

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ
І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
"СПЕЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА"
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗА НАПРЯМОМ
6.050702 – «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»
(У ТОМУ ЧИСЛІ СКОРОЧЕНИЙ ТЕРМІН НАВЧАННЯ)

КРЕМЕНЧУК 2014

Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни «Спеціальні системи електропривода» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямом 6.050702 – «Електромеханіка» (у тому числі скорочений термін навчання)

Укладачі: старш. викл. Ю. В. Зачепа,

асист. О. А. Хребтова

Рецензент к.т.н., доц. В. О. Огарь

Кафедра САУЕ

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № ____ від _____

Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Теми та погодинний розклад практичних занять іа самостійної роботи.	6
2 Перелік практичних занять.....	7
Практичне заняття № 1 Приведення моментів інерції спеціальних електроприводів.....	7
Практичне заняття № 2 Електромеханічні характеристики спеціальних електроприводів.....	14
Практичне заняття № 3 Перехідні процеси в спеціальних електроприводах.....	27
Практичне заняття № 4 Енергетичні характеристики спеціальних електроприводів.....	33
Практичне заняття № 5 Вибір потужності спеціальних електроприводів.....	43
3 Питання до модульного контролю.....	54
4 Питання до іспиту.....	56
5 Критерії оцінювання знань студентів.....	59
Список літератури.....	60
Додаток А Основні розрахункові співвідношення.....	62

ВСТУП

Метою викладання дисципліни “Спеціальні системи електропривода” є вивчення основ проектування, налагодження та експлуатації сучасних систем керування електроприводів усіх типів.

Дисципліна базується на використанні фізичних уявлень та методів синтезу систем керування електроприводів, теорії автоматичного керування, а також на змісті попередніх загальнонаукових і спеціальних курсів “Теорія електропривода”, “Електричні машини”, “Теорія автоматичного керування”.

У результаті вивчення дисципліни студенти повинні знати особливості роботи та будову спеціальних електричних машин, спеціальних джерел живлення електричних машин у складі електропривода, спеціальних систем електроприводів постійного та змінного струмів та отримати навички щодо розрахунку статичних, динамічних та енергетичних характеристик спеціальних електричних машин та електроприводів, розрахунку необхідних параметрів для вибору електромеханічного обладнання спеціальних систем електроприводів, проведення аналізу отриманих рішень щодо якісних показників роботи електроприводів.

Методичні вказівки щодо практичних занять і самостійної роботи містять короткі теоретичні відомості, розгорнутий приклад виконання самостійної роботи, варіанти завдань, контрольні запитання, а також запитання до модуля та іспиту.

Розроблений методичний матеріал дозволяє опанувати методику розрахунків параметрів та характеристики електропривода як загальнопромислового випуску, так і спеціальних типів електрообладнання.

Після вивчення дисципліни студенти повинні

знати:

- особливості роботи та будову спеціальних електричних машин;
- особливості роботи та будову спеціальних джерел живлення електричних машин у складі електропривода;

– особливості роботи та будову спеціальних систем електроприводів постійного та змінного струмів;

уміти:

– розраховувати статичні, динамічні та енергетичні характеристики спеціальних електричних машин та електроприводів;

– розраховувати необхідні параметри щодо вибору електромеханічного обладнання для спеціальних систем електроприводів;

– проводити аналіз отриманих рішень щодо якісних показників роботи електропривода;

мати уявлення: про сучасний стан і тенденції розвитку спеціальних електричних машин та автоматизованого електропривода.

1 ТЕМИ ТА ПОГОДИННИЙ РОЗКЛАД ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Но- мер теми	Тема	Денна форма скороч. т. н.		Заочна форма повн./скороч.	
		К-сть. год. (лекц)	К-сть. год. СРС	К-сть. год. (лекц)	К-сть. год. СРС
1	Приведення моментів інерції спеціальних електроприводів	2	4	-/-	2/2
2	Електромеханічні характеристики спеціальних електроприводів	2	4	1/2	6/6
3	Перехідні процеси в спеціальних електроприводах	4	4	1/2	6/6
4	Енергетичні характеристики спеціальних електроприводів	2	8	1/1	4/4
5	Вибір потужності спеціальних електроприводів	2	4	1/1	-/-

2 ПЕРЕЛІК ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичне заняття № 1

Тема. Приведення моментів інерції спеціальних електроприводів

Мета: набуття навичок розрахунків параметрів електромеханічних систем з урахуванням особливостей механічних з'єднань.

Короткі теоретичні відомості

Електромеханічна система містить у собі обертову частину двигуна (ротор або якір), робочий орган механізму, який здійснює поступальний рух і приєднаний до вала двигуна через передавальний механізм (редуктор), і перетворювач поступального руху на обертальний – барабан з канатом. Зовнішніми силами, або моментами, які діють на електромеханічну систему, є рушійна сила або електромагнітний момент, що розвиває двигун, – F , M і сила, або момент, статичного опору – F_C , M_C , до яких входять сила й момент, зумовлені виконанням роботи робочим органом, тобто створені робочими органами механізмів і силою або моментом тертя, що діють у всій механічній частині електропривода.

Зазвичай найбільш зручно виконувати зведення всіх названих сил і моментів до вала двигуна (іноді – до будь-якого елемента, у тому числі до робочого органа).

Приведення інерційних мас і моментів інерції окремих механічних ланок єдиної електромеханічної системи до вала двигуна полягає в заміні всіх мас і моментів інерції одним еквівалентним моментом інерції $J_{\hat{a}\hat{e}\hat{a}}$ на валу двигуна. З урахуванням умов (1.1) отримаємо:

$$J_{\hat{a}\hat{e}\hat{a}}\omega_1^2/2 = J_{ab}\omega_1^2/2 + \sum_{i=1}^n J_i\omega_1^2/2 + \sum_{i=1}^n m_j V_j^2/2, \quad (1.1)$$

звідки

$$J_{\hat{a}\hat{e}\hat{a}} = J_{ab} + \sum_{i=1}^n J_i/2 + \sum_{i=1}^n m_j P_{1j}^2. \quad (1.2)$$

Зазвичай у каталогах для двигунів указується маховий момент GD^2 , виражений у $\hat{e}\tilde{a} \cdot \dot{\iota}^2$. У цьому випадку момент інерції в системі СІ визначається зі співвідношення $I = GD^2 / 4$. При приведенні обертальних φ_i і поступальних L_j переміщень урахується відоме співвідношення швидкостей, яке виражається передаточним числом L_{1j} або радіусом приведення P_{1j} .

Виходячи з цього, у загальному випадку переміщення механічних ланок у системі електропривода пов'язані так:

$$\varphi_{i\delta} \dot{\iota}_i = \varphi_i \dot{\iota}_i = L_{1j} / P_{1j}. \quad (1.3)$$

Приведення моментів сил опору елементів кінематичного ланцюга здійснюється на основі балансу потужності в механічній частині електропривода. Якщо для механічної частини привода відомий ККД механічної передачі η_n , то з балансу потужностей при передачі потужності від двигуна до робочого органа і назад обертальним і поступальним рухом відповідно:

$$M_c = M_{p.o} / \dot{\iota}_{p.o} \eta_n = M_{p.o} \eta / \dot{\iota}_{p.o} = F_{p.o} P_{1p.o} / \eta_n, \quad (1.4)$$

де M_c – приведений до вала двигуна статичний момент опору робочого органа; $M_{p.o}$, $F_{p.o}$ – момент і зусилля навантаження на робочому органі; $L_{1p.o}$, $P_{1p.o}$ – передаточне відношення редуктора та радіуса приведення зусилля навантаження до вала двигуна, які визначаються за конструктивними параметрами перетворювальних механізмів. Формула (1.4) правдива лише для одномасової розрахункової схеми.

Сумарний приведений до вала двигуна момент статичного навантаження M_c у загальному випадку визначається з урахуванням співвідношень (1.4):

$$M_c = \sum_{i=1}^p M_{i0} / \eta_{1i} \dot{\iota}_i + \sum_{j=1}^q F_j P_j / \eta_{1j}, \quad (1.5)$$

де p і q – число зовнішніх моментів M_i і сил F_j , прикладених до системи, крім електромагнітного моменту двигуна; η_{1i} , η_{1j} – ККД відповідних передач.

Приклади виконання практичних робіт

Приклад 1. Визначити потужність, що розвивається двигуном лебідки (рис. 1.1) при підйомі і спуску вантажу з постійною швидкістю $v = 0,9$ м/с, і момент, який повинен розвиватися двигуном при пусках на підйом і на спуск з прискоренням $0,5$ м/с². Статичний момент, приведений до вала двигуна при підйомі, $M_c = 42$ кГ·м, а при спуску він є активним і дорівнює 34 кГ·м. Приведений до вала двигуна момент інерції механізму $J_{мех} = 0,0815$ кГ·м·с². Момент інерції ротора двигуна $J_d = 0,4815$ кГ·м·с². Швидкість двигуна $n_d = 1430$ об/хв.

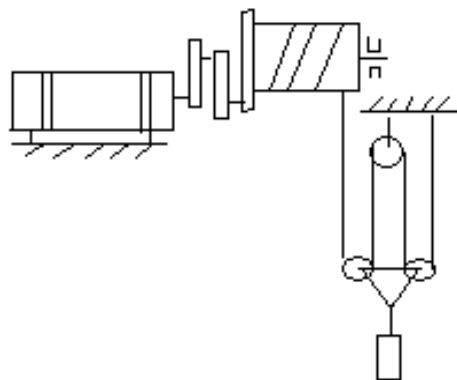


Рисунок 1.1 – Кінематична схема механізму підйому та спуску вантажу

Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи № 1

Потужність, яка розвивається двигуном при підйомі вантажу:

$$P = \frac{M_c n_{\ddot{a}}}{974} = \frac{42 \cdot 1430}{974} = 61,7 \text{ [кВт]}.$$

або

$$P = M_c \cdot \omega_{\ddot{a}} = 412 \cdot 149,7 = 61,7 \text{ [кВт]},$$

де $M_c = 42 \cdot g = 42 \cdot 9,81 = 412$ Н·м; $\omega_{\ddot{a}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1430}{60} = 149,7$ рад/с.

Потужність, що надходить з боку механізму на вал двигуна при спуску вантажу:

$$P = \frac{M_c n_{\ddot{a}}}{975} = \frac{34 \cdot 1430}{975} = 49,8 \text{ кВт}.$$

Оскільки при спуску приведений статичний момент активний, то двигун буде працювати в гальмівному режимі.

Момент, що розвивається двигуном при пуску на підйом:

$$M = M_c + M_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}} = \dot{I}_{\ddot{n}} + J \frac{d\omega}{dt} = M_c + J\omega v^{-1} \frac{dv}{dt};$$

де dv/dt – перша похідна швидкості, що відображає прискорення двигуна.

$$M = 42 + 0,4815 \cdot \frac{3,14 \cdot 1430}{0,9 \cdot 30} \cdot 0,5 = 42 + 40 = 82 \text{ кГ}\cdot\text{м.}$$

Момент, що розвивається двигуном при пуску на спуск:

$$M = -M_c + M_{\ddot{a}\ddot{e}\ddot{i}} = -\dot{I}_{\ddot{n}} + J\omega_{\ddot{e}\ddot{i}} v^{-1} dv/dt;$$

$$M = -34 + 0,4815 \cdot \frac{3,14 \cdot 1430}{0,9 \cdot 30} \cdot 0,5 = -34 + 40 = 6 \text{ кГ}\cdot\text{м.}$$

Двигун буде працювати у рушійному режимі.

Приклад 2. Визначити величину моменту на валу між двигуном і маховиком, а також на валу між маховиком і першою шестірнею механізму прокатного стану (рис. 1.2) при пуску двигуна на неробочому ході і під навантаженням. Втрати потужності у двигуні та маховику можна знехтувати.

Момент, що розвивається двигуном при пуску, $M_d = 560 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Статичний момент при пуску під навантаженням складає $M_c = 312,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Момент інерції маховика, приведений до вала двигуна, $J_m = 78,9 \text{ кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$, решти частини механізму $J_{\text{мех}} = 0,5 \text{ кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$, маховий момент $GD^2 = 40 \text{ е}\ddot{a}\cdot\ddot{i}^2$.

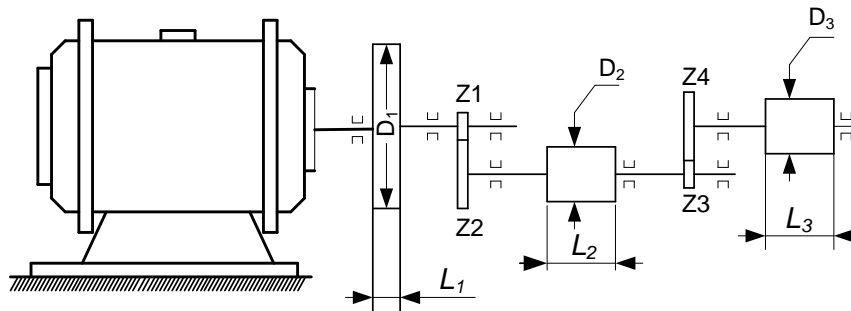


Рисунок 1.2 – Кінематична схема механізму прокатного стану

Розв'язок

Загальний момент інерції механізму і ротора двигуна

$$J_{i\dot{a}} = J_m + J_{i\dot{a}\ddot{o}} + GD_{\dot{a}}^2 / 4 = 78,9 + 0,5 + \frac{40}{4} = 78,9 + 0,5 + 10 = 89,4 \text{ кг}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$$

Прискорення двигуна при пуску під навантаженням:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\ddot{a}} - \dot{I}_{\ddot{n}}}{J_{i\dot{a}}} = \frac{560 - 312,2}{89,4} = 2,77 \text{ 1/с}^2.$$

Момент на валу між двигуном і маховиком при пуску під навантаженням:

$$\dot{I} = \dot{I}_{\ddot{a}} - J \frac{d\omega}{dt} = 560 - \frac{40}{4} \cdot 2,77 = 560 - 28,2 = 532,3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент на валу між маховиком і першою шестірнею при пуску під навантаженням:

$$M = M_{\ddot{a}} - (J_{\ddot{a}} + J_i) \frac{d\omega}{dt} = 560 - (10 + 78,9) \cdot 2,77 = 560 - 246,25 = 313,75 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Прискорення двигуна при пуску на холостому ході:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{\ddot{a}}}{J_{i\dot{a}}} = \frac{560}{89,4} = 6,26 \text{ 1/с}^2.$$

Момент між двигуном і маховиком при пуску на холостому ході:

$$\dot{I} = \dot{I}_{\ddot{a}} - J_{\ddot{a}} \frac{d\omega}{dt} = 560 - \frac{40}{4} \cdot 6,26 = 560 - 62,6 = 497,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент на валу між маховиком і першою шестернею при пуску на неробочому ході:

$$M = M_{\ddot{a}} - (J_{\ddot{a}} + J_i) d\omega / dt ;$$

$$M = 560 - (10 + 78,9) \cdot 6,26 = 560 - 556,9 = 3,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Приклад 3. Визначити приведений до вала двигуна статичний момент при підйомі завантаженого скіпа і маховий момент, приведений до вала двигуна рухомих частин скіпового підйомника (рис. 1.3).

Маса скіпа з вантажем $G = 4000$ кг, діаметр колеса скіпа $D_k = 250$ мм, діаметр цапфи осей коліс $D_u = 30$ мм; коефіцієнт тертя в цапфі $\mu = 0,1$;

коефіцієнт тертя кочення колеса по рейці $f = 0,06$ см, коефіцієнт, що враховує тертя реборди колеса об рейку, $K = 1,35$. Кут нахилу $\alpha = 45^\circ$. Коефіцієнт корисної дії барабана і передачі $\eta = 0,85$. Швидкість підйому скіпа $v = 1,2$ м/с. Швидкість обертання двигуна $n_d = 785$ об/хв.

Приведений до вала двигуна маховий момент, зумовлений масами барабана, напрямного колеса, каната та редуктора, складає $2,1$ кг·м².

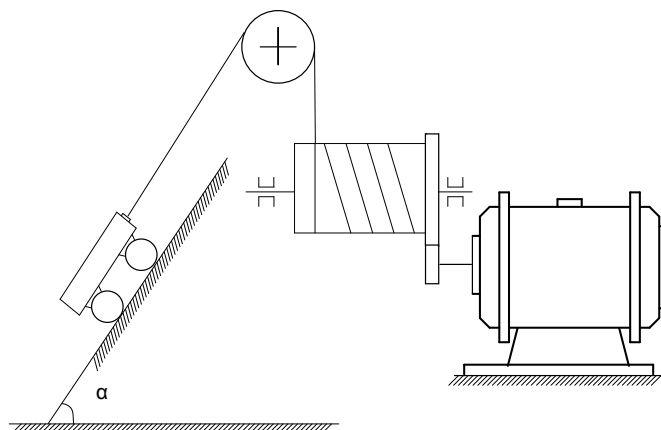


Рисунок 1.3 – Кінематична схема механізму підйому скіпа

Розв'язок

Сила, яка діє на канат, зумовлена масою скіпа з вантажем:

$$F = G \cdot \cos \alpha = 4000 \cdot \cos 45^\circ = 4000 \cdot 0,707 = 2828 \text{ кг.}$$

Сила, яка діє на колесо скіпа:

$$F = G \cdot \sin \alpha = 4000 \cdot \sin 45^\circ = 4000 \cdot 0,707 = 2828 \text{ кг.}$$

Сила, яка діє на канат, зумовлена тертям реборд і коліс об рейки і тертям у цапфах коліс:

$$F_{\delta\delta} = \hat{E} \frac{F}{R_k} (\mu r_{\delta} + f) = 1,35 \cdot \frac{2828}{12,5} \cdot (0,1 \cdot 1,5 + 0,06) = 64,2 \text{ кг.}$$

Сумарна сила, яка діє на канат:

$$F_{\delta\delta\delta} = F + F_{\delta\delta} = 2828 + 64,2 = 2892,2 \text{ кг.}$$

Приведений до вала двигуна статичний момент:

$$M_c = F_{\delta\delta\delta} \frac{v}{\omega_d \eta} = 2892,2 \cdot \frac{1,2 \cdot 30}{3,14 \cdot 735} \cdot \frac{1}{0,85} = 51 \text{ кг·м.}$$

Приведений до вала двигуна момент інерції від поступального руху мас скіпа з вантажем:

$$J_i = \frac{G}{g} \left(\frac{v}{\omega_{\dot{a}}} \right)^2 = \frac{4000}{9,81} \cdot \left(\frac{1,2 \cdot 30}{3,14 \cdot 735} \right)^2 = 0,091 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

Маховий момент скіпового підйомника, приведений до вала двигуна:

$$GD_{\Sigma}^2 = J_n \cdot 4 \cdot 9,81 + 2,1 = 5,67 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Завдання до теми

Задача 1. Визначити час розбігу електропривода з нерухомого стану до швидкості $n_d = 720$ об/хв, якщо середнє значення моменту, що розвивається двигуном при пуску, $M_d = 431,2$ Н·м, а маховий момент привода, приведений до вала двигуна, $GD^2 = 35$ кг·м². Статичний момент на валу двигуна $M_c = 78,4$ Н·м.

