

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«ЕЛЕКТРОМЕХАТРОНІКА»

(частина 2)

*(для здобувачів вищої освіти спеціальності*

*141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»)*

*(Електронне видання)*

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні кафедри  
електричної інженерії  
Протокол № 8 від 14.02.2024р.

КИЇВ 2024

## УДК 621.3

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Електромехатроніка» (ч.2) (для здобувачів вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка») (Електронне видання) / Уклад.: М.О. Морнева –Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2024. - 31 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».

У представленому посібнику викладено основні положення щодо виконання практичних робіт тематика яких обіймає розділи курсу по вивченню розрахунку моментів інерції механізми і приведення їх до валу двигуна, розрахунку параметрів двигунів постійного струму із незалежним збудженням, асинхронних двигунів з короткозамкненим та фазним ротором, крокових двигунів та систем реостатного пуску.

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 №5 Розрахунок і побудова штучних характеристик двигуна постійного струму із незалежним збудженням при регулюванні напруги якоря .....	12
Практичне заняття №6 Визначення параметрів додаткових резисторів в якірному колі двигуна постійного струму при реалізації електричного гальмування .....	15
Практичне заняття №7 Визначення параметрів асинхронного двигуна .....	18
Практичне заняття №8 Розрахунок і побудова штучних характеристик асинхронного двигуна .....	23
Практичне заняття №9 Розрахунок пускових реостатів для двигуна постійного струму .....	26
Перелік рекомендованої літератури .....	29

## 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  $\omega_i$ , до розрахункової швидкості  $\omega_1$  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  $\rho_{1i}$  залишаються незмінними.

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

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

а кутове прискорення  $\varepsilon_i$  [рад/с<sup>2</sup>]

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

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  $J_{\Sigma}$  – сумарний момент інерції механізму,  $\omega$  – 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;  $\Phi$  - 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:

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

За паспортними даними визначають основні параметри двигуна:

- номінальний момент:

$$M_{н} = P_{н} / \omega_{н}; \quad (13)$$

- номінальний ККД:

$$\eta_{н} = P_{н} / U_{н} I_{н}; \quad (14)$$

- номінальний опір:

$$R_{н} = U_{н} / I_{н}. \quad (15)$$

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

Кутова частота обертання ідеального холостого ходу визначається за формулою:

$$\omega_0 = \omega_{н} \frac{U_{н}}{U_{н} - I_{н} R_{я}}. \quad (16)$$

### 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  $\omega_1$ , що представлено на рисунку 1.

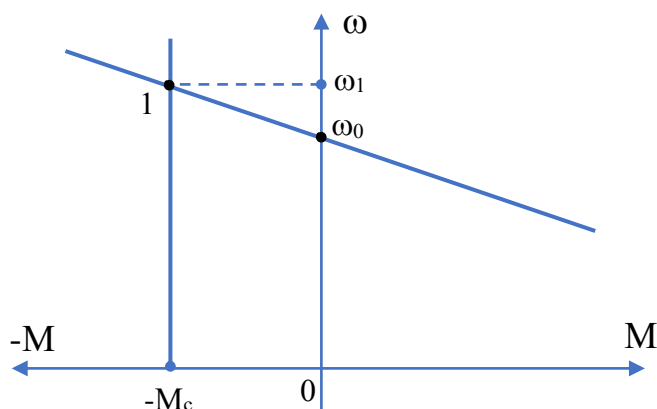


Рисунок 1 – Механічна характеристика двигуна постійного струму із переходом в режим рекуперації

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.

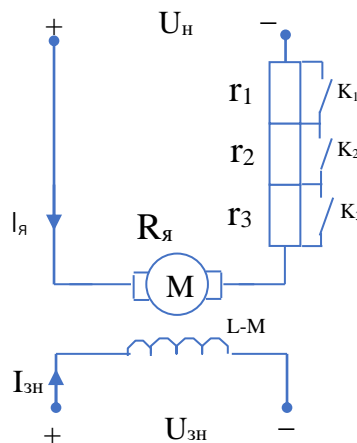


Рисунок 2 – Схема реостатного пуску двигуна постійного струму із незалежним збудженням.

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  $\omega_8$ . Розрахунок опорів ступенів реостата здійснюється графоаналітичними чи аналітичними методами.

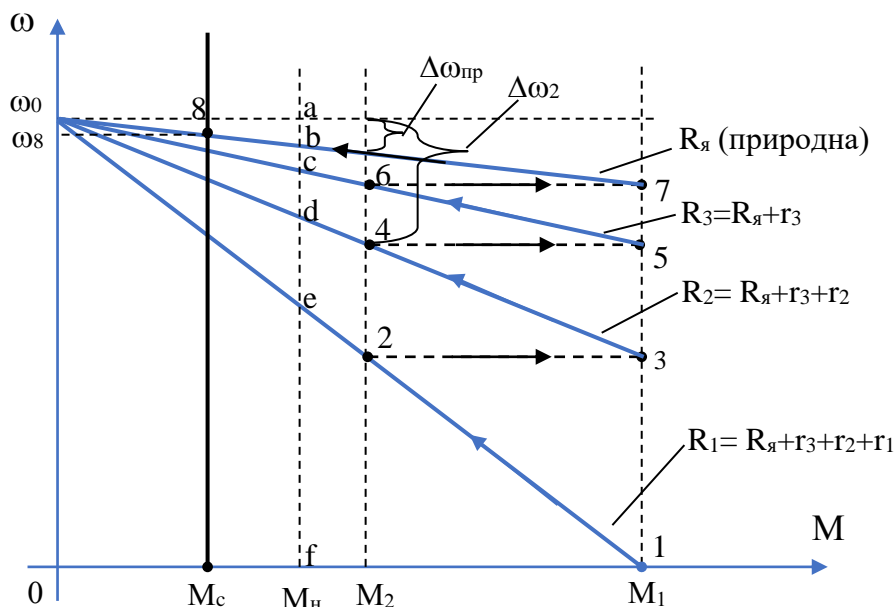


Рисунок 3 – Пускова діаграма двигуна постійного струму із використанням реостатного пуску.

