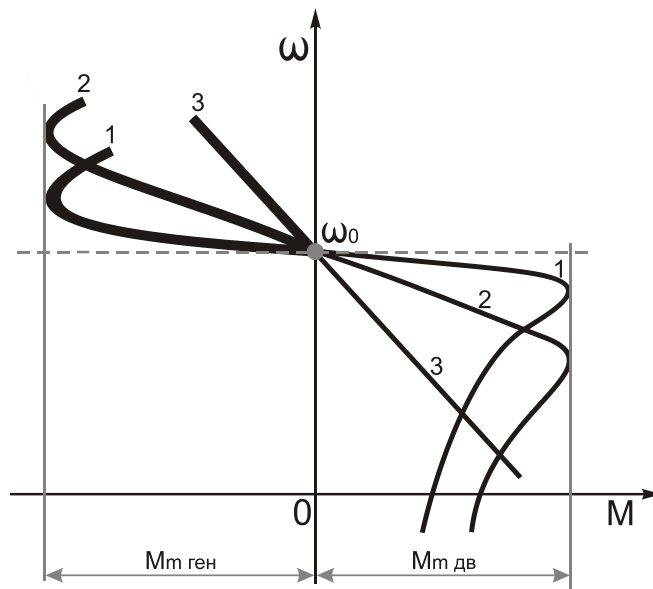


Рисунок – Характеристики рекуперативного гальмування.

Оскільки ротор у двигуновому режимі в своєму обертанні відставав від обертового поля (позитивне ковзання), при частоті обертання його з частотою обертання поля ω_0 ($S=0$) є синхронний режим, то у режимі рекуперативного гальмування ротор у своєму обертанні випереджує обертове поле, значить ковзання буде від'ємним й знаходиться у межах $0 > S > -\infty$.

Як відмічалось раніше у цьому режимі максимальний момент машини більший максимального момента двигунового режиму (за абсолютним значенням)

$$|M_{\max \text{ ген}}| > |M_{\max \text{ дв}}|.$$

При реалізації рекуперативного гальмування не слід забувати, щоб активний статичний момент механізму за своєю величиною не перевищував максимального момента, що може розвивати АД $M_c < M_{\max \text{ ген}}$ у генераторному режимі.

Самостійна робота №26

Тема: Динамічне гальмування АД при незалежному збудженні

Мета: оволодіти знаннями про динамічне гальмування АД при незалежному збудженні

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схеми вмикання АД при незалежному збудженні
- 2 Принцип роботи схеми динамічного гальмування АД при незалежному збудженні
- 3 Схеми вмикання АД з фазним ротором при незалежному збудженні

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Поясніть схему вмикання АД при незалежному збудженні
- 2 Схеми вмикання АД з фазним ротором при незалежному збудженні
- 3 Поясніть несиметричну схему вмикання АД
- 4 Поясніть симетричну схему вмикання АД

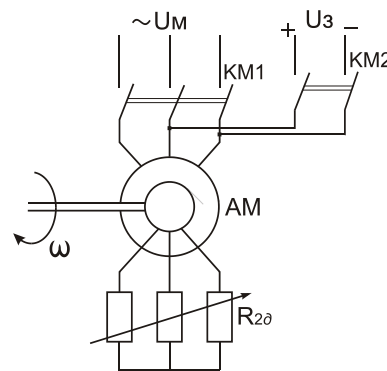
Якщо динамічне гальмування АД здійснювати за класичною схемою, то при відмиканні АД від мережі й замиканні кола статора, двигун буде розвивати дуже малий гальмівний момент (малою буде е.р.с., оскільки вона буде викликана тільки залишковим намагнічуванням, бо основний магнітний потік АД створюється реактивним струмом статора при живленні його від мережі, а статор знеструмлений).

Для створення належного гальмівного моменту слід створити при цьому магнітний потік, подавши у коло статора, на період гальмування, постійний струм, тобто штучно створити на час гальмування незалежне збудження.

У загальному вигляді схема гальмування при незалежному збудженні показана на рисунку.

Якщо при цьому АД буде не короткозамкнений, а фазний, то у коло ротора вмикається додатковий активний опір $R_{2\partial}$, при регулюванні якого можна обмежувати струм ротора й змінювати параметри гальмування.

Таким вмиканням ми перетворюємо АД у синхронний генератор з неявно вираженими полюсами, що працює при змінній частоті, навантаженням для якого є струм ротора.

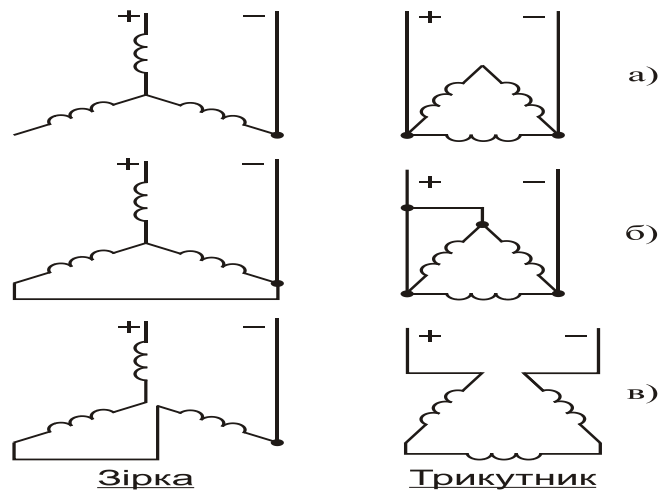


КМ1 замкнений, КМ2 розімкнений – двигуневий режим АД;

КМ1 розімкнений, КМ2 замкнений – режим динамічного гальмування АД.

Рисунок – Схема динамічного гальмування при незалежному збудженні.

Із рисунка видно, що вмикання обмотки статора на постійний струм є несиметричним. Симетричного увімкнення на постійну напругу обмотки статора не можливо здійснити без перемикання фазних обмоток статора. Ці обмотки вмикаються наступним чином (дивись фрагменти а, б і в рисунка 3.45).



- а – несиметрична схема,
- б – напівсиметрична схема,
- в – симетрична схема.

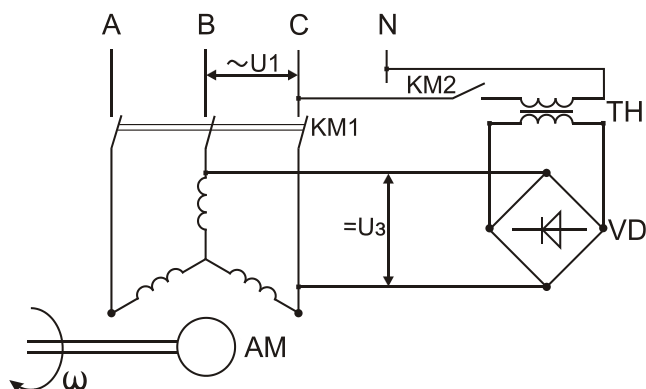
Рисунок – Вмикання обмотки статора АД на постійну напругу.

Найпростішою є схема фрагмента **а**, де для перемикавання на постійний струм треба найменша кількість комутаційних апаратів, недолік – навантаження окремих фаз нерівномірне.