Задача 2. Визначити час гальмування до зупинки електропривода, якщо середній гальмівний момент двигуна $M_d = 90$ кГ·м, приведений до вала двигуна момент статичного опору $M_c = 30$ кГ·м, маховий момент $GD^2 = 50$ кг·м². Початкова швидкість двигуна $n_d = 582$ об/хв.

Задача 3. Визначити статичний момент на валу двигуна ножиць (рис. 1.4) для положень механізму, відповідних кутам $\alpha = 30$ і 45° . Зусилля різання $F = 2000$ кг, ККД механізму і редуктора $\eta = 0,75$, $r_1 = r_2 = 1,5$ м, $l = 1,2$ м, $D = 0,6$ м. Передаточне число редуктора $u = 20$.

Контрольні питання

1. Навести класифікацію спеціальних систем електропривода постійного струму.
2. Навести класифікацію спеціальних систем електропривода змінного струму.
3. Дати характеристику факторів, що впливають на точну зупинку тягових електроприводів постійного струму.
4. Навести способи підвищення точності зупинки електроприводів.
5. Охарактеризувати багатодвигунні системи узгодженого обертання електроприводів постійного струму.

Література: [5-8, 15, 17-20].

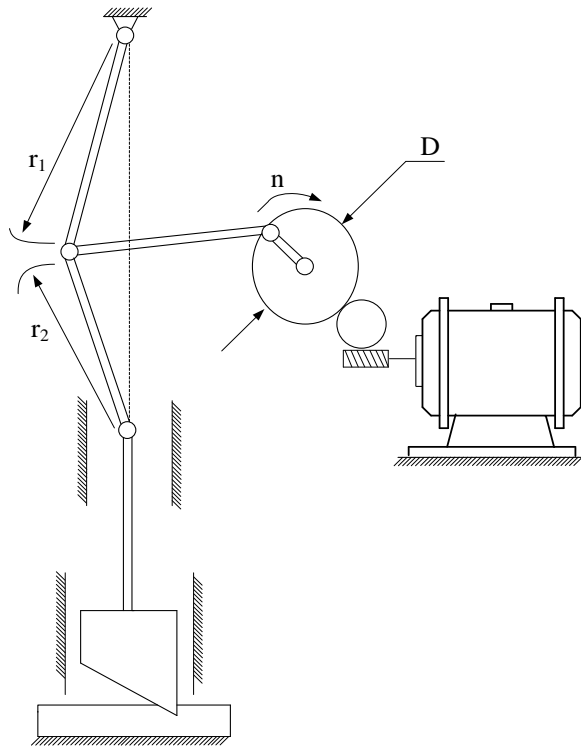


Рисунок 1.4 – Кінематична схема механізму ножиць

Практичне заняття № 2

Тема. Електромеханічні характеристики спеціальних електроприводів

Мета: набуття навичок розрахунку параметрів та аналізу статичних режимів роботи спеціальних електроприводів.

Короткі теоретичні відомості

Параметром, що визначає режим роботи двигуна, є створюваний ним момент M . Момент двигуна залежить від його швидкості, водночас швидкість двигуна змінюється зі зміною навантаження (моменту опору M_c) на його валу. Взаємозв'язок моменту двигуна і його швидкості визначає механічні характеристики електродвигуна (електропривода) $\omega = f(M)$ або $M = f(\omega)$. Для електродвигуна поступального руху механічна характеристика виражає залежність лінійної швидкості від зусилля $V = f(F)$.

Момент опору M_c , що створюється на валу робочого органа машини,

також може бути функцією швидкості. Залежність моменту опору, приведенного до швидкості вала двигуна, $M_c = f(V)$ є механічною характеристикою робочого механізму. Для поступального руху ця залежність має вигляд: $F_c = f(F)$.

Механічні характеристики зображуються в полі осей координат ω і M . Вісі координат ділять поле на 4 квадранта (рис. 2.1). У першому квадранті зображуються механічні характеристики двигуна при роботі у двигунному режимі, у другому – при роботі в гальмівних режимах. У третьому квадранті зображуються механічні характеристики двигуна при роботі у двигунному режимі зі зворотним ($-\omega$) напрямком швидкості обертання. У четвертому квадранті – механічні характеристики двигуна при роботі в гальмівному режимі з від’ємним напрямком швидкості обертання (у тому числі й в режимі противмикання зі спуском вантажу).

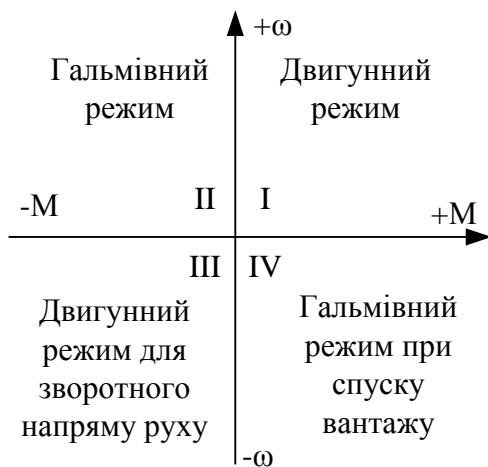


Рисунок 2.1 – Поле координат $M - \omega$

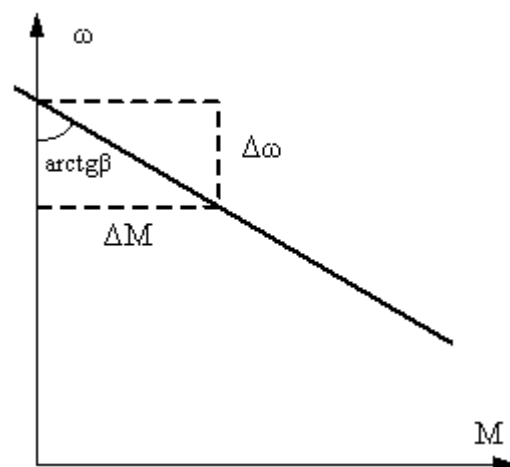


Рисунок 2.2 – Визначення жорсткості механічної характеристики

Основним параметром, що визначає вид механічної характеристики, є її жорсткість (рис. 2.2):

$$\beta = dM / d\omega \approx \Delta M / \Delta \omega. \quad (2.1)$$

Якщо механічна характеристика прямолінійна, то її жорсткість постійна і дорівнює тангенсу кута нахилу характеристики до осі ординат. Якщо

характеристика криволінійна, то жорсткість визначається тангенсом кута нахилу дотичної до механічної характеристики в даній точці. Як правило, жорсткість механічної характеристики двигунів від'ємна.

Жорсткість характеризує здатність двигуна сприймати підключення навантаження (моменту). Із (2.1) випливає, що

$$\Delta\omega = \Delta M / \beta.$$

Якщо при підключенні навантаження ΔM швидкість $\Delta\omega$ зменшується незначно, то механічна характеристика вважається жорсткою. Якщо при тому самому значенні навантаження, що прикладається, відбувається значна зміна швидкості, то таку характеристику називають м'якою.

На рис. 2.3 показані природні механічні характеристики основних видів електродвигунів обертового руху:

1 – двигуна постійного струму незалежного збудження ДПС НЗ; його механічна характеристика має високу жорсткість, стала у всіх точках;

2 – двигуна постійного струму послідовного збудження ДПС ПЗ; жорсткість його механічної характеристики змінна, вона низька при малих навантаженнях і підвищується в міру зростання моменту;

3 – асинхронного двигуна АД; його механічна характеристика має дві явно виражені частини: робочу (з високою сталою від'ємною жорсткістю) і криволінійну (із змінною додатною жорсткістю); друга частина характеристики використовується тільки під час пуску двигуна;

4 – синхронного двигуна СД; він має абсолютно жорстку механічну характеристику, паралельну осі абсцис.

Наведені на рис. 2.3 характеристики називають природними механічними характеристиками. Такі характеристики відповідають типовій схемі їх увімкнення, номінальній напрузі і частоті живлення та відсутності в колах обмоток двигуна додаткових елементів.

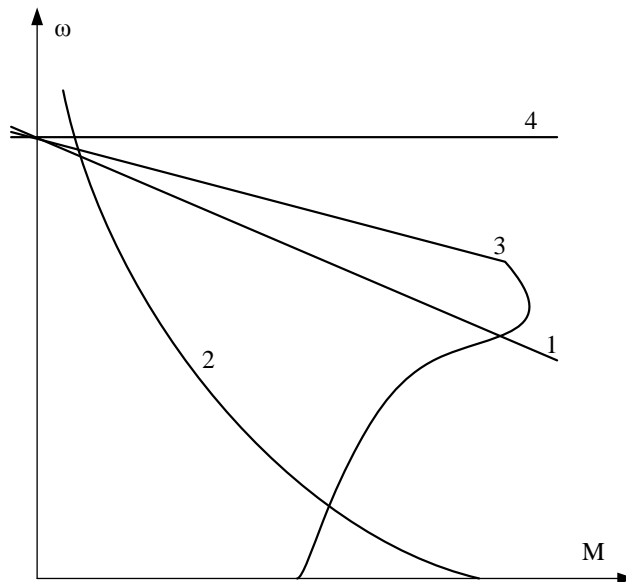


Рисунок 2.3 – Природні механічні характеристики двигунів:

1 – ДПС НЗ; 2 – ДПС ПЗ; 3 – АД; 4 – СД

Штучні (або регульовальні) механічні характеристики отримують, коли з метою регулювання змінюються параметри напруги живлення або в кола обмоток вводяться додаткові елементи (активні або індуктивні опори, напівпровідникові вентиля та ін.).

Приклади виконання практичних робіт

Приклад 1. Вентилятор, який має механічну характеристику $M\% = 5 + 95(n\%/100)^2$, приводиться в рух двигуном постійного струму з паралельним збудженням $P_n = 9,5$ кВт, $U_n = 110$ В, $I_n = 105$ А, $n_n = 1090$ об/хв, $r_{я.д.} = 0,08$ Ом. Двигун живиться від окремого генератора з параметрами: $P_n = 11,5$ кВт, $U = 110$ А, $n_n = 1460$ об/хв, $r_{я.г.} = 24$ Ом. Діапазон регулювання швидкості вентилятора: $D = \frac{n_t}{n_{msn}} = 6$.

Знайти:

- 1) рівняння механічних характеристик двигуна при роботі на вищій та нижчій швидкості;
- 2) величину струму при роботі з найбільшою і найменшою швидкостями;
- 3) величину додаткового опору, який повинен бути ввімкнений у ланцюг

збудження генератора для отримання найменшої швидкості.

Припустити, що швидкість генератора при зміні навантаження залишиться постійною.

Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи № 2

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$n_0 = n_{i.\ddot{a}} \cdot \frac{U_{i.\ddot{a}}}{U_{i.\ddot{a}} - {}^2_{i.\ddot{a}}r_{\ddot{y}.\ddot{a}}} = 1090 \cdot \frac{110}{110 - 105 \cdot 0,08} = 1180 \text{ об/хв.}$$

Для того щоб двигун мав номінальну швидкість n_n при роботі з навантажувальним моментом на валу $M_c = M_n$, необхідно, щоб ЕРС генератора дорівнювала:

$$E_{i.\ddot{a}} = U_{i.\ddot{a}} + {}^2_{i.\ddot{a}}r_{\ddot{y}.\ddot{a}} = 110 + 105 \cdot 0,079 = 118,3 \text{ В.}$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна в системі генератор–двигун:

$$n_{0\tilde{n}\tilde{n}\tilde{n}} = n_0 \frac{\dot{A}_{i.\ddot{a}}}{U_{i.\ddot{a}}} = 1180 \cdot \frac{118,3}{110} = 1269 \text{ об/хв.}$$

Коефіцієнт ЕРС двигуна:

$$\tilde{n}_a = \frac{U_{i.\ddot{a}} - {}^2_{i.\ddot{a}}r_{\ddot{y}.\ddot{a}}}{n_{i.\ddot{a}}} = \frac{110 - 105 \cdot 0,08}{1090} = 0,093.$$

Коефіцієнт моменту двигуна:

$$\tilde{n}_l = \frac{\tilde{n}_a}{1,03} = \frac{0,093}{1,03} = 0,09.$$

Номінальний момент на валу двигуна:

$$\dot{I}_i = 975 \frac{D_i}{n_{i.\ddot{a}}} = 975 \cdot \frac{9,5}{1090} = 8,5 \text{ кГ·м.}$$

Рівняння механічної характеристики двигуна при роботі з номінальною швидкістю:

$$n = n_{0\tilde{n}\tilde{n}\tilde{n}} - \frac{n_{0\tilde{n}\tilde{n}\tilde{n}} \cdot s_i}{\dot{I}_i} \dot{I} = 1269 - \frac{1269 \cdot 0,141}{8,5} \dot{I},$$

або $n = 1269 - 21M$;

$$s_i = \frac{n_{0\text{н\ddot{e}н\ddot{o}} - n_{i.\ddot{a}.}}}{n_{0\text{н\ddot{e}н\ddot{o}}} = \frac{1269 - 1090}{1269} = 0,141.$$

Мінімальна швидкість обертання двигуна:

$$n_{min} = \frac{n_{i.\ddot{a}.}}{6} = \frac{1090}{6} \approx 182 \text{ об/хв.}$$

або $n_{min}\% = 100/6 = 16,7\%$.

Момент вентилятора при мінімальній швидкості:

$$M_{min}\% = 5 + 95 \cdot (16,7/100)^2 = 7,65\%;$$

$$M_{min} = \frac{M_{min}\% \cdot M_i}{100} = \frac{7,65 \cdot 8,5}{100} = 0,65 \text{ кГ}\cdot\text{м.}$$

Швидкість ідеального неробочого ходу на механічній характеристиці, відповідній нижчій швидкості,

$$n_{min} = n_{0min} - 21M_{min};$$

$$n_{0min} = 182 + 21 \cdot 0,65 = 195,6 \text{ об/хв.}$$

Рівняння механічної характеристики при роботі на нижчій швидкості

$$n = 195,6 - 21M.$$

Струм у якорі при роботі двигуна з максимальною швидкістю

$$I_{max} - I_{i.\ddot{a}.} = 105 \text{ А.}$$

Струм у якорі при роботі двигуна з мінімальною швидкістю

$$I_{min} = I_{i.\ddot{a}.} \cdot \frac{\dot{I}_{min}}{\dot{I}_{i\ddot{a}\ddot{o}}} = 105 \cdot \frac{0,65}{8,5} = 8 \text{ А.}$$

Потік в обмотці збудження генератора при роботі двигуна з нижчою швидкістю

$$\hat{O}\% = \frac{n_{0m^3n}}{n_{0\text{н\ddot{e}н\ddot{o}}} \cdot 100 = \frac{195,6}{1269} \cdot 100 = 15,4\%.$$

За універсальною кривою намагнічування (рис. 2.1) знаходимо струм збудження: $I_3\% = 4,5\%$.

Додатковий опір в обмотці збудження генератора

$$\frac{r_{\hat{a}.\hat{a}.}}{r_{\hat{a}.\hat{a}.} + R_{\ddot{u}}} = \frac{4,5}{100};$$

$$R_{\ddot{u}} = \frac{100 - 4,5}{4,5} \cdot 24 = 508,8 \text{ Ом.}$$

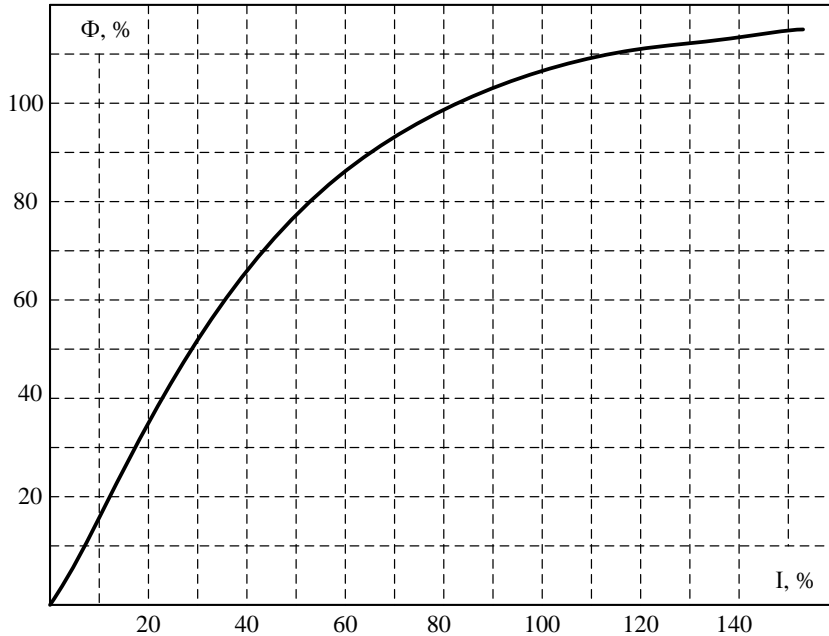


Рисунок 2.1 – Універсальна крива намагнічування для ДПС

Приклад 2. Яку швидкість буде розвивати асинхронний двигун $P_n=22,5$ кВт, $U_n=380$ В, $n_n=1460$ об/хв, $r_1=0,2$ Ом, $r'_2=0,24$ Ом, $x_1=0,39$ Ом, $x'_2=0,46$ Ом при навантаженні номінальним моментом, якщо в коло ротора ввімкнений опір, приведення якого дорівнює 1,2 Ом, а в коло статора – індуктивний опір 0,75 Ом.