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.

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

При визначенні опорів за методом пропорцій береться відношення падін 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:

Номінальний момент двигуна:

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

де  $P_H$  – номінальна потужність двигуна;

Номінальне ковзання двигуна:

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

де  $n_0, \omega_0$  – синхронна частота і швидкість обертання поля, відповідно;

$n_H, \omega_H$  – номінальна частота і швидкість обертання двигуна, відповідно.

Номінальний 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.

Номінальний 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  $\lambda$  - 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.

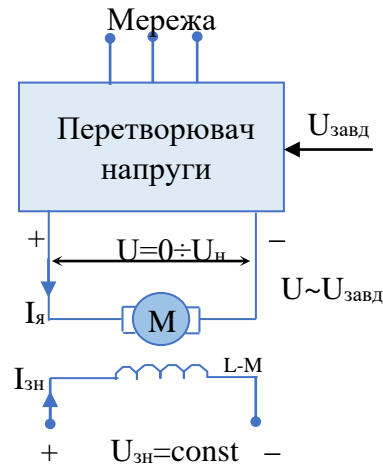


Рисунок 4 – Схема пуску із зміною напруги якоря.

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

$$\omega_{ні} = \omega_n \frac{(U_i - I_n R_{я})}{(U_n - I_n R_{я})}, \quad (32)$$

де  $U_i$  – регульована напруга на якірній обмотці.

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

$$\omega_{oi} = \omega_n \frac{U_i}{(U_n - I_n R_{я})}, \quad (33)$$

**Практичне заняття №5. Розрахунок і побудова штучних характеристик двигуна постійного струму із незалежним збудженням при регулюванні напруги якоря.**

Умова задачі №1.

Для двигуна серії MGFRK 112-22, дані якого представлені в таблиці №8, розрахувати природну характеристику та штучні при  $U = U_n$ ,  $U = 0,5U_n$ ,  $U = 0,2U_n$ .

Таблиця 8. Дані двигуна MGFRK 112-22.

Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертання, об/хв	Номинальний струм, А	Максимальний струм, А	Індуктивність, мГн	Опір якоря при 125 градусах, Ом
0,8	170	500	7,2	22	49,4	7,16

Розв'язок.

Визначимо швидкість обертання:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 500}{30} = 52,3 \text{ рад/с.}$$

номінальний момент

$$M_n = P_n / \omega_n = \frac{800}{52,3} = 15,3 \text{ Нм}$$

номінальний ККД

$$\eta_n = P_n / U_n I_n = \frac{800}{170 \cdot 7,2} = 0,653$$

номінальний опір

$$R_n = U_n / I_n = \frac{170}{7,2} = 23,6 \text{ Ом}$$

Розрахункові характеристики будують по двох точках з координатами  $(\omega_0, M = 0)$  і  $(\omega_{n1}, M_n)$

Кутова частота обертання ідеального холостого ходу

$$\omega_0 = \omega_n \frac{U_n}{U_n - I_n R_{я}} = 52,3 \cdot \frac{170}{170 - 7,2 \cdot 7,16} = 75,1 \text{ рад/с}$$

Кутова частота обертання якоря при номінальному моменті при напрузі  $0,5U_n$  на якійній обмотці

$$\omega_{n0,5} = \omega_n \frac{(0,5U_n - I_n R_{я})}{(U_n - I_n R_{я})} = 52,3 \frac{0,5 \cdot 170 - 7,2 \cdot 7,16}{170 - 7,2 \cdot 7,16} = 14,77 \text{ рад/с}$$

Кутова частота обертання якоря при нульовому моменті при напрузі  $0,5U_H$  на якірній обмотці

$$\omega_{0,5} = \omega_H \frac{0,5U_H}{(U_H - I_H R_{я})} = 52,3 \frac{0,5 \cdot 170}{170 - 7,2 \cdot 7,16} = 37,5 \text{ рад/с}$$

Кутова частота обертання якоря при номінальному моменті при напрузі  $0,2U_H$  на якірній обмотці

$$\omega_{H0,2} = \omega_H \frac{(0,2U_H - I_H R_{я})}{(U_H - I_H R_{я})} = 52,3 \frac{0,2 \cdot 170 - 7,2 \cdot 7,16}{170 - 7,2 \cdot 7,16} = -7,75 \text{ рад/с}$$

Кутова частота обертання якоря при нульовому моменті при напрузі  $0,2U_H$  на якірній обмотці

$$\omega_{H0,2} = \omega_H \frac{(0,2U_H - I_H R_{я})}{(U_H - I_H R_{я})} = 52,3 \frac{0,2 \cdot 170}{170 - 7,2 \cdot 7,16} = 15 \text{ рад/с}$$

Графіки механічних характеристик при зміні напруги якоря мають вигляд, представлений на рис.8.