Схема фрагмента **б** має більшу кількість контакторів, але навантаження більш рівномірне.

Рівномірним симетричним навантаження буде за схемою фрагмента **в**, але вона потребує найбільшу кількість контакторів. У реальних умовах найчастіше вживається схема **а** із-за її простоти.

Не слід забувати, що при живленні постійним струмом обмотка статора буде мати значно менший опір ніж при живленні змінним струмом, оскільки опір при живленні постійним струмом має тільки активну складову (а змінним – активну й індуктивну складові). За цих умов напруга збудження U_s суттєво менша напруги живлення U_1 змінним струмом.



Самостійна робота №27

Тема: Динамічне гальмування АД при самозбудженні

Мета: оволодіти знаннями динамічне гальмування АД при самозбудженні

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Схеми вмикання АД при самозбудженні
- 2 Принцип роботи схеми динамічного гальмування АД при самозбудженні
- 3 Механічні характеристики динамічного гальмування АД при самозбудженні

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Поясніть схему вмикання АД при самозбудженні
- 2 Поясніть принцип роботи схеми вмикання АД при самозбудженні
- 3 Опишіть механічні характеристики АД при самозбудженні

Це гальмування реалізується просто – до кола статора підмикається конденсатор, рисунок 3.48. Це гальмування ще називають конденсаторним. Використовується таке гальмування головним чином для АД з короткозамкненим ротором.

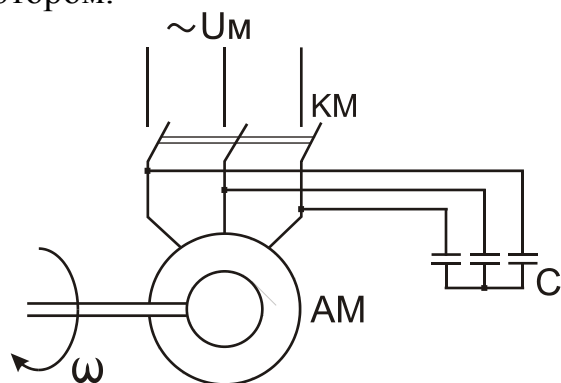


Рисунок 3.48 – Схема динамічного гальмування при самозбудженні. Для реалізації конденсаторного гальмування у відповідності до схеми досить вимкнути лінійний контактор КМ. Машина працює самозбудженим асинхронним генератором. Поштовх для самозбудження дає е.р.с. яка індуктується в обмотках статора за рахунок обертання ротора (під дією накопиченої механізмом потенційної або кінетичної енергії) що має незначну е.р.с. залишкового намагнічування. Незначна е.р.с. залишкових процесів, прикладена до конденсатора, обумовлює незначний струм статорного кола. Цей струм створює незначне обертальне магнітне поле, яке збільшує е.р.с. статора, збільшується напруга на конденсаторі, збільшується струм, збільшується гальмівний момент. У подальшому цей процес нарощується і йде до тих пір, поки напруга на затискачах двигуна й на затискачах конденсатора не вирівняться.

Механічні характеристики динамічного гальмування з самозбудженням (рисунок 3.49) показані для трьох значень ємності конденсатора. Зі зменшенням ємності максимум гальмівного моменту зміщується у зону більших швидкостей й збільшується його абсолютне значення.

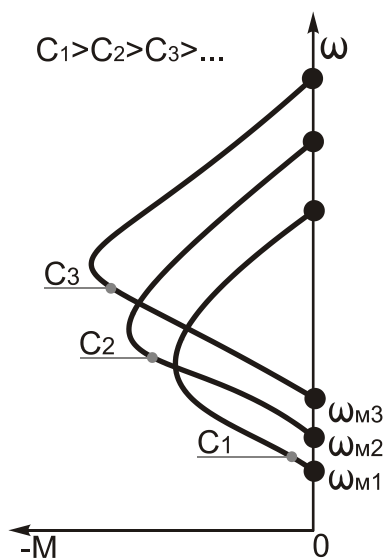


Рисунок 3.49 – Механічні характеристики динамічного гальмування при самозбудженні.

Вадами такого гальмування є наявність так званої, мертвої зони у межах якої гальмівний момент не створюється. Зі зменшенням ємності критична швидкість ω_m цієї зони нечутливості збільшується. Величина критичної швидкості ω_m досить значна і сягає десь $\omega_{m,cr} \approx 0,3 \cdot \omega_{ном}$.

Крім того, для зменшення зони нечутливості необхідно збільшувати ємність, що призводить до збільшення вартості.

Достоїнством динамічного гальмування з самозбудженням – відсутність потреби в джерелі живлення при гальмуванні.

Самостійна робота № 28

Тема: Механічні статичні характеристики СД у гальмівних режимах

Мета: оволодіти знаннями про механічні статичні характеристики СД у гальмівних режимах

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Гальмування СД противімкненням
- 2 Динамічне гальмування СД

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Поясніть динамічне гальмування СД
- 2 Поясніть гальмування СД противімкненням
- 3 Застосування гальмування СД

Електричне гальмування СД можливо здійснити тільки двома способами:

- противвімкненням;
- динамічним гальмуванням.

Гальмування противвімкненням здійснюється аналогічно асинхронним двигунам, застосовується рідко, оскільки воно супроводжується значними поштовхами струму, які перевищують пускові струми й суттєво „лихоманять” мережу.

Значно більше розповсюджене динамічне гальмування СД (обмотка статора відмикається від мережі й через додатковий опір замикається сама на себе). Інтенсивність гальмування вище, ніж при противвімкненні, витрати енергії значно менші, динамічні удари й поштовхи струму майже відсутні.

Інтенсивність гальмування залежить від величини опору, на який замкнена обмотка статора (якоря) СД.

Самостійна робота №29

Тема: Перехідні режими в ЕП

Мета: оволодіти знаннями про перехідні режими в ЕП

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Загальна характеристика перехідних режимів
- 2 Чинники що впливають на характер протікання перехідних режимів
- 3 Інерційні сталі перехідних режимів

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Поясніть загальні характеристики перехідних режимів
- 2 Охарактеризуйте електромеханічну сталу часу
- 3 Охарактеризуйте електромагнітну сталу часу

Перехідними (динамічними) режимами ЕП зводяться режими роботи при переході від одного усталеного стану ЕП до іншого, які відбуваються під час пуску, гальмування, реверсування, різкого прикладення навантаження на валу. Ці режими характерні змінюванню ЕРС, кутової або лінійної швидкостей, момента й струму.

Перехідні режими викликані двома основними причинами.

По-перше, технологічні чинники. Це змінювання навантаження обумовленого технологічним процесом, діє на ЕП при керуванні такими процесами як пуск, гальмування, реверс, регулювання швидкості.

По-друге, непередбачені чинники, такі як аварія, порушення умов нормального електропостачання (спад, часткове або повне зникнення напруги живлення, змінювання частоти мережі, поява асиметрії навантаження у симетричних системах й таке інше).