Розв'язок

Номінальний момент двигуна

$$M_t = 9550 \cdot \frac{P_t}{\dot{i}_t} = 9550 \cdot \frac{22,5}{1460} = 147,17 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Критичний момент

$$M_k = \frac{14,33}{n_c} \cdot \frac{U_{1\phi}^2}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_{\dot{a}} + \dot{\sigma}'_2)^2}} =$$

$$= \frac{14,33}{1500} \cdot \frac{220^2}{0,2 + \sqrt{0,2^2 + (0,39 + 0,75 + 0,46)^2}} = 256,78 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Критичне ковзання

$$s_k = \frac{r'_2 + R'_{\dot{a}}}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_{\dot{a}} + \dot{\sigma}'_2)^2}} = \frac{0,24 + 1,2}{\sqrt{0,2^2 + (0,39 + 0,75 + 0,46)^2}} = 0,893.$$

Ковзання при номінальному навантаженні двигуна

$$M_i = \frac{2\dot{I} \dot{e}}{\frac{s_i}{s_k} + \frac{s_k}{s_i}}; \quad 147,17 = \frac{2 \cdot 256,78}{\frac{s_i}{0,893} + \frac{0,893}{s_i}};$$

У результаті отримуємо рівняння вигляду

$$s_i^2 - 3,14s_i + 0,8 = 0.$$

При розв'язку рівняння отримали корені

$$s_i = 1,57 \pm \sqrt{2,46 - 0,8} = 1,57 \pm 1,286;$$

$$s_{n1} = 1,57 + 1,286 = 2,85;$$

$$s_{n2} = 1,57 - 1,286 = 0,28.$$

Беремо $s_{n2} = 0,28$, оскільки s_{n1} не відповідає рушійному режиму.

Швидкість обертання двигуна

$$n = n_c(1 - s_{n2}) = 1500(1 - 0,28) = 1080 \text{ об/хв}.$$

Приклад 3. Для стартерного електродвигуна постійного струму послідовного збудження, електропостачання якого здійснюється від акумуляторної батареї (дані електродвигуна та акумуляторної батареї наведені в табл. 2.1), визначити:

1. Напругу на затискачах електродвигуна при пуску.
2. Потужність, що споживає електродвигун при пуску.
3. Потужність, що споживає електродвигун на холостого ходу.
4. Опори обмотки якоря та послідовної обмотки збудження.
5. Електричні втрати в двигуні на холостого ходу.

6. Механічні втрати в електродвигуні.
7. Момент холостого ходу, корисний (номінальний) та електромагнітний моменти електродвигуна.
8. За значеннями $M_{н.о.}$, $M_{ном}$, $M_{2к.н.}$ та $n_{н.о.}$, $n_{я.ном}$ і $n_{я}=0$ побудувати механічну характеристику електродвигуна, зробити висновок щодо пускових властивості електродвигуна.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до задачі

Тип стартера	Максимально допустима ємність акумуляторної батареї при $t_{ел}=20^{\circ}\text{C}$, C_{20}	Параметри стартерного двигуна							
		Номінальний			Режим холостого ходу			Режим пуску (повного гальмування)	
		$U_{ном}$	$P_{ном}$	$n_{а.н.}$	$I_{н.о.0}$	$U_{н.о.}$	$n_{н.о.}$	$I_{к.н.}$	$M_{2к.н.}$
		Агод	В	кВт	хв ⁻¹	А	В	хв ⁻¹	А
СТ2-А	90	12	1,6	1200	80	12	4000	650	29,5

Розв'язок

Напругу на затискачах двигуна при пуску визначаємо за рівнянням:

$$U_{KH} = U_{\hat{H}} \left(1 - a_a \frac{I_{\hat{H}}}{0,75 \tilde{N}_{20}} \right),$$

де a_a – коефіцієнт, що враховує умови розряду та конструктивні особливості акумуляторної батареї.

Для батарей ємністю до 100 Агод $a_a = 0,05$; при перевищенні $a_a = 0,057$.

Тоді:

$$U_{KH} = 12 \left(1 - 0,05 \frac{550}{0,75 \cdot 90} \right) = 7,2 \text{ В.}$$

Потужність, яка споживається при пуску:

$$D_{\hat{H}} = U_{\hat{H}} I_{KH} = 7,2 \cdot 550 = 3960 \text{ Вт.}$$

Потужність, яка споживається на холостого ходу:

$$D_{\hat{H}} = U_{HO} I_{HO} = 12 \cdot 75 = 900 \text{ Вт.}$$

Номинальний момент на валу двигуна:

$$\dot{I}_{2\dot{m}} = 9550 \frac{D_{\dot{m}}}{n_{a.n.}} = 9550 \cdot \frac{1,6}{1200} = 12,7 \text{ Нм.}$$

Опір обмотки якоря та послідовної обмотки збудження:

$$R_{\dot{n}\dot{o}} = R_{\dot{a}} + R_{\dot{i}\dot{m}\dot{e}} = \frac{U \dot{E} \dot{I}}{2 \dot{E} \dot{I}} = \frac{7,2}{550} = 0,013 \text{ Ом.}$$

Електричні втрати у двигуні на холостого ходу:

$$\Delta D_{\dot{a}\dot{e}\dot{i}\dot{f}} = 2 \dot{I}^2 \cdot R_{\dot{n}\dot{o}} = 75^2 \cdot 0,013 = 0,073 \text{ кВт.}$$

Механічні втрати у двигуні:

$$\Delta D_{\dot{i}\dot{a}\dot{o}} \approx D_{\dot{i}\dot{f}} - \Delta D_{\dot{a}\dot{e}\dot{i}\dot{f}} = 0,9 - 0,073 = 0,827 \text{ кВт.}$$

Момент холостого ходу:

$$\dot{I}_{2\dot{f}} = 9550 \frac{D_{\dot{i}\dot{a}\dot{o}}}{n_{\dot{f}}} = 9550 \frac{0,827}{4000} = 1,97 \text{ Нм.}$$

Електромагнітний момент двигуна:

$$\dot{I}_{\dot{a}\dot{i}} = \dot{I}_{2\dot{m}} + \dot{I}_{2\dot{f}} = 2,7 + 1,97 = 14,67 \text{ Нм.}$$

Опір обмоток якоря беруть $R_a \approx (0,45...0,65) \cdot R_{\dot{n}\dot{o}}$, тоді:

$$R_a \approx 0,56 R_{\dot{c}\dot{o}} = 0,5 \cdot 0,013 = 0,0073 \text{ Ом,}$$

$$R_{\dot{i}\dot{m}\dot{e}} = R_{\dot{n}\dot{o}} - R_y = 0,013 - 0,0073 = 0,0057 \text{ Ом.}$$

За значеннями моментів та швидкостей будемо механічну характеристику двигуна $n=f(M)$.

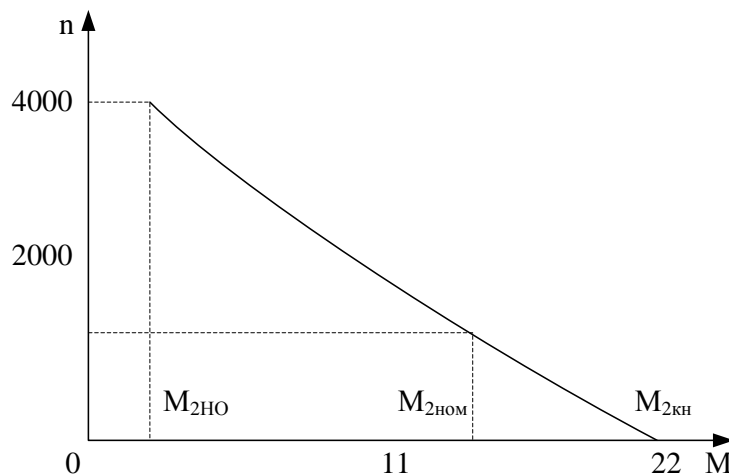


Рисунок 2.2 – Механічна характеристика стартерного ДПС

Висновок: у початковий момент пуску ДПС з послідовним збудженням розвиває великий обертальн момент 22 Нм, що приблизно у 2 рази перевищує номінальний 12,7 Нм і дозволяє забезпечити стартерному пристрою пускову частоту обертання колінчастого вала.

Завдання до теми

Задача 1. Генератор Г постійного струму незалежного збудження $P_H=41$ кВт, $U_H=230$ В, $I_H=178$ А, $r_{я.з.}=0,06$ Ом живить два однакові паралельно увімкнені двигуни (Д1, Д2): $P_H=20,5$ кВт, $U_H=220$ В, $I_H=103,9$ А, $n_H=750$ об/хв, $r_{я.д.}=0,138$ Ом (рис. 2.3).

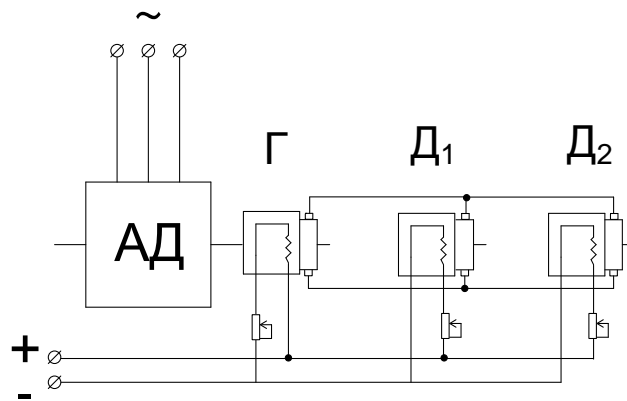


Рисунок 2.3 – Схема генератора постійного струму

Магнітні потоки двигунів однакові. Збудження Г підібрано так, що при повному навантаженні Д1 і Д2 напруга на їх затискачах дорівнює номінальній.

Визначити швидкості обертання двигунів, якщо навантаження на Д1 складає $M_{с1}=0,1M_H$, а на Д2 – $M_{с2}=1,2M_H$.

Задача 2. Двигун постійного струму з послідовним збудженням $P_H=25$ кВт, $U_H=220$ В, $I_H=134$ А, $n_H=885$ об/хв, $r_{я.}=0,093$ Ом, $r=0,062$ Ом працює на природній характеристиці з реактивним моментом навантаження, при якому швидкість його складає 150 % від номінальної.

Визначити:

1) величину опору, який необхідно увімкнути, щоб при перемиканні двигуна в режим противмикання ЕРС була рівна номінальній напрузі;

2) встановлену швидкість при цьому опорі, ураховуючи, що момент навантаження не змінився.

Задача 3. Вал асинхронного двигуна $P_H=8$ кВт, $I_{1H}=18,3$ А, $n_H=940$ об/хв, $E_{2к}=152$ В, $I_{2H}=33$ А жорстко з'єднані з валом машини постійного струму паралельного збудження $P_H=9,5$ кВт, $U_H=110$ В, $I_H=105$ А, $n_H=980$ об/хв, $r_{я}=0,08$ Ом, що працює в режимі динамічного гальмування.

Визначити:

1) величини опорів, які необхідно ввімкнути в коло ротора асинхронного двигуна і якоря машини постійного струму, щоб отримати дві механічних характеристики агрегату; одна характеристика повинна проходити через точки: т.А ($M=0, n_{01}=n_c$) і т. Б ($M=M_H, n=0,85n_c$), а друга повинна бути паралельна першій і проходити через т. В ($M=0, n_{02}=0,3n_c$), (рис. 2.4);

2) найбільше значення моментів, що розвиваються в кожній з машин при роботі агрегату на нижній механічній характеристиці, якщо статичний момент на валу змінюється від 6,6 до 2,6 кГ·м.

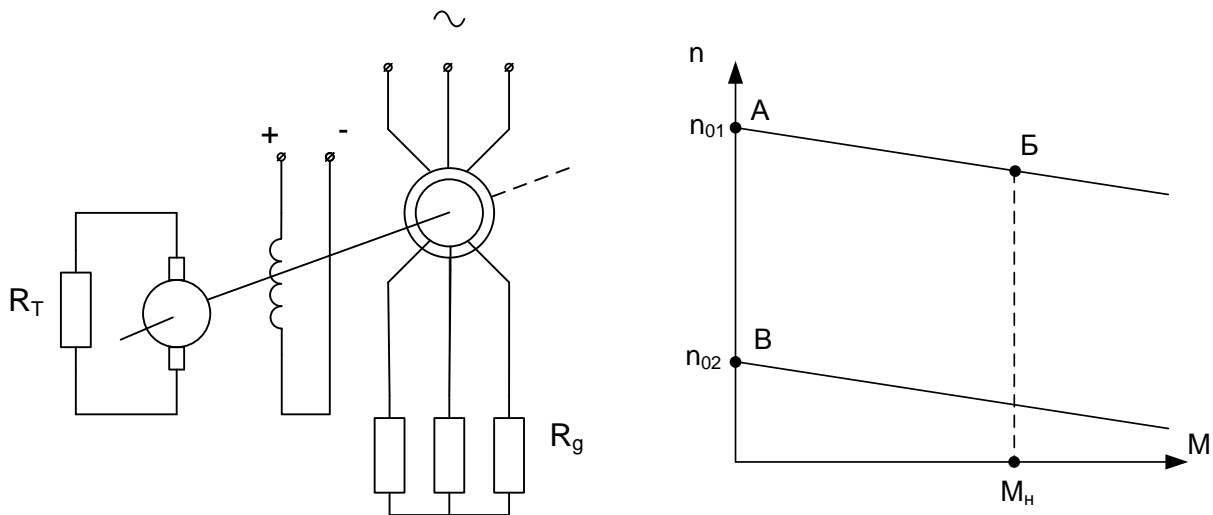


Рисунок 2.4 – Схема установки та механічні характеристики ДПС

При розрахунку припустити, що:

- а) механічна характеристика асинхронного двигуна пряmolінійна і проходить через точку холостого ходу;
- б) перша механічна характеристика агрегату виходить при розімкненому

колі якоря машини постійного струму.

Задача 4. Виконати завдання Прикладу 3 відповідно до варіанта табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до задачі

№	Тип стартера	Максимально допустима ємність акумуляторної батареї при $t_{ел}=20^{\circ}\text{C}$, C_{20}	Параметри стартерного двигуна							
			Номінальний			Режим неробочого ходу			Режим пуску (повного гальмування)	
			$U_{ном}$	$P_{ном}$	$n_{я.н.}$	$I_{н.о.0}$	$U_{н.о.}$	$n_{я.н.о.}$	$I_{к.н.}$	$M_{2к.н.}$
		Агод	В	кВт	хв ⁻¹	А	В	хв ⁻¹	А	Нм
1	СТ2-А	90	12	1,8	1100	80	12	3500	650	29,5
2	СТ4-А1	55	12	0,59	1600	75	12	4000	315	9,0
3	СТ103-А	182	24	8,0	1200	110	24	5000	825	60,0
4	СТ23.3708	55	12	1,5	1550	70	12	4000	660	22,0
5	СТ130-А3	90	12	1,8	1200	90	12	3400	700	22,0
6	СТ142-Б	190	24	7,7	1500	130	24	6000	800	49,0
7	СТ231.3708	75	12	1,5	1550	70	12	4000	660	22,0
8	СТ230-А1	75	12	2,5	1400	85	12	4000	550	22,0
9	СТ230-Б1	75	12	1,5	1200	85	12	4000	550	22,0

Задача 5. Асинхронний двигун з контактними кільцями $P_n=15,5$ кВт, $U_n=380$ В, $I_{00}=17,6$ А, $n_n=1425$ об/хв, $r_1=0,6$ Ом, $r_2'=0,5$ Ом, $E_{2к}=232$ В працює в режимі динамічного гальмування. Схема вмикання обмотки статора наведена на рис. 2.5. Напряга динамічного гальмування становить 78 В.

Визначити величину опору, який необхідно ввімкнути в коло ротора, щоб при моменті $M=0,7M_n$ двигун розвивав швидкість 70 % від синхронної. Припусти, що двигун працює на лінійному відрізку механічної характеристики: $M=0$, $n=0$ і $M=M_n$, $n=n_n$.

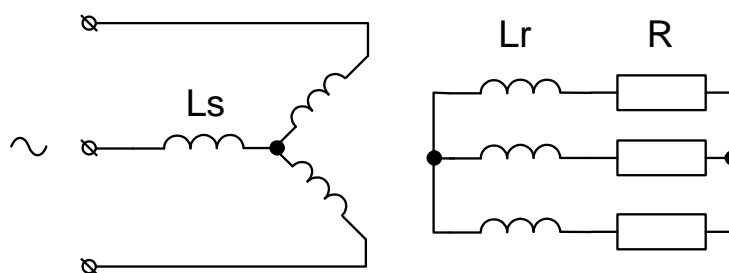


Рисунок 2.5 – Схема вмикання обмоток АД

Задача 6. Довести, що в системі електричного вала (рис. 2.6) з двома однаковими асинхронними двигунами Д1 і Д2 струм у реостаті дорівнює нулю при куті неузгодженості 180 електричних градусів.

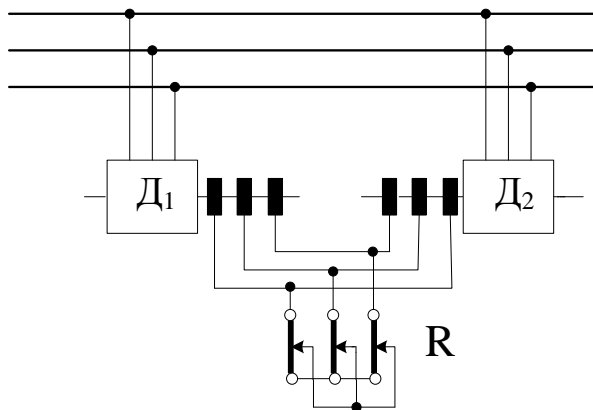


Рисунок 2.6 – Схема вмикання реостата в систему «електричний вал»

Контрольні питання

1. Дати характеристику систем «електричний вал» з основними робочими машинами.
2. Охарактеризувати принципи фазування машин у системі «електричний вал».
3. Навести характеристики системи «електричний вал» зі зрівняльними асинхронними машинами, що обертаються проти поля.
4. Навести характеристики системи «електричний вал» зі зрівняльними асинхронними машинами, що обертаються за полем.
5. Навести характеристики системи «електричний вал» зі зрівняльними синхронними машинами.