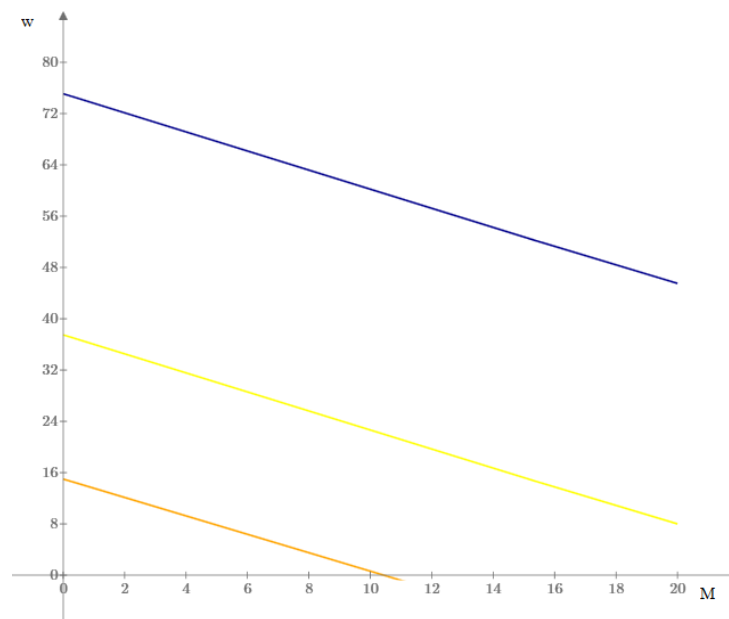


Рисунок 8. Механічні характеристики двигуна при регулюванні напруги.

*Завдання для самостійного розв'язку.*

Для двигуна серії MGFRK 112-22 розрахувати природну характеристику та штучні при  $U = U_H$ ,  $U = 0,5U_H$ ,  $U = 0,2U_H$ . Параметри двигуна взяти з таблиці №9 згідно номера варіанту.

Таблиця 9. Параметри двигунів MGFRK 112-22 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	0,8	170	500	7,2	22	49,4	7,16
2	1,6	280	1000	7,2	22	49,4	7,16
3	2,8	460	1800	7,2	22	49,4	7,16
4	1,1	170	700	9,0	27	31,6	4,72
5	2,0	280	1300	9,0	27	31,6	4,72
6	3,2	420	2050	9,0	27	31,6	4,72
7	2,9	280	1850	12,4	38	17,8	2,55
8	4,5	420	2850	12,4	38	17,8	2,55
9	5,0	420	3200	13,6	41	14,2	2,0
10	5,3	280	3450	22,0	66	5,5	0,55

**Практичне заняття №6. Визначення параметрів додаткових резисторів в якірному колі двигуна постійного струму при реалізації електричного гальмування.**

Умова задачі №1.

Дано двигун типу MGFRK 132-22 згідно таблиці №10..

Таблиця 10. Дані двигуна и режиму пуску для двигуна MGFRK 132-22.

Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертання, об/хв	Номинальний струм, А	Максимальний струм, А	Індуктивність, мГн	Опір якоря при 125 градусах, Ом
1,6	280	540	7,7	24	70	7,28

1. Розрахувати додатковий опір, при якому із виникненням генераторного режиму із струмом  $I_{я} = -2$  А напруга на вихідних клеммах двигуна перевищить допустиму напругу  $U_{доп} = 400$ В. З якою швидкістю при цьому буде обертатися вал двигуна?
2. Визначити в якому режимі буде працювати двигун із цим додатковим опором при вмиканні половинного навантаження, тобто  $I_{я} = 0,5I_{н}$ .
3. Визначити, при якому значенні додаткового опору двигун сформує половинний момент від номінального при переході із номінального режиму роботи в режим електродинамічного гальмування.

Розв'язок.

1. Визначимо параметри природної механічної характеристики двигуна постійного струму.

Для цього знаходимо номінальну швидкість двигуна:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 540}{30} = 56,55 \text{ рад/с.}$$

Номинальний момент

$$M_n = P_n / \omega_n = \frac{1600}{56,55} = 28,3 \text{ Нм}$$

Добуток конструктивної сталої двигуна на номінальний магнітний потік дорівнює:

$$c\Phi_n = \frac{M_n}{I_n} = \frac{28,3}{7,7} = 3,68$$

Двигун переходить у режим рекуперативного гальмування, якщо його ЕРС більша за напругу живлення якоря  $E > U$ . При цьому струм якоря визначається за формулою:

$$I_{\text{я}} = \frac{U-E}{R_{\text{я}\Sigma}} < 0$$

Додатковий опір визначається наступним чином:

$$R_{\text{д}} = R_{\text{я}\Sigma} - R_{\text{я}} = \frac{U-E}{I_{\text{я}}} - R_{\text{я}} = \frac{400}{2} - 7.28 = 192.720\text{м}$$

Швидкість, з якою буде обертатися вал двигуна визначається із виразу:

$$E - U = c\Phi_{\text{н}}\omega - U = U_{\text{доп}}$$

Звідси швидкість визначається в явному вигляді:

$$\omega = \frac{U + U_{\text{доп}}}{c\Phi_{\text{н}}} = \frac{280 + 400}{3.68} = 184.78\text{рад/с}$$

2. Для визначення в якому режимі працюватиме двигун при половинному навантаженні слід визначити знак швидкості.

$$\omega = \frac{U_{\text{н}}}{c\Phi_{\text{н}}} - \frac{I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}\Sigma}}{c\Phi_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{н}} - 0,5I_{\text{н}} \cdot R_{\text{я}\Sigma}}{c\Phi_{\text{н}}} = \frac{280 - 0,5 \cdot 7,7 \cdot 200}{3,68} = -133,15\text{рад/с}$$

Оскільки знак швидкості не співпадає із знаком струму навантаження, це значить, що двигун працює в режимі противмикання (струм додатній, а швидкість від'ємна).