Вивчення перехідних режимів ЕП має суттєве практичне значення для правильного вибору електрообладнання (потужності двигуна, комутаційної та іншої апаратури), для розрахунку систем керування, витрат енергії на запуск, гальмування й реверс, для визначення впливу роботи ЕП на продуктивність і якість роботи виробничих механізмів (наприклад, скорочення часу на протікання перехідних процесів подовжує час роботи ЕП в усталених режимах, які визначають продуктивність праці).

Проте, конструкція й будова виробничого механізму і особливо технологічні вимоги та вимоги охорони праці накладають певні обмеження на величину навантаження, швидкості, прискорення, температури, шумів й таке інше. Збоку техніки й технології ці обмеження викликані прагненням запобігання поломки механізмів, виходу із ладу обладнання, браку продукції. ЕП повинен забезпечити не тільки власне протікання перехідних процесів, але й їх характер.

На характер протікання перехідного режиму впливають такі чинники:

- властивості виконавчого механізму;
- тип електродвигуна;
- особливості механічної передачі (кінематики);
- принцип дії та властивості апаратури керування;
- режим роботи.

Теоретичний розгляд перехідних режимів з урахуванням основних їх факторів у багатьох випадках являє великі складнощі. Вони можуть описуватись диференційними рівняннями досить високого порядку, часто з нелінійними залежностями, вирішення яких пов'язано зі значними математичними утрудненнями.

До цього часу ще не вирішені досить точно такі задачі:

- змінювання індуктивності обмоток при змінюванні напруженості магнітного поля;
- величина опору перехідного контакту колектор-щітка;
- точне урахування насиченості магнітного матеріалу й інше.

Це часто вимушує користуватись наближеними розрахунками, даними дослідів (криві або коефіцієнти), графічними побудовами й графічним інтегруванням.

Проте не у всіх випадках практики потрібне детальне і точне урахування усіх явищ. Тому, при вирішенні конкретних задач перехідні режими можуть розглядатись з певними наближеннями й спрощеннями.

У будь-якому перехідному режимі ЕП одночасно й взаємопов'язано між собою діють перехідні механічні, електромагнітні й теплові процеси. При швидкоплинних процесах змінювання теплового стану ЕП, яке протікає більш-менш повільно, у більшості випадків не чинить суттєвого впливу на інші процеси, тому при вивченні таких перехідних режимів у ЕП зміна теплового стану двигуна не ураховується.

Якщо теплова інерція не враховується, то розглядаються тільки механічна й електромагнітна інерції. У деяких випадках нехтують й електромагнітною інерцією, тоді розглядаються тільки механічні процеси.

Таким чином, у перехідному режимі ЕП у певному кількісному співвідношенні діють такі інерції:

- інерція механічна виконавчих механізмів, проміжних передач, рухомих частин двигунів та апаратів, як таких, що обертаються, або рухаються поступально;

- інерція електромагнітна, що обумовлена індуктивністю та активним опором електричних елементів привода, у основному, це обмотки й контакти;

- інерція теплова електричних машин та деяких електричних апаратів.

Всі ці фактори уповільнюють протікання перехідних режимів. Ступінь впливу інерційностей того чи іншого виду визначається інерційними сталими.

Механічна інерція ЕП характеризується електромеханічною сталою часу T_M , [с] Вона залежить як від механічних параметрів (махових мас та статичного моменту опору), так і від електромеханічних властивостей, які у свою чергу залежать від опору електричних кіл двигуна.

Електромагнітна інерція характеризується електромагнітною сталою часу T_E . Вона визначається співвідношенням індуктивності L , [Гн] та активного опору R , [Ом]:

$$T_E = \frac{L}{R}, [c].$$

Теплова інерція характеризується сталю часу нагрівання Θ . Вона характеризується співвідношенням теплоємності C_T , $\left[\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}} \right]$ та теплопередачі

$$A_T, \left[\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C} \cdot \text{с}} \right]: \quad \Theta = \frac{C_T}{A_T}, [c].$$

Розрахунок перехідних режимів ЕП в основному зводиться до одержання, або побудови залежностей

$$i = f_1(t); M = f_2(t); \omega = f_3(t).$$

Самостійна робота №30

Тема: Перехідні режими в ЕП з трифазними асинхронними двигунами

Мета: оволодіти знаннями про перехідні режими в ЕП з трифазними асинхронними двигунами

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Загальні характеристики
- 2 Визначення моменту двигуна за формулою Клосса

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть загальні вимоги при пуску АД
- 2 Охарактеризуйте визначення моменту двигуна за формулою Клосса

У першому наближенні їх можна розглядати при знехтуванні електромагнітними процесами, бо вони протікають значно швидше електромеханічних.

Пуск АД з короткозамкненим ротором малої та середньої потужностей здійснюють при повній напрузі живлення (прямий пуск). З метою обмеження моменту або струму запуск потужних АД з короткозамкненим ротором здійснюють за допомогою резисторів або реакторів, увімкнених у коло статора (зниженою напругою або за допомогою статичних регуляторів напруги).

Пуск АД з фазним ротором здійснюється за допомогою пускового резистора, увімкненого у коло ротора.

Для спрощення будемо вважати, що АД запускається при неробочому ході ($M_c = 0$) в один ступінь пускового реостата.

Момент двигуна визначається за спрощеною формулою Клосса (для R_{20} , що відповідає $M_{\text{пуск}} = M_{\text{max}}$):

$$M = M_c + M_{\text{дин}}, \quad (5.0)$$

де $M_c = 0$;

$$M_{\text{дин}} = J \frac{d\omega}{dt}; \quad (5.1)$$

$$M = \frac{2M_{\text{пуск}}}{s_{\text{кр}}/s + s/s_{\text{кр}}},$$

тоді (5.20) запишеться

$$\frac{2M_{\text{пуск}}}{\frac{s_{\text{кр}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{кр}}}} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (5.2)$$

Із визначення ковзання $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega}$ швидкість буде

$$\omega = \omega_0(1 - s). \quad (5.3)$$

Похідна від (5.23) буде

$$\frac{d\omega}{dt} = -\omega_0 \frac{ds}{dt} \quad (5.4)$$

Значення похідної (5.24) підставимо у (5.22), і отримаємо:

$$\frac{2M_{\text{пуск}}}{\frac{s_{\text{кр}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{кр}}}} = -J\omega_0 \frac{ds}{dt}. \quad (5.5)$$

У рівнянні (5.25) роз'єднаємо змінні, одержимо

$$dt = -\frac{J\omega_0}{2M_{\text{пуск}}} \cdot \left(\frac{s_{\text{кр}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{кр}}} \right) ds, \quad (5.6)$$

оскільки $T_M = \frac{J\omega_0}{M_{\text{пуск}}}$ - електромеханічна стала часу, то рівняння (5.26) стане:

$$dt = -\frac{T_M}{2} \left(\frac{s_{кр}}{s} + \frac{s}{s_{кр}} \right) ds \quad (5.7)$$

Інтегруючи рівняння (5.27) одержимо час пуску АД без навантаження:

$$t_{no} = \frac{T_M}{2} \int_{s_{кн}}^{s_{пoc}} \left(\frac{s_{кр}}{s} + \frac{s}{s_{кр}} \right) ds.$$

