

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«ЕЛЕКТРОМЕХАТРОНІКА»

(частина 1)

(для здобувачів вищої освіти спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»)

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
електричної інженерії
Протокол № 7 від 18.01.2024р.

КИЇВ 2024

УДК 621.3

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Електромехатроніка» (ч.1) (для здобувачів вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка») (Електронне видання) / Уклад.: М.О. Морнева –Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. - 28 с.

Методичне видання спрямоване на вивчення і засвоєння здобувачами вищої освіти самостійно і на підставі лекційного матеріалу теоретичної основи та практичного матеріалу з дисципліни «Електромехатроніка».

Навчальне видання до виконання практичних робіт містить основні теоретичні відомості та задачі з розрахунку електромеханічних вузлів постійного та змінного струму.

Методичні вказівки до практичних занять містять теоретичні відомості, приклад розв'язання завдання, варіанти завдань для самостійного опрацювання.

Методичні вказівки розраховані на здобувачів ВО закладів вищої освіти.

Укладач і М.О. Морнева, к.т.н., доц.

Рецензент: Ю.А. Романченко, к.т.н., доц.

З М І С Т

Вступ.....	4
Основні теоретичні відомості	5
Практичне заняття №1. Основне рівняння руху електроприводу та розрахунок його складових	12
Практичне заняття №2. Розрахунок крутних моментів і моментів інерції підйомного механізму	16
Практичне заняття №3 Розрахунок і побудова штучних характеристик двигуна постійного струму із незалежним збудженням при регулюванні опору якірного кола	18
Практичне заняття №4 Перетворення потужностей в двигуні	21
Перелік рекомендованої літератури	26

ВСТУП

Ця дисципліна є продовженням знайомства студентів з електричними машинами і розрахунком систем керування електромеханічними системами. Вивчаються процедури розрахунку параметрів електричних машин постійного і змінного струму, моментів інерції і моментів навантаження електроприводу, систем реостатного пуску двигунів постійного і змінного струму.

Навчальне видання містить опис процедури виконання практичних робіт, тематика яких обіймає розділи курсу по вивченню електричних двигунів та принципів керування ними. При цьому розглядається процедура побудови природньої та штучних електромеханічних та механічних характеристик для аналізу працездатності систем в статичних режимах. Також розписана процедура приведення моментів інерції та моментів навантаження до приводного валу двигуна для використання основного рівняння руху електроприводу. Крім того, описана процедура реостатного пуску двигунів постійного струму, вибору кількості ступенів та пускового коридору.

Мета практичних робіт – закріпити знання методів розрахунку і дослідження статичних характеристик двигунів постійного та змінного струму з реостатним регулюванням, отримати навички дослідження впливу параметрів двигуна та додаткових елементів керування на вид механічних та електромеханічних характеристик.

Навчальне видання до виконання практичних робіт містить основні теоретичні відомості, задачі з розрахунку електромеханічних вузлів та систем реостатного пуску електроприводу. Для самостійної підготовки студенти користуються конспектом лекцій, методичними вказівками та рекомендованою літературою.

Практичні завдання виконуються кожним студентом окремо, згідно варіанту з обов'язковим розкриттям процедури вирішення задачі. Виконане завдання оформлюється у відповідності з типовими задачами технічних дисциплін, тобто записується зміст завдання, після чого приводиться хід його вирішення з кінцевою відповіддю.

Розрахункову частину роботи рекомендується виконувати в середовищі пакетів MathCAD або MATLAB.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Приведення статичних моментів і моментів інерції.

При приведенні моментів інерції та мас повинен виконуватися закон збереження кінетичної енергії. Для обертального руху при приведенні моменту інерції елемента, який рухається зі швидкістю ω_i , до розрахункової швидкості ω_1 повинна виконуватися умова рівності кінетичних енергій:

$$W_{ki} = W_{ki}' , \text{ тобто } \frac{J_i \omega_i^2}{2} = \frac{J_i' \omega_1^2}{2}, \quad (1)$$

Звідси моменти інерції приводяться за формулами:

$$J_i' = \frac{J_i}{i_{1i}^2}, \quad (2)$$

де $i_{1i} = \frac{\omega_1}{\omega_i}$ - передаточне число від валу приведення до і-го валу.

Аналогічно для поступального руху повинна виконуватись умова:

$$\frac{m_i v_i^2}{2} = \frac{J_i' \omega_1^2}{2}. \quad (3)$$

Відповідно моменти інерції приводяться за формулами:

$$J_i' = m_i \cdot \rho_{1i}^2, \quad (4)$$

де $\rho_{1i} = \frac{v_i}{\omega_1}$ - радіус приведення.

Для лінійних кінематичних зв'язків i_{1i} та ρ_{1i} залишаються незмінними.

Переміщення та прискорення приводяться на основі відношення швидкостей елементів. Для обертального руху кутове переміщення φ_i [рад] після приведення дорівнює

$$\varphi_i' = \varphi_i \cdot i_{1i}, \quad (5)$$

а кутове прискорення ε_i [рад/с²]

$$\varepsilon_i' = \varepsilon_i \cdot i_{1i}. \quad (6)$$

Приведення моментів та зусиль здійснюється за умови рівності елементарної роботи на можливих переміщеннях. Для обертального руху $M_i \delta \varphi_i = M_i' \delta \varphi_1$, звідки приведений момент визначається за формулою:

$$M_i' = \frac{M_i}{i_{1i}}. \quad (7)$$

Для поступального руху $F_i \delta S_i = M_i' \delta \varphi_1$, звідкіля знаходиться приведенне зусилля

$$M_i' = F_i \cdot \rho_{1i}. \quad (8)$$

Основне рівняння руху електропривода.

Для одномасової маси, що обертається, рівняння руху електропривода записується у вигляді:

$$\frac{d}{dt} (J_{\Sigma} \omega) = M - M_c, \quad (9)$$

де J_{Σ} – сумарний момент інерції механізму, ω – швидкість обертання валу електродвигуна, M – крутний момент електродвигуна; M_c – статичний момент навантаження.

Для лінійного переміщення рівняння руху електропривода записується у вигляді:

$$m \frac{dV}{dt} = F - F_c, \quad (10)$$

де $\frac{dV}{dt} = a \left[\frac{M}{c^2} \right]$ - лінійне прискорення маси; m – маса, що рухається; F – зусилля електроприводу; F_c – статичне зусилля навантаження.

Розрахунок механічних та електромеханічних характеристик двигуна постійного струму із незалежним збудженням.

Механічні характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження в режимі двигуна визначаються за формулою

$$\omega = \frac{U}{c\Phi} - \frac{MR_{я}}{c^2\Phi^2}, \quad (11)$$

де U - напруга живлення обмотки якоря; c - стала машини; Φ - потік двигуна; $R_{я}$ – опір якірної обмотки.