3. В режимі електродинамічного гальмування швидкість визначається за формулою:

$$\omega = -\frac{R_{\text{я}} + R_{\text{д}}}{(c\Phi_{\text{н}})^2} M$$

При переході із номінального режиму роботи швидкість не може змінитися миттєво, а відповідно отримуємо наступне співвідношення:

$$\omega_{\text{н}} = -\frac{R_{\text{я}} + R_{\text{д}}}{(c\Phi_{\text{н}})^2} \cdot 0,5 \cdot M_{\text{н}}$$

З цього виразу отримуємо значення додаткового опору:

$$R_{\text{д}} = \frac{2(c\Phi_{\text{н}})^2 \omega_{\text{н}}}{M_{\text{н}}} - R_{\text{я}} = \frac{2 \cdot (3.68)^2 \cdot 56.55}{28,3} - 7.28 = 46,840\text{м}$$

*Завдання для самостійного розв'язку.*

Дано двигун типу MGFRK 132-22 згідно таблиці №11.

Таблиця 11. Дані двигуна и режиму пуску для самостійної роботи.

№ варіанту	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертання,	Номінальний струм, А	Максимальний струм, А	Індуктивність, мГн	Опір якоря при 125 градусах, Ом	Струм генераторного режиму, А	Допустима напруга, В
1	2,7	420	880	7,7	24	70	7,28	-2,0	500
2	3,0	460	1000	7,7	24	70	7,28	-2,0	500
3	3,1	280	930	13,5	40	27,3	2,82	-3,0	350
4	4,9	420	1450	13,5	40	27,3	2,82	-5,0	450
5	5,4	460	1600	13,5	40	27,3	2,82	-5,0	500
6	5,0	280	1450	20,7	62	13,9	1,79	-10,0	350
7	8,4	460	2500	20,7	62	13,9	1,79	-10,0	500
8	6,2	280	1850	25,5	78	7,6	0,789	-12,0	350
9	10,6	460	3200	25,5	78	7,6	0,789	-12,0	500
10	11,7	460	3650	28,6	86	6,1	0,600	-15,0	500

1. Розрахувати додатковий опір, при якому із виникненням генераторного режиму із струмом  $I_{яг}$  напруга на вихідних клеммах двигуна перевищить допустиму напругу  $U_{доп}$ . З якою швидкістю при цьому буде обертатися вал двигуна?
2. Визначити в якому режимі буде працювати двигун із цим додатковим опором при вмиканні половинного навантаження, тобто  $I_{я} = 0,5I_{н}$ .
3. Визначити, при якому значенні додаткового опору двигун сформує половинний момент від номінального при переході із номінального режиму роботи в режим електродинамічного гальмування.

## Практичне заняття №7. Визначення параметрів асинхронного двигуна.

*Умова задачі №1.*

Визначити критичний момент асинхронного двигуна, якщо в номінальному режимі роботи він працює із ковзанням  $s_H = 0,1$  та розвиває номінальний момент  $M_H = 4 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Критичне ковзання двигуна становить  $s_K = 0,2$ .

Розв'язок:

Формула Клосса, що описує вигляд механічної характеристики асинхронного двигуна:

$$M = \frac{2M_K}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s}}$$

З неї вираз для критичного моменту в явному вигляді:

$$M_K = \frac{M}{2} \left( \frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} \right) = \frac{4}{2} \left( \frac{0,1}{0,2} + \frac{0,2}{0,1} \right) = 5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Відповідь:  $5 \text{ Н} \cdot \text{м}$

*Умова задачі №2.*

Яке максимальне навантаження може витримати асинхронний двигун при напрузі статора  $400 \text{ В}$ , синхронній частоті обертання валу  $1500 \text{ об/хв}$  та індуктивному опорі короткого замикання  $X_K = 1,8 \text{ Ом}$ .

Розв'язок.

Швидкість ідеального холостого ходу визначається за формулою:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = 157 \text{ рад/с}$$

Вираз для критичного моменту, що одночасно визначає максимальне навантаження:

$$M_K = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 X_K} = \frac{3 \cdot 400^2}{2 \cdot 157 \cdot 1,8} = 849 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Відповідь:  $849 \text{ Н} \cdot \text{м}$

*Умова задачі №3.*

Скільки полюсів у асинхронного двигуна з номінальною частотою живлення  $120 \text{ Гц}$  та синхронною частотою обертання  $1800 \text{ об/хв}$ ?

Розв'язок.

Синхронна швидкість обертання поля двигуна визначається за формулою:

$n_c = \frac{60f_1}{p_{\Pi}}$ , де  $p_{\Pi}$ - число пар полюсів.