При пуску з нерухомого стану ($s_{пoc} = 1,0$) час пуску визначається із (5.27) як:

$$t_{no} = \frac{T_M}{2} \left(\frac{1-s^2}{2s_{кр}} + s_{кр} \cdot \ln \frac{1}{s} \right).$$

З другого боку можна вважати, що ротор АД досягне швидкості ω_0 при нескінченно довгому часі пуску, тобто:

$$\text{якщо } S = 0, \text{ то } t_{выск} = \infty.$$

Однак у реальних умовах запуск можна вважати практично завершеним, коли поточне значення ковзання буде відрізнятись не більш, ніж на 0,05 свого усталеного значення, тоді час пуску без навантаження буде:

$$t_{no} = \frac{T_M}{2} \left(\frac{1-0,05^2}{2s_{кр}} + s_{кр} \ln \frac{1}{0,05} \right). \quad (5.8)$$

У чисельнику першого дробу в дужках числом $0,05^2$ можна знехтувати порівняно з 1, тоді (5.28) буде мати вигляд:

$$t_{no} = \frac{T_M}{2} \left(\frac{1}{2s_{кр}} + 3s_{кр} \right).$$

Останній вираз розділимо на T_M , тобто час переведемо у відносні одиниці, тоді:

$$\frac{t_{no}}{T_M} = \frac{1}{4 \cdot s_{кр}} + 1,5 \cdot s_{кр}. \quad (5.9)$$

Із (5.29) видно, що відносний час пуску залежить від величини критичного ковзання $s_{кр}$. Користуючись (5.9), можна установити, що $\frac{t_{no}}{T_M}$ буде якнайменшим, якщо $s_{кр} = 0,407$.

Таким чином, щонайменшим часом пуску буде відносний час

$$\frac{t_{no}}{T_M} = 1,22 \text{ при } s_{кр} = 0,407.$$

Самостійна робота №31

Тема: Номінальні режими S4 - S8

Мета: оволодіти знаннями номінальні режими S4 - S8

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Номінальний режим S4
- 2 Номінальний режим S5
- 3 Номінальний режим S6
- 4 Номінальний режим S7-8

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Охарактеризуйте номінальний режим S4
- 2 Охарактеризуйте номінальний режим S5
- 3 Охарактеризуйте номінальний режим S6
- 4 Охарактеризуйте номінальні режими S7-8

Крім вищеназваних трьох основних номінальних режимів класифікацією передбачені ще п'ять додаткових номінальних режимів S4 - S8, які дозволяють спрощувати задачу еквівалентування довільного реального режиму номінальним режимам. Їх коротка характеристика така:

- повторно-короткочасний номінальний режим роботи електричної машини з частими пусками S4 (урахування підвищення температури за рахунок втрат від частих пусків);

- повторно-короткочасний номінальний режим з частими пусками й електричним гальмуванням S5 (урахування підвищення температури за рахунок втрат від частих пусків й гальмування);

- повторно-короткочасний номінальний режим S6, він аналогічний режиму S3, але відрізняється від нього тим, що після робочого періоду двигун не відмикається, а працює без навантаження при неробочому ході;

- перемежований номінальний режим роботи електричної машини з частими реверсами S7 (які чергуються з не досить тривалими періодами незмінного номінального навантаження);

- перемежований номінальний режим роботи машини з двома, або більше швидкостями S8 (періоди роботи з однією швидкістю й одним навантаженням чергуються періодами роботи з другою швидкістю й другим, відповідним новій швидкості, навантаженням).

Первиною інформацією для розрахунку реального режиму роботи електричного двигуна є так звані навантажувальні діаграми електроприводів.

Самостійна робота №32

Тема: Навантажувальні діаграми електроприводів

Мета: оволодіти знаннями про навантажувальні діаграми електроприводів

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Кінематична схема ЕП
- 2 Побудова навантажувальної діаграми
- 3 Визначення статичного моменту навантаження

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть кінематична схема ЕП
- 2 Охарактеризуйте побудову навантажувальної діаграми
- 3 Охарактеризуйте визначення статичного моменту навантаження

Навантажувальна діаграма ЕП характеризує залежність у часі обертального моменту, струму або потужності, що розвиває двигун.

Навантажувальні діаграми використовуються для оцінювання перевантажувальної здатності ЕП, співставлення її з допустимими короточасними навантаженням для конкретного типу ЕД, а також для перевірки попереднього вибраного двигуна за нагріванням.

Навантажувальна діаграма урахує статичні й динамічні навантаження, які долає ЕП протягом циклу роботи механізму

Статичні навантаження визначаються на підставі технологічних даних, що характеризують роботу того чи іншого класу виконавчих механізмів, а динамічні навантаження оцінюються інерційними моментами, які розвиваються ЕП для забезпечення відповідних кутових прискорень, які забезпечують задані параметри технологічному процесу, або механізму.

Навантажувальні діаграми доцільно розглядати для конкретних типових механізмів, наприклад, електропривода шахтного підіймача зі зрівноваженим канатом.

Кінематична схема його подана на рисунку 6.6.

Підіймач укомплектований урівноваженим канатом, шківом тертя, двома клітьми та двома напрямними шківками. Канат закріплений своїми кінцями з клітьми й охоплює приводний й обидва напрямних шківки.

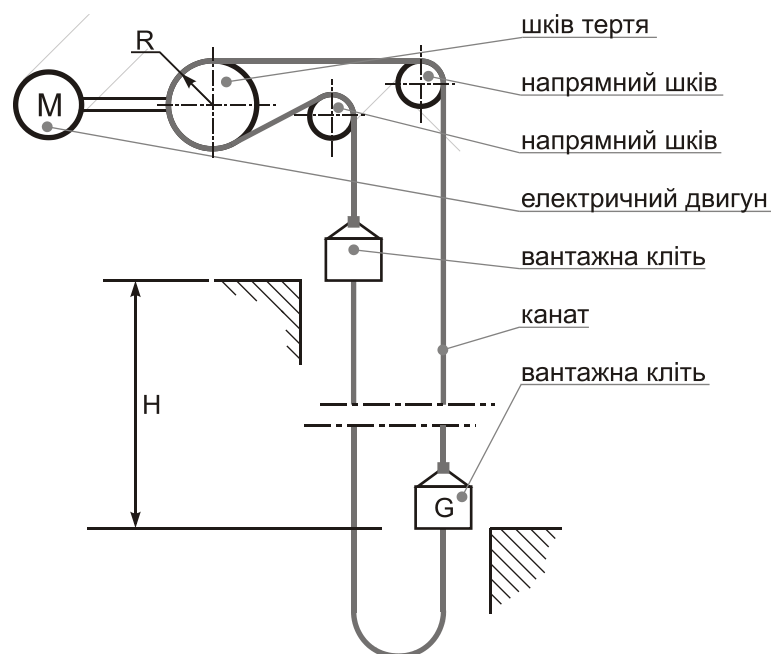


Рисунок – Кінематична схема шахтного підіймача зі зрівноваженим канатом.

На рисунку прийняті такі умовні позначення:

R – радіус шків тертя;

G – вантаж;

H – висота підймання.

Побудова навантажувальної діаграми (рисунок 6.7) полягає в наступному.