Механічні характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження у всіх режимах лінійні і при $\Phi = \text{const}$ та $U = \text{const}$ проходять через точку ідеального холостого ходу при $\omega = \frac{U}{K\Phi}$ і $M = 0$. Жорсткість характеристик залежить від опору в колі якоря.

Якщо виконується умова $I_3 = I_{3н} = \text{const}$, то:

$$M = M_n I_{я} / I_{ян}. \quad (12)$$

За паспортними даними визначають основні параметри двигуна:

- номінальний момент:

$$M_n = P_n / \omega_n; \quad (13)$$

- номінальний ККД:

$$\eta_n = P_n / U_n I_n; \quad (14)$$

- номінальний опір:

$$R_n = U_n / I_n. \quad (15)$$

Розрахункові характеристики будують по двох точках з координатами $(\omega_0, M = 0)$ і $(\omega_{ні}, M_n)$

Кутова частота обертання ідеального холостого ходу визначається за формулою:

$$\omega_0 = \omega_n \frac{U_n}{U_n - I_n R_{я}}. \quad (16)$$

Режими гальмування двигуна з незалежним збудженням

Режими гальмування є нормальними режимами роботи двигуна. Вони широко застосовуються для ефективного керування рухом механізму. У гальмівних режимах момент двигуна не співпадає за напрямком із швидкістю. Двигун може знаходитись при гальмуванні в статичному режимі чи в перехідному процесі. Це залежить від типу статичного моменту, який створює механізм, та режиму роботи двигуна. ДПС із незалежним збудженням забезпечує наступні режими гальмування:

1. Рекуперативне (генераторне) гальмування;
2. Гальмування противмиканням;
3. Динамічне гальмування.
 1. Двигун переходить у режим *рекуперативного гальмування*, якщо його ЕРС більша за напругу живлення якоря $E > U$. При цьому струм якоря:

$$I = \frac{U - E}{R_{я\Sigma}} < 0. \quad (17)$$

і відповідно момент двигуна (2.5) $M = c\Phi I_{я}$ змінюють свій напрямок, тому швидкість двигуна у режимі рекуперативного гальмування більша за швидкість ідеального холостого ходу $\omega > \omega_0$, так як $\Delta\omega > 0$. Рівняння механічної характеристики двигуна (11) для режиму рекуперативного гальмування приймає вигляд:

$$\omega = \frac{U}{c\Phi} + \frac{R_{я\Sigma}}{(c\Phi)^2} M. \quad (18)$$

Якщо механізм створює активний момент (сили тяжіння, вітру тощо), то він може розігнати двигун вище швидкості ідеального холостого ходу, перетворюючи двигун у генератор, який працює паралельно з мережею. При цьому двигун знаходиться в статичному режимі в робочій точці **1**, обертаючись із швидкістю ω_1 , що представлено на рисунку 1.

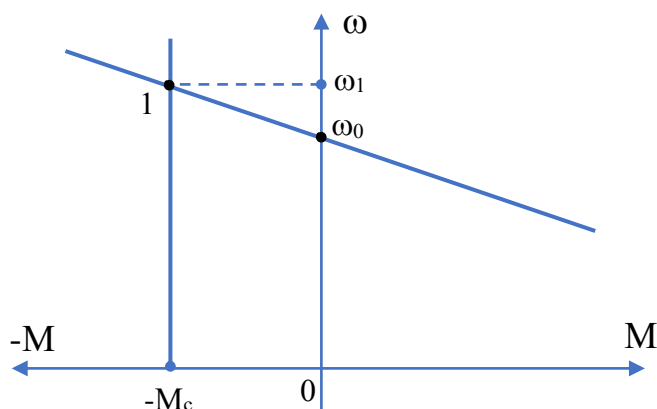


Рисунок 1 – Механічна характеристика двигуна постійного струму із переходом в режим рекуперації

2) *Гальмування противмиканням* у статичному режимі можна отримати, якщо механізм створює активний статичний момент. Для цього в коло якоря вмикається додатковий резистор R_d такої величини, щоб падіння швидкості стає більшим за швидкість ідеального холостого ходу $|\Delta\omega| > \omega_0$.

Рівняння механічної характеристики має звичний вид (11), проте з урахуванням величини $\Delta\omega$ швидкість двигуна змінює знак

$$\omega = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R_a + R_0}{(c\Phi)^2} M = \omega_0 - \Delta\omega < 0. \quad (19)$$

Режим гальмування противмиканням можна отримати і в перехідному процесі, якщо здійснити реверс працюючого двигуна. При цьому струм якоря може досягти небезпечних значень, оскільки напруга якоря та електрорушійна сила двигуна діють в одному напрямку

$$I = -\frac{U+E}{R_a}. \quad (20)$$

3) Для організації режиму *динамічного гальмування* обмотка якоря відключається від мережі і замикається на додатковий резистор R_d . Обмотка збудження обов'язково повинна залишатися увімкненою у мережу.

Рівняння механічної характеристики для режиму динамічного гальмування знаходиться із загального рівняння характеристики, якщо до нього підставити $U=0$:

$$\omega = -\frac{R_a + R_0}{(c\Phi)^2} M. \quad (21)$$

Реостатний пуск двигуна постійного струму.

Такий пуск використовується для пуску нерегульованого ЕП чи електропривода, в яких швидкість регулюється за рахунок зміни опору кола якоря чи магнітного потоку, де попередньо здійснюється пуск до номінальної швидкості. В коло якоря включається пусковий реостат, кількість ступенів якого визначається технологічними вимогами. Чим більше ступенів, тим у менших межах під час пуску змінюється момент двигуна і відповідно прискорення механізму, як це представлено на рисунку 2.

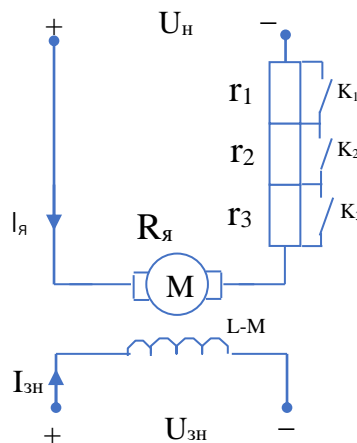


Рисунок 2 – Схема реостатного пуску двигуна постійного струму із незалежним збудженням.

Ступені реостата r_1 - r_3 закорочуються контактами k_1 - k_3 силових контакторів схеми керування. Інколи деякі секції пускового реостата використовуються для керування швидкості двигуна. Опори ступенів реостата розраховуються так, щоб забезпечити потрібну пускову діаграму, що можна побачити на рис.3.