Література: [5-8, 15, 17-20].

Практичне заняття № 3

Тема. Перехідні процеси в спеціальних електроприводах

Мета: набуття навичок розрахунку параметрів та аналізу динамічних

режимів роботи спеціальних електроприводів.

Короткі теоретичні відомості

У спеціальних мікродвигунів постійного струму (ДПС) час протікання електромагнітних перехідних процесів значно менший, ніж час протікання електромеханічних процесів. Тому динамічні властивості виконавчого мікродвигуна при перехідних процесах можна досліджувати за допомогою рівняння рівноваги моментів:

$$M = M_{\tilde{n}\dot{\omega}} + Jd\omega/dt, \quad (3.1)$$

де M – обертальний момент двигуна; M_{cm} – статичний момент опору на валу; J – момент інерції ротора.

З виразу (3.1) видно, що зміна кутової швидкості ротора ω в часі визначається законом зміни обертального моменту від кутової швидкості, тобто механічною характеристикою. Згідно з механічною характеристикою ДПС:

$$\frac{M}{(\omega_{0\alpha} - \omega)} = \frac{M_{i\alpha}}{\omega_{0\alpha}}, \quad (3.2)$$

де $\omega_{0\alpha}$ і $M_{i\alpha}$ – значення швидкості холостого ходу і пускового моменту при коефіцієнті α сигналу керування.

Рівняння (3.1) з урахуванням (3.2.) матиме вигляд (при $M_{cm}=0$):

$$J \frac{\omega_{0\alpha}}{M_{i\alpha}} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_{0\alpha}. \quad (3.3)$$

При якірному керуванні

$$\omega_{0\alpha} = \alpha\omega_0, \quad M_{i\alpha} = \alpha M_i, \quad (3.4)$$

а рівняння (3.3) набуде вигляду

$$J \frac{\omega_0}{M_i} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \alpha\omega_0, \quad (3.5)$$

При полюсному керуванні

$$\omega_{0\alpha} = \omega_0 / \alpha, \quad M_{i\alpha} = \alpha M_i, \quad (3.6)$$

а рівняння (3.3) набуде вигляду

$$J \frac{\omega_0}{M_i \alpha^2} \frac{d\omega}{dt} + \omega = \alpha \frac{\omega_0}{\alpha^2}. \quad (3.7)$$

Розв'язання рівнянь (3.5) і (3.7) для режиму пуску має вигляд:

$$\omega = \omega_{0\alpha} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_i}}\right), \quad (3.8)$$

де T_i – електромеханічна стала часу двигуна.

Вираз (3.8) є рівнянням перехідної характеристики спеціального ДПС, тобто зміни в часі вихідної величини ω при подачі на вхід деякого постійного сигналу α . Згідно з (3.5), T_i – це час, протягом якого ДПС після подачі напруги керування ($\alpha \neq 0$) розвиває кутову швидкість рівну $\omega = 0,632 \cdot \omega_{in}$:

$$T_i = J \frac{\omega_{0\alpha}}{M_i \alpha} = \frac{J}{k_{\ddot{a}}}. \quad (3.9)$$

Електромеханічна стала T_i часу двигуна визначається

$$\text{– при якірному керуванні} \quad T_i = J \frac{\omega_0}{M_i}, \quad (3.10)$$

$$\text{– при полюсному керуванні} \quad T_i = J \frac{\omega_0}{M_i \alpha^2}, \quad (3.10')$$

де $\omega_0 / M_n = R_{\ddot{y}} / (k\hat{O})^2$.

На підставі виразів (3.10) і (3.10') можна зробити висновок: електромеханічна стала часу прямо пропорційна моменту інерції ротора, швидкості неробочого ходу і обернено пропорційна пусковому моменту. У разі якірного керування величина T_i не залежить від коефіцієнта сигналу, а в разі полюсного – зростає зі зменшенням сигналу. Останнє пояснюється зменшенням жорсткості механічних характеристик. Від статичного моменту навантаження на валу двигуна величина T_i не залежить.

Приклади виконання практичних робіт

Приклад 1. Визначити час розбігу, гальмування противмиканням і реверса асинхронного короткозамкненого двигуна $P_n=15$ кВт, $n_c=1500$ об/хв,

$$s_H=2,86\%, M_k/M_H=2,4, GD^2=0,9 \text{ кГм}^2.$$

Статичний момент на валу двигуна 3 кГ·м. Маховий момент механізму, приведений до вала двигуна, 0,4 кН·м².

Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи № 3

Номинальна швидкість двигуна

$$n_H=1500(1 - 0,0286) = 1457 \text{ об/хв.}$$

Номинальний момент двигуна

$$M_i = \frac{975 \cdot D_i}{n_i} = \frac{975 \cdot 15}{1457} = 10,05 \text{ кГ·м.}$$

Критичне ковзання

$$s_k = s_i (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,286 \cdot (2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,131.$$

Пусковий момент двигуна

$$\dot{I}_i = \frac{2\dot{I}_e}{\frac{1}{s_k} + \frac{1}{1}} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 10,05}{0,131 + \frac{1}{1}} = 6,22 \text{ кГ·м.}$$

Середній момент при розбігу

$$M_{\bar{n}\delta} = \frac{\dot{I}_e + \dot{I}_i}{2} = \frac{24,12 + 6,22}{2} = 15,15 \text{ кГ·м.}$$

Механічна стала часу

$$\dot{O}_{i\bar{e}} = \frac{J \cdot \omega_c}{M_K} = \frac{1,3 \cdot 3,14 \cdot 1500}{4 \cdot 9,81 \cdot 24,12 \cdot 30} = 0,216 \text{ с.}$$

Час розбігу привода

$$t_\delta = \dot{O}_{i\bar{e}} \left(\frac{1}{4s_k} + \frac{3}{2}s_k \right) \cdot \frac{M_{\bar{n}\delta}}{\dot{I}_{\bar{n}\delta} - \dot{I}_{\bar{n}}}$$

$$t_\delta = 0,216 \left(\frac{1}{4 \cdot 0,131} + \frac{3}{2} \cdot 0,131 \right) \cdot \frac{15,15}{15,15 - 3} = 0,54 \text{ с.}$$

Момент, що розвивається двигуном при $s=2$,

$$\dot{I}_{s=2} = \frac{2\dot{I}_e}{\frac{1}{s_k} + \frac{1}{2}} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 10,05}{0,131 + \frac{1}{2}} = 3,16 \text{ кГ·м.}$$

Середній момент при гальмуванні

$$M_{\bar{n}\bar{\delta}} = \frac{\dot{I}_{\bar{i}} + \dot{I}_{s=2}}{2} = \frac{6,22 + 3,16}{2} = 4,7 \text{ кГ}\cdot\text{м.}$$

Час гальмування

$$t_{\bar{a}} = T_{i\bar{e}} \left(\frac{3}{4s_k} + 0,345s_k \right) \frac{M_{\bar{n}\bar{\delta}}}{M_{\bar{n}\bar{\delta}} + M_{\bar{n}}};$$

$$t_{\bar{a}} = 0,216 \cdot \left(\frac{3}{4 \cdot 0,131} + 0,345 \cdot 0,131 \right) \cdot \frac{4,7}{4,7 + 3} = 0,76 \text{ с.}$$

Час реверсу

$$t_{\text{рев}} = t_p + t_2 = 0,54 + 0,76 = 1,3 \text{ с.}$$

Завдання до теми

Задача 1. Двигун змінного струму з параметрами: $P_n=20$ кВт, $n_c=750$ об/хв, $s_n=2,65\%$, $M_k/M_n=2$, $GD^2=3,2$ кг·м² працює з маховиком при ступінчастому графіку навантаження його вала (рис. 3.1).

Визначити величину опору, який необхідно ввімкнути в коло ротора, щоб при моменті інерції маховика 140 кг·м² максимальний момент, що розвивається двигуном, не перевищував величину $0,85 M_k$. Механічну характеристику в зоні до $M=0,85M_k$ уважати прямою, що проходить через точки ($M=M_n$, $n=n_n$) і ($M=0$, $n=n_c$).

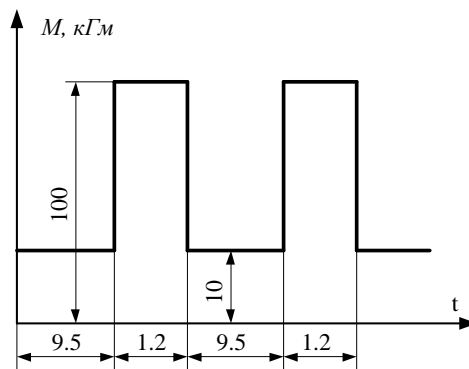


Рисунок 3.1 – Графік навантаження на валу двигуна

Задача 2. Поворотна платформа екскаватора приводиться в рух асинхронним двигуном з кільцями $P_n=100$ кВт, $n_c=1000$ об/хв, $s_n=2,67\%$, $\eta=0,89$;

$\cos\varphi=0,83$; $M_k/M_H=2,8$, $E_{2к} = 368$ В, $I_{2н}=170$ А, $GD^2=48$ кг·м². Кінематична схема механізму зображена на рис. 3.2.

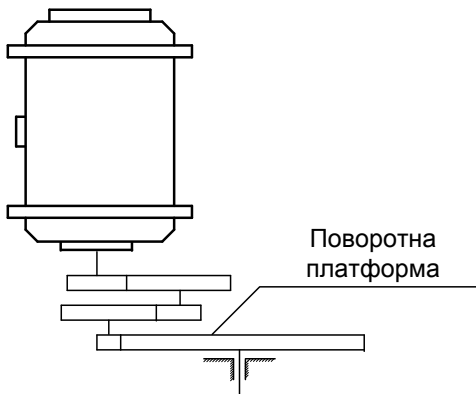


Рисунок 3.2 – Кінематична схема механізму

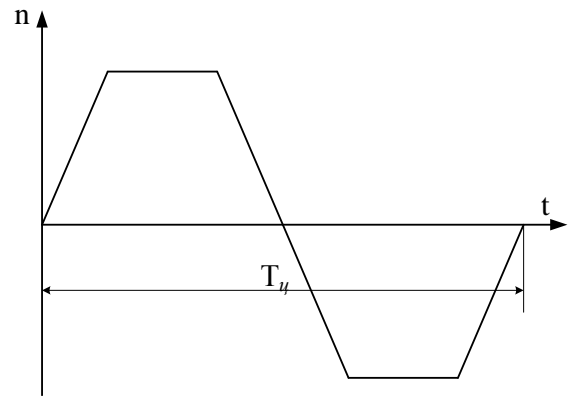


Рисунок 3.3 – Цикл роботи механізму

Визначити час циклу при повороті платформи на 180° і назад. Цикл роботи (рис. 3.3) складається з розбігу двигуна; роботи з усталеною швидкістю; реверсу, що складається з гальмування противмиканням в один ступінь і розбігу в один ступінь; далі – знову робота з усталеною швидкістю і гальмування противмиканням в один ступінь.

У коло ротора двигуна, крім пускових опорів, увімкнений постійний опір, що призводить до збільшення ковзання двигуна при номінальному навантаженні в 3 рази. Статичний момент на валу двигуна $0,2M_H$, маховий момент поворотної платформи і передачі, приведений до вала двигуна, $GD^2=240$ кг·м². Передаточне число $i=470$. Максимальний момент при пуску і гальмуванні противмиканням $2,4M_H$. Уважати, що механічна характеристика двигуна є прямою і проходить через точки (n_H, M_H) , і $(n_C, M=0)$.

Задача 3. Визначити час гальмування без навантаження ДПС, що працює від окремого керованого генератора (система генератор–двигун), шляхом відключення обмотки збудження від живлення для двох значень розрядного опору 3 і 5 Ом відповідно. Індуктивність та активний опори обмотки збудження генератора дорівнюють $L_3=2,5$ Гн, $R_3=1$ Ом відповідно. Електрична

стала часу двигуна – $T_e=0,05$ с.

Контрольні питання

1. Охарактеризувати регулювання швидкості спеціальних систем електропривода з дросельним керування.
2. Дати характеристику тиристорним схемам отримання низьких частот обертання асинхронних двигунів.
3. Дати характеристику системам сумісного живлення статора АД постійним та змінним струмами (регулювання швидкості з фіксацією постійним струмом).
4. Охарактеризувати систему регулювання швидкості при підмагнічуванні постійним струмом двошвидкісного асинхронного двигуна.
5. Охарактеризувати систему регулювання швидкості при імпульсному регулюванні частоти обертання асинхронного двигуна.

Література: [5-8, 15, 17-20].

Практичне заняття № 4

Тема. Енергетичні характеристики спеціальних електроприводів

Мета: набуття навичок розрахунку параметрів енергопроцесів у спеціальних системах електропривода.

Короткі теоретичні відомості

Енергетично електромеханічну систему можна розділити на 3 складові:

- перетворювач електричної енергії (керований випрямляч, регулятор напруги, перетворювач частоти та ін.) слугує для перетворення електричної енергії мережі живлення на електричну енергію, зручну за своїми параметрами (напругою, частотою та ін.) для живлення регульованого електричного двигуна;
- електромеханічний перетворювач (електрична машина) слугує для перетворення електричної енергії на регульовану механічну енергію, яка необхідна для здійснення технологічного процесу; вихідним параметром

електромеханічного перетворювача є момент (зусилля), що розвивається двигуном;

– механічний перетворювач (редуктор, трансмісія) здійснює передачу механічної енергії від двигуна до робочого органа машини (або назад); механічний перетворювач перетворює момент і швидкість на валу двигуна до тих величин моменту і швидкості, які повинні бути на робочому органі за умовами технологічного процесу.

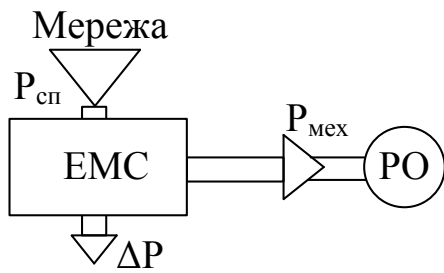
Будь-яка електрична машина, як електромеханічний перетворювач енергії, може працювати у двох режимах: рушійному – перетворення електричної енергії на механічну; гальмівному (генераторному) режимі – перетворення механічної енергії на електричну. У рушійному режимі (рис. 4.1, а) електрична енергія, отримана з мережі, без урахування втрат у перетворювачі й електродвигуні, перетворюється на механічну і передається робочому органу машини РО.

Гальмівні режими за своїми енергетичними характеристиками можуть відрізнятися.

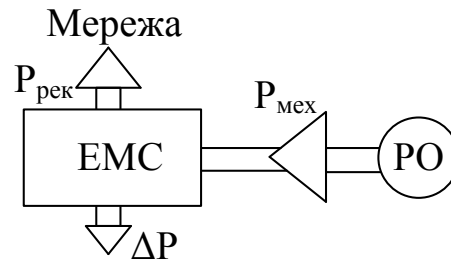
Режим рекуперативного генераторного гальмування. У цьому режимі (рис. 4.1, б) енергія, збережена в рухомих елементах механічної системи, або потенційна енергія, відбирається від робочого органа (наприклад, у режимі спуску вантажу), надходить на вал електродвигуна і перетворюється ним, як генератором, на електричну енергію, яка без урахування втрат в електричній машині і перетворювачі віддається в мережу живлення; у цьому режимі електродвигун працює як генератор паралельно з мережею живлення; такий режим гальмування енергетично є найбільш вигідним, тому енергія гальмування використовується з користю.

Режим динамічного гальмування. У цьому режимі двигун відключається від мережі і працює як автономний генератор, навантажений на опір; енергія гальмування (рис. 4.1, в), що надходить на вал електродвигуна, перетворюється на електричну і вся витрачається на втрати в електричній машині і (у разі

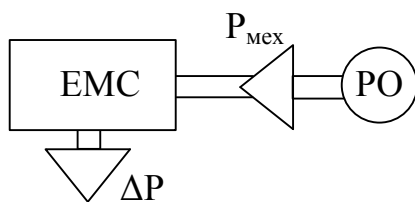
необхідності) у увімкнених у колі обмоток машини опорах.



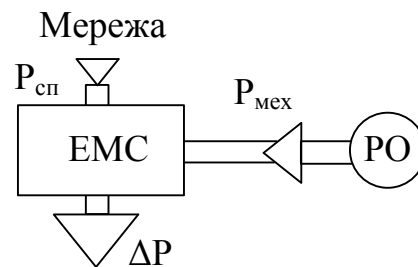
а) рушійний режим



б) рекуперативне гальмування



в) динамічне гальмування



г) гальмування противмиканням

Рисунок – 4.1 Енергетичні діаграми режимів роботи електропривода

Режим противмикання може використовуватися у двох випадках:

– режим гальмування противмиканням – двигун, що обертається в одному напрямку, з метою гальмування вмикається у зворотному напрямку; двигун при цьому споживає електричну енергію з мережі і механічну енергію гальмування, що надходить на вал електродвигуна (рис. 4.1, г). Сумарна енергія витрачається на втрати в електродвигуні та в опорах, увімкнених у колах обмоток машини. Режим характеризується великими втратами енергії;

– режим противмикання при спуску вантажу – використовується в електроприводах вантажопідійомних механізмів для створення гальмівного моменту при спуску вантажу; у розглянутому режимі механізм рухається під дією сили тяжіння вантажу, а електродвигун вмикається в напрямку підйому вантажу, створюючи за допомогою системи регулювання необхідний гальмівний момент. Енергетично цей режим ідентичний попередньому режиму гальмування противмиканням.