У відповідності до технологічного процесу та параметрів механічного обладнання, а також відповідно з продуктивністю підіймача задається наближена діаграма швидкості (тахограма) одного циклу роботи підіймача й наближена діаграма прискорення

$$V = f(t),$$

V - лінійна швидкість кліті, $\frac{m}{c}$;

$$\varepsilon = f(t),$$

ε - кутове прискорення, $\frac{1}{c^{-2}}$.

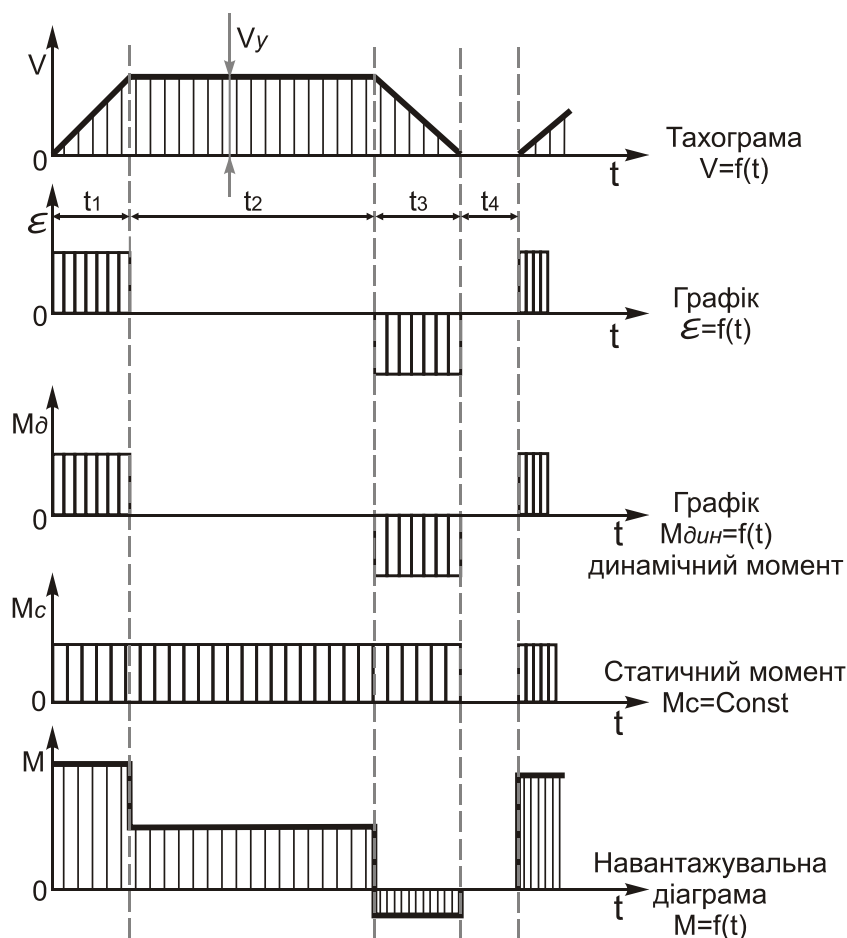


Рисунок - Побудова навантажувальної діаграми.

Тахограма передбачає час кутового прискорення t_1 , тривалість усталеного режиму t_2 з усталеною швидкістю V_y , час кутового сповільнення t_3 й час паузи між сусідніми підніманнями t_4 усі t [с].

Графіку швидкості відповідає графік кутового прискорення й сповільнення, значення яких постійні за величиною та різні за знаком відповідно на ділянках t_1 й t_3 . На ділянках пуску й гальмування складові динамічного моменту дорівнюють

$$M_{дин} = J_{\Sigma} \cdot \frac{d\omega}{dt} \left[\kappa_2 \cdot m^2 \cdot c^{-2} = \frac{\kappa_2 \cdot m}{c^2} \cdot m = H \cdot m \right],$$

де J_{Σ} [$\kappa_2 \cdot m^2$] - зведений до вала момент інерції рухомої частини ЕП.

Далі визначається статичний момент навантаження зведений до вала двигуна:

$$M_c = F_c R \cdot \frac{1}{\eta} [H \cdot m],$$

де F_c - статичне зусилля на обводу шківів, H ;

R - радіус шківів тертя, m ;

η - к.к.д. передач.

Зусилля тяжіння клітей та каната не враховується, бо вони зрівноважені.

Тоді орієнтовно потужність двигуна буде розрахована:

$$P = \frac{\kappa_3 \cdot F_c \cdot V_y}{\eta} \cdot 10^{-3} [кВт],$$

де $\kappa_3 = 1,2-1,3$ – коефіцієнт запасу, що враховує вплив динамічних моментів;

V_y [$\frac{m}{c}$] - усталена швидкість підіймача за значенням якої у відповідності до рівняння

$$V_y = \omega \cdot R$$

визначається кутова швидкість двигуна (оскільки підіймач відноситься до 1-го класу виконавчих механізмів, для яких $M_c = Const$).

Нарешті останній графік

$$M = f(t)$$

є навантажувальною діаграмою ЕП, яка одержана складанням статичного з динамічним моментів у відповідності до рівняння руху

$$M = M_c + M_d.$$

Таким чином, навантажувальна діаграма

$$M(t) = M_c + M_d(t)$$

у залежності від співвідношення статичного й динамічного моментів на ділянці уповільнення ЕП може мати, або додатне, або від'ємне значення.

Самостійна робота №33

Тема: Розрахунок потужності двигуна при тривалому режимі роботи S1 й змінному циклічному навантаженні

Мета: оволодіти знаннями розрахунок потужності двигуна при тривалому режимі роботи S1 й змінному циклічному навантаженні

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Графік тривалого змінного циклічного навантаження
- 2 Вибір двигуна
- 3 Метод середніх втрат

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Назвіть основні енергетичні показники ЕП
- 2 Дайте визначення потужності ЕП
- 3 Опишіть метод середніх втрат

При тривалому змінному навантаженні, графік якого у загальному вигляді за цикл t_u наведений на рисунку 6.9, розрахунок попередньо вибраного двигуна тривалого режиму роботи слід виконувати за нагріванням шляхом визначення найбільшої реальної температури нагрівання за цикл τ_{yp} , а потім для заданого класу ізоляції ЕД порівняти її з допустимим перевищенням τ_θ .

При цьому новина бути виконаною умова:

$$\tau'_{yp} \leq \tau_\theta$$

де τ'_{yp} - установлена реальна найбільша температура нагрівання двигуна за цикл (дивись рисунок 6.10).

Перевірка потужності двигуна таким чином вимагає досить складної та трудомісткої побудови кривих нагрівання й охолодження.

У реальних умовах йдуть іншим шляхом.

Вибір двигуна за найбільшим (P_3) або найменшим (P_4), рисунок 6.9, навантаженнями неприйнятливий, бо у першому випадку потужність двигуна була б завищеною, а у другому – заниженою.