Так як струм якоря пропорційний моменту $M = c\Phi_n I_a$, то пускову діаграму та її розрахунок можна проводити в координатах електромеханічної характеристики.

Найчастіше пуск, тобто послідовність включення контакторів k_1 - k_3 , здійснюється схемою керування в функції часу, рідше у функції струму якоря чи ЕРС. В першому випадку

за допомогою реле часу задається час роботи кожної ступені, який попередньо розраховується. При пуску рух двигуна здійснюється послідовно через точки 1-7 характеристик до виходу в робочу точку **8**, в якій він обертається із швидкістю ω_8 . Розрахунок опорів ступенів реостата здійснюється графоаналітичними чи аналітичними методами.

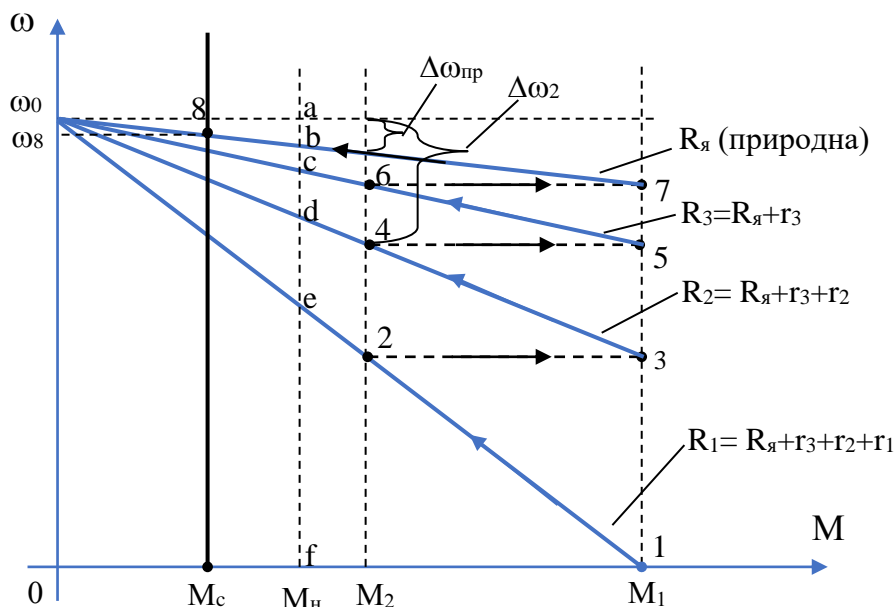


Рисунок 3 – Пускова діаграма двигуна постійного струму із використанням реостатного пуску.

При графоаналітичних методах у певному масштабі малюється пускова діаграма за кількістю ступенів та умовами пуску. Потім визначаються опори ступенів за методом відрізків чи приростів. В першому випадку проводиться вертикальна лінія через номінальний момент чи струм. Відрізки, які відтинаються цією лінією на механічних характеристиках, пропорційні опорам ступенів, що представлені на рис.3.

$$\begin{cases} r_3 = \frac{bc}{af} R_H; \\ r_2 = \frac{cd}{af} R_H; \\ r_1 = \frac{de}{af} R_H. \end{cases} \quad (22)$$

При визначенні опорів за методом пропорцій береться відношення падінь швидкостей на будь-якій вертикальній лінії, рис.3.

$$R_{\partial i} = R_{\text{я}} \left(\frac{\Delta \omega_i}{\Delta \omega_{\text{пр}}} - 1 \right), \quad (23)$$

де $\Delta \omega_{\text{пр}}$ – падіння швидкості на природній характеристиці.

Визначення параметрів асинхронного двигуна.

За паспортним даними, що вказані на табличці двигуна можна визначити наступні параметри:

Номинальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}; \quad (24)$$

де P_H – номінальна потужність двигуна;

Номинальне ковзання двигуна:

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0}; \quad (25)$$

де n_0, ω_0 – синхронна частота і швидкість обертання поля, відповідно;

n_H, ω_H – номінальна частота і швидкість обертання двигуна, відповідно.

Номинальний ККД двигуна, якщо він не вказаний в паспортних даних:

$$\eta_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} I_H U_H \cos \varphi}; \quad (26)$$

де $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Номинальний опір ротора:

$$R_H = \frac{U_{pH}}{\sqrt{3} I_{pH}}; \quad (27)$$

де U_{pH} і I_{pH} – напруга і струм ротора, відповідно.

Активний опір ротора:

$$R_2 = R_H \cdot S_H. \quad (28)$$

Для розрахунку і побудови природної характеристики необхідно визначити критичний момент $M_{кр} = \lambda \cdot M_H$, де λ - перевантажувальна здатність, відповідно критичне ковзання

$$S_{кр} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \quad (29)$$

Задаючись значеннями ковзання S_i , визначають момент згідно рівняння Клосса:

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S_{кр}}{S_i} + \frac{S_i}{S_{кр}}}. \quad (30)$$

При розрахунку штучних характеристик приблизно можна вважати, що при $R_i = R_{pi} + R_2$ є справедливим співвідношення:

$$S_{крі} = \frac{S_{кр} \cdot R_i}{R_2}. \quad (31)$$

Пуск і регулювання напруги на обмотці якоря двигуна постійного струму.

Такий спосіб пуску використовується в регульованих за напругою якоря електроприводах. Шляхом зміни $U_{завд}$ міняється напруга на виході перетворювача і відповідно напруга якоря U наростає чи спадає. Схема електроприводу представлена на рисунку 4.

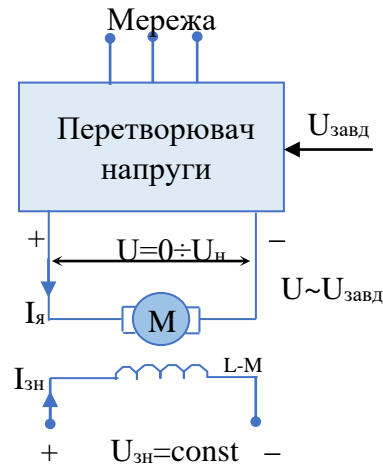


Рисунок 4 – Схема пуску із зміною напруги якоря.

Кутова частота обертання якоря при номінальному моменті при заданій напрузі на якірній обмотці

$$\omega_{ні} = \omega_{н} \frac{(U_i - I_{н}R_{я})}{(U_{н} - I_{н}R_{я})}, \quad (32)$$

де U_i – регульована напруга на якірній обмотці.

Крім того, необхідно враховувати зміну синхронної швидкості двигуна постійного струму за формулою:

$$\omega_{oi} = \omega_{н} \frac{U_i}{(U_{н} - I_{н}R_{я})}, \quad (33)$$

Практичне заняття №1. Основне рівняння руху електроприводу та розрахунок його складових.

