

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-
інтегрованих технологій

04-03-310М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни
«Електротехніка та електромеханіка»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійними програмами
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та
«Робототехніка та штучний інтелект»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології» денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІ АКOT

Протокол № 5 від 18.03.2021 р.

Рівне – 2021

Методичні вказівки до виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Електротехніка та електромеханіка» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійними програмами «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Робототехніка та штучний інтелект» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної і заочної форм навчання [Електронне видання] / Маланчук Є. З., Христюк А. О. – Рівне : НУВГП, 2021. – 53 с.

Укладачі: Маланчук Є. З., д.т.н., професор кафедри АЕКІТ;
Христюк А. О., к.т.н., доцент кафедри АЕКІТ.

Відповідальний за випуск: Древецький В. В., д.т.н., професор,
завідувач кафедри АЕКІТ.

Керівник групи забезпечення спеціальності

Древецький В. В.

© Маланчук Є. З.,
Христюк А. О., 2021
© НУВГП, 2021

Зміст

Вступ	4
1. Розрахунок характеристик та вибір асинхронного двигуна	5
2. Розрахунок електродвигуна постійного струму	31
3. Аналіз будови та характеристик електричної машини	38
Література	39
Додатки	40

Вступ

Метою виконання курсового проекту з навчальної дисципліни «Електротехніка та електромеханіка» є поглиблення теоретичних знань та практичних умінь, набутих на лекціях, лабораторних та практичних заняттях, переконатись в умінні самостійно робити аналіз та здійснювати розрахунок електричних машин.

Згідно з освітньою програмою здобувачі вищої освіти повинні виконати курсовий проект.

Для кращого засвоєння і розуміння здобувачами вищої освіти теоретичного матеріалу дисципліни, передбачено виконання курсового проекту за темами:

"Розрахунок характеристик та вибір асинхронного двигуна".

"Розрахунок електродвигуна постійного струму".

"Аналіз будови та характеристик електричної машини".

Кожен здобувачі вищої освіти виконує курсовий проект за індивідуальним варіантом, який вибирається з табл. 1 за останніми двома цифрами залікової книжки (до варіанта 50), а при варіанті більше ніж 50, варіант вибирається шляхом віднімання від номера варіанта числа 50.

Курсовий проект складається з графічної частини та пояснювальної записки.

Пояснювальну записку студенти виконують на стандартних аркушах паперу формату А4 з відступами зверху і знизу по 2 см, зліва 2,5 см, справа 1,5 см, шрифт Times New Roman розміром 14, міжрядковий інтервал – 1,5, формули – в редакторі MS Equation 3.0.

Текстовий матеріал оформлюють згідно з вимогами до оформлення наукових розробок та статей. Формули, графіки, номограми, таблиці, алгоритми, програми повинні бути пронумеровані і мати відповідні назви.

Графічну частину проекту студенти виконують на листі формату А3. Графічна частина повинна містити діаграму навантаження двигуна та всі розраховані характеристики.

Одиниці виміру використаних розрахункових величин повинні відповідати системі СІ.

Завдання, яке виконано не за шрифтом, а також неохайно або нерозбірливо, до розгляду не приймається.

Завдання 1. Розрахунок характеристик та вибір асинхронного двигуна

1. Відповідно до вихідних даних свого варіанта (табл.1 та табл.2) побудувати діаграму навантаження ел. двигуна робочим механізмом $P=f(t)$ та вибрати асинхронний двигун серії 4A для приводу робочого механізму з заданою діаграмою навантаження.

Технічні дані асинхронних двигунів серії 4A наведені в додатку 1.

Номінальна напруга двигуна для всіх варіантів приймається рівною $U_n = 380/220 \text{ В}$ при з'єднанні обмоток статора двигунів за схемою зірка

2. Виписати з каталогу (додатків 1 і 2) технічні дані вибраного за п.1 асинхронного двигуна, а саме:

З додатка 1 визначити:

а). Робочі характеристики двигуна $\eta = f(\beta)$ та $\cos \varphi = f(\beta)$, де $\beta = P / P_n \%$ - коефіцієнт навантаження двигуна.

б). Параметри "Г"- подібної заступної схеми двигуна в робочому та пусковому режимах роботи.

З додатка 2

а). Дані про механічну характеристику двигуна в координатах $M = f(s)$ в відносних одиницях:

$m_n = \frac{M_n}{M_n}$ - кратність пускового моменту двигуна;

$m_M = \frac{M_m}{M}$ - кратність мінімального моменту;

$m_k = \frac{M_{kp}}{M_n}$ - кратність критичного (максимального) моменту;

s_n - номінальне ковзання;

s_{kp} - критичне ковзання.

б). Дані пускового режиму двигуна:

$i_n = \frac{I_n}{I_n}$ - кратність пускового струму;

$V_t, ^\circ\text{C}/\text{c}$ - швидкість наростання температури двигуна при пуску без навантаження на валу;

t_{no}, c - час пуску двигуна без навантаження на валу;

h_0 - допустима кількість пусків двигуна за годину без навантаження на валу;

$I_{0\phi}$, кг · м² - момент інерції ротора двигуна.

в). Технічні дані двигуна, що відповідають буквено-цифровому позначенню типу вибраного двигуна.

3. Накреслити “Г”- подібну заступну схему фази двигуна в робочому та пусковому режимах роботи.

4. Визначити параметри (опори) “Г”- подібної заступної схеми двигуна в абсолютних одиницях.

5. Розрахувати за заступною схемою струм двигуна при номінальному ковзанні $S = S_n$.

6. Розрахувати за заступною схемою пускового режиму пусковий струм в абсолютних та відносних одиницях.

7. Побудувати в масштабі векторні діаграми струмів заступних схем в робочому та пускових режимах двигуна (за п.5 та п.6).

8. Побудувати за даними каталогу механічні характеристики двигуна в координатах $M = f(s)$ в відносних та абсолютних одиницях.

9. Розрахувати та побудувати механічну характеристику двигуна в координатах $n = f(M)$ в абсолютних одиницях.

10. Побудувати робочі характеристики двигуна $\eta = f(\beta)$ та $\cos \varphi = f(\beta)$ та визначити:

а). струм двигуна при навантаженні на його валу $\beta = 125\%$ та $\beta = 75\%$

б). втрати потужності в двигуні при $\beta = 75\%$; $\beta = 100\%$; $\beta = 125\%$

11. Визначити підвищення температури двигуна при пуску двигуна без навантаження на валу ($M_c = 0$).

12. Визначити час пуску та підвищення температури двигуна при пуску двигуна з моментом інерції на валу, який перевищує момент ротора двигуна в п'ять разів ($I_{\Sigma} = 5I_{p,0\phi}$) та статичним моментом, рівним номінальному $M_c = M_n$.

13. Розрахувати обертаючий момент двигуна для таких значень ковзання $s = s_n$; 0,1; s_{kp} ; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 за спрощеною формулою механічної характеристики асинхронного двигуна в координатах $M = f(s)$

$$M = \frac{2M_{kp}}{s / s_{kp} + s_{kp} / s}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

та побудувати за розрахунковими даними ці характеристики в координатах $M = f(s)$ та $n = f(M)$.

14. Порівняти механічні характеристики $n = f(M)$, побудовані за довідковими та розрахунковими (п.9) даними. Пояснити неспівпадання цих характеристик двигуна.

15. Визначити величину пускового та критичного моментів двигуна при зниженні напруги в мережі на 10% ($U = 0,9U_n$).

16. Перевірити вибраний двигун на перевантажувальну здатність відповідно заданій діаграмі навантаження двигуна $P = f(t)$.

17. Розрахувати та побудувати графік розгону двигуна з робочим механізмом на валу $\omega = f(t)$ при заданих значеннях моменту інерції ($J_{p.n.} = 2J_{\partial\delta}$), моменту статичного опору ($M_c = 0,8M_n$) робочого механізму.

18. Визначити час розгону двигуна (за п.17) та підвищення температури обмотки статора за час пуску двигуна.

Методичні вказівки до виконання завдання 1

До п.1.

Діаграма навантаження двигуна $P = f(t)$ будується в масштабі.

За діаграмою навантаження $P = f(t)$ визначається еквівалентна потужність за один цикл навантаження двигуна

$$P_E = \sqrt{\frac{t_1 P_1^2 + t_2 P_2^2 + t_3 P_3^2 + t_4 P_4^2 + t_5 P_5^2}{T_y = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}}.$$

Потужність двигуна вибирається за додатком 1 з умови

$$P_{n \partial\delta} \geq P_E$$

До п.3.

“Г”- подібна заступна схема однієї фази для робочого режиму асинхронного к.з. двигуна наведена на рис.1.

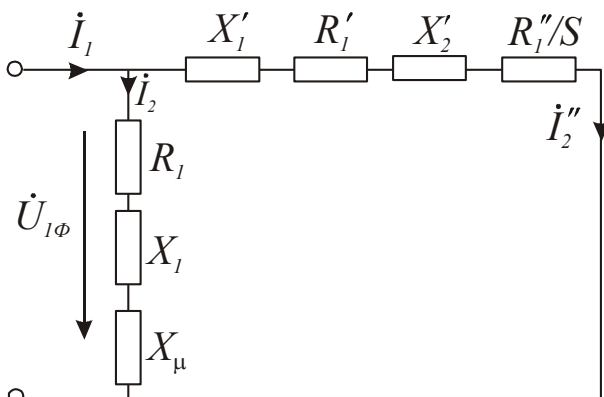


Рис.1. Схема заміщення асинхронного двигуна

В пусковому режимі схема заміщення наведена на рис2.

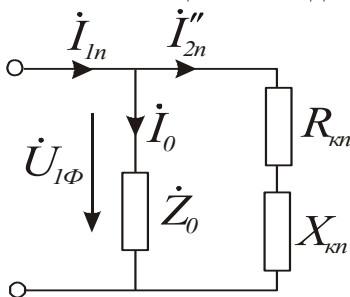


Рис.2. Заступна схема асинхронного двигуна в пусковому режимі

До п.4

а). Номінальний I_n та пусковий I_n струми двигуна

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \eta_n \cos \varphi_n}; \quad I_n = i_n \cdot I_n,$$

де $U_n = 380 \text{ В}$; i_n - кратність пускового струму двигуна.