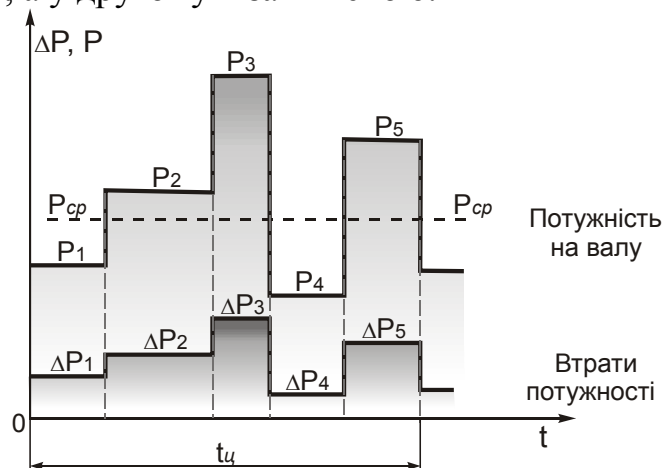


Рисунок – Графік тривалого змінного циклічного навантаження.

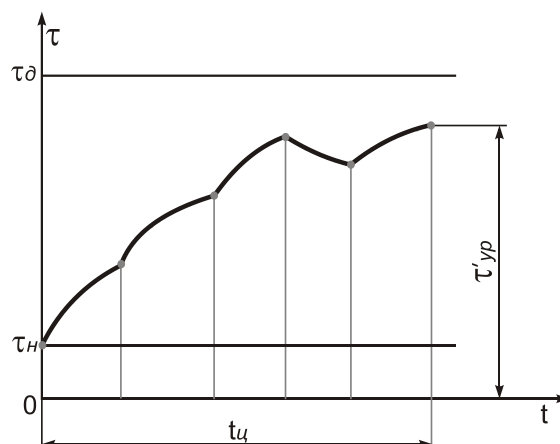


Рисунок – Графік нагрівання двигуна за циклом навантаження.

Вибір за середнім значенням навантаженням механізму також неприйнятливий, оскільки гріють двигун втрати, які визначаються навантаженням, а вони пропорційні квадрату струму навантаження (середня ордината потужності P_{cp} не ураховує квадратичної залежності від струму навантаження, оскільки потужність пропорційна струму навантаження у першому степені).

І ця розбіжність збільшується при збільшенні коливань навантаження у межах циклу. За таких умов потужність двигуна, вибрана за середнім навантаженням P_{cp} виявилась б заниженою.

На практиці розрахунок потужності двигуна при тривалому режимові роботи й змінному циклічному навантаженні здійснюються менш точними, ніж побудова кривих нагрівання, методами, але більш простими. Їх у основному два, це:

- метод середніх втрат;
- метод еквівалентного струму.

Метод середніх втрат

Суть методу полягає у тому, що перевищення температури двигуна при незмінній теплопередачі визначається середніми втратами за цикл

$$\Delta P_{cp} = \sum_{i=1}^m \Delta P_i \cdot t_i \cdot \frac{1}{t_y}, \quad (6.1)$$

де ΔP_i - потужність втрат на i -му – інтервалі;

t_i - тривалість i -го – інтервалу;

m - число інтервалів у циклі (для графіка навантаження даного на рисунках 6.9 і 6.10 число інтервалів у циклі $m = 5$);

t_y - час циклу.

Для цього графіка середні втрати за цикл у відповідності до (6.1) будуть

$$\Delta P_{cp} = \sum_{i=1}^5 \Delta P_i \cdot \frac{t_i}{t_y} = \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_3 \cdot t_3 + \Delta P_4 \cdot t_4 + \Delta P_5 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}. \quad (6.2)$$

Знайдені середні втрати за цикл (6.2) ΔP_{cp} зіставляються з номінальними $\Delta P_{ном}$.

Якщо $\Delta P_{cp} \leq \Delta P_{ном}$, то перевищення температури τ_{cp} буде не більше допустимого значення τ_{∂} , тобто $\tau_{cp} \leq \tau_{\partial} = \tau_{ном}$.

Самостійна робота №34

Тема: Метод еквівалентного струму

Мета: оволодіти знаннями про розрахунок потужності методом еквівалентного струму

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Графік споживання струму за цикл навантаження
- 2 Розрахунок потужності двигуна
- 3 Застосування методом еквівалентного струму

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Опишіть побудову графіку споживання струму за циклом навантаження
- 2 Розрахунок середніх втрат потужності двигуна
- 3 Наведіть приклади застосування розрахунку методом еквівалентного струму

При умовах коли відомий графік споживання струму за цикл (рисунок), потужність двигуна для цього можна вибрати використавши метод еквівалентного струму.

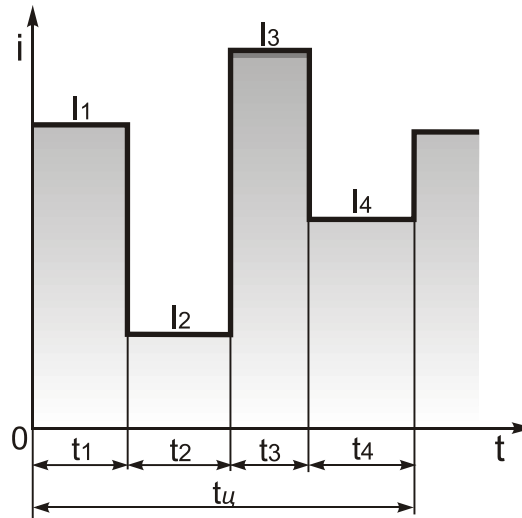


Рисунок – Графік споживання двигуном струму за цикл навантаження.

Цей метод заснований на замінюванні реального струму двигуна, що змінюється при змінюванні навантаження на так званий еквівалентний струм (фіктивний), струм певної величини, який у двигуні викликав би ті ж самі втрати, що й реальний струм $i = f(t)$.

Середня потужність втрат (6.1), наприклад, для ДПС, які виділяються у цьому двигуні при завантаженні його еквівалентним струмом I_E буде дорівнювати:

$$\Delta P_{cp} = \Delta P_0 + I_E^2 \cdot R, \quad (6.3)$$

де ΔP_0 - потужність постійних незалежних від навантаження втрат, це в основному втрати у сталі;

$I_E^2 \cdot R$ - потужність змінних втрат, які залежать від навантаження, це в основному втрати у міді.