Умова задачі №1.

Момент інерції двигуна мішалки складає $J_{дв} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Момент інерції вихідного барабану тієї ж мішалки із повним заповненням, підключеної через понижуючий редуктор складає $J_б = 40 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, передаточне число редуктора складає $i_p = 8$.

Розрахувати еквівалентний момент інерції, приведений до валу двигуна.

Розв'язок:

Відношення вихідної швидкості обертання барабану до вихідної швидкості двигуна є передаточним числом механізму $i = 5$.

Еквівалентний момент інерції знаходимо за формулою:

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + \frac{J_б}{i^2} = 0,25 + \frac{40}{8^2} = 0,845 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Відповідь: $0,845 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Умова задачі №2.

Електропривод складається із асинхронного двигуна, до валу якого підключений циліндричний редуктор із передаточним числом $i_p = 10$. До вихідного валу двигуна через муфту підключений барабан, що в свою чергу за допомогою жорсткого канату піднімає вертикально вантаж вагою 100 кг.

Радіус барабану складає 0,2м, момент інерції барабану $2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Розрахувати момент інерції механізму, приведений до валу двигуна.

Розв'язок.

Внаслідок того, що канат жорсткий, згідно умови задачі, визначимо цю систему як одномасову.

Приведений момент інерції механізму в цьому випадку:

$$J'_{\text{мех}} = J'_б + J'_{\text{вантаж}} = \frac{J_б}{i_p^2} + \frac{m_б \cdot R_б}{i_p^2} = \frac{2}{100} + \frac{100 \cdot 0,2}{100} = 0,022 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Відповідь: $0,022 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Умова задачі №3.

Обчислити момент інерції барабана, що обертається за допомогою редуктора з передаточним числом $i = 20$. При цьому момент інерції приводного двигуна складає $J_{дв} = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, а сумарний момент інерції механізму дорівнює $J_{\Sigma} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Розв'язок:

Приведений сумарний момент інерції визначається за формулою $J_{\Sigma} = J_{дв} + \frac{J_6}{i^2}$, звідси:

$$J_6 = i_p^2 (J_{\Sigma} - J_{дв}) = 20^2 \cdot (0,25 - 0,1) = 60 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Відповідь: $60 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Умова задачі №4.

Визначити допустиме кутове прискорення для двигуна з моментом інерції валу $J_{дв} = 0,025 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ та максимальним допустимим крутним моментом $24 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Момент навантаження не змінюється у часі і складає $8 \text{ Н} \cdot \text{м}$, система електроприводу є одномасовою.

Розв'язок:

Основне рівняння руху електроприводу для одномасової системи має вигляд:

$$J\varepsilon = M - M_c.$$

З цього рівняння визначимо максимальне допустиме прискорення:

$$\varepsilon_{max} = \frac{M_{max} - M_c}{J_{дв}} = \frac{24 - 8}{0,025} = 640 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$

Відповідь: $640 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$

Умова задачі №5.

Чому дорівнює перевантажувальна здатність двигуна постійного струму, якщо при сумарному моменті механізму $J_{\Sigma} = 0,25 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ і номінальному навантаженні $M_c = M_H = 10 \text{ Н} \cdot \text{м}$ він розганяється з кутовим прискоренням $\varepsilon = 60 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$.

Розв'язок.

Для визначення перевантажувальної здатності використаємо основне рівняння руху $J\varepsilon = M - M_c$. При цьому двигун розвиває момент:

$$M = M_c + J_{\Sigma}\varepsilon = 10 + 0,25 \cdot 60 = 25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевантажувальна здатність визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{M_{max}}{M_H} = \frac{25}{10} = 2,5$$

Відповідь: 2,5

Умова задачі №6.

Зусилля, що може розвинути лінійний двигун становить $F = 12\text{Н}$. З яким прискоренням рухатиметься супорт масою $m = 20\text{кг}$ при зусиллі навантаження $F_c = 4\text{Н}$?

Розв'язок:

Основне рівняння руху електроприводу для поступального руху має вигляд:

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

Відповідно до цього лінійне прискорення визначається за формулою:

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{F - F_c}{m} = \frac{12 - 4}{20} = 0,4\text{м/с}^2$$

Умова задачі №7.

Сумарний момент інерції двигуна складає $J_{\text{дв}} = 0,2\text{кг} \cdot \text{м}^2$, крутний момент, що може розвинути двигун під час пуску складає $M = 6\text{Н} \cdot \text{м}$, при цьому статичний момент навантаження дорівнює $M_c = 2\text{Н} \cdot \text{м}$. Після пуску і роботи двигуна в номінальному режимі на швидкості 104рад/с протягом 10 секунд живлення двигуна відключається і відбувається вільний вибіг. Накреслити тахограму зміни швидкості для вищевказаного процесу. Інерційністю електромагнітної частини двигуна знехтувати.

Розв'язок:

Час перехідного процесу при пуску при подачі пускового моменту двигуна дорівнює:

$$t_{\text{пп}} = \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{\varepsilon} = J \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{M - M_c} = 0,2 \frac{104}{6 - 2} = 5,2\text{с}$$

В той же час приблизно можна вважати криву вільного вибігу прямою, тобто вважати вільний вибіг рівносповільненим рухом. Тоді, оскільки момент двигуна при вільному вибігу дорівнює нулеві:

$$J \approx M_c \frac{t_{\text{в.в.}}}{\omega_{\text{поч}}}$$

$$\text{Звідси } t_{\text{в.в.}} \approx \frac{J \cdot \omega_{\text{поч}}}{M_c} = \frac{0,2 \cdot 104}{2} = 10,4\text{с}.$$

Тахограма руху матиме вигляд, представлений на рис.5.

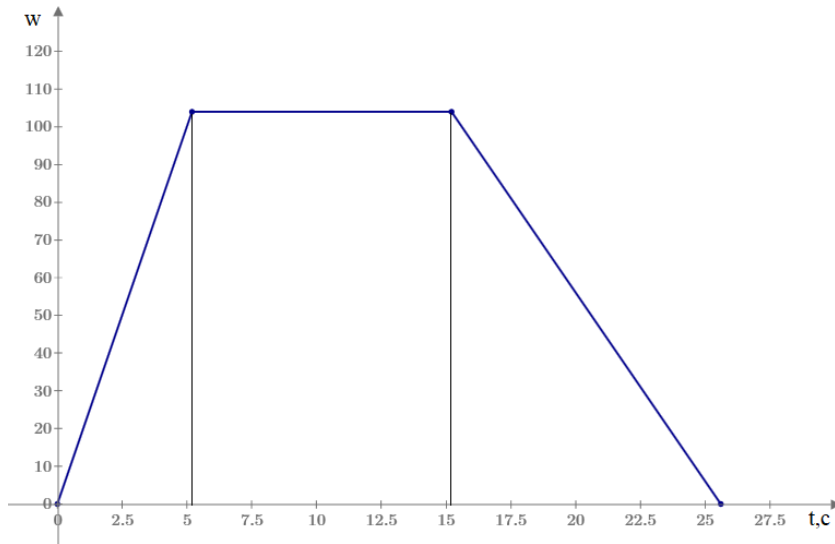


Рисунок 5 – Тахограма руху механізму.