б). Відносна одиниця опору фази обмотки статора двигуна в абсолютних одиницях (Омах)

$$Z_{a.o} = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = \frac{220}{I_n}, \text{ Ом - 1 відносна одиниця;}$$

в). Абсолютні значення опорів заступної схеми фази двигуна в робочому режимі

$$\begin{aligned} X'_1 &= X'_{\text{в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом} & R''_2 &= R''_{2\text{в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом}; \\ R'_1 &= R'_{1\text{в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом} & R_1 &= R_{1\text{в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом}; \\ X''_2 &= X''_{2\text{в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом} & X_1 &= X_{1\text{в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом}. \\ X_\mu &= X_{\mu\text{в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом}, \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{2X'_1 \cdot X_\mu}{X_\mu + \sqrt{X_\mu^2 + 4X'_1 \cdot X_\mu}} \text{ в.о.} \\ R_1 &= \frac{R'_1 \cdot X_1}{X'_1} \text{ в.о.} \end{aligned}$$

В пусковому режимі

$$\begin{aligned} R_{\text{КП.в.о.}} &= R'_{1\text{в.о.}} + R''_{2\text{П.в.о.}}; & X_{\text{КП.в.о.}} &= X'_{1\text{П.в.о.}} + X''_{2\text{П.в.о.}}; \\ R_{\text{КП}} &= R_{\text{КП.в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом}; & X_{\text{КП}} &= X_{\text{КП.в.о.}} \cdot Z_{\text{а.о.}}, \text{ Ом}. \end{aligned}$$

До п.5

Заступна схема двигуна розглядається як паралельне коло змінного струму і розраховується поетапно

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_\phi}{Z_0} \text{ - струм гілки холостого ходу}$$

$$I''_2 = \frac{\dot{U}_\phi}{Z''_2} \text{ - струм робочої гілки}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2'' \text{ - повний (вхідний) струм фази двигуна,}$$

де Z_0 - повний опір гілки холостого ходу; Z''_2 - повний опір гілки робочого режиму.

При визначенні опору Z''_2 попередньо визначається опір R''_2 / S , де $S = S_n$ - ковзання при номінальному навантаженні.

До п.6

Струм пускового режиму визначається з заступної схеми двигуна (рис.2.):

$$\dot{I}_{1n} = \dot{I}_{2n}'' + \dot{I}_0.$$

До п.7

Векторні діаграми струмів двигуна будуються в масштабі окремо для робочого та пускового режимів роботи.

До п.8

Механічна характеристика двигуна в координатах $M = f(S)$ будується у відносних та абсолютних одиницях. Для побудови характеристики у відносних одиницях використовуються каталожні дані механічної характеристики двигуна:

m_k - кратність максимального моменту;

m_n - кратність пускового моменту;

m_n - номінальний момент;

m_m - мінімальний момент при ковзанні $S_M = 0,7...0,8$.

Для побудови механічної характеристики в абсолютних одиницях спочатку знаходиться номінальний момент двигуна в абсолютних одиницях

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}, \text{ Н} \cdot \text{ м}; \quad P_n = [\text{кВт}]; \quad n_n = [\text{об/хв}].$$

Механічна характеристика в координатах $n = f(M)$ будується після розрахунку обертів двигуна n в залежності від величини ковзання

$$n_n = n_1 (1 - S_n), \quad n_{kp} = n_1 (1 - S_{kp}), \quad n_M = n_1 (1 - S_M),$$

де n_1 - синхронні оберти двигуна.

Механічні характеристики двигуна зображені на рис.3 та рис.4.

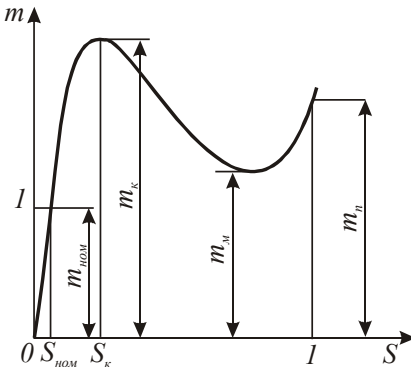


Рис.3

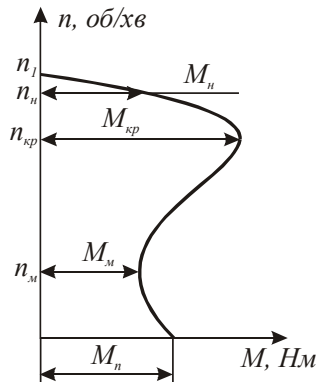


Рис.4

До п.10

Робочі характеристики двигуна будуються у відносних одиницях $\eta = f(\beta)$ та $\cos \varphi = f(\beta)$ та в абсолютних одиницях

$$\eta = f(P_2); \cos \varphi = f(P_2),$$

де $\beta = \frac{P}{P_n}$ - коефіцієнт навантаження двигуна; P_2 - фактична потужність на валу двигуна в кВт.

Струм двигуна при заданій потужності на валу двигуна I_β визначається за формулою

$$I_\beta = \frac{\beta \cdot P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{лн}} \cdot \eta_\beta \cdot \cos \varphi_\beta}, \text{ А},$$

де $U_{\text{лн}} = 380 \text{ В}$; P - потужність на валу двигуна в кВт.

Втрати потужності в двигуні в залежності від його навантаження $\Delta P_\beta = f(\beta)$ визначаються за формулою

$$\Delta P_\beta = \left(\frac{P_\beta}{\eta_\beta} - I \right), \text{ кВт},$$

де $P_\beta = \beta \cdot P_n$.

До п.11

Підвищення температури двигуна при пуску в режимі холостого ходу визначається

$$\Delta \tau^0 = t_{no} \cdot V_t,$$

де t_{no} - час пуску в режимі х.х.; V_t [°C/c] - швидкість наростання температури.

До п.12

Для розрахунку та побудови розгінної характеристики електропривода $\omega = f(t)$ рекомендується спочатку побудувати в масштабі механічну характеристику двигуна в координатах $\omega = f(M)$, як це зображено на рис.5. По осі моментів M відкладається відрізок $M_c = M_n$ - статичний момент на валу двигуна, рівний номінальному

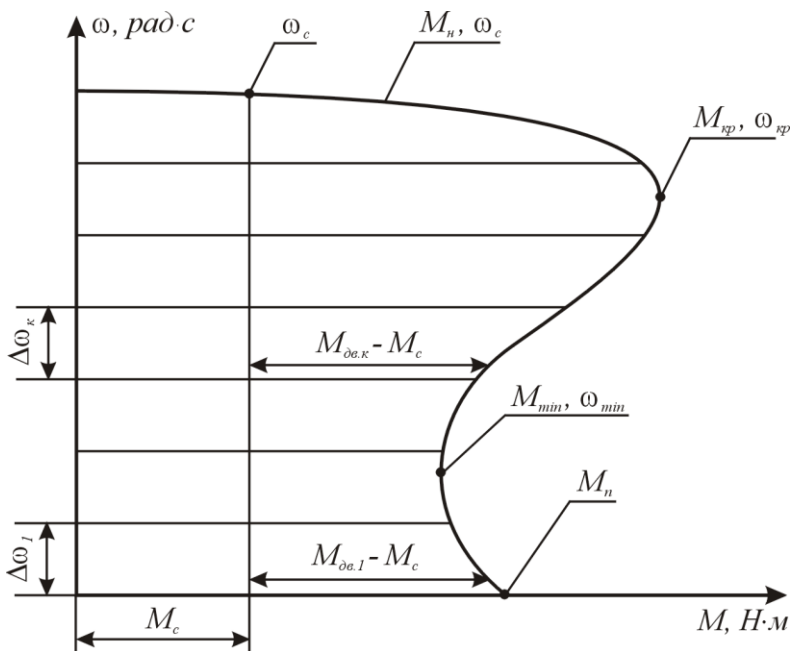


Рис.5.

Розрахунок залежності $\omega = f(t)$ ведеться відповідно до рівняння руху електропривода:

$$M_{\text{дв}} = M_c + I_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt};$$

$$t = \int_0^{\omega} \frac{I_{\Sigma} \cdot d\omega}{M_{\text{дв}} - M_c},$$

де $M_{\text{дв}}$ - обертаючий (крутний) момент двигуна; M_c - статичний момент на валу двигуна; I_{Σ} - момент інерції електропривода, зведений до валу двигуна

$$I_{\Sigma} = I_{p.\text{дв}} + I_{p.\text{м.}} = I_{p.\text{дв.}} + 5I_{p.\text{дв.}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Рішення рівняння руху електропривода слід отримати наближене, замінивши диференціали $d\omega$ та dt кінцевими прирощеннями $\Delta\omega$ та Δt .

Тоді

$$\Delta t_{\kappa} = \frac{I_{\Sigma} \cdot \Delta \omega_{\kappa}}{(M_{\text{дв.с. ер.}} - M_c)}, \text{ с,}$$

де Δt_{κ} - час, за який швидкість електропривода зростає на $\Delta \omega_{\kappa}$; $M_{\text{дв.с. ер.}}$ - середнє значення моменту двигуна на ділянці розгону $\Delta \omega_{\kappa}$; $\Delta \omega_{\kappa}$ - приріст кутової швидкості за час Δt_{κ} .

Весь діапазон кутової швидкості від $\omega = 0$ до $\omega = \omega_c$ розбивається довільно на “ n ” ділянок розгону (рекомендується $n = 10$) і для кожної ділянки визначається час розгону привода на цій ділянці

$$\Delta t_{\kappa} \rightarrow \Delta \omega_{\kappa}.$$

Повний час розгону t_p привода визначається як

$$t_p = \sum_{\kappa=1}^{n} \Delta t_{\kappa}.$$

За даними розрахунку $\omega = f(t)$ будується в масштабі відповідний графік, який має вигляд, як показано на рис.6.

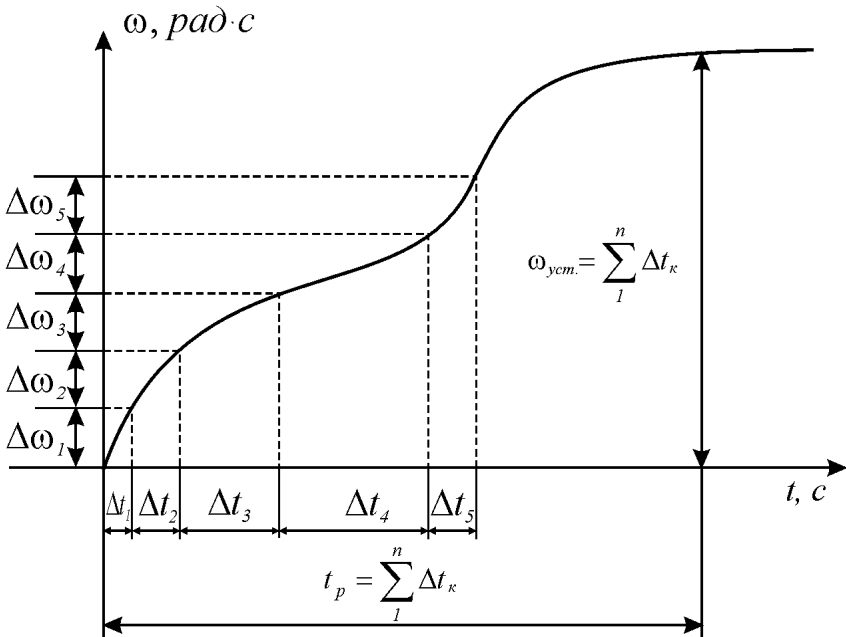


Рис.6.