Звідси число пар полюсів:

$$p_{\Pi} = \frac{2 \cdot 60f_1}{n_c} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 120}{1800} = 8$$

Кількість полюсів більше вдвічі, тобто дорівнює 16.

Відповідь: 16 полюсів.

*Умова задачі №4.*

Визначити критичне ковзання асинхронного двигуна при синхронній частоті обертання 3000об/хв, критичному моменті 20Н · м та жорсткості  $\beta = 1$ .

Розв'язок:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = 314 \text{ рад/с}$$

Відомо, що жорсткість механічної характеристики визначається формулою:

$$\beta = \frac{2M_K}{\omega_0 s_K}$$

Звідси критичне ковзання може бути обчислене:

$$s_K = \frac{2M_K}{\omega_0 \beta} = \frac{2 \cdot 20}{314 \cdot 1} = 0,127$$

Відповідь: 0,127

*Умова задачі №5.*

Визначить жорсткість механічної характеристики загальнопромислового двигуна «тисячника», якщо при зміні моменту навантаження з 1Н · м до 3Н · м швидкість обертання зменшується вдвічі. Нелінійністю характеристики двигуна в робочій області знехтувати.

Розв'язок.

Рівняння механічної характеристики двигуна в загальному випадку для робочої області:

$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{\beta}$$

Звідси для першого і другого випадку відповідно:

$$\omega_1 = 104 - \frac{1}{\beta} - \text{повна швидкість};$$

$$\omega_2 = 104 - \frac{3}{\beta} - \text{половинна швидкість}.$$

При умові, що швидкість зменшилась вдвічі отримуємо:

$$104 - \frac{1}{\beta} = 2(104 - \frac{3}{\beta})$$

Звідси отримуємо:

$$104 = \frac{5}{\beta}$$

Тоді:

$$\beta = \frac{5}{104} = 0,048$$

Відповідь: 0,048

*Умова задачі №6.*

Визначить номінальне ковзання загальнопромислового «трьохтисячника», якщо його номінальна швидкість обертання становить 295рад/с?

Розв'язок:

Синхронна швидкість асинхронного двигуна визначається за формулою:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = 314 \text{ рад/с}$$

Звідси номінальне ковзання можна визначити як:

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} = \frac{314 - 295}{314} = 0,061$$

Відповідь: 0,061

*Умова задачі №7.*

Побудувати механічну характеристику асинхронного двигуна MFEMA із короткозамкненим ротором, параметри якого представлені в таблиця №12.

Таблиця 12. Дані двигуна MFEMA.

Потужність, кВт	Напруга, В	Номінальна частота, Гц	Частота обертання, об/хв	Номінальний струм, А	Індуктивний опір короткого замикання, Ом
0,55	345	120	3440	1,8	77

Розв'язок.

Частота ідеального холостого ходу:

$$n_0 = \frac{60f}{p_n} = \frac{7200}{p_n} = 3600 \text{ об/хв} - \text{найближча синхронна швидкість, що відповідає номінальній при цілому значенні числа пар полюсів } p_n = 2.$$

Швидкість ідеального холостого ходу визначається за формулою:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 3600}{30} = 376,8 \text{ рад/с},$$

Номінальна швидкість визначається за формулою:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 3440}{30} = 360 \text{ рад/с},$$

Номінальний момент визначаємо за формулою:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{550}{360} = 1,53 \text{ Нм}$$

Вираз для критичного моменту, що одночасно визначає максимальне навантаження:

$$M_{кр} = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 X_k} = \frac{3 \cdot 345^2}{2 \cdot 376,8 \cdot 77} = 5,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевантажувальна здатність:

$$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_n} = \frac{5,98}{1,53} = 3,9$$

Номінальне ковзання визначаємо за формулою:

$$S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{3600 - 3440}{3600} = 0,0444$$

Критичне значення ковзання визначаємо за формулою:

$$S_{кр} = S_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,0444 \cdot (3,9 + \sqrt{3,9^2 - 1}) = 0,341$$

Побудову характеристики здійсимо за формулою Клосса:

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

Графік механічної характеристики має вигляд, представлений на рис.9.