Середня потужність втрат за цикл (6.1) для графіка навантаження, рисунок 6.10, буде така:

$$\Delta P_{cp} = \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_3 \cdot t_3 + \Delta P_4 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}. \quad (6.4)$$

Порівнюючи (6.4) та (6.3), тобто замінюючи тут втрати потужності на кожному інтервалі через відповідну їй постійну та змінну складові втрат і ввівши позначення

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{cp} &= \Delta P_0 + I_E^2 \cdot R \\ \Delta P_1 &= \Delta P_0 + I_1^2 \cdot R \\ \Delta P_2 &= \Delta P_0 + I_2^2 \cdot R \\ \Delta P_3 &= \Delta P_0 + I_3^2 \cdot R \\ \Delta P_4 &= \Delta P_0 + I_4^2 \cdot R \end{aligned} \right\} \quad (6.5)$$

одержимо (підставивши (6.5) у (6.4)):

$$\begin{aligned} & \Delta P_0 + I_E^2 \cdot R = \\ = & \frac{(\Delta P_0 + I_1^2 \cdot R) \cdot t_1 + (\Delta P_0 + I_2^2 \cdot R) \cdot t_2 + (\Delta P_0 + I_3^2 \cdot R) \cdot t_3 + (\Delta P_0 + I_4^2 \cdot R) \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}. \end{aligned} \quad (6.6)$$

У (6.6) виконаємо такі перетворення

$$\begin{aligned} (\Delta P_0 + I_E^2 \cdot R) \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) &= \Delta P_0 \cdot t_1 + I_1^2 \cdot R \cdot t_1 + \Delta P_0 \cdot t_2 + I_2^2 \cdot R \cdot t_2 + \\ &+ \Delta P_0 \cdot t_3 + I_3^2 \cdot R \cdot t_3 + \Delta P_0 \cdot t_4 + I_4^2 \cdot R \cdot t_4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \Delta P_0 \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) + I_E^2 \cdot R \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) = \\ &= \Delta P_0 \cdot (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) + R(I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3 + I_4^2 \cdot t_4); \end{aligned}$$

$$I_E = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3 + I_4^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}. \quad (6.7)$$

В узагальненому вигляді формулу (6.7) можна записати

$$I_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m I_i^2 \cdot t_i}{t_y}}, \quad (6.8)$$

де позначення m, i, t_y такі ж як і у (6.1).

Таким чином, якщо відома крива змінювання струму навантаження при заданому графіку роботи виконавчого механізму, то можна вибрати попередньо потужність двигуна способом середніх втрат, а потім визначити величину I_E за формулою (6.8) й порівняти з $I_{ном}$ вибраного двигуна.

Якщо $I_E \leq I_{ном}$, то двигун придатний для механізму з заданим графіком навантаження.

Бувають випадки коли відомий не графік змінювання струму навантаження, а графіки моменту або потужності, які створює двигун. У цьому випадку слід користуватись методом еквівалентного моменту й методом еквівалентної потужності відповідно (методика аналогічна методу еквівалентного струму):

$$M_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m M_i^2 \cdot t_i}{t_y}},$$

$$P_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i^2 \cdot t_i}{t_y}} .$$

Метод еквівалентних величин застосовувати для будь-яких типів двигунів можна застосовувати тільки після детального аналізу їх застосування.

Так метод еквівалентного струму неможливо застосувати для АД з глибокопозною короткозамкненою кліткою та двокліткового ротора, оскільки у них $R_2 = Var$ (функція ковзання s).

Метод еквівалентного моменту може бути застосований для тих двигунів у яких працює метод еквівалентного струму, оскільки $M \equiv I$, а таке співвідношення мають ДПС НЗ та звичайні АД. За цих же умов ці методи неможливо використовувати для ДПС ПЗ, оскільки у них $M \neq I$.

Метод еквівалентної потужності можна застосовувати для двигунів, у яких $P \equiv I$, а це значить, що $\Delta P_c = Const$, $R = Const$, $\Phi = Const$ та $\omega = Const = \omega_{ном}$ отже, можна використовувати для СД, АД та для ДПС НЗ, коли вони працюють з номінальним потоком й незмінною та майже незмінною швидкістю.

Метод еквівалентної потужності неможливо застосовувати для двигунів у яких змінюється швидкість, оскільки при $\omega = Var$ будуть $\Delta P_0 = Var$.

У всіх названих випадках де не працює метод еквівалентних величин двигун на нагрівання слід перевіряти методом середніх втрат.

Самостійна робота №35

Тема: Визначення допустимої частоти вмикань АД з короткозамкненим ротором

Мета: оволодіти знаннями про визначення допустимої частоти вмикань АД з короткозамкненим ротором

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Загальні положення при визначення допустимої частоти вмикань АД
- 2 Побудова графіку частоти вмикань
- 3 Розрахунок періоду вмикань АД

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод“, М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи“. Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки“. Київ, „Либідь“, 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Охарактеризуйте проблеми при визначення допустимої частоти вмикань АД
- 2 Опишіть побудову графіку частоти вмикань
- 3 Сутність розрахунку періоду вмикань АД

При значній частоті вмикань АД суттєвими стають втрати у перехідних режимах, які викликають інтенсивне нагрівання АД, яке у свою чергу лімітує кількість вмикань, гальмувань та реверсів двигуна.

Ці проблеми є важливі при роботі таких виконавчих механізмів, як металорізальні верстати, преси, допоміжне обладнання (допоміжні привода прокатних станів), де часті вмикання двигуна у більшості випадків є основними умовами технологічного процесу.

У зв'язку з цим виникає задача визначення мінімально допустимої тривалості робочого циклу $t_{ц.дон}$, при якій перевищення температури не сягає допустимого рівня, або допустимої частоти робочих циклів, які характеризуються допустимим числом вмикань у годину h_0 .

Особливо важлива ця проблема для АД з короткозамкненим ротором, оскільки у цьому випадку всі втрати енергії виділяються в межах самої машини, в той час як для ДПС та АД з фазним ротором більша частина втрат енергії розпоршується за межами машини (у резисторах якірних або роторних кіл). Тому розглянемо саме АД з короткозамкненим ротором.

Допустимо, що робочий період t_e складається із періоду пуску t_n , часу роботи в усталеному режимі t_y при незмінному навантаженні й часу на гальмування t_2 . А тривалість робочого циклу $t_ц$ складається з тривалості робочого періоду t_e й паузи t_0 , за час якої АД відімкнений від мережі (відповідна тахограма показана на рисунку 6.12).

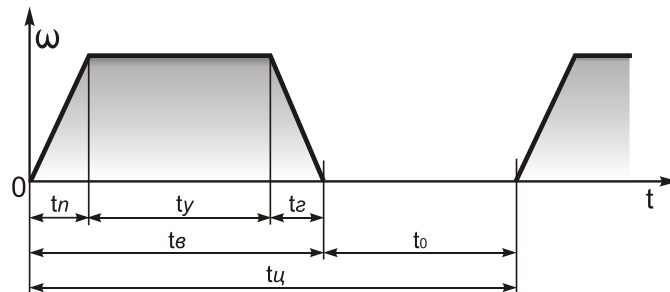


Рисунок – До пояснення частоти вмикання.

Втрати енергії, що виділяється за цикл складається із витрат енергії за час пуску ΔA_n , гальмування ΔA_2 й роботи в усталеному режимі з незмінним навантаженням $\Delta A_y = \Delta P \cdot t_y$.

Втрати енергії, які виділені в навколишнє середовище за час роботи з усталеною швидкістю дорівнюють

$$\Delta P_{ю.м} \cdot t_y,$$

за час паузи

$$\beta_0 \cdot \Delta P_{ю.м} \cdot t_0,$$

а за час пуску й гальмування

$$\Delta P_{ю.м} \cdot (t_n + t_2) \cdot \beta_{cp},$$

де β_0 - коефіцієнт погіршення тепловіддачі при вимкненому двигуні;

β_{cp} - коефіцієнт погіршення тепловіддачі за час пуску й гальмування (він вибирається середнім між початковим й кінцевим значеннями цього коефіцієнта).