Завдання для самостійного розв'язку.

Сумарний момент інерції двигуна складає $J_{дв}$ крутний момент, що може розвинути двигун під час пуску складає M при цьому статичний момент навантаження дорівнює M_c . Після пуску і роботи двигуна в номінальному режимі на швидкості $\omega_{дв}$ протягом 10 секунд живлення двигуна відключається і відбувається вільний вибіг. Накреслити тахограму зміни швидкості для вищевказаного процесу. Інерційністю електромагнітної частини двигуна знехтувати. Параметри двигуна взяти з таблиці №1 згідно номера варіанту.

Таблиця 1. Параметри двигуна.

№	Момент інерції, кг · м ²	Крутний момент, Н · м	Номінальна швидкість, рад/с
1	0,20	6	104
2	0,10	5	157
3	0,15	4	314
4	0,05	10	104
5	0,30	6	157
6	0,20	5	314
7	0,4	5	104
8	0,25	4	157
9	0,20	8	314
10	0,40	10	208

Практичне заняття №2. Розрахунок крутних моментів і моментів інерції підйомного механізму.

Умова задачі №1.

Підйомний механізм складається із кінематичної схеми, представленої на рис.6. цій схемі відповідають наступні дані: швидкість двигуна $n = \dots$ об/хв, $J_1 = \dots$ кг·м², $J_2 = \dots$ кг·м², $J_3 = \dots$ кг·м², $J_4 = \dots$ кг·м², $J_5 = \dots$ кг·м², $J_6 = \dots$ кг·м², $J_7 = \dots$ кг·м², передаточне число редуктора $i_p = \dots$; ККД редуктора $\eta_p = \dots$, ККД з'єднувальної муфти $\eta_m = \dots$, діаметр барабана $D = \dots$ м. Визначити момент інерції при підйомі вантажу самою $m_7 \dots$ кг. Розрахувати момент двигуна, який він повинен розвивати для забезпечення прискорення вантажу $a_{\text{п}} = \dots$ м/с². Дані взяти з таблиці даних №2.

Таблиця 2. Дані механізму.

$n, \text{об/хв}$	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	$m_7, \text{кг}$	$R, \text{м}$	i_p	η_p	η_m	$a_{\text{п}}, \text{м/с}^2$
1000	0,17	0,02	0,08	0,01	0,01	2,4	40	0,15	120	0,9	0,99	1

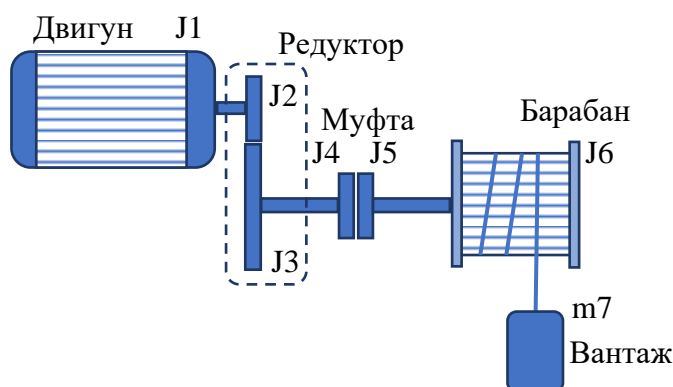


Рисунок 6 – Кінематична схема підйомного механізму.

Умовою приведення параметрів реальної схеми до розрахункової є виконання закону збереження енергії та елементарної роботи.

При приведенні моментів інерції та мас повинен виконуватися закон збереження кінетичної енергії. Для обертального руху при приведенні моменту інерції елемента, який рухається зі швидкістю ω_i , до розрахункової швидкості ω_1 повинна виконуватися умова рівності кінетичних енергій. Приведення здійснюємо до швидкості валу двигуна. При цьому, оскільки не вказані пружності, вважаємо систему абсолютно жорсткою, відповідно будемо приводити схему до одномасової.

Для знаходження моменту, що повинен розвивати двигун використовуємо основне рівняння руху електроприводу для одномасової схеми:

$$J'_{\Sigma} \varepsilon = M - M_c.$$

Застосовуємо формулу приведення моментів інерції

$$J'_\Sigma = J_1 + J_2 + \frac{J_3}{i_p^2} + \frac{J_4}{i_p^2} + \frac{J_5}{i_p^2} + \frac{J_6}{i_p^2} + \frac{m_7 \cdot R_6^2}{i_p^2} = 0,17 + 0,05 + \frac{0,48}{400} + \frac{0,08}{400} + \frac{0,08}{400} + \frac{2,4}{400} + \frac{300 \cdot 0,1^2}{400} = 0,235 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Далі знаходимо необхідне кутове прискорення, що повинен розвивати двигун:

$$\varepsilon' = \varepsilon_{\text{п}} \cdot i_p = \frac{a_{\text{п}}}{R_6} \cdot i_p = \frac{1}{0,1} \cdot 20 = 200 \text{ рад/с}^2$$

Момент статичний визначаємо для підйому, для якого знаки швидкості та статичного моменту протилежні. Відповідно до цього при приведенні момент корисного навантаження ділиться на сумарний ККД:

$$M_c = M_{\text{кн}} / (i_p \cdot \eta_{\text{мех}}) + \Delta M_{\text{дв}}.$$

В нашому випадку, оскільки втрати в двигуні не вказані в умові, ними можна знехтувати.

При обчисленні значення статичного моменту при приведенні моментів та сил до валу двигуна потрібно враховувати сумарний ККД ланцюга, обчисленого на основі номінальних ККД цих елементів:

$$\eta_{\text{мех}} = \eta_p \cdot \eta_m = 0,9 \cdot 0,99 = 0,891.$$

Момент навантаження визначається силою тяжіння:

$$M_{\text{кн}} = m_7 \cdot g = 40 \cdot 9,81 = 392,4 \text{ Нм}.$$

Таким чином, статичний момент визначиться за формулою:

$$M_c = \frac{M_{\text{кн}}}{i_p \cdot \eta_{\text{мех}}} = \frac{392,4}{20 \cdot 0,891} = 22,02 \text{ Нм}$$

Момент двигуна визначиться за формулою:

$$M = J'_\Sigma \varepsilon + M_c = 0,235 \cdot 200 + 22,02 = 69,02 \text{ Нм}$$

Завдання для самостійного розв'язку.