Приклади виконання практичних робіт

Приклад 1. Розрахувати втрати енергії в спеціальному чотиришвидкісному асинхронному двигуні з к.з. ротором, що має такі синхронні швидкості: $n_{c1}=3000$ об/хв; $n_{c2}=1500$ об/хв; $n_{c3}=1000$ об/хв і $n_{c4}=500$ об/хв при ступінчастому пуску на холостого ходу:

- 1) в 1 ступінь: з $n=0$ до $n_{c1}=3000$ об/хв;
- 2) у 2 ступені: а) з $n=0$ до $n_{c2}=1500$ і потім, б) до $n_{c1}=3000$ об/хв;
- 3) у 3 ступені: а) $n=0$ до $n_{c3}=1000$, потім б) до $n_{c2}=1500$ і в) до $n_{c1}=3000$ об/хв;
- 4) у 4 ступені: а) з $n=0$ до $n_{c4}=500$, далі б) до $n_{c3}=1000$, потім в) до $n_{c2}=1500$ і г) до $n_{c1}=3000$ об/хв.

Втратами енергії в сталі статора і механічними втратами можна знехтувати.

Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи № 4

Втрати енергії, що виділяються у двигуні при пуску, розраховуються за формулою:

$$\Delta A = \frac{J \cdot \omega_c^2}{2} (s_{i\dot{a}}^2 - s_{\dot{e}i}^2) \cdot \left(1 + \frac{r_1'}{r_2'}\right) \cdot \frac{9,81}{1000} \text{ кВт}\cdot\text{с.}$$

1. Пуск в 1 ступінь до 3000 об/хв;

$$\Delta A = \frac{J \cdot \omega_{c1}^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{r_1'}{r_2'}\right) \cdot \frac{9,81}{1000} = \frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 3000^2}{2 \cdot 30^2} \cdot (1 + 1,5) \cdot \frac{9,81}{1000} = 122 \text{ кВт}\cdot\text{с.}$$

2. Пуск у 2 ступені 1500 – 3000 об/хв;

$$\Delta A = \left(\frac{J \cdot \omega_{c2}^2}{2} + \frac{J \cdot \omega_{c1}^2}{2} \cdot 0,25 \right) \cdot \left(1 + \frac{r_1'}{r_2'}\right) \cdot \frac{9,81}{1000} \text{ кВт}\cdot\text{с.}$$

$$\Delta A = \left(\frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 1500^2}{2} + \frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 3000^2}{2} \cdot 0,25 \right) \cdot (1 + 1,5) \cdot \frac{9,81}{1000} = 61 \text{ кВт}\cdot\text{с.}$$

3. Пуск у 3 ступені 1000 – 1500 – 3000 об/хв;

$$\Delta A = \left(\frac{J \cdot \omega_{c3}^2}{2} + \frac{J \cdot \omega_{c2}^2}{2} \cdot 0,115 + \frac{J \cdot \omega_{c1}^2}{2} \cdot 0,25 \right) \cdot \left(1 + \frac{r_1'}{r_2'}\right) \cdot \frac{9,81}{1000};$$

$$\Delta A = \left(\frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 1000^2}{2} + \frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 1500^2}{2} \cdot 0,115 + \frac{3,14^2 \cdot 3000^2}{2} \cdot 0,25 \right) \times \\ \times (1 + 1,5) \cdot \frac{9,81}{1000} = 48,2 \text{ кВт}\cdot\text{с.}$$

4. Пуск у 4 ступені 500 – 1000 – 1500 – 3000 об/хв;

$$\Delta A = \left(\frac{J \cdot \omega_{c4}^2}{2} + \frac{J \cdot \omega_{c3}^2}{2} \cdot 0,25 + \frac{J \cdot \omega_{c2}^2}{2} \cdot 0,115 + \frac{J \cdot \omega_{c1}^2}{2} \cdot 0,25 \right) \cdot \left(1 + \frac{r_1'}{r_2} \right) \cdot \frac{9,81}{1000};$$

$$\Delta A = \left(\frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 500^2}{2} + \frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 1000^2}{2} \cdot 0,25 + \frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 1500^2}{2} \cdot 0,115 + \right. \\ \left. + \frac{0,1 \cdot 3,14^2 \cdot 3000^2}{2} \cdot 0,25 \right) \cdot (1 + 1,5) \cdot \frac{9,81}{1000} = 41,37 \text{ кВт}.$$

Приклад 2. Визначити кількість циклів роботи асинхронного двигуна за годину без перегріву останнього вище допустимої температури.

Параметри асинхронного короткозамкненого двигуна: $P_H=4,5$ кВт; $n_c=1500$ об/хв; $s_H=0,04$; $\eta=0,855$; $\cos\varphi=0,86$; $\lambda=M_k/M_H=2$; $GD^2=0,17$ кг·м². Цикл роботи складається з:

- пуску двигуна зі статичним моментом $M_c=0,74$ кГ·м;
- роботи в усталеному режимі з $M_c=2,8$ кГ·м протягом $t=10$ с;
- гальмування противмиканням зі статичним моментом $M_c=0,32$ кГ·м.

Маховий момент механізму, приведений до вала двигуна, складає 0,06 кГ·м².

Постійні втрати двигуна при номінальному навантаженні складають 40 %, а змінні 60 % від номінальних втрат АД. Коефіцієнт тепловіддачі при нерухомому роторі складає 50 %, а при пуску і гальмуванні 75 % коефіцієнта тепловіддачі при номінальній швидкості. Опір фази статора більший приведенного опору фази ротора на 20 %.

Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи № 4

Номінальна швидкість двигуна:

$$n_H = n_c (1 - s_H) = 1500(1 - 0,04) = 1440 \text{ об/хв.}$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_{\dot{i}} = \frac{975 \cdot \dot{D}_i}{\ddot{i}_i} = \frac{975 \cdot 4,5}{1440} = 3,05 \text{ кГм.}$$

Максимальний момент двигуна:

$$M_k = 2M_H = 2 \cdot 3,05 = 6,1 \text{ кГм.}$$

Критичне ковзання двигуна:

$$s_k = s_i (\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,04 (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0,149$$

Пусковий момент двигуна:

$$\dot{I}_{\dot{i}} = \frac{2\dot{I}_{\dot{e}}}{\frac{1}{s_k} + \frac{s_k}{1}} = \frac{2 \cdot 6,1}{\frac{1}{0,149} + \frac{0,149}{1}} = 1,78 \text{ кГм.}$$

Середній момент, що розвивається двигуном при розбігу:

$$M_{\dot{n}\dot{\delta},\dot{\delta}} = \frac{\dot{I}_{\dot{e}} + \dot{I}_{\dot{i}}}{2} = \frac{6,1 + 1,78}{2} = 3,92 \text{ кГм.}$$

Втрати енергії у двигуні при розбігу:

$$\Delta A_{\dot{\delta}} = \frac{J \cdot \omega_c^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot \frac{\dot{I}_{\dot{n}\dot{\delta},\dot{\delta}}}{\dot{I}_{\dot{n}\dot{\delta},\dot{\delta}} - \dot{I}_{\dot{n}}} \cdot \frac{9,81}{1000};$$

$$\Delta A_{\dot{\delta}} = \frac{0,23 \cdot 3,14^2 \cdot 1500^2}{2,4 \cdot 9,81 \cdot 30^2} \cdot (1 + 1,2) \cdot \frac{3,92}{3,92 - 0,74} \cdot \frac{9,81}{1000} = 1,93 \text{ кВт}\cdot\text{с};$$

Час розбігу:

$$t_{\dot{\delta}} = \dot{O}_{i\dot{e}} \left(\frac{1}{4s_k} + \frac{3}{2}s_k \right) \cdot \frac{M_{\dot{n}\dot{\delta},\dot{\delta}}}{\dot{I}_{\dot{n}\dot{\delta},\dot{\delta}} - \dot{I}_{\dot{n}}};$$

$$\dot{O}_{i\dot{e}} = \frac{J \cdot \omega_c}{M_K} = \frac{GD^2 \cdot \ddot{i}_{\dot{n}}}{375 \cdot \dot{I}_{\dot{e}}} = \frac{0,23 \cdot 1500}{375 \cdot 6,1} = 0,151 \text{ с};$$

$$t_{\dot{\delta}} = 0,151 \left(\frac{1}{4 \cdot 0,1492} + \frac{3}{2} \cdot 0,1492 \right) \cdot \frac{3,92}{3,92 - 0,74} = 0,352 \text{ с.}$$

Середній момент, що розвивається двигуном при гальмуванні противмиканням:

$$M_{\dot{n}\dot{\delta},\dot{\delta}} = \frac{\dot{I}_{\dot{i}} + \dot{I}_{s=2}}{2};$$

$$\dot{I}_{s=2} = \frac{2\dot{I}_{\hat{e}}}{\frac{2}{s_k} + \frac{s_k}{2}} = \frac{2 \cdot 6,1}{\frac{2}{0,149} + \frac{0,149}{2}} = 0,905 \text{ кГ} \cdot \text{м.}$$

$$M_{\tilde{n}\tilde{\delta}. \tilde{\delta}} = \frac{1,78 + 0,905}{2} = \frac{2,685}{2} = 1,34 \text{ кГ} \cdot \text{м.}$$

Втрати енергії у двигуні при гальмуванні:

$$\Delta A_{\tilde{a}} = \frac{3 \cdot J \cdot \omega_c^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right) \cdot \frac{\dot{I}_{\tilde{n}\tilde{\delta}. \tilde{\delta}}}{\dot{I}_{\tilde{n}\tilde{\delta}. \tilde{\delta}} + \dot{I}_{\tilde{n}}} \cdot \frac{9,81}{1000}$$

$$\Delta A_{\tilde{a}} = \frac{3 \cdot 0,23 \cdot 3,14^2 \cdot 1500^2}{2 \cdot 4 \cdot 9,81 \cdot 30^2} \cdot (1 + 1,2) \cdot \frac{1,34}{1,34 + \dot{I}_{\tilde{n}}} \cdot \frac{9,81}{1000} = 3,82 \text{ кВт} \cdot \text{с};$$

Час гальмування:

$$t_{\tilde{a}} = T_{i\hat{e}} \left(\frac{3}{4s_k} + 0,345s_k \right) \frac{M_{\tilde{n}\tilde{\delta}}}{M_{\tilde{n}\tilde{\delta}. \tilde{a}} + M_{\tilde{n}}};$$

$$t_{\tilde{a}} = 0,151 \left(\frac{3}{4 \cdot 0,149} + 0,345 \cdot 0,149 \right) \frac{1,34}{1,34 + 0,32} = 0,62 \text{ с.}$$

Номінальні втрати двигуна:

$$\Delta \mathcal{D}_i = \frac{\mathcal{D}_i}{\eta_i} - \mathcal{D}_i = \frac{4,5}{0,855} - 4,5 = 0,76 \text{ кВт.}$$

Постійні втрати за умовою задачі дорівнюють:

$$\Delta P_c = 0,4 \cdot \Delta P_n = 0,4 \cdot 0,76 = 0,304 \text{ кВт.}$$

Змінні втрати при номінальному навантаженні за умовою задачі:

$$P_v = 0,6 \Delta P_n = 0,6 \cdot 0,76 = 0,456 \text{ кВт.}$$

Втрати потужності у двигуні при усталеній швидкості:

$$\Delta \mathcal{D}_{\tilde{o}\tilde{n}\tilde{\delta}} = \hat{e} + v_i \left(\frac{\dot{I}_{\tilde{n}}}{\dot{I}_i} \right)^2 = 0,304 + 0,456 \left(\frac{2,8}{3,05} \right)^2 = 0,689 \text{ кВт.}$$

Втрати енергії у двигуні за цикл:

$$\Delta A_u = \sum \Delta A = \Delta A_p + \Delta A_m + \Delta P_{ycm} \cdot t_{ycm};$$

$$\Delta A_u = 1,93 + 3,82 + 0,689 \cdot 10 = 12,64 \text{ кВт} \cdot \text{с.}$$

Середні допустимі втрати енергії у двигуні за цикл:

$$\Delta A_{cp.u} = \Delta P(0,75 \cdot (t_p + t_2) + t_{ycm} + 0,5 t_{нарузу});$$

$$\Delta A_{cp.u} = 0,76(0,75 \cdot (0,352 + 0,62) + 10 + 0,5 t_{наузи});$$

$$\Delta A_{cp.u} = 8,17 + 0,38 t_{наузи}$$

Час паузи визначається з відношення:

$$\Delta A_u = \Delta A_{cp.u};$$

$$12,64 = 8,17 + 0,38 t_{наузи} \quad \text{звідки} \quad t_{наузи} = 4 \cdot 47 / 0,38 = 11,75 \text{ с.}$$

Час одного циклу:

$$t_u = t_p + t_z + t_{yem} + t_{наузи};$$

$$t_u = 0,352 + 0,62 + 10 + 11,75 = 22,7 \text{ с.}$$

Число циклів за годину:

$$n = 3600 / t_u = 3600 / 22,7 = 158 \text{ циклів/год.}$$

Приклад 3. Визначити значення потужностей у статорних і роторних колах асинхронних двигунів з кільцями, що працюють у системі «електричний вал» за схемою асинхронний перетворювач частоти–двигун подвійного живлення з обертанням за напрямком поля. Однолінійна схема з'єднань і напрямки передачі потужностей вказані на рис. 4.1.

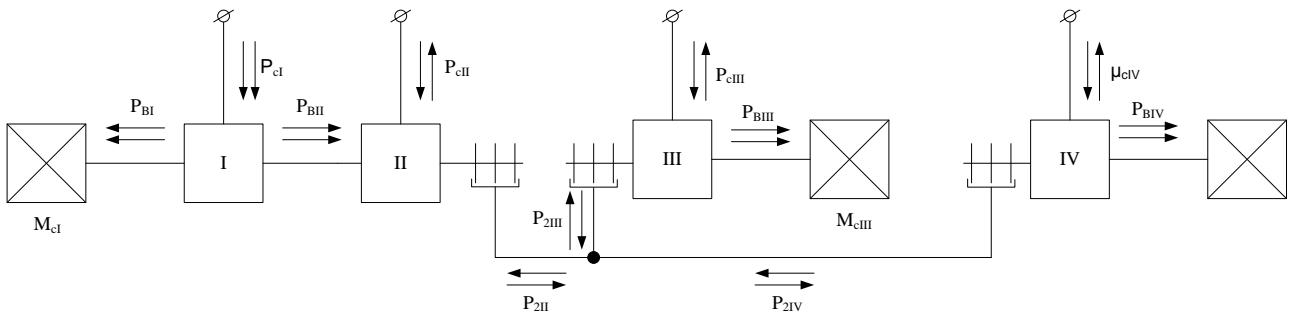


Рисунок 4.1 – Схема електричного вала

Статичні моменти на валах двигунів: $M_{с1} = 15 \text{ кГ}\cdot\text{м}$, $M_{с3} = 5 \text{ кГ}\cdot\text{м}$, $M_{с4} = 8 \text{ кГ}\cdot\text{м}$. Синхронна швидкість першого двигуна (I) дорівнює 1000 об/хв, другого (II), третього (III) і четвертого (IV) – 1500 об/хв. Припустити, що швидкість приводного двигуна I не залежить від навантаження і дорівнює синхронній швидкості. Втратами потужності в обмотках сталі двигунів, а також механічними втратами можна знехтувати.

Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи № 4

Двигун IV.

Потужність, що віддається на вал:

$$D_{\hat{a}4} = \frac{\dot{I}_{\hat{n}4} n_{\hat{a}4}}{975} = \frac{8 \cdot 1000}{975} = 8,2 \text{ кВт.}$$

Потужність, що споживається з мережі:

$$D_{\hat{n}4} = \frac{\dot{I}_{\hat{n}4} n_{\hat{n}4}}{975} = \frac{8 \cdot 1500}{975} = 12,3 \text{ кВт.}$$

Потужність, що віддається в роторне коло:

$$D_{24} = \frac{\dot{I}_{\hat{n}4} \cdot (n_{\hat{n}4} - n_{\hat{a}4})}{975} = \frac{8 \cdot (1500 - 1000)}{975} = 4,1 \text{ кВт.}$$

Двигун III.

Потужність, що віддається на вал:

$$D_{\hat{a}3} = \frac{\dot{I}_{\hat{n}3} \cdot n_{\hat{a}3}}{975} = \frac{5 \cdot 1000}{975} = 5,13 \text{ кВт.}$$

Потужність, що споживається з мережі:

$$D_{\hat{n}3} = \frac{\dot{I}_{\hat{n}3} \cdot n_{\hat{n}3}}{975} = \frac{5 \cdot 1500}{975} = 7,7 \text{ кВт.}$$

Потужність, що віддається в роторне коло:

$$D_{23} = \frac{\dot{I}_{\hat{n}3} \cdot (n_{\hat{n}3} - n_{\hat{a}3})}{975} = \frac{5 \cdot (1500 - 1000)}{975} = 2,57 \text{ кВт.}$$

Двигун II.

Потужність, що споживається двигуном з боку ротора:

$$P_{22} = P_{24} + P_{23} = 4,1 + 2,57 = 6,67 \text{ кВт.}$$

Електромагнітний момент, що розвивається двигуном:

$$\dot{I}_{\hat{a}2} = \frac{975 \cdot D_{22}}{n_{\hat{n}2} - n_{\hat{a}2}} = \frac{975 \cdot 6,67}{1500 - 1000} = 13 \text{ кГ}\cdot\text{м.}$$

Потужність, що споживається з вала:

$$D_{\hat{a}2} = \frac{\dot{I}_{\hat{a}2} n_{\hat{a}2}}{975} = \frac{13 \cdot 1000}{975} = 13,33 \text{ кВт.}$$

Потужність, що віддається в мережу:

$$P_{c2}=P_{e2}+P_{22}=13,33+6,67=20 \text{ кВт.}$$

Двигун І.