Розгінна характеристика $\omega = f(t)$ при розгоні двигуна без навантаження на валу ($M_c = 0$) розраховується та будується аналогічно, враховуючи, що

$$M_{\text{дв.}} - M_c = M_{\text{дв.}}$$

Підвищення температури двигуна за час його розгону (t_p) наближено визначається з рівняння

$$\Delta O_n = t_p \cdot V_t,$$

де V_t [$^{\circ}\text{C}/\text{с}$]- швидкість наростання температури двигуна при пуску (V_t - визначається як каталожні дані даного двигуна).

Приклад виконання завдання 1

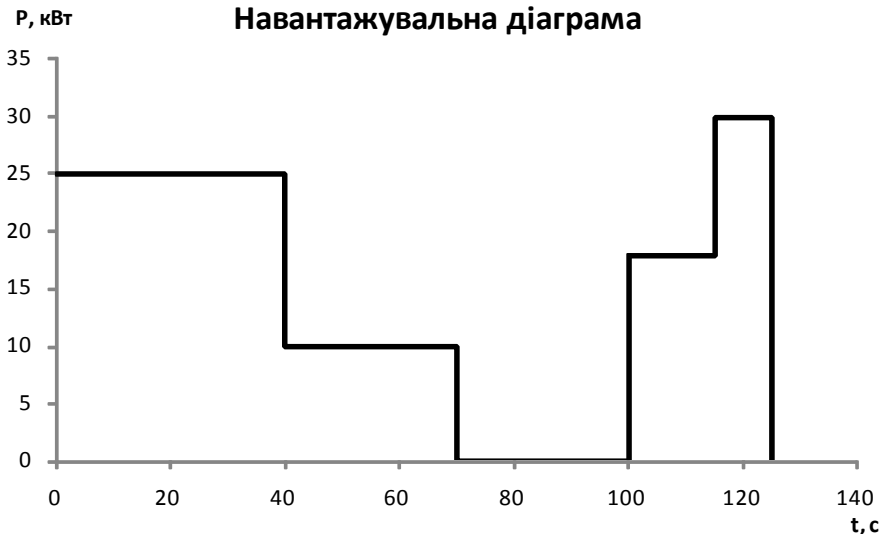
Вибір даних

Номер варіанту	Дані навантажувальної діаграми										
	$t_1,$ с	$t_2,$ с	$t_3,$ с	$t_4,$ с	$t_5,$ с	$P_1,$ кВ т	$P_2,$ кВ т	$P_3,$ кВ т	$P_4,$ кВ т	$P_5,$ кВ т	Число полюсів
40	40	30	30	15	10	25	10	0	18	30	$2p=6$

1. Відповідно до вихідних даних свого варіанта (табл.1 та табл.2) побудувати діаграму навантаження ел. двигуна робочим механізмом $P=f(t)$ та вибрати асинхронний двигун серії 4А для приводу робочого механізму з заданою діаграмою навантаження.

Номінальна напруга двигуна для всіх варіантів приймається рівною $U_n = 380/220 \text{ В}$ при з'єднанні обмоток статора двигунів за схемою зірка

Діаграма навантаження двигуна $P = f(t)$ будується в масштабі.



За діаграмою навантаження $P = f(t)$ визначається еквівалентна потужність за один цикл навантаження двигуна

$$P_E = \sqrt{\frac{t_1 P_1^2 + t_2 P_2^2 + t_3 P_3^2 + t_4 P_4^2 + t_5 P_5^2}{T_y = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} =$$

$$\sqrt{\frac{40 \cdot 25^2 + 30 \cdot 10^2 + 30 \cdot 0^2 + 15 \cdot 18^2 + 10 \cdot 30^2}{40 + 30 + 30 + 15 + 10}} = \sqrt{\frac{41860}{125}} = 18,30 \text{ кВт}$$

За даними розрахунками вибираємо двигун з додатку 1 *4A180M6У3*

$$P_{н \text{ об}} \geq P_E$$

$$18,5 \geq 18,30$$

2. Виписати з каталогу (додатків 1 і 2) технічні дані вибраного за п.1 асинхронного двигуна, а саме:

Синхронна частота обертання 1000 об/хв.

Енергетичні показники									
ККД, % при $P_2/P_{2ном}$, %					cos φ при $P_2/P_{2ном}$, %				
25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
85	89	89	88	86	0,54	0,76	0,81	0,87	0,87

Параметри схеми заміщення								
Xц	В номінальному режимі				При короткому замиканні			
	R'_1	x'_1	R'_2	x'_2				
2,9	0,056	0,11	0,026	0,13	0,046	0,1	0,18	

Пускові властивості електродвигуна основного призначення

Механічні характеристики					i_n	V_t , °C/c	$I_{д.р.}$, кг·м ²	$i_{п.о.}$, с	h_0
m_n	M_m	m_k	$s_{ном}$, %	$s_{кв}$, %					
1,2	1	2	2,4	13,5	6	7,1	0,22	0,1	2000

$$m_n = \frac{M_n}{M_n} - \text{кратність пускового моменту двигуна;}$$

$$m_M = \frac{M_m}{M_n} - \text{кратність мінімального моменту;}$$

$$m_k = \frac{M_{kp}}{M_n}$$

- кратність критичного (максимального) моменту;

s_n - номінальне ковзання;

s_{kp} - критичне ковзання.

б). Дані пускового режиму двигуна:

$$i_n = \frac{I_n}{I_n}$$

- кратність пускового струму;

V_t , $^{\circ}C/c$ - швидкість наростання температури двигуна при пуску без навантаження на валу;

t_{no} , c - час пуску двигуна без навантаження на валу;

h_0 - допустима кількість пусків двигуна за годину без навантаження на валу;

$I_{\partialв}$, $кг \cdot м^2$ - момент інерції ротора двигуна.

3. Накреслити "Г"- подібну заступну схему фази двигуна в робочому та пусковому режимах роботи.

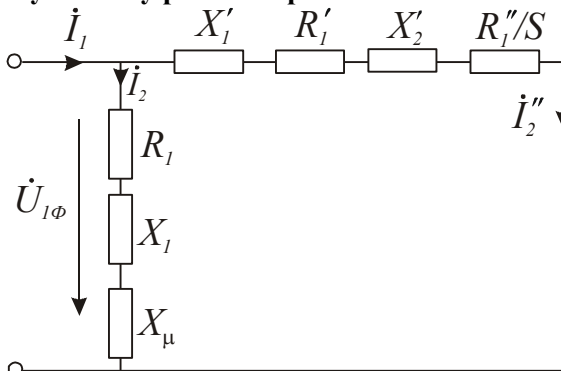


Рис.1. Схема заміщення асинхронного двигуна.

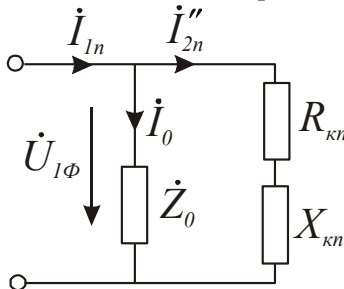


Рис.2. Заступна схема асинхронного двигуна в пусковому режимі.

4. Визначити параметри (опори) “Г”- подібної заступної схеми двигуна в абсолютних одиницях.

а). Номінальний I_n та пусковий I_n струми двигуна

$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_n \eta_n \cos \varphi_n}; \quad I_n = i_n \cdot I_n,$$

де $U_n = 380 \text{ В}$; i_n - кратність пускового струму двигуна.

$$I_n = \frac{18,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,81} = 38,99 \text{ А}, \quad I_n = 6 \cdot 38,99 = 233,94 \text{ А}$$

б). Відносна одиниця опору фази обмотки статора двигуна в абсолютних одиницях (Омах)

$$Z_{a.o} = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = \frac{220}{I_n}, \text{ Ом} - 1 \text{ відносна одиниця};$$

$$Z_{a.o} = \frac{220}{38,99} = 5,64 \text{ Ом}$$

в). Абсолютні значення опорів заступної схеми фази двигуна в робочому режимі

$$\begin{aligned} X'_1 &= X'_{\text{в.о.}} \cdot Z_{a.o}, \text{ Ом} & R'_2 &= R'_{2\text{в.о.}} \cdot Z_{a.o}, \text{ Ом}; \\ R'_1 &= R'_{1\text{в.о.}} \cdot Z_{a.o}, \text{ Ом} & R_1 &= R_{1\text{в.о.}} \cdot Z_{a.o}, \text{ Ом}; \\ X''_2 &= X''_{2\text{в.о.}} \cdot Z_{a.o}, \text{ Ом} & X_1 &= X_{1\text{в.о.}} \cdot Z_{a.o}, \text{ Ом}. \\ X_\mu &= X_{\mu\text{в.о.}} \cdot Z_{a.o}, \text{ Ом}, \end{aligned}$$

$$X'_1 = 0,11 \cdot 5,64 = 0,62 \text{ Ом}; \quad X'_2 = 0,13 \cdot 5,64 = 0,73 \text{ Ом};$$

$$R'_1 = 0,056 \cdot 5,64 = 0,316 \text{ Ом}; \quad R'_2 = 0,026 \cdot 5,64 = 0,147 \text{ Ом};$$

$$X_\mu = 2,9 \cdot 5,64 = 16,36 \text{ Ом};$$

$$\text{де} \quad X_1 = \frac{2 X'_1 \cdot X_\mu}{X_\mu + \sqrt{X_\mu^2 + 4 X'_1 \cdot X_\mu}} \text{ в.о.}$$

$$R_1 = \frac{R'_1 \cdot X_1}{X'_1} \text{ в.о.}$$

$$= \frac{2 \cdot 0,62 \cdot 16,36}{16,36 + \sqrt{16,36^2 + 4 \cdot 0,62 \cdot 16,36}} = 0,60 \text{ в.о.}$$

$$R_{1\text{в.о.}} = \frac{0,056 \cdot 0,60}{0,11} = 0,305 \text{ в.о.}$$

$$X_1 = 0,60 \cdot 5,64 = 3,38 \text{ Ом};$$

$$R_1 = 0,305 \cdot 5,64 = 1,72 \text{ Ом};$$

В пусковому режимі

$$R_{КП.в.о.} = R'_{1в.о.} + R''_{2Пв.о.} ; \quad X_{КП.в.о.} = X'_{1Пв.о.} + X''_{2Пв.о.} ;$$

$$R_{КП} = R_{КП.в.о.} \cdot Z_{a.о.}, \text{ Ом} ; \quad X_{КП} = X_{КП.в.о.} \cdot Z_{a.о.}, \text{ Ом} .$$

$$R_{КП} = 0,1 \cdot 5,64 = 0,56 \text{ Ом}$$

$$X_{КП} = 0,18 \cdot 5,64 = 1,02 \text{ Ом}$$

5. Розрахувати за заступною схемою струм двигуна при номінальному ковзанні $S = S_n$.