Для вищезазначеної кінематичної схеми визначити момент інерції при підйомі вантажу самою m_7 ... кг. Розрахувати момент двигуна, який він повинен розвивати для забезпечення прискорення вантажу $a_{\text{п}} = \dots \text{ м/с}^2$. Дані взяті згідно варіанту, представленому в таблиці 3..

Таблиця 3. Дані механізму підйому для самостійної роботи.

№	$n, \text{об/хв}$	$J1$	$J2$	$J3$	$J4$	$J5$	$J6$	$m7, \text{кг}$	$R6, \text{м}$	i_p	η_p	η_m	$a_{\text{п}}, \text{м/с}^2$
1	1000	0,17	0,02	0,08	0,01	0,01	2,4	40	0,15	20	0,9	0,99	1
2	750	0,25	0,04	0,12	0,05	0,05	3,6	100	0,1	10	0,95	0,98	1
3	1000	0,12	0,02	0,20	0,08	0,08	4,8	80	0,1	10	0,9	0,98	0,5
4	750	0,2	0,02	0,30	0,1	0,1	5,6	120	0,15	20	0,8	0,99	0,5
5	1000	0,3	0,1	0,32	0,02	0,02	4,4	40	0,25	15	0,95	0,95	1

6	750	0,15	0,02	0,08	0,05	0,05	5,0	150	0,1	20	0,95	0,98	1
7	1500	0,2	0,01	0,05	0,04	0,04	8,0	40	0,1	25	0,85	0,95	0,5
8	1000	0,4	0,1	0,4	0,05	0,05	3,6	30	0,1	15	0,8	0,96	0,5
9	500	0,22	0,05	0,45	0,02	0,02	1,8	60	0,2	10	0,96	0,99	1
10	500	0,14	0,03	0,24	0,01	0,01	6,8	50	0,25	15	0,94	0,96	0,5

Практичне заняття №3. Розрахунок і побудова штучних характеристик двигуна постійного струму із незалежним збудженням при регулюванні опору якріного кола.

Умова задачі №1.

Для двигуна серії MGFRK 090-22, параметри якого представлені в таблиці №4, розрахувати природну характеристику та штучні при $R_d = 0$, $R_d = 0,5R_H$, $R_d = R_H$.

Вказати, для яких характеристик двигун переходить в режим гальмування при $I = 1,4I_H$.

Таблиця 4. Дані двигуна.

Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертання, об/хв	Номинальний струм, А	Максимальний струм, А	Індуктивність, мГн	Опір якоря при 125 градусах, Ом
0,2	170	350	3,0	9	99,5	34,95

Розв'язок.

Визначаємо номінальну швидкість обертання валу двигуна:

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 350}{30} = 36,65 \text{ рад/с.}$$

Визначаємо номінальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{200}{36,65} = 5,46 \text{ Нм.}$$

номінальний ККД

$$\eta_H = \frac{P_H}{U_H I_H} = \frac{200}{170 \cdot 3} = 0,39.$$

номінальний опір

$$R_H = \frac{U_H}{I_H} = \frac{170}{3} = 57 \text{ Ом.}$$

Розрахункові характеристики будують по двох точках з координатами ω_0 , $M=0$ і ω_{H1} , M_H .

Кутова частота обертання ідеального холостого ходу

$$\omega_0 = \omega_H \frac{U_H}{(U_H - I_H R_{я})} = 36,65 \frac{170}{(170 - 3 \cdot 34,95)} = 123,76 \text{ рад/с}$$

Кутова частота обертання якоря при номінальному моменті і $R_d = 0$:

$$\omega_{H0} = \omega_H \frac{U_H - I_H R_{я}}{U_H - I_H R_{я}} = 36,65 \text{ рад/с}$$

Кутова частота обертання якоря при номінальному моменті і $R_d = 0,5R_H$:

$$\omega_{H0,5R_{НОМ}} = \omega_H \frac{U_H - I_H(R_{я} + 0,5R_H)}{U_H - I_H R_{я}} = 36,65 \frac{35,45}{65,15} = 19,94 \text{ рад/с}$$

Кутова частота обертання якоря при номінальному моменті і $R_d = R_H$:

$$\omega_{H0,5R_{НОМ}} = \omega_H \frac{U_H - I_H(R_{я} + R_H)}{U_H - I_H R_{я}} = 36,65 \frac{-105,85}{65,15} = -59,55 \text{ рад/с}$$

Графіки природньої та штучних характеристик отримуємо за двома точками для кожної характеристики. Механічні хаарктеристики представлені на рис.7.