Момент на валу двигуна:

$$M_1=M_{c1}+M_{e2}=15+13=28 \text{ кВт.}$$

Потужність, що віддається на вал:

$$D_{a1}=\frac{\dot{I}_1 n_{a1}}{975}=\frac{28 \cdot 1000}{975}=28,7 \text{ кВт.}$$

Потужність, що споживається з мережі:

$$D_{c1}=\frac{\dot{I}_1 n_{c1}}{975}=\frac{28 \cdot 1000}{975}=28,7 \text{ кВт.}$$

Завдання до теми

Задача 1. Виконати завдання Прикладу 1 згідно з варіантом табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до задачі

№ варіанта	$\frac{r_1}{r_2}$	J , кг·м ²
1	1,05	0,1
2	1,1	0,12
3	1,2	0,15
4	1,3	0,14
5	1,4	0,18
6	1,5	0,21
7	1,05	0,46
8	1,1	0,32
9	1,2	0,24
10	1,3	0,08

№ варіанта	$\frac{r_1}{r_2}$	J , кг·м ²
11	1,4	0,2
12	1,5	0,38
13	1,05	0,41
14	1,1	0,33
15	1,2	0,27
16	1,3	0,24
17	1,4	0,51
18	1,5	0,47
19	1,6	0,53
20	1,7	0,29

Задача 2. Визначити, на скільки можна збільшити число циклів за годину механізму Прикладу 2, якщо замість одного приводного двигуни застосувати два однакових асинхронних двигуна такої ж сумарної потужності. Параметри двигунів: $P_n=2,25$ кВт, $n_c=1500$ об/хв, $s_n=5\%$, $\eta=0,84$, $\lambda=M_k/M_n=2$, $GD^2=0,05$ кг·м², $r_1=1,2 r_2$.

Цикл роботи; час усталеної роботи; величини статичних моментів при пуску, реверсі й усталеній роботі; приведений маховий момент механізму;

відсоток змінних і постійних втрат; ступінь зміни коефіцієнта тепловіддачі в період пуску, реверсу і паузи – взяти з *Прикладу 2*.

Задача 3. Визначити значення потужностей у статорних і роторних колах асинхронних двигунів з кільцями, що працюють у системі «електричний вал» за схемою асинхронний перетворювач частоти–двигун подвійного живлення з обертанням проти напрямку поля.

Схема з'єднань, напрямок передачі потужностей, значення статичних моментів на валах двигунів та їх швидкості обертання – взяти з *Прикладу 3*.

Контрольні питання

1. Охарактеризувати види втрат енергії в електроприводі та навести показники якості перетворення енергії.

2. Дати характеристику методів визначення потужності електропривода за середніми втратами енергії.

3. Дати характеристику двигунного режиму електропривода постійного струму за енергетичними показниками.

4. Дати характеристику режиму рекуперативного та динамічного гальмування електропривода постійного струму за енергетичними показниками.

5. Дати характеристику двигунного режиму асинхронного електропривода змінного струму за енергетичними показниками.

6. Дати характеристику режиму гальмування противмиканням асинхронного електропривода змінного струму за енергетичними показниками.

Література: [6, 7, 12-14].

Практичне заняття № 5

Тема. Вибір потужності спеціальних електроприводів

Мета: отримання навичок розрахунку потужності спеціальних електродвигунів та вибору основного електрообладнання технологічних механізмів та процесів.

Короткі теоретичні відомості

Вихідними даними для правильного розрахунку потужності і вибору типу електропривода є технологічні та конструктивні вимоги, які виникають у зв'язку з ефективним використанням виробничих механізмів, а саме забезпечення високої продуктивності, надійності та точності їх роботи. Оскільки одним з головних елементів електропривода є електродвигун, то необхідно насамперед розглядати питання розрахунку потужності електродвигунів, що працюють у різних режимах.

Вибір потужності електродвигуна зумовлюється характером зміни статичного навантаження на його валу, а також умовами протікання перехідних процесів в електроприводі. Стосовно характеру зміни статичного моменту виробничі механізми можуть бути розподілені на такі групи:

Перша група. Механізми, у яких статичний момент залишається постійним і не залежить від кутової швидкості обертання. До цих механізмів належать: шахтний підйомник з урівноваженим канатом; прокатний стан; механізми підйому мостового крана; ліфт; механізми, основна робота яких пов'язана з подоланням сил тертя, наприклад механізми подач металорізальних верстатів і т. д.:

$$M_c = const . \quad (5.1)$$

Однак значення цього моменту, залишаючись незалежним від швидкості, може змінюватися в широких межах.

Друга група. Механізми, статичний момент яких залежить від кутової швидкості (рис. 5.1) – відцентровий вентилятор, насос, центрифуга тощо:

$$M_c = M_0 + k\omega^2 . \quad (5.2)$$

де M_0 – момент холостого ходу механізму.

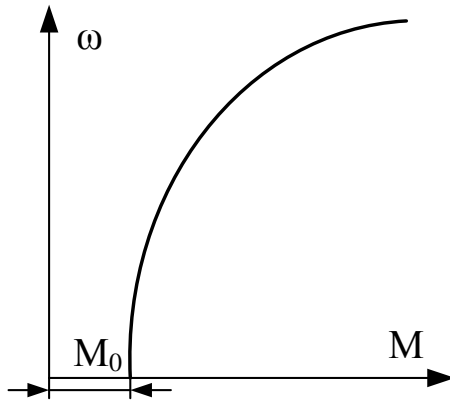


Рисунок 5.1 – Механічна характеристика відцентрових механізмів (II група)

До цієї ж групи можуть бути віднесені тягові транспортні механізми, головні приводи металорізальних верстатів і т. д., для яких характерним є сталість потужності навантаження, тобто $M\omega = const$.

Третя група. Механізми, у яких статичний момент залежить від шляху. Сюди належать пристрої з кривошипними передачами, де навантаження змінюються залежно від кута повороту кривошипа φ (рис. 5.2): ножиці для розрізання металу; поворотні столи з мальтійським хрестом; преси; поршневі компресори; шахтні підйомники з неврівноваженим канатом і т. д.

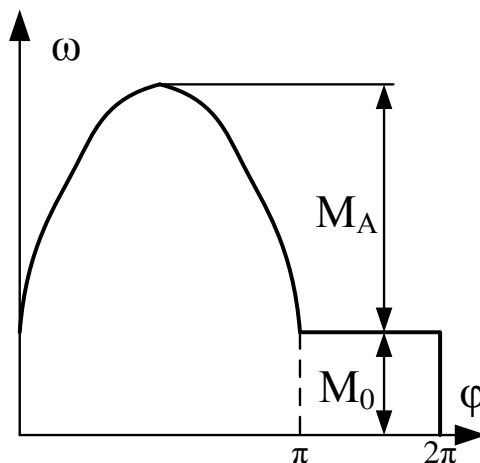


Рисунок 5.2 – Механічна характеристика кривошипних механізмів (III група)

У загальному випадку момент опору механізмів цієї групи описується рівнянням

$$M_c = M_0 + M_A \sin \varphi. \quad (5.3)$$

де M_0 , M_A – момент холостого ходу та максимальний момент механізму.

Іншим прикладом механізмів цієї групи може слугувати механізм копання роторного екскаватора.

Четверта група. Механізми, у яких статичний момент залежить від швидкості і шляху. Прикладом може бути гребний гвинт суднової установки. Для сталої швидкості руху судна момент опору на валу двигуна гребного гвинта пропорційний квадрату кутової швидкості двигуна (крива 1 на рис. 5.3). При заданні команди на реверсуванні гвинта судно продовжує спочатку рухатися в тому самому напрямку, і момент опору, що залежить від швидкості руху судна, виявляється не пропорційним у цей період квадрату кутової швидкості гвинта. Результуюча статична характеристика має складну форму і показана для різних сталих швидкостей руху судна на рис. 5.3 (крива 2 – для меншої швидкості руху судна, крива 3 – для більшої).

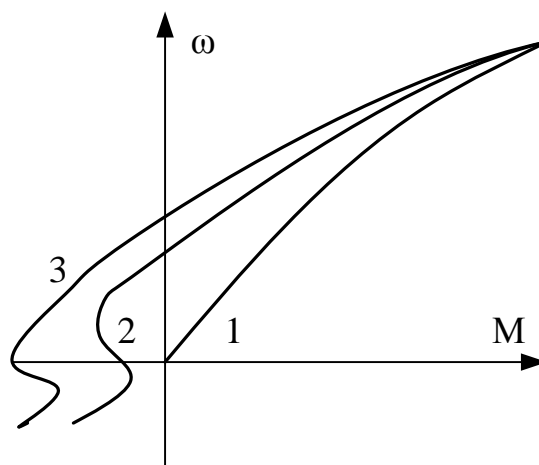


Рисунок 5.3 – Механічні характеристики гребного гвинта (IV група)

У цьому випадку момент на валу гребного гвинта залежить від швидкості руху судна, а оскільки рух судна загальмовується (швидкість руху знижується), то момент залежить і від шляху, пройденого судном і гвинтом (ці шляхи різні), і від кутової швидкості самого гвинта.

П'ята група. Механізми, у яких статичний момент характеризується

випадковою зміною в часі. Це, наприклад, каменедробарки, кульові млини в цементній промисловості і т. д.

Навантаження на валу електропривода змінюється не тільки у зв'язку з регулюванням швидкості механізму, але і внаслідок зміни режиму роботи механізму або через залежність моменту навантаження від шляху, тобто від часу. Наприклад, у кліті прокатного стану протягом одного пропуску металу через валки момент прокатки, зумовлений об'ємом деформованого металу і тиском, практично залишається постійним. Однак момент прокатки від пропуску до пропуску змінюється, і змінною виявляється також тривалість пропусків. Навантаження протягом часу прокатки одного злитка змінюється, а потім повністю повторюється при поновленні прокатки наступного злитка.

Графічне зображення залежності статичного моменту механізму, приведенного до вала двигуна, від часу $M_c = f(t)$ називають діаграмою навантаження механізму.

Графічне зображення залежності швидкості виконавчого органа механізму (у вигляді кутової швидкості, приведенної до вала двигуна) від часу $\omega = f(t)$ називають діаграмою швидкості електропривода (або механізму).

Також існують режими, зумовлені випадковим навантаженням. Під випадковими розуміють такі режими, при яких одна або кілька змінних, що характеризують їх, змінюються заздалегідь непередбачуваним чином, тобто є випадковими величинами. Наприклад, для ліфтових установок не вдається виділити ділянки діаграми навантаження, де графіки $M_c(t)$ були б ідентичні.

При роботі двигуна в будь-якому режимі, з тим чи іншим навантаженням у ньому виникають втрати енергії, що визначають нагрівання двигуна, а отже, його потужність і габарити. Тому насамперед необхідно приділити увагу знаходженню втрат енергії в електроприводах з двигунами постійного і змінного струмів як у сталому, так і в перехідному режимах.

Приклади виконання практичних робіт

Приклад 1. Асинхронний двигун з контактними кільцями приводить у

рух піднімальну лебідку вантажопідйомністю 2 м, що підіймає вантаж з трюму судна зі швидкістю 2 м/с на висоту 20 м і спускає порожній гак масою 100 кг з тією самою швидкістю. Пауза між спуском та підйомом, а також між підйомом та спуском складає 5 с (рис. 5.4). Втрати на тертя в механізмі при спуску і підйомі можна вважати однаковими і рівними 6 % номінальної корисної потужності лебідки.

Визначити потужність двигуна, якщо відомо, що його тепловіддача за час паузи в 2 рази менша від тепловіддачі за час роботи на повній швидкості. Пусковими втратами знехтувати. Кратність допустимого перевантаження двигуна за потужністю складає 2.

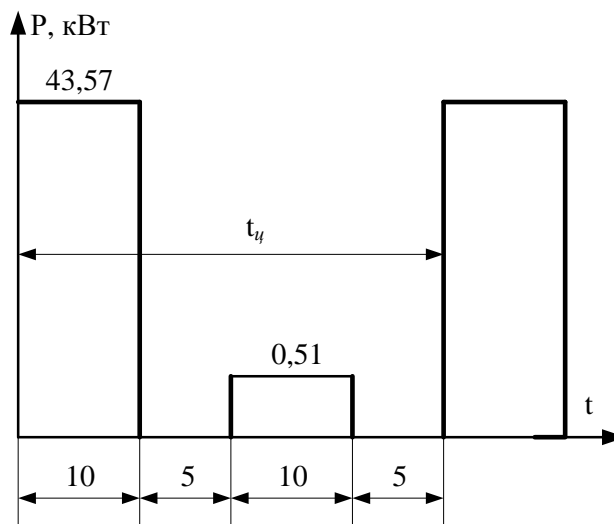


Рисунок 5.4 – Графік потужності за цикл роботи

Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи № 5

Корисна потужність при підйомі вантажу

$$D_1 = \frac{(G_2 + G_k) \cdot v_1}{102} = \frac{(2000 + 100) \cdot 2}{102} = 41,1 \text{ кВт.}$$

Потужність втрат при підйомі номінального вантажу

$$\Delta P_I = 0,06 \cdot P_I = 0,06 \cdot 41,1 = 2,47 \text{ кВт.}$$

Повна потужність при підйомі номінального вантажу

$$P_H = P_I + \Delta P_I = 41,1 + 2,47 = 43,57 \text{ кВт.}$$

Корисна потужність при спуску порожнього гаку

$$D_2 = -\frac{G_k \cdot v}{102} = -\frac{100 \cdot 2}{102} = -1,96 \text{ кВт.}$$

Потужність втрат при спуску рівна потужності втрат при підйомі

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 = 2,47 \text{ кВт.}$$

Повна потужність при спуску порожнього гака

$$P_{cn} = -P_2 + \Delta P_2 = -1,96 + 2,47 = 0,51 \text{ кВт.}$$

Час підйому вантажу і час спуску гака

$$t_i = t_{\bar{n}i} = \frac{h}{v} = \frac{20}{2} = 10 \text{ с.}$$

Еквівалентна потужність з поправкою на погіршення тепловіддачі при паузі

$$P_{\hat{\alpha}\hat{\alpha}} = \sqrt{\frac{43,57^2 \cdot 10 + 0,51^2 \cdot 10}{10 + 5 \cdot 0,5 + 10 + 5 \cdot 0,5}} = \sqrt{\frac{18986}{25}} = 27,6 \text{ кВт.}$$

Номинальна потужність двигуна за умовами нагріву

$$P_{n(екв)} = 27,6 \text{ кВт.}$$

Номинальна потужність двигуна за умови допустимого перевантаження

$$P_{i(i\hat{\alpha}\hat{\alpha})} = \frac{43,57}{2} = 21,78 \text{ кВт.}$$

Приклад 2. Визначити значення робочої та пускової ємності $C_{роб}$ та C_n для пуску та подальшої роботи трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором типу АІР: $P_n = 0,75$ кВт; $\eta = 0,785$; $\cos\varphi = 0,83$. АД отримує живлення від однофазної мережі $U_c = 220$ В. Обмотка статора з'єднана в зірку з трьома вихідними кінцями, номінальна напруга $U_n = 380$ В.

Розв'язок

Оскільки обмотка статора з'єднана в зірку, беремо схему ввімкнення двигуна Л-2.

Номинальний (лінійний) струм статора:

$$I_i = \frac{D_i}{\sqrt{3} U_i \eta_i \cos\varphi} = \frac{0,75 \cdot 103}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,73 \cdot 0,73} = 2,1 \text{ А.}$$

Робоча ємність конденсатора:

$$\tilde{N}_{\delta i \acute{a}} \approx 2800^2 \cdot i / U_{\tilde{n}} = 2800 \cdot 2,1 / 220 \approx 28 \text{ мкФ.}$$

Робоча напруга конденсатора:

$$U_{\hat{e}} \approx 1,15 U_{\tilde{n}} = 1,15 \cdot 220 \approx 250 \text{ В.}$$

Вибираємо батарею паперових конденсаторів у металевому герметичному корпусі прямокутної форми типу КБГ-МН ємністю по 10 мкФ кожен (3 конденсатори) на робочу напругу постійного струму 500 В.

Пускова ємність вмикається під час пуску паралельно робочій:

$$C_n = (2,5 \dots 3,0) C_{роб} = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ мкФ.}$$

Приклад 3. Синхронний генератор з такими параметрами: $S_n = 37,5$ кВА, $U_n = 400$ В; $\eta_n = 0,8$; $f = 50$ Гц, $n_n = 1500$ об/хв, працює на навантаження з $\cos \varphi_{ном} = 0,8$. Схема з'єднання обмоток – зірка.

Визначити: активну потужність генератора при номінальному навантаженні P_n , струм в обмотці статора I_{1n} , необхідну потужність первинного двигуна та його момент M_1 обертання при безпосередньому механічному з'єднанні валів генератора та первинного двигуна.

Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи № 5

Активна потужність генератора при номінальному навантаженні:

$$D_{iii} = S_{iii} \cdot \cos \varphi_i = 37,5 \cdot 0,8 = 30 \text{ кВт.}$$

Сила струму в обмотці статора:

$$I_{1iii} = \frac{S_{iii}}{\sqrt{3} U_i} = \frac{37,5 \cdot 0,8}{1,73 \cdot 400} = 54 \text{ А.}$$

Потужність, яка необхідна для первинного двигуна при номінальному навантаженні генератора:

$$D_1 = \frac{D_{iii}}{\eta_i} = \frac{30}{0,89} = 34 \text{ кВт.}$$

Момент обертання первинного двигуна

$$\dot{I}_1 = \frac{D_1}{\omega_1} = \frac{34 \cdot 10^3 \cdot 30}{3,14 \cdot 1500} = 216 \text{ Н·м.}$$

Потужність, яка необхідна для первинного двигуна з урахуванням перевантажувальної здатності синхронного генератора:

$$D_{ii} = \lambda \cdot D_t = 2 \cdot 30 = 60 \text{ кВт.}$$

Для привода генератора вибираємо дизельний двигун Д-238 потужністю 65 кВт (75 к.с.)

Завдання до теми

Задача 1. Визначити співвідношення постійних втрат до номінальних змінних втрат двигуна потужністю 10 кВт, призначеного для роботи в повторно-короткочасному режимі роботи з ПВ=25 %, для того щоб у режимі роботи з ПВ=100 % він міг розвинути потужність 2,5 кВт.

Задача 2. Чотирьохполюсний асинхронний двигун з нормальним ковзанням приводить у рух робочий вал механізму через систему передач. Передаточне число 12:1, ККД рівний 0,9. Графік статичного моменту на валу механізму зображений на рис. 5.5.

Визначити необхідну потужність двигуна, якщо допустимий коефіцієнт перевантаження за моментом складає 1,8. Дією інерційних мас знехтувати.