Заступна схема двигуна розглядається як паралельне коло змінного струму і розраховується поетапно

$$I_0 = \frac{\dot{U}_\phi}{Z_0} - \text{струм гілки холостого ходу}$$

$$I_2'' = \frac{\dot{U}_\phi}{Z_2''} - \text{струм робочої гілки}$$

$$I_1 = I_0 + I_2'' - \text{повний (вхідний) струм фази двигуна,}$$

де Z_0 - повний опір гілки холостого ходу; Z_2'' - повний опір гілки робочого режиму.

При визначенні опору Z_2'' попередньо визначається опір R_2'' / S , де $S = S_n$ - ковзання при номінальному навантаженні.

$$= \frac{220}{1,72 + j(3,38 + 16,36)} = \frac{220}{1,72 + j19,74} = \frac{220}{19,81 \cdot e^{j^\circ}} = 11,10 \cdot e^{-j^\circ} = 11,10 \text{ A}$$

$$= \frac{220}{(0,316 + 6,13) + j \cdot (0,62 + 0,73)} = \frac{220}{6,44 + j \cdot 1,35} = \frac{220}{6,57 \cdot e^{j^{11,9^\circ}}} = 33,5 \cdot e^{-j^{11,9^\circ}} = 33,5$$

A

$$I_0 = 11,10 \cdot (\cos(-85,0)) + j11,10 \cdot (\sin(-85,0)) = 0,96 + j(-11,06);$$

$$I_2'' = 33,5 \cdot (\cos(-11,9)) + j33,5 \cdot (\sin(-11,9)) = 32,77 + j(-6,90);$$

$$I_1 = 33,73 + j(-17,96) = 38,22 \cdot e^{-j^{28,0^\circ}} = 38,22 \text{ A};$$

6. Розрахувати за заступною схемою пускового режиму пусковий струм в абсолютних та відносних одиницях.

Струм пускового режиму визначається з заступної схеми двигуна (рис.2.):

$$I_{1n} = I_{2n}'' + I_0 .$$

$$I_{12n} = U_{1\phi} / (R_{1кп} + jX_{1кп}) = \frac{220}{0,564 + j1,016} = 189,4 \cdot e^{-j60,9^\circ} = 189,4$$

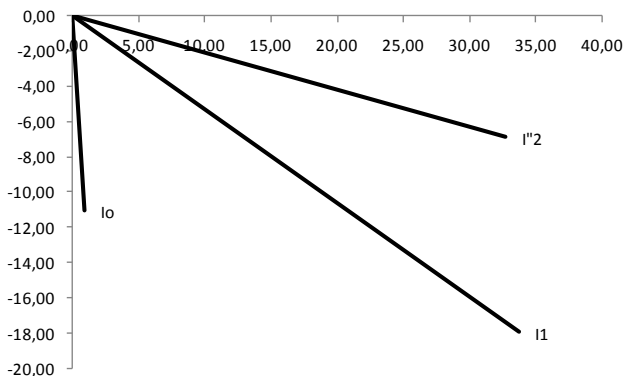
A

$$= 189,4 \cdot \cos(-60,9) + j189,4 \sin(-60,9) = 91,96 + j(-165,52);$$

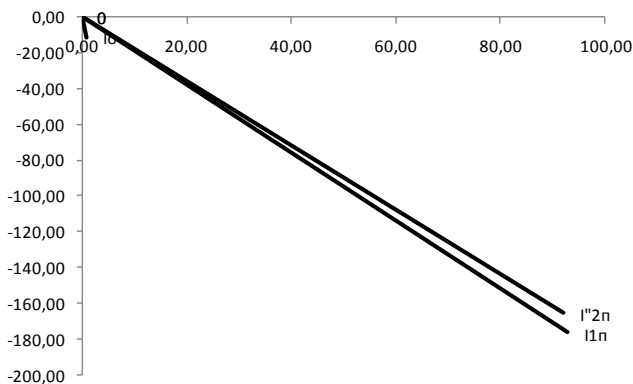
$$= 92,92 + j(-176,58) = 199,54 \cdot e^{-j(-62,2)^\circ} = 199,54 \text{ A};$$

7. Побудувати в масштабі векторні діаграми струмів заступних схем в робочому та пускових режимах двигуна (за п.5 та п.6).

Векторна діаграма в робочому режимі двигуна



Векторна діаграма в пусковому режимі двигуна



8. Побудувати за даними каталогу механічні характеристики двигуна в координатах $M = f(s)$ в відносних та абсолютних одиницях.

Механічна характеристика двигуна в координатах $M = f(S)$ будується у відносних та абсолютних одиницях. Для побудови

характеристики у відносних одиницях використовуються каталожні дані механічної характеристики двигуна:

m_k - кратність максимального моменту;

m_n - кратність пускового моменту;

n_n - номінальний момент;

m_m - мінімальний момент при ковзанні $S_M = 0,7...0,8$.

Для побудови механічної характеристики в абсолютних одиницях спочатку знаходиться номінальний момент двигуна в абсолютних одиницях

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}, \text{ Н} \cdot \text{ м}; \quad P_n = 18,5 \text{ [кВт]}; \quad n_n = 1000 \text{ [об/хв]}.$$

Механічна характеристика в координатах $n = f(M)$ будується після розрахунку обертів двигуна n в залежності від величини ковзання

$$n_n = n_1 (1 - S_n), \quad n_m = n_1 (1 - S_{кр}), \quad n_M = n_1 (1 - S_M),$$

де n_1 - синхронні оберти двигуна.

$$n_n = 1000 \cdot (1 - 0,02) = 976 \text{ об/хв}$$

$$n_{кр} = 1000 \cdot (1 - 0,135) = 865 \text{ об/хв}$$

$$n_M = 1000 \cdot (1 - 0,75) = 250 \text{ об/хв}$$

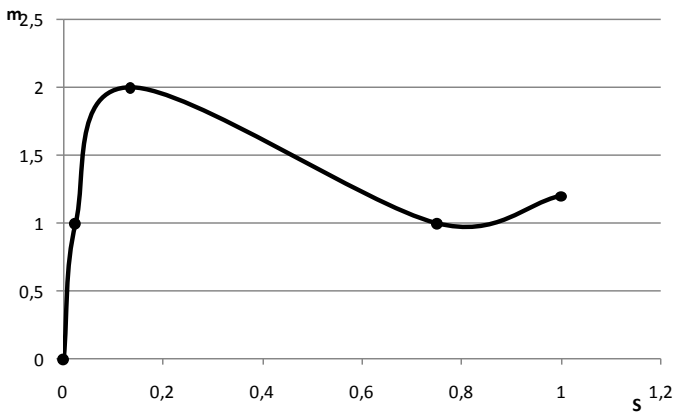
$$M_n = 9550 \cdot \frac{18,5}{976} = 181,02 \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

$$M_k = 2 \cdot 181,02 = 362,04 \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

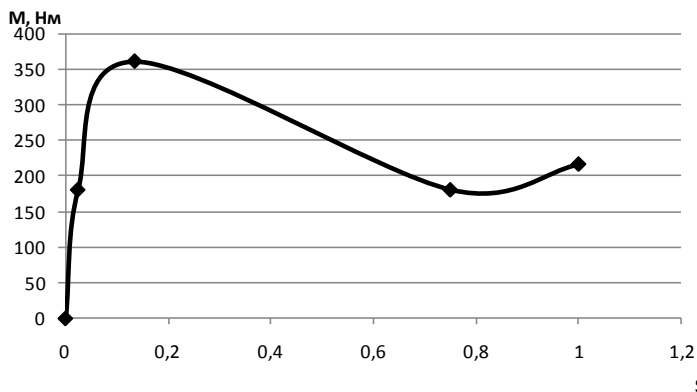
$$M_n = 1,2 \cdot 181,02 = 217,22 \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

$$M_m = 1 \cdot 181,02 = 181,02 \text{ Н} \cdot \text{ м}$$

Механічна характеристика двигуна відносних одиницях $m = f(S)$



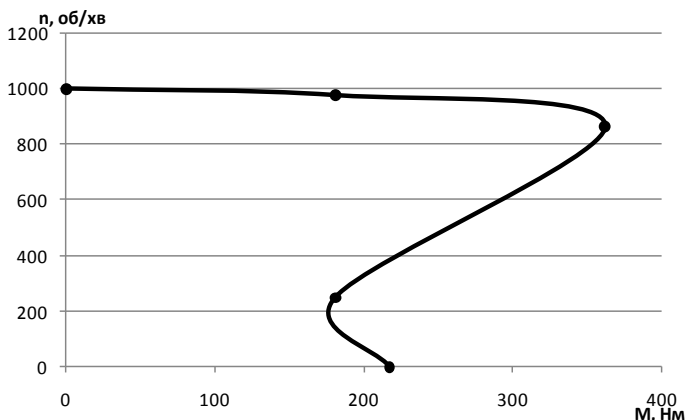
Механічна характеристика двигуна в абсолютних одиницях $M = f(S)$



9. Розрахувати та побудувати механічну характеристику двигуна в координатах $n = f(M)$ в абсолютних одиницях.