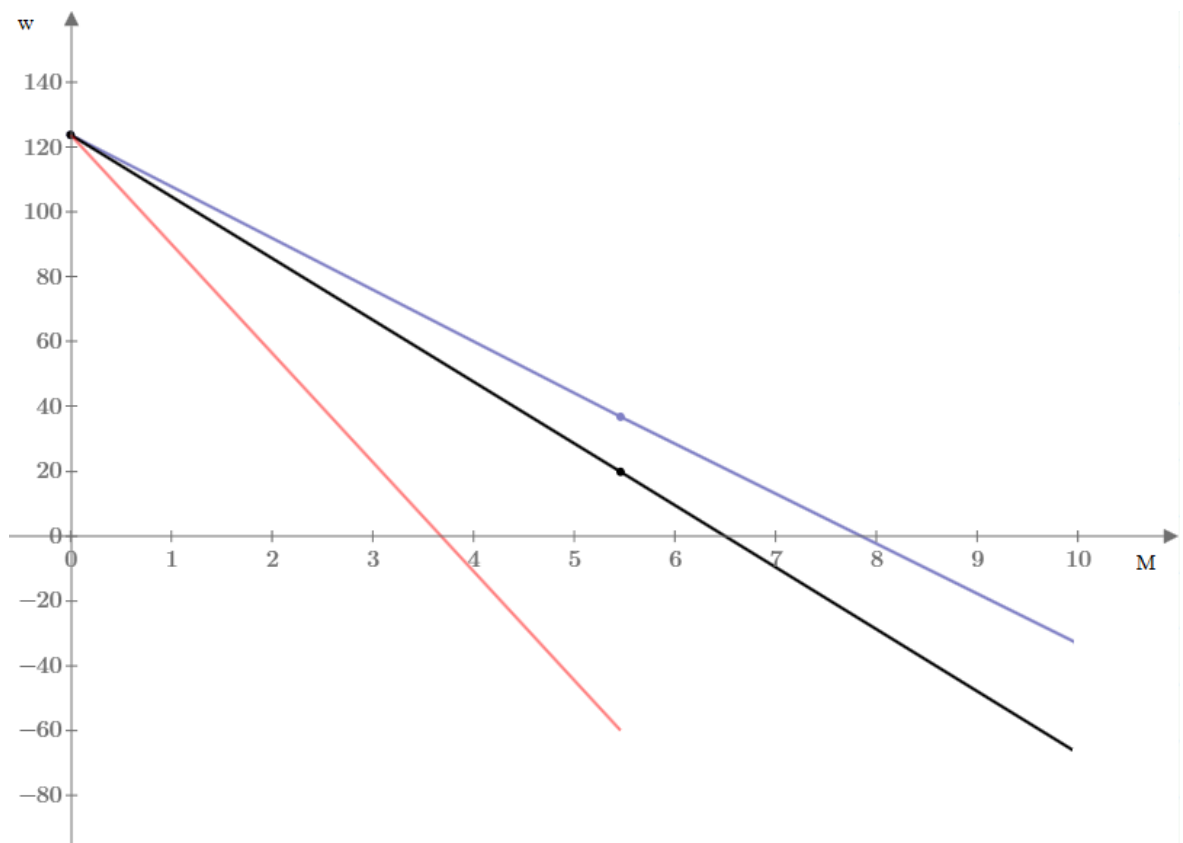


Рисунок 7 – Механічні характеристики при регулюванні опору кола якоря.

Задачу визначення переходу в режим гальмування вирішимо графоаналітичним методом. Струмові $1,4I_H$ відповідає момент

$$M = M_H \cdot \frac{1,4I_H}{I_H} = 1,4 \cdot 5,46 = 7,46 \text{ Нм}$$

З графіку можна побачити, що для цього моменту характеристики із $R_d = 0,5R_H$ та $R_d = R_H$ мають від'ємне значення, тобто двигун знаходиться в генераторному режимі.

Завдання для самостійного розв'язку.

Для двигуна серії MGFRK 090-22 розрахувати природню характеристику та штучні при $R_d = 0$, $R_d = 0,5R_H$, $R_d = R_H$. Параметри двигуна взяти з таблиці №5 згідно номера варіанту.

Таблиця №5. Параметри двигуна для самостійної роботи.

<i>№ варіанту</i>	<i>Потужність, кВт</i>	<i>Напруга, В</i>	<i>Частота обертання, об/хв</i>	<i>Номінальний струм, А</i>	<i>Максимальний струм, А</i>	<i>Індуктивність, мГн</i>	<i>Опір якоря при 125 градусах, Ом</i>
1	0,33	280	550	2,3	7	156,2	54,38
2	0,5	280	800	3,0	9	99,5	34,95
3	0,7	460	1250	2,3	7	156,2	54,38
4	0,85	280	1450	4,4	13	46,6	16,05
5	0,9	420	1500	3,0	9	99,5	34,95
6	1,0	170	1650	8,3	25	14,1	4,53
7	1,2	460	2100	3,5	10	70,5	23,35
8	1,6	460	2700	4,4	13	46,6	16,05
9	1,9	170	3250	14,5	44	4,6	1,58
10	2,0	460	3300	5,3	16	33,2	11,52

Практичне заняття №4. Перетворення потужностей в двигуні.

Умова задачі №1.

Визначить номінальну потужність асинхронного двигуна, якщо номінальний ККД двигуна становить 0,92; номінальна потужність, що споживає двигун дорівнює 15кВА, а коефіцієнт потужності складає 0,7.

Розв'язок.

$$P_{1H} = S_{1H} \cdot \cos \varphi = 15 \cdot 0,7 = 10,5\text{кВт};$$

Номінальна потужність асинхронного двигуна є механічною величиною і визначається за формулою:

$$P_H = P_{1H} \cdot \eta = 10,5 \cdot 0,92 = 9,66\text{кВт}$$

Відповідь: 9,66кВт

Умова задачі №2.

Визначить повну електричну споживану потужність для асинхронного електродвигуна потужністю 2,2кВт при номінальному ККД двигуна 0,76 та коефіцієнті потужності 0,86.

Розв'язок:

Активна електрична потужність, що визначається:

$$P_{1H} = \frac{P_H}{\eta} = \frac{2200}{0,76} = 2895\text{Вт}$$

Повна електрична потужність:

$$S_{1H} = \frac{P_{1H}}{\cos \varphi} = \frac{2895}{0,86} = 3,37\text{кВт}$$

Відповідь: 3,37кВт

Умова задачі №3.

Визначить активну споживану потужність двигуном з мережі, якщо його частота обертання становить 157рад/с, ККД дорівнює 0,8, а момент навантаження в режимі роботи зі сталою швидкістю дорівнює 2,4Н · м .

Розв'язок:

Механічна потужність двигуна при роботі визначається формулою:

$$P = M \cdot \omega = 2,4 \cdot 157 = 376,8\text{Вт}$$

Електрична активна споживана потужність визначиться:

$$P_1 = \frac{P}{\eta} = \frac{376,8}{0,8} = 471 \text{Вт}$$

Відповідь: 471Вт

Умова задачі №4.

З якою швидкістю обертається вал асинхронного двигуна, якщо він споживає з мережі потужність 9,2кВт, а момент навантаження у сталому режимі дорівнює 12Н·м? ККД двигуна дорівнює 0,72.

Розв'язок:

$$P = P_1 \eta = 9200 \cdot 0,72 = 6624 \text{Вт}$$

Швидкість визначиться за формулою:

$$\omega = \frac{P}{M} = \frac{6624}{12} = 735 \text{рад/с}$$

Відповідь: 735рад/с

Умова задачі №5.

Дано двигуни типу MDEMA та MHEMA, параметри яких приведено в таблицю №6.

Таблиця 6. Дані двигунів MDEMA та MHEMA.

Потужність, кВт	Серія	Частота обертання, об/хв	Напруга, В	Номинальний струм, А	Коефіцієнт потужності	Коефіцієнт корисної дії
0,75	MDEMA	1410	400	1,9	0,8	0,74
	MHEMA	1410	400	1,8	0,84	0,796

Визначить повну споживану електричну потужність та крутний момент для обох двигунів для номінального режиму, зробити порівняльний аналіз.

Розв'язок.