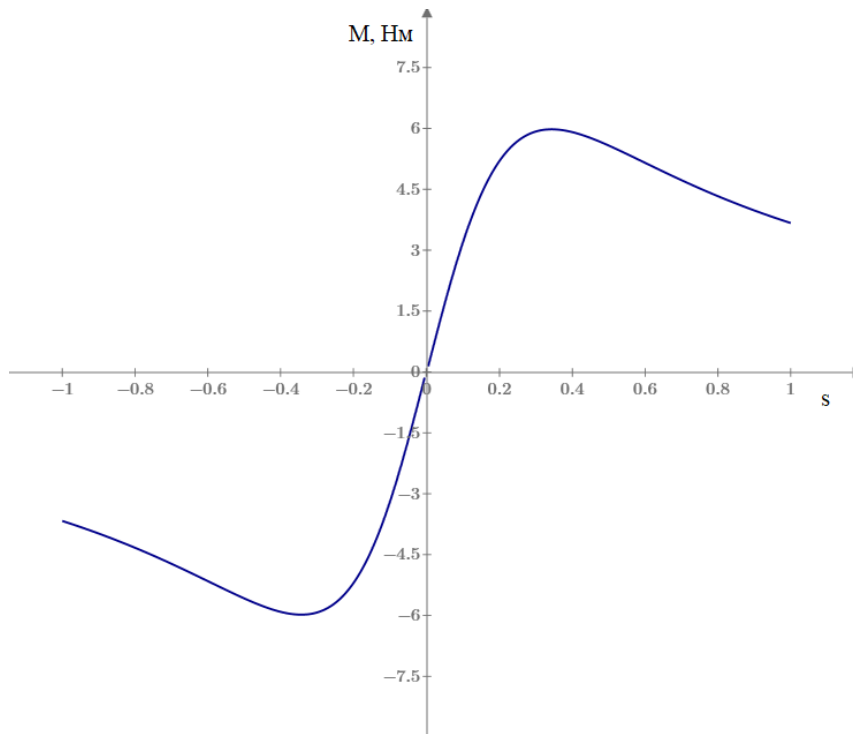


Рисунок 9 – Графік механічної характеристики асинхронного двигуна.

*Завдання для самостійного розв'язку.*

Побудувати механічну характеристику асинхронного двигуна MFEMA із короткозамкненим ротором. Параметри двигуна вибрати з таблиці №13.

Таблиця 13. Параметри двигуна для самостійної роботи.

<i>№ варіанту</i>	<i>Потужність, кВт</i>	<i>Напруга, В</i>	<i>Номінальна частота, Гц</i>	<i>Частота обертання, об/хв</i>	<i>Номінальний струм, А</i>	<i>Індуктивний опір короткого замикання, Ом</i>
1	0,75	370	120	3400	2,3	68,1
2	1,1	345	120	3490	3,2	39,5
3	1,5	360	120	3450	3,9	32,2
4	2,2	345	120	3500	5,3	19,7
5	3,0	370	120	3480	6,6	17,0
6	4,0	370	120	3480	8,5	12,4
7	5,5	340	120	3525	12,9	7,67
8	7,5	375	120	3515	15,9	7,0
9	11,0	370	120	3530	23,5	4,54
10	15,0	370	120	3560	31,2	3,41

## Практичне заняття №8. Розрахунок і побудова штучних характеристик асинхронного двигуна.

Умова задачі №1.

Для двигуна серії MDEMA розрахувати природну характеристику та штучні при  $R_d = 0$ ,  $R_d = 0,5R_n$ ,  $R_d = R_n$ .

Механічні характеристики асинхронного двигуна із нехтуванням активним опором статора визначаються за формулою Клосса:

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s_k}{s_i} + \frac{s_i}{s_k}}$$

де  $M_k = \lambda M_n$  – критичний (максимальний) момент асинхронного двигуна;

$\lambda$  – перевантажувальна здатність двигуна;

$s_{кр} = s_n(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$  – критичне ковзання.

Параметри двигуна, що можуть бути визначені із паспортних даних:

- номінальний момент:

$$M_n = P_n / \omega_n;$$

- номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0};$$

- номінальний ККД, якщо не вказаний в паспортних даних:

$$\eta_n = P_n \cdot 10^3 / \sqrt{3} I_n U_n \cos \varphi$$

- номінальний опір

$$R_n = \frac{U_{рн}}{\sqrt{3} I_{рн}}$$

- номінальний опір ротора  $R_2 = R_n \cdot s_n$ .

При нехтуванні активним опором статора критичний момент і ковзання визначаються за формулами:

$$s_k \approx \pm \frac{R_2'}{X_k} - \text{критичне ковзання};$$

$$M_k \approx \pm \frac{3U_1^2}{2\omega_c X_k} - \text{критичний момент.}$$

Відповідно, при зміні опору роторного кола критичний момент не змінюється, а критичне ковзання при зміні опору визначається за формулою:

$$s_{ki} = s_k \frac{R_i}{R_2};$$

де  $R_i = R_{ді} + R_2$ .

Побудувати механічні характеристики асинхронного двигуна АВВ NМК при  $R_i = R_2$ ;  $R_i = R_2 + 0,5 \cdot R_H$ ;  $R_i = R_2 + R_H$  для двигуна із наступними паспортними даними, представленими в таблиці №14.

Таблиця 14. Параметри асинхронного двигуна.

Потужність, кВт	Напруга статора, В	Напруга ротора, В	Швидкість, об/хв	Номінальний струм статора, А	Номінальний струм ротора, А	Перевантажувальна здатність	Коефіцієнт корисної дії	Коефіцієнт потужності
560	6000	764	987	71	446	2,6	94,6	0,8

Швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с}$$

Номінальна швидкість обертання:

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 987}{30} = 103,4 \text{ рад/с.}$$

Номінальний момент визначається за формулою:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{560000}{103,4} = 5416 \text{ Нм.}$$

Номінальне ковзання:

$$S_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} = \frac{104,72 - 103,4}{104,72} = 0,0126.$$

Номінальний опір:

$$R_H = \frac{U_{рн}}{\sqrt{3} I_{рн}} = \frac{764}{(\sqrt{3} \cdot 446)} = 10 \text{ м}$$

Опір ротора:

$$R_2 = R_H \cdot S_H = 1 \cdot 0,0126 = 0,0126 \text{ Ом.}$$

Критичне ковзання:

$$S_{кр} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,0126 \cdot (2,6 + \sqrt{2,6^2 - 1}) = 0,063 - \text{критичне ковзання.}$$

Критичний момент:

$$M_{кр} = \lambda M_H = 2,6 \cdot 5416 = 14081,6 \text{ Нм}$$

Критичне ковзання для інших опорів:

$$s_{кр0,5R} = s_{кр} \frac{0,5 \cdot R_H}{R_2} = 2,5 - \text{критичне ковзання для } 0,5 \cdot R_H.$$

$$s_{крR} = s_{кр} \frac{R_H}{R_2} = 5 - \text{критичне ковзання для } R_H.$$

Механічні характеристики мають вигляд, представлений на рис. 10.