З розрахунку в попередньому пункті маємо:

Механічна характеристика $n = f(M)$



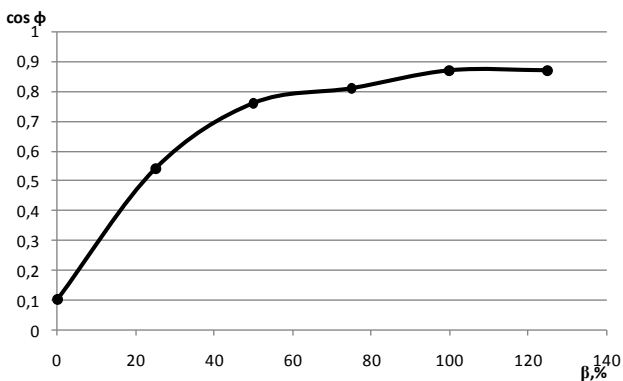
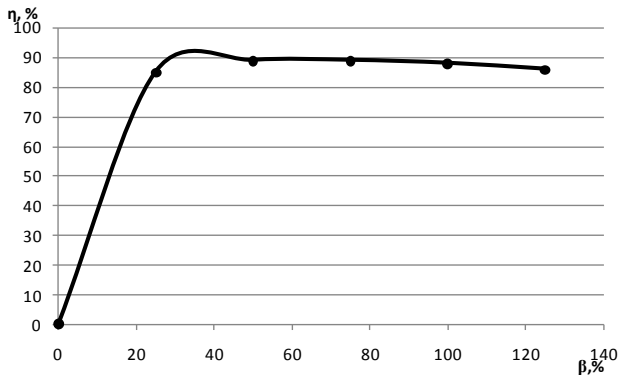
10. Побудувати робочі характеристики двигуна $\eta = f(\beta)$ та $\cos \varphi = f(\beta)$ та визначити:

Робочі характеристики двигуна будуються у відносних одиницях $\eta = f(\beta)$ та $\cos \varphi = f(\beta)$ та в абсолютних одиницях

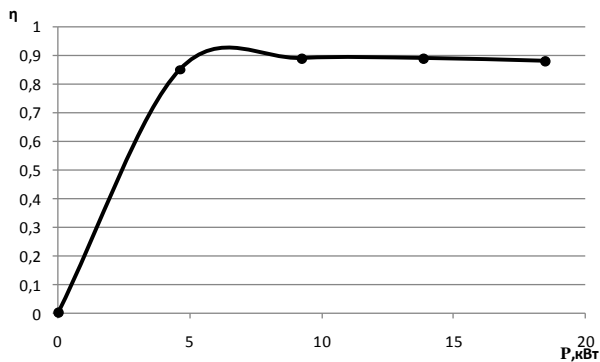
$$\eta = f(P_2); \cos \varphi = f(P_2),$$

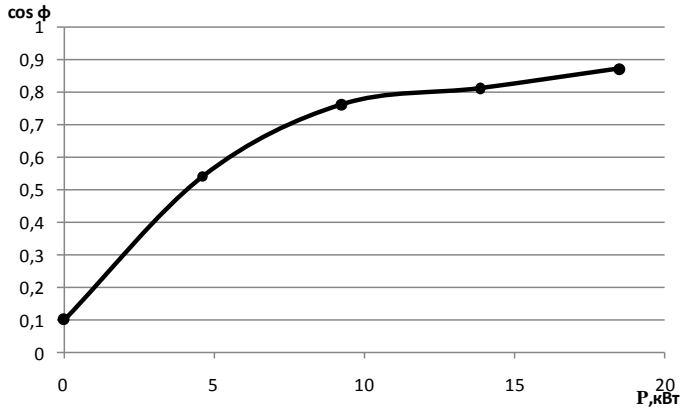
де $\beta = \frac{P}{P_n}$ - коефіцієнт навантаження двигуна; P_2 - фактична потужність на валу двигуна в кВт.

У відносних одиницях:



У абсолютних одиницях:





а). струм двигуна при навантаженні на його валу $\beta = 125\%$ та $\beta = 75\%$

Струм двигуна при заданій потужності на валу двигуна I_β визначається за формулою

$$I_\beta = \frac{\beta \cdot P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{ли}} \cdot \eta_\beta \cdot \cos \varphi_\beta}, \text{ А},$$

де $U_{\text{ли}} = 380 \text{ В}$; P - потужність на валу двигуна в кВт.

$$\text{При } \beta = 75\% \quad I = \frac{0,75 \cdot 18,5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,89 \cdot 0,81} = 29,24 \text{ А}$$

$$\text{При } \beta = 125\% \quad I = \frac{0,125 \cdot 18,5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,87} = 46,96 \text{ А}$$

б). втрати потужності в двигуні при $\beta = 75\%$; $\beta = 100\%$; $\beta = 125\%$

Втрати потужності в двигуні в залежності від його навантаження $\Delta P_\beta = f(\beta)$ визначаються за формулою

$$\Delta P_\beta = \left(\frac{P_\beta}{\eta_\beta} - I \right), \text{ кВт},$$

де $P_\beta = \beta \cdot P_n$.

$$\text{При } \beta = 75\% \quad \Delta P_\beta = \frac{0,75 \cdot 18,5}{0,89} - 1 = 14,59 \text{ кВт}$$

$$\text{При } \beta = 100\% \quad \Delta P_\beta = \frac{1 \cdot 18,5}{0,88} - 1 = 20,02 \text{ кВт}$$

$$\text{При } \beta=125\% \Delta P_{\beta} = \frac{1,25 \cdot 18,5}{0,86} - 1 = 25,89 \text{ кВт}$$

11. Визначити підвищення температури двигуна при пуску двигуна без навантаження на валу ($M_c = 0$).

Підвищення температури двигуна при пуску в режимі холостого ходу визначається

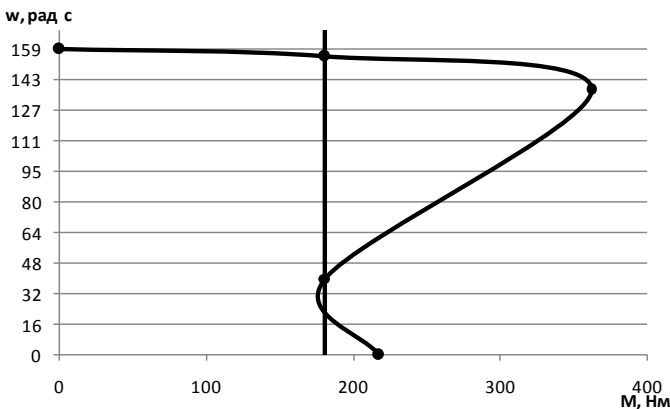
$$\Delta \tau^0 = t_{no} \cdot V_t,$$

де t_{no} - час пуску в режимі х.х.; V_t [$^{\circ}\text{C}/\text{с}$] - швидкість наростання температури.

$$\Delta \tau^0 = 0,25 \cdot 7,6 = 0,71$$

12. Визначити час пуску та підвищення температури двигуна при пуску двигуна з моментом інерції на валу, який перевищує момент ротора двигуна в п'ять разів ($I_{\Sigma} = 5I_{p.об}$) та статичним моментом, рівним номінальному $M_c = M_n$.

Для розрахунку та побудови розгінної характеристики електропривода $\omega = f(t)$ рекомендується спочатку побудувати в масштабі механічну характеристику двигуна в координатах $\omega = f(M)$. По осі моментів M відкладається відрізок $M_c = M_n$ - статичний момент на валу двигуна, рівний номінальному



Розрахунок залежності $\omega = f(t)$ ведеться відповідно до рівняння руху електропривода:

$$M_{\text{дв}} = M_c + I_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt};$$

$$t = \int_0^{\omega} \frac{I_{\Sigma} \cdot d\omega}{M_{\text{дв}} - M_c},$$

де $M_{\text{дв}}$ - обертаючий (крутний) момент двигуна; M_c - статичний момент на валу двигуна; I_{Σ} - момент інерції електропривода, зведений до валу двигуна

$$I_{\Sigma} = I_{p.\text{дв}} + I_{p.m.} = I_{p.\text{дв.}} + 5I_{p.\text{дв.}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$I_{\Sigma} = 0,086 + 5 \cdot 0,086 = 1,32 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Рішення рівняння руху електропривода слід отримати наближене, замінивши диференціали $d\omega$ та dt кінцевими прирощеннями $\Delta\omega$ та Δt .

Тоді

$$\Delta t_{\kappa} = \frac{I_{\Sigma} \cdot \Delta\omega_{\kappa}}{(M_{\text{дв.с.ер.}} - M_c)}, \text{ с},$$

де Δt_{κ} - час, за який швидкість електропривода зростає на $\Delta\omega_{\kappa}$; $M_{\text{дв.с.ер.}}$ - середнє значення моменту двигуна на ділянці розгону $\Delta\omega_{\kappa}$; $\Delta\omega_{\kappa}$ - приріст кутової швидкості за час Δt_{κ} .

Весь діапазон кутової швидкості від $\omega = 0$ до $\omega = \omega_c$ розбивається довільно на "n" ділянок розгону (рекомендується $n = 10$) і для кожної ділянки визначається час розгону привода на цій ділянці

$$\Delta t_{\kappa} \rightarrow \Delta\omega_{\kappa}.$$

$$\Delta t_1 = \frac{1,32 \cdot 15,9}{15} = 1,401 \text{ с} \quad \Delta t_2 = \frac{1,32 \cdot 31,8}{3} = 7,619 \text{ с}$$

$$\Delta t_3 = \frac{1,32 \cdot 47,7}{4} = 7,766 \text{ с} \quad \Delta t_4 = \frac{1,32 \cdot 63,7}{43} = 0,727 \text{ с}$$

$$\Delta t_5 = \frac{1,32 \cdot 79,6}{77} = 0,285 \text{ с} \quad \Delta t_6 = \frac{1,32 \cdot 95,5}{112} = 0,191 \text{ с}$$

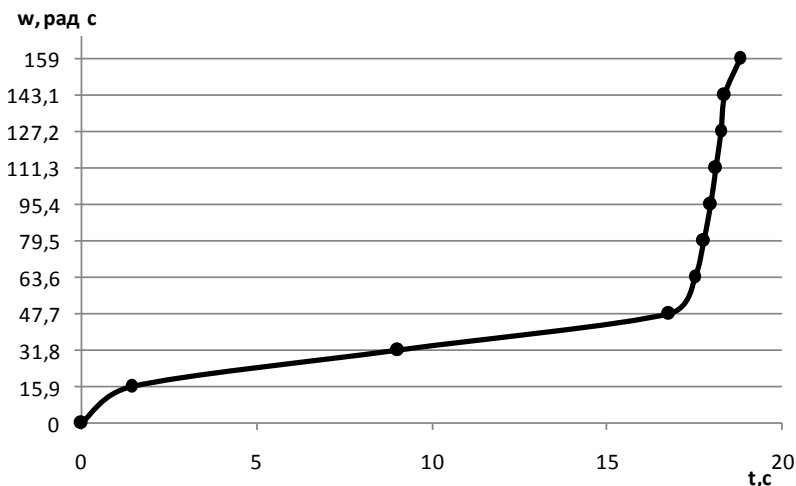
$$\Delta t_7 = \frac{1,32 \cdot 111,4}{145} = 0,147 \text{ с} \quad \Delta t_8 = \frac{1,32 \cdot 127,3}{173} = 0,123 \text{ с}$$

$$\Delta t_9 = \frac{1,32 \cdot 143,2}{177} = 0,120 \text{ c} \quad \Delta t_{10} = \frac{1,32 \cdot 159,2}{50} = 0,423 \text{ c}$$

Повний час розгону t_p привода визначається як

$$t_p = \sum_{k=1}^{k=n} \Delta t_k = 18,801 \text{ c}$$

За даними розрахунку $\omega = f(t)$ будується в масштабі відповідний графік, який має вигляд:



Підвищення температури двигуна за час його розгону (t_p) наближено визначається з рівняння

$$\Delta O_n = t_p \cdot V_t = 18,801 \cdot 7,6 = 133,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де V_t [$^\circ\text{C}/\text{c}$]- швидкість наростання температури двигуна при пуску (V_t - визначається як каталожні дані даного двигуна).