Для більш віддаленого (у часі) циклу роботи, де настає квазіусталений тепловий режим роботи АД, кількість виділених втрат енергії дорівнює кількості втрат енергії, що віддані у навколишнє середовище:

$$\Delta A_n + \Delta P_0 \cdot t_y + \Delta A_z = \Delta P_{ном} \cdot (t_n + t_z) \cdot \beta_{cp} + \Delta P_{ном} \cdot t_y + \Delta P_{ном} \cdot t_0 \cdot \beta_0. \quad (6.9)$$

Якщо час циклу t_u , час усталеної роботи t_y та час паузи t_0 (усе в секундах) виразити через кількість вмикань у годину h_u , то будемо мати

$$\left. \begin{aligned} t_u &= \frac{3600}{h_u} \\ t_y &= 3600 \cdot \frac{ПВ}{h_u} - (t_n + t_z) \\ t_0 &= 3600 \frac{1-ПВ}{h_u} \end{aligned} \right\} \quad (6.10)$$

де період вмикання ПВ заданий не у %, а у відносних одиницях.

Підставивши у (6.9) значення t_y та t_0 із (6.10), одержимо, якщо вирішимо рівняння відносно h_u :

$$h_u = \frac{3600 \cdot [(\Delta P_{ном} - \Delta P) \cdot ПВ + \Delta P_{ном} \cdot \beta_0 \cdot (1-ПВ)]}{\Delta A_n + \Delta A_z - (t_n + t_z) \cdot [\Delta P + \Delta P_{ном} \cdot \beta_{cp} - \Delta P_{ном}]}. \quad (6.11)$$

Для АД у знаменнику (6.11) третім членом порівняно з сумою двох перших можна знехтувати оскільки

$$(t_n + t_z) \cdot [\Delta P + \Delta P_{ном} \cdot \beta_{cp} - \Delta P_{ном}] = (2-3)\% \text{ від } (\Delta A_n + \Delta A_z).$$

Тоді (6.11) можна переписати:

$$h_u \cong 3600 \cdot \frac{(\Delta P_{ном} - \Delta P) \cdot ПВ + \Delta P_{ном} \cdot \beta_0 \cdot (1-ПВ)}{\Delta A_n + \Delta A_z}. \quad (6.12)$$

Якщо в усталеному режимі АД працює з номінальною потужністю, тоді

$$\Delta P = \Delta P_{ном},$$

а формула (6.12) ще більше спроститься:

$$h_u \approx 3600 \cdot \frac{\Delta P_{ном} \cdot \beta_0 \cdot (1-ПВ)}{\Delta A_n + \Delta A_z}. \quad (6.13)$$

Із (6.13) видно, що число вмикань за годину залежить від навантаження двигуна, від його ПВ, від коефіцієнту погіршення тепловіддачі β_0 та втрат енергії у перехідних процесах $(\Delta A_n + \Delta A_z)$.

Зі зменшенням ΔP , ΔA_n , ΔA_z допустима частість вмикань за годину АД зростає.

Збільшення допустимої частоти вмикань можна мати при застосуванні незалежної вентиляції АД, яка діє однаково інтенсивно протягом усього циклу.

Суттєве збільшення частоти вмикань можна досягти шляхом зменшення втрат енергії у перехідних процесах, наприклад, використовуючи частотного керування АД замість інших видів керування.

Самостійна робота №36

Тема: Класифікація виконавчих механізмів у залежності від характеру дії статичного моменту опору

Мета: оволодіти знаннями про класифікація виконавчих механізмів у залежності від характеру дії статичного моменту опору

Питання, що виносяться на самостійне вивчення:

- 1 Основні фактори залежності статичного моменту
- 2 Класи виконавчих механізмів в залежності зміни характеру M_c

Література:

- 1 Москаленко В.В. „Электрический привод", М.: Высшая школа, 1991.
- 2 Попович М.Г., Лозинський О.Ю. „Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи". Київ. Либідь, 2005.
- 3 Головка Д.Б., Попович М.Г. „Електричні машини та електропривод побутової техніки". Київ, „Либідь", 2004

Питання для самоконтролю:

- 1 Охарактеризуйте класи виконавчих механізмів в залежності зміни характеру M_c

Навіть при самому більшому спрощенні при розгляді перехідних режимів (знехтуванні електромагнітними й тепловими режимами), коли враховується тільки електромеханічний перехідний процес, розглядається система диференційних рівнянь, куди входять рівняння рівноваги напруги й рівняння руху.

Таким чином, рівняння руху є одним з двох основних рівнянь, які описують протікання перехідного процесу, а його складовою, що суттєво впливає на характер руху, є статичний момент опору M_c , який для різних виконавчих механізмів проявляється по-різному.

Основними факторами, від яких залежить величина M_c , є швидкість, шлях, час, особливості технологічного процесу виконавчих механізмів.

В залежності від характеру M_c усі виконавчі механізми умовно можна поділити на 5 класів.

1-й клас. До цього класу належать виконавчі механізми з незмінним статичним моментом

$$M_c = Const,$$

такі, як вантажо-піднімальні механізми, прокатні стани, розвантажувально-навантажувальні роботи, стругальні верстати.

2-й клас. До цього класу належать виконавчі механізми, у яких M_c залежить від швидкості v

$$M_c = f(v).$$

Ця залежність може бути незначною, або значною, лінійною, або нелінійною. Момент може залежати від швидкості у степені 0-2, а для дуже швидкохідних машин – навіть 3-4. до цього класу належать виконавчі механізми з вентиляторною характеристикою (відцентрові насоси, вентилятори, компресори, центрифуги, гребні гвинти, оброблювальні верстати).

3-й клас. До цього класу належать механізми, у яких M_c залежить від шляху (від кута повороту у оберտальних приводів) α

$$M_c = f(\alpha),$$

це виконавчі механізми у механічній частині яких наявні такі перетворювальні ланки, як кривошипно-важільні механізми, ексцентриковий механізм, кулісний механізм, кулачковий механізм і таке інше (ножиці, преси, кантувачі, шокові дробарки, поршневі та інші машини). Для багатьох таких виконавчих механізмів функцію $M_c = f(\alpha)$ важко задати аналітично, тоді вона задається графічно.

4-й клас. До цього класу належать механізми, M_c яких одночасно залежить й від швидкості v й від шляху α

$$M_c = f(v, \alpha),$$

такі як рейковий транспорт (електровози, тепловози, трамваї), привод розвідних мостів, привод стернових пристроїв й таке інше. Наприклад, рух рейкового екіпажу під кутом або на кривих. Тут залежність від швидкості – тертя в осях, тертя по рейкам, а залежність від шляху – рух по схилу, рух на повороті й інше.

5-й клас. До цього класу належать механізми, статичний момент опору яких є функцією часу t

$$M_c = f(t),$$

такі, які працюють під дією збурної сили, що змінюється у часі за періодичним законом, або стежний привод. До цього класу також належать виконавчі механізми, у яких M_c залежить від часу в силу властивостей оброблювального матеріалу, або характеру технологічного процесу. Збурна сила при цьому несе випадковий характер (кульові млини, чесальні машини, шліфувальні верстати, дробарки й таке інше).