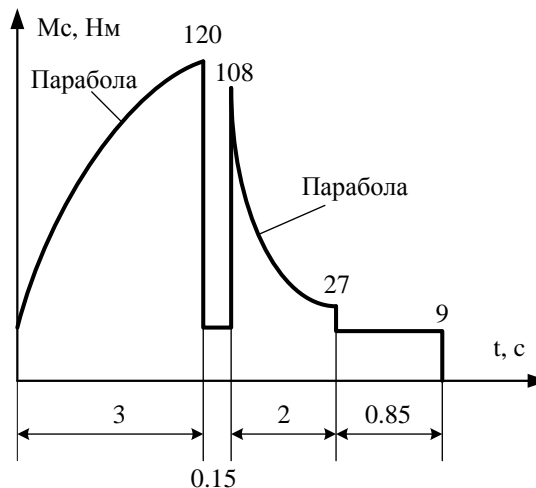


Рисунок 5.5 – Графік статичного моменту на валу механізму

Задача 3. Визначити, яку потужність повинен розвивати двигун при ПВ=40 %, якщо він має графік дійсного навантаження, зображений на рис. 5.6. Постійні втрати при ПВ=40 % рівні номінальним змінним; коефіцієнт погіршення тепловіддачі в нерухомому стані 0,6; втратами при пуску можна

знехтувати.

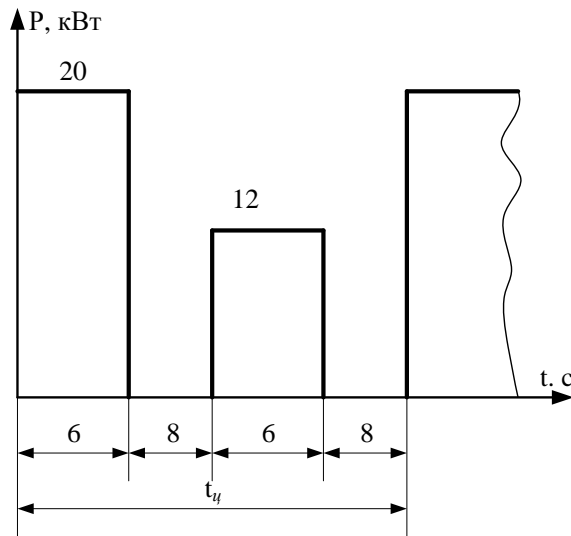


Рисунок 5.6 – Графік дійсного навантаження двигуна

Задача 4. Виконати завдання Прикладу 2 відповідно до варіанта табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до задачі

№	Тип двигуна	Номінальна потужність P_n , кВт	При номінальному навантаженні	
			η , %	$\cos\phi$
1	AIP71A2	0,75	78,5	0,83
2	AIP71B2	1,1	79	0,83
3	AIP80A2	1,5	71	0,85
4	AIP71A4	0,55	70,5	0,7
5	AIP80A4	1,1	75	0,81
6	AIP80B4	1,5	78	0,83
7	AIP71A6	0,37	65	0,66
8	AIP71B6	0,35	68,5	0,7
9	AIP80A6	0,75	70	0,72
10	AIP80B6	1,1	74	0,74

Задача 5. Виконати завдання Прикладу 3 відповідно до варіанта табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані до задачі

№	Тип генератора	Потужність повна S_n , кВтА	Номінальна напруга U_n , В	Коефіцієнт корисної дії η_n , %	Частота обертання n_1 , об/хв.	Рід струму	Схема з'єднання обмоток статора
1	ОС-51	5	400	80	1500	трифазний	З
2	ОС-52	10	400	82	1500	трифазний	З
3	ОС-71	20	400	86,8	1500	трифазний	З
4	ЕСС-52-4	6,25	400	80,2	1500	трифазний	З
5	ЕСС-62-4	15	400	86	1500	трифазний	З
6	ЕСС-81-4	25	400	87	1500	трифазний	З
7	ЕСС-82-4	31,5	400	88	1500	трифазний	З
8	ЕСС-91-4	62,5	400	90	1500	трифазний	З
9	ГАБ-2-0/230	2,5	230	80	3000	однофазний	Т
10	ГАБ-4-0/230	5	230	82	3000	однофазний	Т

З – схема з'єднання «зірка», Т – схема з'єднання «трикутник»

Контрольні питання

1. Навести умови вибору потужності електродвигуна.
2. Дати характеристику процесів нагріву та охолодження електродвигуна.
3. Навести класифікацію та дати характеристику режимів роботи електроприводів.
4. Дати характеристику методу визначення потужності електродвигуна за значенням еквівалентної потужності.
5. Навести умови вибору потужності електродвигуна для довготривалого режиму роботи.
6. Навести умови вибору потужності електродвигуна для короткочасного та повторно-короткочасного режиму роботи.

Література: [4-7, 12-14].

3 ПИТАННЯ ДО МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Тема 1

1. Класифікація спеціальних систем електропривода постійного струму.
2. Класифікація спеціальних систем електропривода на базі асинхронного двигуна.
3. Класифікація спеціальних систем електропривода на базі синхронного двигуна.
4. Контактні сельсини, будова та принцип роботи.
5. Безконтактні сельсини, будова та принцип роботи.
6. Робота сельсинів в індикаторному режимі.
7. Робота сельсинів у трансформаторному режимі.
8. Диференціальні сельсини, будова та принцип роботи.
9. Магнесини, будова та принцип роботи.

Тема 2

10. Якірне керування частотою обертання двигунів постійного струму.
11. Поліусне керування частотою обертання двигунів постійного струму.
12. Універсальні колекторні мікродвигуни.
13. Двофазні асинхронні мікродвигуни, будова та принцип роботи.
14. Амплітудне керування частотою обертання асинхронних мікродвигунів.
15. Фазне керування частотою обертання асинхронних мікродвигунів.
16. Амплітудно-фазове (конденсаторне) керування частотою обертання асинхронних мікродвигунів.
17. Однофазні мікродвигуни з екранованими полюсами, будова та принцип роботи.
18. Асинхронні мікродвигуни з пусковими елементами для режиму роботи з магнітним полем статора, що обертається.
19. Асинхронні мікродвигуни з пусковими елементами для режиму роботи з пульсуючим магнітним полем статора.
20. Синхронні мікродвигуни з постійними магнітами, будова та принцип

роботи.

Тема 3

21. Імпульсне регулювання частоти обертання асинхронних електроприводів.
22. Асинхронно-вентильний каскад.
23. Електропривод з дросельним регулюванням.
24. Тиристорні схеми отримання низьких частот обертання асинхронних двигунів.
25. Імпульсне регулювання частоти обертання двигуна постійного струму в режимі неперервного струму.
26. Імпульсне регулювання частоти обертання двигуна постійного струму в режимі переривчастого струму.

Тема 4

27. Система електричного вала з основними робочими машинами. Фазування машин у системі електричного вала.
28. Електричний вал зі зрівняльними асинхронними машинами, що обертаються проти поля.
29. Електричний вал зі зрівняльними асинхронними машинами, що обертаються згідно з полем.
30. Електричний вал зі зрівняльними синхронними машинами.
31. Характеристика дводвигунного ЕП постійного струму з різними опорами якірних кіл виконавчих двигунів.
32. Характеристика дводвигунного ЕП постійного струму з індивідуальним живленням виконавчих двигунів.

Тема 5

33. Сумісне живлення статора АД постійним та змінним струмом, регулювання з фіксацією постійним струмом.
34. Підмагнічування постійним струмом двошвидкісного асинхронного двигуна.

35. Вирівнювання навантаження в багатодвигунному ЕП з ДПС незалежного збудження.
36. Вирівнювання навантаження в багатодвигунному ЕП з ДПС послідовного збудження.
37. Багатодвигунні системи узгодженого обертання з перетворювачем частоти.
38. Способи підвищення точності зупинки електроприводів.
39. Точна зупинка асинхронних двигунів з тиристорними регуляторами напруги.
40. Точна зупинка тягових електроприводів постійного струму з ДПС.

4 ПИТАННЯ ДО ІСПИТУ

1. Класифікація спеціальних систем електропривода постійного струму.
2. Класифікація спеціальних систем електропривода на базі асинхронного двигуна.
3. Класифікація спеціальних систем електропривода на базі синхронного двигуна.
4. Контактні сельсини, будова та принцип роботи.
5. Безконтактні сельсини, будова та принцип роботи.
6. Робота сельсинів в індикаторному режимі.
7. Робота сельсинів у трансформаторному режимі.
8. Диференціальні сельсини, будова та принцип роботи.
9. Магнесини, будова та принцип роботи.
10. Якірне керування частотою обертання двигунів постійного струму.
11. Полюсне керування частотою обертання двигунів постійного струму.
12. Універсальні колекторні мікродвигуни.
13. Двофазні асинхронні мікродвигуни, будова та принцип роботи.
14. Амплітудне керування частотою обертання асинхронних мікродвигунів.
15. Фазне керування частотою обертання асинхронних мікродвигунів.

16. Амплітудно-фазове (конденсаторне) керування частотою обертання асинхронних мікродвигунів.
17. Однофазні мікродвигуни з екранованими полюсами, будова та принцип роботи.
18. Асинхронні мікродвигуни з пусковими елементами для режиму роботи з магнітним полем статора, що обертається.
19. Асинхронні мікродвигуни з пусковими елементами для режиму роботи з пульсуючим магнітним полем статора.
20. Синхронні мікродвигуни з постійними магнітами, будова та принцип роботи.
21. Імпульсне регулювання частоти обертання асинхронних електроприводів.
22. Асинхронно-вентильний каскад.
23. Електропривод з дросельним регулюванням.
24. Тиристорні схеми отримання низьких частот обертання асинхронних двигунів.
25. Система електричного вала з основними робочими машинами. Фазування машин у системі електричного вала.
26. Електричний вал зі зрівняльними асинхронними машинами, що обертаються проти поля.
27. Електричний вал зі зрівняльними асинхронними машинами, що обертаються згідно з полем.
28. Електричний вал зі зрівняльними синхронними машинами.
29. Характеристика дводвигунного ЕП постійного струму з різними опорами якірних кіл виконавчих двигунів.
30. Характеристика дводвигунного ЕП постійного струму з індивідуальним живленням виконавчих двигунів.
31. Сумісне живлення статора АД постійним та змінним струмом, регулювання з фіксацією постійним струмом.
32. Підмагнічування постійним струмом двошвидкісного асинхронного

двигуна.

33. Вирівнювання навантаження в багатодвигунному ЕП з ДПС незалежного збудження.

34. Вирівнювання навантаження в багатодвигунному ЕП з ДПС послідовного збудження.

35. Багатодвигунні системи узгодженого обертання з перетворювачем частоти.

36. Імпульсне регулювання частоти обертання двигуна постійного струму в режимі неперервного струму.

37. Імпульсне регулювання частоти обертання двигуна постійного струму в режимі переривчастого струму.

38. Способи підвищення точності зупинки електроприводів.

39. Точна зупинка асинхронних двигунів з тиристорними регуляторами напруги.

40. Точна зупинка тягових електроприводів постійного струму з ДПС.

5 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

Кількість практичних занять – 18 годин (9 практичних занять).

Поточний контроль на практичних заняттях протягом змістових модулів:

- відвідування практичних занять – 0,5 бала за заняття (максимум 4,5 бала за семестр);
- наявність виконаного практичного завдання – 1 бал за виконане практичне завдання до теми попереднього заняття (максимум 5 балів за семестр);
- захист практичного завдання – 0,2 бала за практичне завдання (максимум 1 бал за семестр);
- якість оформлення практичного завдання – 0,2 бала за виконане практичне завдання (максимум 1 бал за семестр);
- опитування під час проведення практичного заняття – максимум 0,5 бала за аудиторне заняття (максимум 2,5 бала за семестр);
- своєчасність захисту всіх лабораторних робіт і практичних завдань – 0,3 бала.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Михайлов О. П. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы : практ. пособие; в 14 кн. Кн. 14 Современный электропривод станков с ЧПУ и промышленных роботов / О. П. Михайлов, Р. Т. Орлова, А. В. Пальцев ; под ред. Б. И. Черпакова. – М. : Высш. школа, 1989. – 111 с.
2. Адаменко А. И. Однофазные конденсаторные двигатели / А. И. Адаменко. – К. : Изд-во АН УССР, 1960. – 248 с.
3. Кирилов Ю. И. Эксплуатация и ремонт объемного гидропривода / Ю. И. Кирилов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 80 с.
4. Аракелян А. К. Асинхронный регулируемый электропривод с электрогидравлическим толкателем / А. К. Аракелян, М. М. Соколов. – М. : Энергия, 1972. – 192 с.
5. Сафонов Ю. М. Электроприводы промышленных роботов. / Ю. М. Сафонов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.
6. Соколов М. М. Электропривод с линейными асинхронными двигателями. / М. М. Соколов, Л. К. Сорокин. – М. : Энергия, 1974. – 136 с.
7. Михайлов О. П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов : учебник для вузов. / О. П. Михайлов. – М. : Машиностроение, 1990. – 340 с.
8. Свечарник Д. В. Электрические машины непосредственного привода: Безредукторный электропривод. / Д. В. Свечарник – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
9. Хрущев В. В. Электрические машины систем автоматики : учебник для вузов / В. В. Хрущев – [2-е изд., перераб. и доп.] – Л. : Энергоатомиздат, 1985 – 368с.
10. Коцюбинський В. С. Автоматизований електропривод гнучких виробничих модулів : навч. посібник / В. С. Коцюбинський. – К. : ІЗМН, 1996. – 328 с.
11. Адволоктин Н. П. Управляемые бесконтактные двигатели постоянного

тока / Н. П. Адволоктин, В. Т. Гращенко, Н. И. Лебедев и др. – Л. : Энергоатомиздат, 1984. – 160с.

12. Анхимюк В. Л. Проектирование систем автоматического управления электроприводами : учебн. пособие для вузов по спец. “Электропривод и автоматизация промышленных установок” / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко. – Мн. : Высш. шк., 1986. – 143 с.

13. Крупович В. И. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами ; под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера. – [3-е изд., перераб. и доп.] – М. : Энергоиздат, 1982. – 416 с.

14. Александров Н. Н. Электрические машины и микромашины. / Н. Н. Александров – М. : Колос, 1983. – 384 с.

15. Волков Н. И. Электромашинные устройства автоматики : учебн. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика» / Н. И. Волков, В. П. Миловзоров. – [2-е изд., доп. и перераб.] – М. : Высш. шк., 1986. – 335 с.

16. Штёлтинг Г. Электрические микромашины ; пер. с нем. / Г. Штёлтинг, А. Байссе. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 229 с.

17. Ямамура С. Теория линейных асинхронных двигателей ; пер. с англ. / С. Ямамура. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 180 с.

Основні розрахункові співвідношення

Механіка електроприводів

Співвідношення між кутовою швидкістю і швидкістю обертання:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}.$$

Потужність для обертального руху:

$$P = M \cdot \omega.$$

Потужність для поступального руху:

$$P = F \cdot v.$$

Кінетична енергія для обертального руху:

$$\dot{A} = \frac{J \cdot \omega^2}{2}.$$

Приведений момент:

$$\dot{I}_{i\partial} = \frac{\dot{I}_1 \cdot \omega_1}{\omega \cdot \eta_i}.$$

Приведене зусилля, що діє на тіло:

$$F_{i\partial} = \frac{F_1 \cdot v_1}{\omega \cdot \eta_i}.$$

Приведений момент інерції:

$$J_{i\partial} = J_1 \cdot \left(\frac{\omega_1}{\omega} \right)^2.$$

Рівняння руху тіл, що рухаються поступально:

$$\pm F \pm F_{i\partial} = m_{i\partial} \cdot \left(\pm \frac{dv}{dt} \right).$$

Рівняння руху електропривода:

$$\pm M \pm M_{i\partial} = J_{i\partial} \cdot \left(\pm \frac{d\omega}{dt} \right).$$

Приблизне значення часу перехідного процесу в електроприводі:

$$t_{in} = J_{i\delta} \cdot \left(\frac{\omega_{\dot{i}i} - \omega_{\dot{i}i}}{\pm \dot{I} \quad \dot{n}\dot{a}\dot{\delta} \quad \pm \dot{I} \quad \dot{n}\dot{n}\dot{a}\dot{\delta}} \right)$$

Момент на осі колеса транспортного механізму:

$$\dot{I} \quad i = m_B \cdot g \cdot \beta \cdot (\mu \cdot D_{\delta} + f),$$

де m_B – маса транспортного механізму з вантажем, що припадає на приводне колесо, кг; β – коефіцієнт, що враховує тертя реборди колеса об рейки ($\beta = 1.3 \div 1.5$); D_{δ} – діаметр цапфи колеса, м; f – коефіцієнт тертя ковзання.

Приведення сили F_1 , діючої на тіло, що рухається зі швидкістю v_1 , до валу, що обертається зі швидкістю ω :

$$M_{np} = F_1 \left(\frac{v_1}{\omega} \right).$$

Рівняння для поступально руху тіла:

$$F - F_C = m \frac{dv}{dt}.$$

Рівняння руху для обертаючого тіла:

$$M - M_C = J \frac{d\omega}{dt}.$$

Час розгону двигуна від швидкості n_1 до n_2 при постійному значенні моменту M_1 , що розвивається двигуном, і постійному статичному моменті M_C

$$t = \frac{J(\omega_2 - \omega_1)}{M - M_C} = \frac{GD^2(n_2 - n_1)}{375(M - M_C)},$$

де J – момент інерції; GD^2 – маховий момент привода.