13. Розрахувати обертаючий момент двигуна для таких значень ковзання $s = s_n$; 0,1; s_{kp} ; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 за спрощеною формулою механічної характеристики асинхронного двигуна в координатах $M = f(s)$.

$$M = \frac{2M_{kp}}{s / s_{kp} + s_{kp} / s}, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При $s=0,024$; $M=124,78 \text{ Н} \cdot \text{м}$

При $s=0,1$; $M=346,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$

При $s=0,135$; $M=362,04$ Н·м

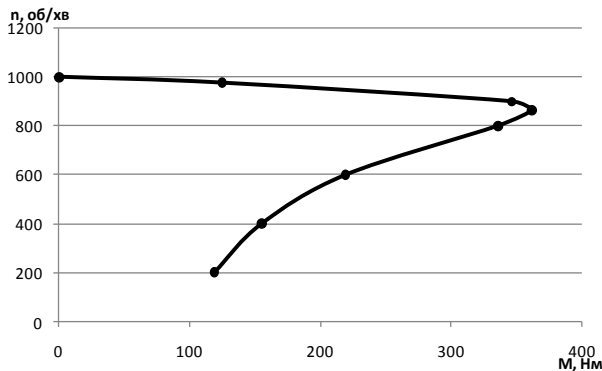
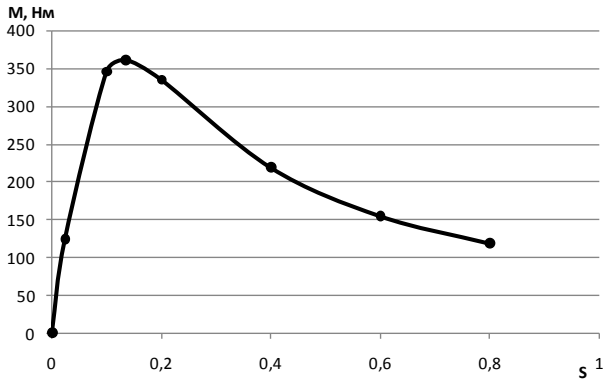
При $s=0,2$; $M=335,77$ Н·м

При $s=0,4$; $M=219,39$ Н·м

При $s=0,6$; $M=155,07$ Н·м

При $s=0,8$; $M=118,80$ Н·м

та побудувати за розрахунковими даними ці характеристики в координатах $M = f(s)$ та $n = f(M)$.



14. Порівняти механічні характеристики $n = f(M)$, побудовані за довідковими та розрахунковими (п.9) даними. Пояснити неспівпадання цих характеристик двигуна.

Дані механічні характеристики $n = f(M)$ між собою не співпадають, це пояснюється тим що, для довідникових даних момент розраховувався через момент у відносній одиницях, а для розрахункових даних – розраховувався через значення ковзання.

15. Визначити величину пускового та критичного моментів двигуна при зниженні напруги в мережі на 10% ($U = 0,9U_n$).

$M_n = U^2$, тоді;

Пусковий момент $M_n = 0,9^2 \cdot 217,22 = 175,951 \text{ Нм}$

Критичний момент $M_{кр} = 0,9^2 \cdot 362,04 = 293,252 \text{ Нм}$

16. Перевірити вибраний двигун на перевантажувальну здатність відповідно заданій діаграмі навантаження двигуна $P = f(t)$.

$$M = 9550 \cdot \frac{30}{976} = 293,545 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$0,9 \cdot M_{кр} = 0,9 \cdot 362,04 = 325,835 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

З даних розрахунків можна зробити висновок що даний двигун недовантажений і потрібно брати двигун більшої потужності.

17. Розрахувати та побудувати графік розгону двигуна з робочим механізмом на валу $\omega = f(t)$ при заданих значеннях моменту інерції ($J_{р.н.} = 2J_{об}$), моменту статичного опору ($M_c = 0,8M_n$) робочого механізму.

$$\Delta t_1 = \frac{0,44 \cdot 15,9}{51,2} = 0,137 \text{ с} \quad ; \quad \Delta t_2 = \frac{0,44 \cdot 31,8}{39,2} = 0,357 \text{ с}$$

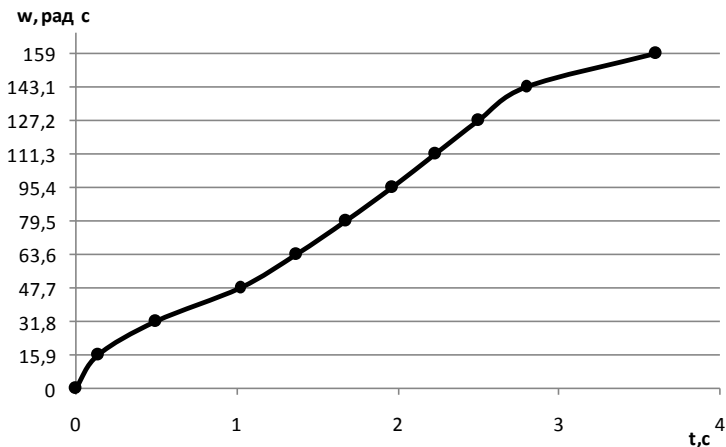
$$\Delta t_3 = \frac{0,44 \cdot 47,7}{40,2} = 0,523 \text{ с} \quad \Delta t_4 = \frac{0,44 \cdot 63,7}{79,2} = 0,354 \text{ с}$$

$$\Delta t_5 = \frac{0,44 \cdot 79,6}{113,2} = 0,309 \text{ с} \quad \Delta t_6 = \frac{0,44 \cdot 95,5}{148,2} = 0,284 \text{ с}$$

$$\Delta t_7 = \frac{0,44 \cdot 111,4}{181,2} = 0,271 \text{ с} \quad \Delta t_8 = \frac{0,44 \cdot 127,3}{209,2} = 0,268 \text{ с}$$

$$\Delta t_9 = \frac{0,44 \cdot 143,2}{213,2} = 0,296 \text{ с} \quad \Delta t_{10} = \frac{0,44 \cdot 159,2}{86,2} = 0,812 \text{ с}$$

За даними розрахунку $\omega = f(t)$ будується в масштабі відповідний графік, який має вигляд:



18. Визначити час розгону двигуна (за п.17) та підвищення температури обмотки статора за час пуску двигуна.

Повний час розгону t_p привода визначається як

$$t_p = \sum_{k=1}^{k=n} \Delta t_k = 3,609 \text{ c}$$

Підвищення температури двигуна за час його розгону (t_p) наближено визначається з рівняння

$$\Delta O_n = t_p \cdot V_t = 3,609 \cdot 7,1 = 25,63 \text{ } ^\circ\text{C}$$

де V_t [$^\circ\text{C}/\text{c}$]- швидкість наростання температури двигуна при пуску (V_t - визначається як каталожні дані даного двигуна).

Завдання 2. Розрахунок електродвигуна постійного струму

Електродвигун постійного струму єдиної серії П з паралельним збудженням має такі дані:

- а). номінальну потужність на валу - P_n , кВт;
- б). струм при номінальному навантаженні - I_n , А;
- в). напругу мережі - U , В;
- г). номінальну частоту обертання - n_n , об/хв.

Виходячи з рівності усіх видів основних втрат, тобто приймаючи втрати:

- в обмотці збудження - 25% від загальних втрат;
- втрати в якорі - 25% від загальних втрат;
- втрати в сталі і всі невраховані втрати - 25%;
- механічні і вентиляційні втрати - 25%.

обчислити:

1. Опір обмоток збудження і якоря.
2. К.к.д. при струмах, що дорівнюють 25, 50, 75, 100% від номінального.
3. Швидкість обертання двигуна при тих самих струмах.
4. Протиелектрорушійну силу двигуна.
5. Кратність пускового струму при пуску без реостата.
6. Визначити величину напруги, яку треба підвести до обмотки якоря при пуску двигуна, щоб пусковий струм якоря $I_{ня}$ в два рази перевищував своє номінальне значення ($I_{ня} = 2I_{ян}$).
7. Обертаючий момент на валу двигуна при умовах п.2,3.
8. Побудувати натуральну ($U_{я} = U_{ян}$) механічну характеристику двигуна $n = f(M)$ за даними п.2,3.
9. Розрахувати, яку напругу необхідно підвести до якоря, щоб при навантаженні на валу $M_c = 0,8M_n$ швидкість обертання якоря дорівнювала половині від свого номінального значення ($n = 0,5n_n$).
10. Накреслити електричну схему вмикання двигуна при його живленні від напівпровідникового регульованого за напругою випрямляча (система ККВ-ДПС).
11. Побудувати в одних осях координат характеристики $\eta = f_1(I_{я})$; $M = f_2(I_{я})$; $n = f_3(I_{я})$.

Номер варіанта вибирають з табл.2 за останньою цифрою, яка визначає тип машини постійного струму. Номер варіанта визначають за останньою цифрою номера залікової книжки. Цей номер дає змогу

визначити напругу мережі і швидкість обертання двигуна. Технічні дані двигунів серії П наведені в додатку 3.

Методичні вказівки до виконання завдання 2

Опори обмоток визначаються за формулами $R_{зб} = \frac{\Delta P_{зб}}{I_{зб}^2}$; $R_я = \frac{\Delta P_я}{I_я^2}$.

Струм збудження $I_{зб} = \frac{\Delta P_{зб}}{U_n}$. Струм якоря визначається за першим

законом Кірхгофа $I_{ян} = I_n - I_{зб}$.

Виходячи з вказівок, рекомендованих в умові задачі

$$\Delta P_{ян} = \Delta P_{зб.н} = \Delta P_{мех} = \Delta P_{ст} = 0,25(P_{1н} - P_n)$$

Коефіцієнт корисної дії визначається з формули

$$\eta = \frac{\beta \cdot P}{\beta \cdot P_n + \Delta P_{пост} + \beta^2 \cdot \Delta P_{ян}},$$

де $\beta = P / P_n$ - коефіцієнт завантаження двигуна;

$\Delta P_{пост} = \Delta P_{зб} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{ст}$; постійні втрати; $\beta^2 \cdot \Delta P_{ян}$ - втрати в якорі, які залежать від навантаження.

Частота обертання визначається за формулою $n = \frac{U - I_я \cdot R_я}{C_e \Phi}$.

Значення $C_e \Phi$ визначається з номінального режиму роботи двигуна за такою формулою

$$n_n = \frac{U_n - I_{ян} \cdot R_я}{C_e \Phi}. \text{ Звідки } C_e \Phi = \frac{U_n - I_{ян} \cdot R_я}{n_n}.$$

Проти е.р.с. двигуна ($E_я$) визначається з рівняння другого закону Кірхгофа для кола якоря: $U_я = E_я + R_я I_я$.