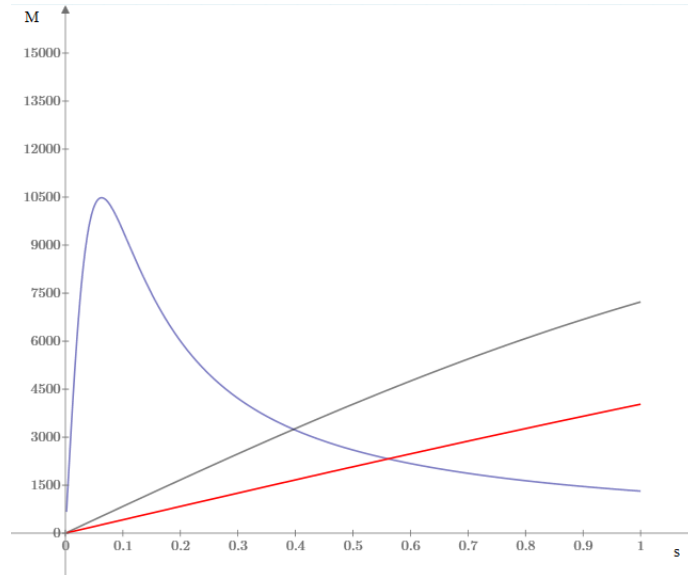


Рисунок 10 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при реостатному пуску.

*Завдання для самостійного розв'язку.*

Для двигуна серії АВВ NМК розрахувати природну характеристику та штучні при  $R_d = 0$ ,  $R_d = 0,5R_H$ ,  $R_d = R_H$ . Параметри двигуна взяти з таблиці №15 згідно номера варіанту.

Таблиця 15. Параметри двигунів АВВ NМК для самостійної роботи.

№ варіанту	Потужність, кВт	Напруга статора, В	Напруга ротора, В	Швидкість, об/хв	Номінальний струм статора, А	Номінальний струм ротора, А	Перевантажувальна здатність	Коефіцієнт корисної дії	Коефіцієнт потужності
1	630	6000	848	987	81	451	2,7	94,6	0,79
2	800	6000	893	988	100	548	2,3	95,1	0,81
3	1120	6000	1134	990	137	603	2,4	95,4	0,82
4	1260	6000	1229	990	153	620	2,4	95,5	0,83
5	1600	6000	1304	990	191	660	2,3	96,9	0,81
6	2000	6000	1661	991	228	737	2,3	96,0	0,88
7	2240	6000	1868	991	255	731	2,4	96,2	0,86
8	2500	6000	2037	992	286	747	2,4	96,3	0,87
9	3150	6000	2488	992	360	768	2,5	96,5	0,87
10	4000	6000	1619	993	455	1499	2,5	96,7	0,88

## Практичне заняття №9. Розрахунок пускових реостатів для двигуна постійного струму.

Умова задачі №1.

Для двигуна постійного струму незалежного збудження типу MGFQK 160-22 з паспортними даними згідно таблиці №16 необхідно визначити опори пускових ступенів. Пуск двигуна здійснюється при мінімальній кількості ступенів при умові, що пусковий коридор знаходиться в вказаних межах.

Таблиця 16. Дані двигуна и режиму пуску двигуна MGFQK 160-22

Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертання, об/хв	Номинальний струм, А	Максимальний струм, А	Індуктивність, мГн	Опір якоря при 125 градусах, Ом	Пусковий коридор
25,1	420	820	72	180	9,2	0,884	1,20..2,20M <sub>н</sub> .

Розв'язок.

Для початку побудуємо природну механічну характеристику двигуна постійного струму.

Визначимо номінальну швидкість двигуна:

$$\omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 820}{30} = 85,83 \text{ рад/с.}$$

номінальний момент

$$M_n = P_n / \omega_n = \frac{25100}{85,83} = 292,45 \text{ Нм}$$

Кутова частота обертання ідеального холостого ходу

$$\omega_0 = \omega_n \frac{U_n}{U_n - I_n R_{я}} = 85,53 \cdot \frac{420}{420 - 72 \cdot 0,884} = 100,8 \text{ рад/с}$$

Мінімальний момент пускового коридору:

$$M_2 = 1,2 M_n = 1,2 \cdot 292,45 = 350,94 \text{ Нм}$$

Максимальний момент пускового коридору:

$$M_1 = 2,2 M_n = 1,2 \cdot 292,45 = 643,39 \text{ Нм}$$

Графіки механічних характеристик із перемиканням ступенів представлений на рис.11.