Спочатку знаходимо номінальну швидкість двигуна, для обох версій вона буде однаковою:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 1410}{30} = 147,7 \text{рад/с.}$$

Крутний момент визначається за формулою і теж буде рівним для обох електродвигунів:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{750}{147,7} = 5,1 \text{Нм}$$

Далі знаходимо активну електричну потужність, споживану з мережі для двигуна MDEMA:

$$P_{1H} = \frac{P_H}{\eta} = \frac{750}{0,74} = 1013,5 \text{ Вт};$$

і двигуна MHEMA:

$$P_{1H} = \frac{P_H}{\eta} = \frac{750}{0,796} = 942,2 \text{ Вт}.$$

Повна електрична потужність визначається за формулою для двигуна MDEMA:

$$S_{1H} = \frac{P_{1H}}{\cos \varphi} = \frac{1013,5}{0,8} = 1266,9 \text{ Вт};$$

і двигуна MHEMA:

$$S_{1H} = \frac{P_{1H}}{\cos \varphi} = \frac{942,2}{0,84} = 1121,7 \text{ Вт};$$

Для зручності порівняння повних потужностей електродвигунів розглянемо співвідношення потужностей:

$$\frac{S_{1HMD}}{S_{1HMH}} = \frac{1266,9}{1121,7} = 1,13$$

З вищевказаних формул можна визначити, що при однаковому крутному моменті двигун серії MDEMA споживає на 13% більше, ніж MHEMA в номінальному режимі.

Завдання для самостійного розв'язку.

Дано двигуни типу MDEMA та MHEMA, параметри яких приведено в таблицю №7.

Таблиця 7. Дані двигунів MDEMA та MHEMA.

№ варіанту	Потужність, кВт	Серія	Частота обертання, об/хв	Напруга, В	Номінальний струм, А	Коефіцієнт потужності	Коефіцієнт корисної дії
1	1,1	MDEMA	1390	400	2,8	0,81	0,75
		MHEMA	1430	400	2,7	0,76	0,82
2	1,5	MDEMA	1410	400	3,8	0,76	0,79
		MHEMA	1435	400	3,3	0,76	0,828
3	2,2	MDEMA	1440	400	5,3	0,73	0,84
		MHEMA	1445	400	5,0	0,8	0,863
4	3,0	MDEMA	1430	400	7,2	0,75	0,83
		MHEMA	1445	400	7,0	0,73	0,855
5	5,5	MDEMA	1450	400	11,7	0,75	0,86
		MHEMA	1470	400	11,9	0,77	0,892
6	7,5	MDEMA	1455	400	16,5	0,76	0,88

		<i>MHEMA</i>	<i>1460</i>	<i>400</i>	<i>15,6</i>	<i>0,79</i>	<i>0,887</i>
<i>7</i>	<i>11</i>	<i>MDEMA</i>	<i>1460</i>	<i>400</i>	<i>21,0</i>	<i>0,85</i>	<i>0,89</i>
		<i>MHEMA</i>	<i>1470</i>	<i>400</i>	<i>21,8</i>	<i>0,82</i>	<i>0,898</i>
<i>8</i>	<i>15</i>	<i>MDEMA</i>	<i>1460</i>	<i>400</i>	<i>27,8</i>	<i>0,87</i>	<i>0,9</i>
		<i>MHEMA</i>	<i>1470</i>	<i>400</i>	<i>29,1</i>	<i>0,82</i>	<i>0,906</i>
<i>9</i>	<i>18,5</i>	<i>MDEMA</i>	<i>1470</i>	<i>400</i>	<i>32,8</i>	<i>0,9</i>	<i>0,905</i>
		<i>MHEMA</i>	<i>1475</i>	<i>400</i>	<i>34,0</i>	<i>0,86</i>	<i>0,912</i>
<i>10</i>	<i>22</i>	<i>MDEMA</i>	<i>1465</i>	<i>400</i>	<i>38,8</i>	<i>0,9</i>	<i>0,91</i>
		<i>MHEMA</i>	<i>1470</i>	<i>400</i>	<i>39,8</i>	<i>0,87</i>	<i>0,916</i>

Визначить повну споживану електричну потужність та крутний момент для обох двигунів для номінального режиму, зробити порівняльний аналіз.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Теорія електропривода-1 [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050702-"Електромеханіка" спеціальності "Електромеханічні системи автоматизації та електропривод" / НТУУ "КПІ" ; уклад.: М. Я. Островерхов, В. М. Пижов, М. В. Пушкар. – Електронні текстові дані (1 файл: 591,5 Кбайт). – Київ : НТУУ "КПІ", 2014. – 52 с. – Назва з екрана.
2. Електропривод. Механіка електроприводу. Електромеханічне перетворення енергії та електромеханічні властивості двигунів постійного струму [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В. М. Пижов, Н. Д. Красношпка, М. Я. Островерхов. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,57 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с. – Назва з екрана.
3. Основи мехатроніки [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: С. М. Пересада, М. В. Пушкар. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,87 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 137 с. – Назва з екрана.
4. Теорія електроприводу. Методичні вказівки до практичних занять для студентів денної форми навчання що навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун. – Х.: ХНАДУ, 2020. – 75 с.
5. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник / [А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун, І.С. Трунова]. – Х.: ХНАДУ, 2016 – 292 с.
6. Теорія електропривода. Під ред. М.Г.Поповича. – Київ: Вища школа,1993–493 с.
7. Системы управления электроприводами: Учеб. Пособие / А.П. Голубь, Б.И. Кузнецов, И.А. Попрышко. – К.: УМК ВО, 1992. –376 с.
8. Механотроніка [Текст]: Конспект лекцій для студентів напряму 6.050502 «Інженерна механіка» денної та заочної форм навчання / уклад. Н. М. Гулієва.– Луцьк: Луцький НТУ, 2015. – 104 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«Електромехатроніка»

(частина 1)

(для здобувачів вищої освіти спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»)
(Електронне видання)

Укладач:

Морнева Марина Олегівна

Оригінал-макет

М.О. Морнева

Підписано до друку _____

Формат 60x84¹/₁₆. Папір типограф. Гарнітура Times

Друк офсетний. Умов.друк.арк. _____. Облік.видавн.арк. _____

Наклад ____ прим. Вид.№ ____ Замовл.№ ____ Безкоштовно

Видавництво: Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: вул. Іоанна Павла II, 17

м. Київ, 01042, Україна

e-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«Електромехатроніка»

(частина 1)

(для здобувачів вищої освіти спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»)
(Електронне видання)

Укладач: М.О. Морнева, к.т.н., доц.

«До друку, у світ дозволяю»:

Перший проректор _____ Д.М. Марченко

Укладач _____ М.О. Морнева

(підпис укладача або керівника колективу укладачів)

Весь цифровий і фактичний матеріал,

бібліографічні відомості перевірені.

Написання одиниць відповідає стандартам

(підпис автора чи керівника авторського колективу)

Київ 2024