Номінальний момент двигуна можна визначити з формули

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 9,55 \frac{P_n}{n_n}, \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ а для будь-якого завантаження з формули}$$

$$M = 9,55 \cdot \frac{P}{n}, \text{ де } P = U_n \cdot I \cdot \eta; I = I_я + I_{зб}.$$

Приклад виконання завдання 2

Вибір даних

З табл.2 виписуємо вихідні дані свого варіанта.

Виконання варіанта	Число обертів, об/хв	Номер варіанта	0
		Типорозмір	П82
		Напруга, В	
4	1500	220	

Електродвигун постійного струму єдиної серії П з паралельним збудженням має такі дані:

- а). номінальну потужність на валу - $P_n=42$ кВт;
- б). струм при номінальному навантаженні -

$$I_n = \frac{P_n}{U} = \frac{42 \cdot 10^3}{220} = 382 \text{ А};$$

- в). напругу мережі - U , В;

- г). номінальну частоту обертання - n_n , об/хв.

Виходячи з рівності усіх видів основних втрат, тобто приймаючи втрати:

- в обмотці збудження - 25% від загальних втрат;
- втрати в якорі - 25% від загальних втрат;
- втрати в сталі і всі невраховані втрати - 25%;
- механічні і вентиляційні втрати - 25%.

$$P_{I_n} = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{42}{0,865} = 47,73 \text{ кВт де } \eta_n = 0,88 \text{ (з додатка)}$$

$$\Delta P_{ян} = \Delta P_{зб.н} = \Delta P_{мех} = \Delta P_{ст} = 0,25(P_{I_n} - P_n)$$

$$\Delta P_{зб} = 0,25 \cdot (47,73 - 42) = 1,43 \text{ кВт}$$

$$\text{Струм збудження } I_{зб} = \frac{\Delta P_{зб}}{U_n} = \frac{1,43 \cdot 10^3}{220} = 6,5 \text{ А. Струм якоря}$$

визначається за першим законом Кірхгофа

$$I_{ян} = I_n - I_{зб} = 382 - 6,5 = 375,5 \text{ А};$$

Виходячи з вказівок, рекомендованих в умові задачі обчислити:

- 1. Опір обмоток збудження і якоря.**

$$R_{зб} = \frac{\Delta P_{зб}}{I_{зб}^2} = \frac{1,43 \cdot 10^3}{6,5^2} = 33,846 \text{ Ом}$$

$$R_{я} = \frac{\Delta P_{я}}{I_{я}^2} = \frac{1,43 \cdot 10^3}{375,5^2} = 0,01 \text{ Ом}$$

2. К.к.д. при струмах, що дорівнюють 25, 50, 75, 100% від номінального.

Коефіцієнт корисної дії визначається з формули

$$\eta = \frac{\beta \cdot P}{\beta \cdot P_n + \Delta P_{\text{пост}} + \beta^2 \cdot \Delta P_{\text{ян}}};$$

де $\beta = P / P_n$ - коефіцієнт завантаження двигуна;
 $\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_{зб} + \Delta P_{\text{мех}} + \Delta P_{\text{ст}} = 1,65 \text{ кВт}$, постійні втрати; $\beta^2 \cdot \Delta P_{\text{ян}}$ - втрати в якорі, які залежать від навантаження.

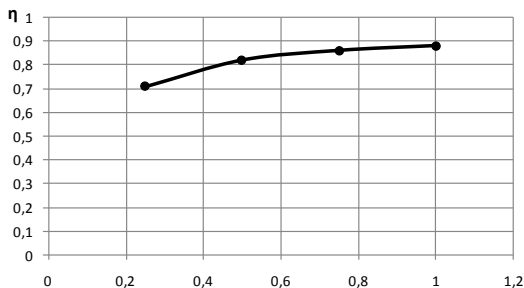
$$\text{при } \beta=1; \eta = \frac{42}{47,72} = 0,88;$$

$$\text{при } \beta=0,75; \eta = \frac{31,5}{36,59} = 0,86;$$

$$\text{при } \beta=0,5; \eta = \frac{21}{25,65} = 0,82;$$

$$\text{при } \beta=0,25; \eta = \frac{10,5}{14,88} = 0,71;$$

Залежність $\eta = f(\beta)$ має вигляд:



3. Швидкість обертання двигуна при тих самих струмах.

Швидкість обертання визначається за формулою

$$n = \frac{U - I_{я} \cdot R_{я}}{C_e \Phi} \Rightarrow C_e \Phi = \frac{U - I_{я} \cdot R_{я}}{n}$$

$$C_e \Phi = \frac{220 - 375,5 \cdot 0,01}{1500} = 0,14;$$

$$\text{при } \beta = 1; n = \frac{220 - 1 \cdot 375,5 \cdot 0,01}{0,14} = 1545 \text{ об/хв};$$

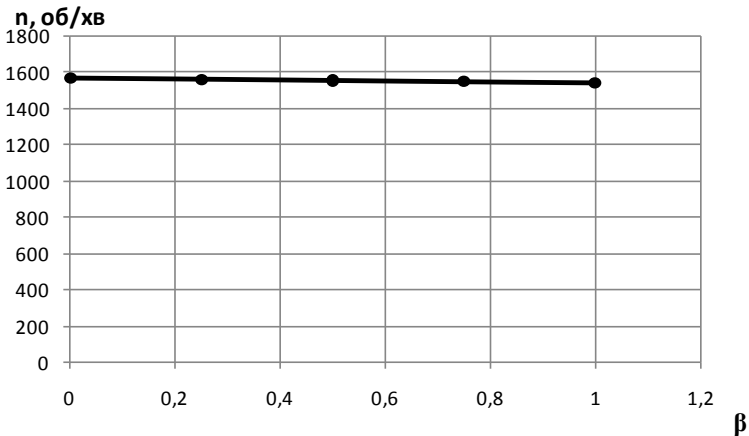
$$\text{при } \beta = 0,75; n = \frac{220 - 0,75 \cdot 375,5 \cdot 0,01}{0,14} = 1551 \text{ об/хв};$$

$$\text{при } \beta = 0,5; n = \frac{220 - 0,5 \cdot 375,5 \cdot 0,01}{0,14} = 1558 \text{ об/хв};$$

$$\text{при } \beta = 0,25; n = \frac{220 - 0,25 \cdot 375,5 \cdot 0,01}{0,14} = 1565 \text{ об/хв};$$

$$n_{xx} = \frac{220}{0,14} = 1571 \text{ об/хв}$$

Залежність $n = f(\beta)$ має вигляд:



4. Протиелектрорушійну силу двигуна.

$$U_{я} = E_{я} + R_{я} I_{я} \Rightarrow E_{я} = U_{я} - R_{я} I_{я} = 220 - 0,01 \cdot 375,5 = 216 \text{ В}$$

5. Кратність пускового струму при пуску без реостата.

$$I_{ня} = \frac{U_{н}}{R_{я}} = \frac{220}{0,01} = 22000 \text{ А};$$

$$K_n = \frac{I_{ня}}{I_{н}} = \frac{22000}{375,5} = 58,59;$$

6. Визначити величину напруги, яку треба підвести до обмотки якоря при пуску двигуна, щоб пусковий струм якоря $I_{ня}$ в два рази перевищував своє номінальне значення ($I_{ня} = 2I_{ян}$).

$$I_{ня} = \frac{U_{ня}}{R_{я}} \Rightarrow U_{ян} = 2 \cdot I_n \cdot R_{я} = 7,64 \text{ В}$$

7. Обертаючий момент на валу двигуна при умовах п.2,3.

Номінальний момент двигуна можна визначити з формули

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = 9,55 \frac{P_n}{n_n} \quad , \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ а для будь-якого завантаження з}$$

формули $M = 9,55 \cdot \frac{P}{n}$, де $P = U_n \cdot I \cdot \eta$; $I = I_{я} + I_{зб}$.

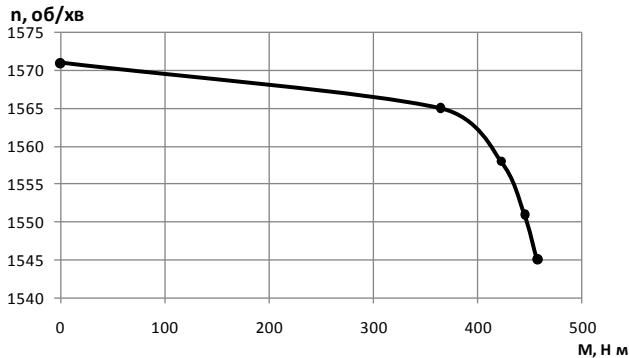
$$\text{при } \beta = 1 \quad M_{\beta} = 9,55 \cdot \frac{73955,2}{1545} = 457,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{при } \beta = 0,75 \quad M_{\beta} = 9,55 \cdot \frac{72274,4}{1551} = 445,02 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{при } \beta = 0,5 \quad M_{\beta} = 9,55 \cdot \frac{68912,8}{1558} = 422,41 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{при } \beta = 0,25 \quad M_{\beta} = 9,55 \cdot \frac{59668,4}{1565} = 364,11 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

8. Побудувати натуральну ($U_{я} = U_{ян}$) механічну характеристику двигуна $n = f(M)$ за даними п.2,3.



9. Розрахувати, яку напругу необхідно підвести до якоря, щоб при навантаженні на валу $M_c = 0,8M_n$ швидкість обертання якоря дорівнювала половині від свого номінального значення ($n = 0,5n_n$).