Механічні характеристики і розрахунок опорів

Номінальний момент на валу:

$$M_i = 975 \frac{P_i}{n_i}.$$

Номінальний електромагнітний момент:

$$M_{y.i} = k_M \hat{O}_i I_i = \tilde{n}_i l_i.$$

Номінальна ЕРС:

$$E_i = U_i - I_i \cdot r_{y\dot{y}}; E_i = k_e \cdot \hat{O}_i \cdot n_i = c_e \cdot n_i.$$

Швидкість ідеального холостого ходу при $U = U_i$ і $\hat{O} = \hat{O}_i$:

$$n_0 = n_i \frac{U_i}{E_i}.$$

Номінальний опір якоря двигуна або генератора постійного струму:

$$R_i = \frac{U_i}{I_i}.$$

Номінальний опір ротора асинхронного двигуна:

$$R_i = \frac{E_{2\hat{e}}}{\sqrt{3} \cdot I_{2\hat{e}}}.$$

Двигуни постійного струму з паралельним збудженням

Механічна характеристика двигуна в нормальній схемі:

$$n = n_0 \frac{r_{y\dot{y}} + R_{\ddot{a}}}{c_e \cdot c_i},$$

$$n_0 = n_i \frac{U_i}{U_i - I_i \cdot r_{y\dot{y}}}.$$

Механічна характеристика двигуна в схемі динамічного гальмування:

$$n = -M \frac{r_{y\dot{y}} + R_{\ddot{a}}}{c_e \cdot c_i}.$$

Механічна характеристика двигуна, працюючого від окремого керованого генератора

$$n = n_{i.\ddot{a}} - \frac{r_{y.\ddot{a}} + r_{y.\ddot{a}}}{\tilde{n}_{\ddot{a}} \cdot \tilde{n}_i} \dot{I}.$$

Швидкість ідеального холостого ходу при номінальному збудженні генератора і двигуна:

$$n_{\dot{i}. \ddot{a}} = n_{\dot{i}} \frac{E_{\dot{i}. \ddot{a}}}{E_{\dot{i}. \ddot{a}}}, \quad E_{\dot{i}. \ddot{a}} = U_{\dot{i}} + I_{\dot{i}. \ddot{a}} \cdot r_{\dot{y}. \ddot{a}},$$

де $r_{\dot{y}. \ddot{a}}$, $r_{\dot{y}. \ddot{a}}$ – опір обмоток якорів генератора і двигуна; $n_{\dot{i}}$ – номінальна швидкість двигунів; $E_{\dot{i}. \ddot{a}}$, $E_{\dot{i}. \ddot{a}}$ – номінальні ЕРС генератора і двигуна.

Додатковий опір при динамічному гальмуванні в один ступінь ($\hat{O} = \hat{O}_{\dot{i}}$):

$$R_{\hat{o}} = \frac{E_{\dot{i} \hat{a} \dot{z}}}{I_{\hat{a} \hat{i} \hat{i}}} - r_{\dot{y}}.$$

Додатковий опір при гальмуванні проти вмиканням в один ступінь:

$$R_{\dot{i}} = \frac{U_{\dot{i}} + E_{\dot{i} \hat{a} \dot{z}}}{I_{\hat{a} \hat{i} \hat{i}}} - r_{\dot{y}}$$

де $E_{\dot{i} \hat{a} \dot{z}}$ – ЕРС у початковий момент гальмування; $I_{\hat{a} \hat{i} \hat{i}}$ – максимально допустимий струм; $U_{\dot{i}}$ – номінальна напруга; $r_{\dot{y}}$ – опір якоря.

Двигуни постійного струму з послідовним збудженням

Швидкість, яку розвиває двигун при додатковому опорі $R_{\hat{a}}$ і струмі в якорі $I_{\dot{y}}$:

$$n = n_{\hat{a} \hat{o}} \left(1 - \frac{I_{\dot{y}} (r_{\dot{y}} + r_{\hat{a}} + R_{\hat{a}})}{U_{\dot{i}}} \right).$$

Гранична швидкість:

$$n_{\hat{a} \hat{o}} = \frac{n_{\dot{i} \hat{o}}}{1 - \frac{I_{\dot{y}} \cdot (r_{\dot{y}} + r_{\hat{a}})}{U_{\dot{i}}}},$$

де $n_{\dot{i} \hat{o}}$ – швидкість природної характеристики при струмі в якорі $I_{\dot{y}}$.

Асинхронні двигуни

Спрощене рівняння механічної характеристики:

$$M = \frac{2M_{\hat{e}}}{\frac{s}{s_{\hat{e}}} + \frac{s_{\hat{e}}}{s}},$$

$$M_{\hat{e}} = \frac{1.46}{n_c} \frac{U_{1\hat{o}}^2}{r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)' }},$$

$$s_{\hat{e}} = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)' }},$$

Визначення опорів ротора за паспортними даними

Асинхронний двигун з контактними кільцями:

$$r_2 = \frac{E_{2\hat{e}} \cdot s_{\hat{e}}}{\sqrt{3} \cdot I_{2i}'}$$

Коефіцієнт трансформації від статора до ротора:

$$K_{\hat{a}} = \frac{E_1}{E_{2\hat{e}}} \approx \frac{0,95U_i}{E_{2\hat{e}}}$$

Асинхронний короткозамкнений двигун з круглими пазами:

$$r_2' = \frac{M_n \cdot \omega_c \cdot 9.81}{3 \cdot K_1^2 \cdot I_{1i}'^2}$$

Динамічне гальмування

Рівняння механічної характеристики:

$$M = \frac{2M_i}{\frac{s}{s_i} + \frac{s_i}{s}},$$

$$M_i = \frac{1.46}{n_c} \cdot \frac{I_{y\hat{e}\hat{a}}^2 \cdot x_{\mu 0}^2}{x_{\mu 0} + x_2'},$$

$$s_i = \frac{r_2'}{x_{\mu 0} + x_2'}; \quad x_{\mu 0} = \frac{0.95 \cdot U_{1\hat{o}}}{I_{0\hat{o}}}$$

де $I_{y\hat{e}\hat{a}}$ – ефективне значення трифазного змінного струму; $x_{\mu 0}$ – опір кола намагнічування при холостому ході двигуна; x_2' – вторинний приведений реактивний опір; r_2' – вторинний приведений активний опір; $I_{0\delta}$ – струм холостого ходу.

Насичене магнітне коло

Для визначення M_i і s_i можна використати криві $i_{y\hat{e}\hat{a}} = f(D_i)$ і $A_i = f(D_i)$.

$$M_i = \frac{0.306 \cdot I_{0\delta} \cdot U_{1\delta}}{\omega_c} D_M,$$

$$s_i = \frac{I_{0\delta} \cdot r_2'}{U_{1\delta}} A_M.$$

Перехідні процеси в електроприводах

Розбїг двигуна

Від швидкості $n = 0$ до $n = n_1$:

$$M = M_c + [M_2 - M_c] e^{-\frac{t}{T_i}},$$

$$n = n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}} \left[1 - e^{-\frac{t}{T_i}} \right],$$

Час розгону:

$$t_p = T_i \cdot \ln \frac{M_2 - M_c}{M_1 - M_c} = T_i \cdot \ln \frac{n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}}}{n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}} - n_1}.$$

Від швидкості $n = n_2$ до $n = n_1$:

$$M = M_c + (M_2 - M_c) e^{-\frac{t}{T_i}};$$

$$n = n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}} + (n_2 - n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}}) e^{-\frac{t}{T_i}};$$

$$t_p = T_i \cdot \ln \frac{M_2 - M_c}{M_1 - M_c} = T_i \cdot \ln \frac{n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}} - n_2}{n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}} - n_1};$$

$$T_i = \frac{J_{\omega 0} \cdot s_{\acute{e}}}{M_i} = \frac{GD^2 \cdot n_0 \cdot s_i}{375 \cdot M_i} = \frac{GD^2 \cdot n_0}{375 \cdot M_{\acute{e}c}}.$$

Гальмування двигуна противмиканням швидкості $n = n_1$ до $n = 0$:

$$M = M_c - (M_2 + M_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_i'}};$$

$$n = -n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}} + (n_1 + n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}}) \cdot e^{-\frac{t}{T_i'}};$$

$$t_m = T_i' \cdot \ln \frac{M_2 + M_c}{M_1 + M_c} = T_i' \cdot \ln \frac{n_1 + n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}}}{n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}}},$$

де t_m – час гальмування; T_i' – електромеханічна стала часу гальмування:

$$T_i' = \frac{GD^2 (n_1 + n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}})}{357 \cdot (M_2 + M_c)}.$$

Динамічне гальмування двигуна:

$$M = M_c - (M_1 + M_2) \cdot e^{-\frac{t}{T_i''}};$$

$$n = -n_{ycm} + (n_1 + n_{ycm}) \cdot e^{-\frac{t}{T_M''}};$$

$$t_m = T_i'' \cdot \ln \frac{M_1 + M_c}{M_c} \ln \frac{n_1 + n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}}}{n_{\acute{o}\tilde{n}\grave{o}}},$$

де t_m – час гальмування; T_i'' – електромеханічна стала часу динамічного гальмування

$$T_i'' = \frac{GD^2 n_1}{375 \cdot M_1}.$$

Перехідні процеси в системі генератор–двигун

$$n = \frac{\alpha \cdot n_0}{T_{\hat{a}} - T_i} \left[T_{\hat{a}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{\hat{a}}}} \right) - T_i \left(1 - \hat{a}^{-\frac{t}{T_i}} \right) \right],$$

$$i = \frac{\alpha \cdot I_{\hat{e}\zeta} \cdot T_i}{T_{\hat{a}} - T_i} \left(\hat{a}^{-\frac{t}{T_{\hat{a}}}} - \hat{a}^{-\frac{t}{T_i}} \right),$$

$$t_p = T_{\hat{a}} \cdot \ln \frac{\alpha}{\alpha - 1},$$

$$I_{i\hat{a}\hat{e}\hat{n}} = \alpha \cdot I_{\hat{e}\zeta} \cdot \left(\frac{T_i}{T_{\hat{a}}} \right)^{\frac{T_{\hat{a}}}{T_{\hat{a}} - T_i}},$$

$$t_i = \frac{T_{\hat{a}} \cdot T_i}{T_{\hat{a}} - T_i} \ln \frac{T_{\hat{a}}}{T_i},$$

де t_p – час розгону двигуна; $I_{i\hat{a}\hat{e}\hat{n}}$ – максимальне значення струму; t_i – час

наростання струму до максимального значення; $T_{\hat{a}} = \frac{L_{\hat{a}}}{r_{\hat{a}}}$ – електромагнітна

стала часу обмотки збудження генератора; $T_i = \frac{GD^2 \cdot n_0}{375 \cdot M_{\hat{e}\zeta}}$ – електромеханічна

стала часу двигуна; $a = \frac{U_1}{U_{\hat{a}i}}$ – коефіцієнт форсування; $I_{\hat{e}\zeta} = \frac{E_0}{r_{\hat{y}\hat{a}} + r_{\hat{y}\hat{a}}}$ – струм

короткого замикання; $M_{\hat{e}\zeta}$ – момент короткого замикання; E_0 – усталене

значення ЕРС генератора; $r_{\hat{y}\hat{a}}$, $r_{\hat{y}\hat{a}}$ – опір обмоток якорів генератора і двигуна;

n_0 – швидкість ідеального холостого ходу двигуна.

Гальмування двигуна вхолосту

$$n = \frac{n_0}{T'_a - T_i} \left(T'_a \cdot e^{-\frac{t}{T'_a}} - T_i \cdot e^{-\frac{t}{T_i}} \right),$$

$$i = \frac{I_{\hat{e}_c} \cdot T_i}{T'_a - T_i} \left(\hat{a}^{-\frac{t}{T_i}} - \hat{a}^{-\frac{t}{T'_a}} \right),$$

$$t_m \approx (3 \div 4) T'_a, \text{ якщо } T_i \ll T'_a$$

$$I_{\hat{i} \hat{a} \hat{e} \hat{n}} = I_{\hat{e}_c} \cdot \left(\frac{T_i}{T'_a} \right)^{\frac{T'_a}{T'_a - T_i}},$$

де t_m – час гальмування; $I_{\hat{i} \hat{a} \hat{e} \hat{n}}$ – максимальне значення струму; $T'_a = \frac{L_a}{r_a + r_\delta}$ – електромагнітна стала часу колаа збудження генератора при гальмуванні.

Енергетика електроприводів

Витрати потужності у двигуні при номінальній напрузі:

$$\Delta P_i = P_i \left(\frac{1}{\eta_i} - 1 \right) = \mathcal{D}_i \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right),$$

де P_i – номінальна потужність двигуна; η_i – номінальний ККД двигуна.

Витрати потужності у двигуні при X-кратному навантаженні:

$$\Delta \mathcal{D}_x = k + \upsilon_i X^2,$$

де k – постійні витрати; υ_i – змінні витрати при номінальному навантаженні;

$X = \frac{I_c}{I_i}$ – для всіх двигунів; $X = \frac{M_c}{M_i}$ – для двигунів постійного і змінного

струму, що працюють з усталеним потоком; $X = \frac{P_c}{P_i}$ – для двигунів постійного

струму, що працюють зі сталим навантаженням, і для двигунів змінного

струму; M_i, P_i, I_i – номінальні момент, потужність і струм двигуна; M_c – статичний момент на валу двигуна; P_c, I_c – потужність і струм двигуна, що відповідають статичному моменту.

Двигун постійного струму з паралельним збудженням

Загальні втрати в якірному колі:

$$\Delta P = k + v_i X \cdot \frac{s_c}{s_i} = k + v_i X^2 \left(\frac{r_{\dot{y}} + R_{\ddot{a}}}{r_{\ddot{y}}} \right).$$

Втрати в обмотці якоря:

$$\Delta P_{\dot{y}} = v_i \cdot X^2.$$

Асинхронний двигун

Втрати в обмотці ротора:

$$v_2 = v_{2\hat{e}} \cdot X^2.$$

Втрати в роторному ланцюзі:

$$v = v_{2\hat{e}} \cdot X \cdot \frac{s_c}{s_i} = v_{2\hat{e}} \cdot X^2 \cdot \frac{r_2 + R_{\ddot{a}}}{r_2}.$$

Втрати в обмотці ротора при номінальному навантаженні:

$$v_{2i} = \frac{P_i}{1 - s_i} \cdot s_i.$$

Втрати в обмотці статора:

$$v_1 = v_{2i} \cdot X^2 \frac{r_1}{r_2'}.$$

де r_1 – активний опір фази статора; $R_{\ddot{a}}$ – опір реостата; r_2' – приведений активний опір фази ротора.

Втрати в якорі й обмотці збудження:

$$v = v_i \left(\frac{I_c}{I_i} \right)^2.$$

Втрати в реостаті:

$$v = v_i \left(\frac{I_c}{I_i} \right)^2 \frac{R_d}{r_{\dot{y}} + r_{\hat{a}}}.$$

Формула для підрахунку втрат енергії в колі асинхронного двигуна або в колі якоря двигуна постійного струму з паралельним збудженням при перехідному процесі від $S_{нач}$ до $S_{кон}$ при $M_c = 0$

$$\Delta \dot{A} = \frac{J w_0^2}{2} (s_{i\hat{a}}^2 - s_{\hat{a}i}^2) 9,81,$$

де w_0 – швидкість ідеального холостого ходу; J – момент інерції.

Втрати енергії у двигуні:

$$\Delta \dot{A} = k t_p \frac{J w_0^2}{2} \frac{r_{\dot{y}}}{r_{\dot{y}} + R_d} \frac{M_n}{M_n + M_c} 9,81$$

де M_p – середній пусковий момент.

Розрахунок потужності і нагріву двигуна

Рівняння нагріву двигунів:

$$\tau = \tau_y + (\tau_0 - \tau_y) e^{-\frac{t}{T_i}};$$

$$\tau_y = \frac{\Delta P}{A}; \quad \tau_i = \frac{\tilde{N}}{A},$$

де τ – температура перегріву двигуна понад температуру навколишнього середовища; τ_y – усталена температура перегріву; τ_0 – початкова температура перегріву; t – час; T_i – стала часу перегріву; \dot{A} – тепловіддача; \tilde{N} – теплоємність; $\Delta \dot{E}$ – втрати у двигуні при навантаженні P.

Довготривалий режим роботи

Середня потужність втрат за цикл:

$$\Delta P_{cp} = \frac{\sum_1^n \Delta P_m t_m}{t_{\ddot{o}}},$$

де ΔP_m – втрати потужності на ділянці; t_m – час роботи на ділянці; $t_{\ddot{o}}$ – час циклу; m – число ділянок.

Еквівалентний струм:

$$I_{y\hat{e}\hat{a}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_{\ddot{o}}} I_{(t)}^2 dt}{t_{\ddot{o}}}}.$$

Еквівалентний момент:

$$M_{y\hat{e}\hat{a}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_{\ddot{o}}} M_{(t)}^2 dt}{t_{\ddot{o}}}}.$$

Еквівалентна потужність:

$$P_{y\hat{e}\hat{a}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_{\ddot{o}}} P_{(t)}^2 dt}{t_{\ddot{o}}}}.$$

Короткочасні режими роботи

Допустиме навантаження за умови нагріву:

$$P_{\hat{e}\hat{o}} = P_i \sqrt{\frac{\alpha + 1}{1 - e^{-\frac{t_{\hat{e}\hat{o}}}{\hat{o}_i}}}},$$

де $P_{\hat{e}\hat{o}}$ – допустима потужність короткочасного навантаження; P_i – номінальна потужність двигуна довготривалого режиму; $\hat{\alpha}$ – коефіцієнт втрат; $t_{\hat{e}\hat{o}}$ – час короткочасного навантаження; \hat{o}_i – стала часу нагріву.

Коефіцієнт термічного перевантаження:

$$P_m = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{\varepsilon\delta}}{\hat{D}_f}}}$$

Найбільший допустимий час роботи двигуна при короткочасному навантаженні для заданого коефіцієнта термічного перевантаження P_m

$$t_{\varepsilon\delta} = T_H \ln \frac{P_m}{P_m - 1}$$

Зв'язок між коефіцієнтом термічного перевантаження двигуна й коефіцієнтом механічного перевантаження за потужністю:

$$P_m = \frac{a + P_m^2}{a + 1}; \quad P_m = \frac{P_{\varepsilon\delta}}{\hat{D}_f};$$

де P_m = коефіцієнт механічного перевантаження за потужністю.

Методичні вказівки щодо практичних занять з навчальної дисципліни "Спеціальні системи електропривода" для студентів усіх форм навчання за напрямом 6.050702 – «Електромеханіка» (у тому числі скорочений термін навчання)

Укладачі: старш. викл. Ю. В. Зачепа,
асист. О. А. Хребтова

Відповідальний за випуск зав. кафедри САУЕ проф. Д. Й. Родькін

Підп. до др. _____. Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600