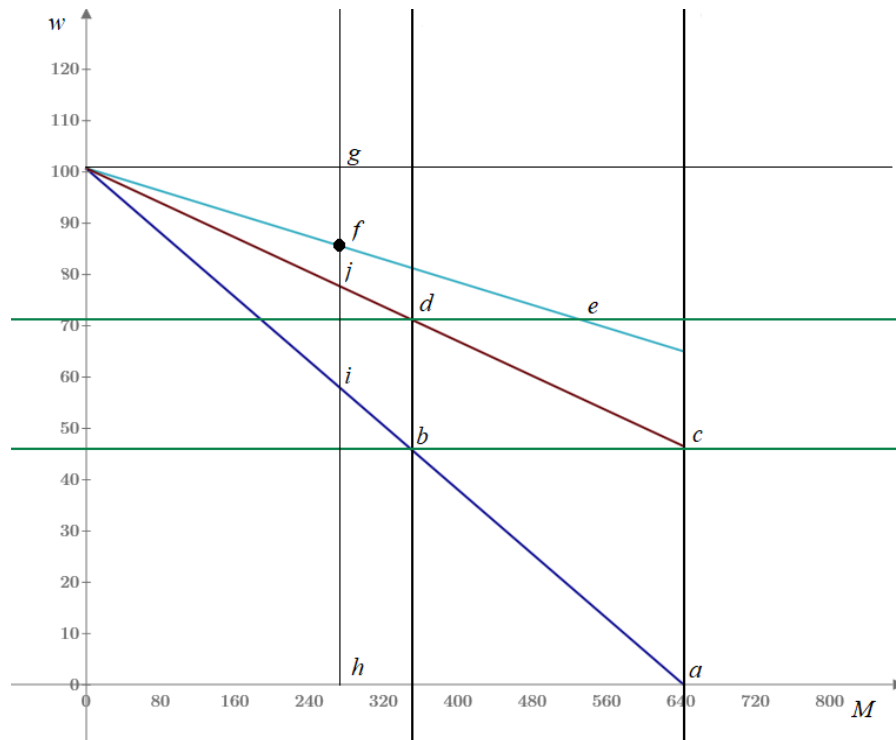


Рисунок 11 – Механічні характеристики двигуна при реостатному пуску.

При запуску двигуна із максимальним опором якірного кола з точки (а) двигун розганяється до швидкості  $\omega = 46.6 \text{ рад/с}$  в точці (b). Після цього відбувається вмикання наступного ступеню і робоча точка переходить в положення (с), після чого розганяється до швидкості  $\omega = 71.5 \text{ рад/с}$  точки (d). Далі знову відбувається перемикання і робоча точка переходить в положення (е), після чого вже виходить в номінальний режим точки (f). Відповідно до цього пуск двигуна відбувається із двома додатковими ступенями. Далі визначаємо опори якірного кола на першому та другому ступені. Номінальний опір  $R_n$  відповідає довжині відрізка (gh), при умові, що опорю якоря  $R_j$  відповідає відрізок (gf).

$$R_n = U_n / I_n = \frac{420}{72} = 5,830 \text{ м}$$

Опір сходинок пускового реостата:

$$R_1 = \frac{ij}{gh} R_n = \frac{71.5 - 46.6}{100.8} \cdot 5,83 = 1,440 \text{ м}$$

$$R_2 = \frac{jf}{gh} R_n = \frac{85.2 - 71.5}{100.8} \cdot 5,83 = 0,7920 \text{ м}$$

*Завдання для самостійного розв'язку.*

Для двигуна постійного струму незалежного збудження типу MGFQK 160-22 з паспортними даними згідно таблиці №17 необхідно визначити опори пускових ступенів. Пуск двигуна здійснюється при мінімальній кількості ступенів при умові, що пусковий коридор знаходиться в вказаних межах.

Таблиця 16. Дані двигуна и режиму пуску двигуна для самостійної роботи

№ варіанту	Потужність, кВт	Напруга, В	Частота обертання, об/хв	Номинальний струм, А	Максимальний струм, А	Індуктивність, мГн	Опір якоря при 125 градусах,	Пусковий коридор
1	25,1	420	820	72	180	9,2	0,884	1,20..2,20M <sub>н</sub> .
2	27,9	460	900	72	180	9,2	0,884	1,40..2,40M <sub>н</sub> .
3	33,7	420	1100	93	232	5,6	0,5	1,10..2,00M <sub>н</sub> .
4	37,3	460	1200	93	232	5,6	0,5	1,40..2,20M <sub>н</sub> .
5	40,8	420	1300	111	275	4,1	0,368	1,20..2,00M <sub>н</sub> .
6	49,2	420	1550	132	330	2,8	0,26	1,40..1,90M <sub>н</sub> .
7	62,0	420	2000	163	410	1,8	0,16	1,20..1,80M <sub>н</sub> .
8	68,2	460	2200	163	410	1,8	0,16	1,10..2,10M <sub>н</sub> .
9	83,0	420	2750	215	540	1,0	0,09	1,20..2,20M <sub>н</sub> .
10	90,8	460	3000	215	540	1,0	0,09	1,40..2,10M <sub>н</sub> .

### 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. Красношарпа, 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. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
7. Теорія електропривода. Під ред. М.Г.Поповича. – Київ: Вища школа, 1993–493 с.
8. Системы управления электроприводами: Учеб. Пособие / А.П. Голубь, Б.И. Кузнецов, И.А. Попрышко. – К.: УМК ВО, 1992. –376 с.

Навчальне видання

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять з дисципліни

**«Електромехатроніка»**

**(частина 2)**

(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 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. 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](mailto:vidavnictvosnu.ua@gmail.com)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять з дисципліни

**«Електромехатроніка»**

**(частина 2)**

(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