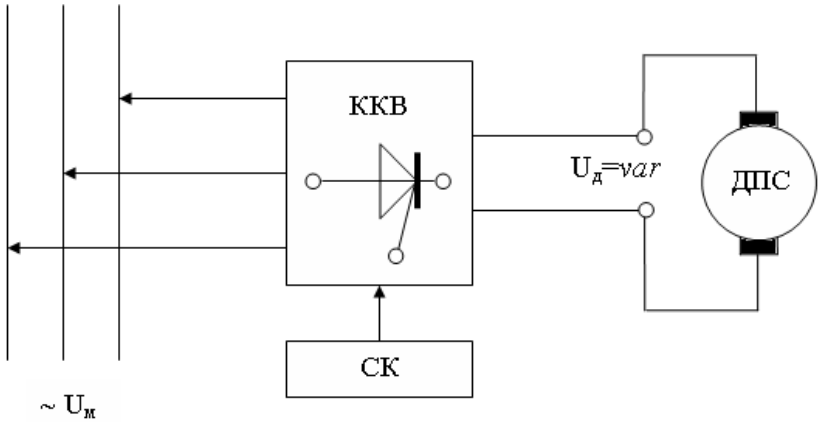
$$\frac{n}{n_n} = \frac{U_{я} - R_{я} (I_{я})}{U_{ян} - R_{я} (I_{ян})}$$

Враховуючі що $M = I_{я}$, тоді якщо $M = 0,8M_n$, тоді $I = 0,8I_n$

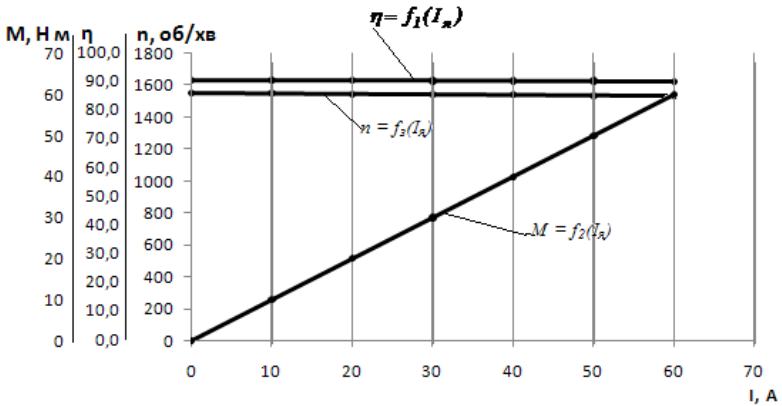
Звідси $U_{я} = 0,5 \cdot E_{ян} + 0,8 \cdot R_{я} \cdot I_{ян}$, де $E_{ян} = U_{I_{ян}} - R_{I_{ян}}$;

$$U_a = 0,5 \cdot 216 + 0,8 \cdot 0,01 \cdot 375,5 = 111 \text{ В}$$

10. Накреслити електричну схему вмикання двигуна при його живленні від напівпровідникового регульованого за напругою випрямляча (система ККВ-ДПС).



11. Побудувати в одних осях координат характеристики $\eta = f_1(I_a)$; $M = f_2(I_a)$; $n = f_3(I_a)$.



Завдання 3. Аналіз будови та характеристик електричної машини

Описати будову, пояснити принцип дії, привести графічне зображення та пояснити механічні $M = f(n)$ та електромеханічні $I = f(n)$ характеристики електричних машин автоматичних пристроїв.

Варіант завдання вибирається за останньою цифрою залікової книжки відповідно табл. 3.

Таблиця 3

Варіант	Тип електричної машини
0	Асинхронні однофазні двигуни з фазозміщуючим елементом
1	Асинхронні двигуни з розщепленими полюсами
2	Асинхронні двофазні виконавчі двигуни
3	Асинхронні виконавчі двигуни з порожнистим ротором
4	Синхронні реактивні двигуни
5	Синхронні гістерезисні двигуни
6	Крокуючі синхронні двигуни
7	Синхронні двигуни зі збудженням від постійних магнітів
8	Колекторні двигуни постійного та змінного струму
9	Лінійні асинхронні двигуни

Методичні вказівки до виконання завдання 3

Завдання 3 виконується в реферативній формі і обов'язково ілюструється електричними та конструктивними схемами ел. двигунів.

Література

1. Малинівський С. М. Загальна електротехніка, Львів, Видавництво національного університету Львівська політехніка”, 2001.
2. Баховець Б. О. Загальна електротехніка. Рівне : Видавництво НУВГП, 2008. 248 с.
3. Мілих В.І. Електротехніка та електромеханіка. Київ : „Каравела”. 2006.
4. Бушкевич Г. В. и др. Задачи по электрическим аппаратам. М. : ВШ. 1987.
5. Вартабедян В. А. Загальна електротехніка. К. : ВШ. 1987.
6. Гордон А. В., Сливинская А. Г. Электромагниты переменного тока. М. : ВШ. 1968.
7. Кацман М. М. Электрические машины. М. : ВШ. 1983.
8. Электротехника. Под ред. Пантюшина В. С. М.: ВШ. 1976.
9. Сахаров П. В. Проектирование электрических аппаратов. М. : Энергия. 1971.
10. Чишкин М. Г. Основы электропривода. М. : Энергия. 1980.
11. Кацман М. М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств. М. : ВШ. 1987.

Таблица 1

Номер варіанту	Дані навантажувальної діаграми										
	t ₁ , с	t ₂ , с	t ₃ , с	t ₄ , с	t ₅ , с	P ₁ , кВт	P ₂ , кВт	P ₃ , кВт	P ₄ , кВт	P ₅ , кВт	Число полюсів
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	20	10	50	0	15	25	10	0	13,5	8	2p = 2
1	18	30	10	20	23,5	8	5	0	25	10	2p = 2
2	60	100	10	45	30	8	4	15	10	25	2p = 2
3	30	15	60	60	10	25	10	0	18	30	2p = 2
4	50	20	40	50	45	0	4	8	0	5	2p = 2
5	15	25	20	35	30	15	4	30	15	10	2p = 2
6	10	75	60	50	10	30	5	0	15	25	2p = 2
7	7	3	15	4	12	6	20	3	15	30	2p = 2
8	1	1,5	2,5	1,5	1,5	8	6	0	4	3,5	2p = 2
9	1,5	4	2,5	3,5	3	20	10	6	8	8	2p = 2
10	20	10	50	10	15	20	10	6	8	8	2p = 2
11	18	30	10	20	23,5	8	6	0	4	3,5	2p = 2
12	60	100	10	45	3	8	4	15	10	25	2p = 2
13	30	15	60	60	10	6	20	13	15	30	2p = 2
14	30	20	40	50	45	30	5	0	15	25	2p = 4
15	15	25	10	35	30	8	6	0	4	3,5	2p = 4
16	10	75	60	50	10	15	4	30	15	10	2p = 4

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	7	3	15	4	20	0	4	8	0	5	2p = 4
18	1	1,5	2,5	1,5	1,5	10	10	0	18	30	2p = 4
19	1	4	2,5	3,5	3	8	4	15	10	25	2p = 4
20	20	10	50	10	15	8	6	0	4	3,5	2p = 4
21	18	30	10	20	23,5	20	10	6	8	8	2p = 4
22	60	100	10	45	30	26	20	13	15	30	2p = 4
23	30	15	60	60	10	30	5	0	15	25	2p = 4
24	50	20	40	50	45	15	4	30	15	10	2p = 4
25	15	25	10	35	30	0	4	8	0	5	2p = 4
26	20	75	60	50	10	30	5	0	15	25	2p = 4
27	7	3	15	4	2	25	10	0	13,5	8	2p = 4
28	1	1,5	2,5	1,5	1,5	8	5	0	25	10	2p = 4
29	1	4	2,5	3,5	3	0	4	8	0	50	2p = 6
30	30	45	30	15	20	8	5	0	25	10	2p = 6
31	10	15	20	40	40	20	10	6	8	8	2p = 6
32	20	10	10	20	30	8	5	0	25	10	2p = 6
33	50	10	15	20	35	8	4	15	10	25	2p = 6
34	20	10	15	15	20	30	5	0	15	25	2p = 6
35	15	20	20	30	30	20	10	6	8	8	2p = 6
36	20	15	15	25	25	8	6	0	4	3,5	2p = 6

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37	10	20	20	15	15	8	6	10	6	5	2p = 6
38	25	5	50	5	10	30	5	0	15	25	2p = 6
39	10	45	50	60	60	0	4	8	0	5	2p = 6
40	40	30	30	15	10	25	10	0	18	30	2p = 6
41	20	15	15	10	5	8	6	0	6	5	2p = 6
42	8	8	10	10	12	8	4	15	10	25	2p = 6
43	16	5	3	2	12	15	10	0	10	8	2p = 6
44	15	15	20	25	15	20	10	6	8	8	2p = 6
45	20	35	35	25	25	30	0	25	25	10	2p = 4
46	10	25	10	15	20	6	0	0	6	5	2p = 4
47	15	30	35	40	40	8	6	0	4	3,5	2p = 4
48	40	30	30	20	15	20	10	6	8	8	2p = 4
49	20	15	15	10	5	0	4	8	0	5	2p = 4
50	35	35	20	15	10	15	4	30	15	10	2p = 4

Варіанти до завдання 2

Таблиця 2

Двигун постійного струму типу П

Виконання варіанта	Число обертів, об/хв	Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
		Типорозмір	П41	П42	П51	П52	П61	П62	П71	П72	П81	П82
		Напруга, В										
1	1500	110										
2	1000	110										
3	750	110										
4	1500	220										
5	1000	220										
6	750	220										
7	1500	440										
8	1000	440										
9	750	440										
0	1500	220										

Додаток 1

Типорозмір електродвигуна	Р ном, кВт	Електромагнітні навантаження			Енергетичні показники										Параметри схеми заміщення							
		В δ, Тл	А, А/см	J, А/мм	ККД% при $P_2/P_{2ном}$, %					Cos φ при $P_2/P_{2ном}$, %					X _μ	В номінальному режимі				При короткому замиканні		
					25	50	75	100	125	25	50	75	100	125		R ₁ '	X ₁ '	R ₂ ''	X ₂ ''	R _{2п} ''	R _{кн}	X _{кн}
Синхронна частота обертання 3000 об/хв																						
4AA50A2Y3	0,09	0,62	105	4,4	42,0	55,5	60,0	60,0	57,5	0,31	0,49	0,61	0,70	0,75	2,5	0,150	0,092	0,140	0,160	0,140	0,290	0,250
4AA50B2Y3	0,12	0,60	114	4,1	48,5	60,0	63,5	63,0	58,0	0,31	0,50	0,62	0,70	0,75	2,3	0,110	0,076	0,120	0,140	0,120	0,230	0,220
4AA56A2Y3	0,18	0,67	118	6,8	51,0	63,0	66,0	66,0	63,0	0,34	0,54	0,66	0,76	0,81	2,0	0,170	0,052	0,094	0,067	0,094	0,260	0,120
4AA56B2Y3	0,25	0,66	133	6,8	57,0	67,5	69,0	68,0	64,0	0,35	0,57	0,70	0,77	0,81	2,4	0,160	0,053	0,110	0,079	0,110	0,270	0,120
4AA63A2Y3	0,37	0,66	150	7,4	63,0	71,0	72,0	70,0	65,0	0,45	0,69	0,80	0,86	0,89	2,5	0,140	0,052	0,096	0,080	0,096	0,240	0,120
4AA63B2Y3	0,55	0,70	174	8,0	69,0	75,0	75,0	73,0	68,0	0,47	0,69	0,80	0,86	0,88	2,5	0,130	0,049	0,096	0,083	0,097	0,230	0,120
4A71A2Y3	0,75	0,67	168	7,3	71,0	78,0	78,5	77,0	73,0	0,50	0,72	0,82	0,87	0,89	2,6	0,120	0,052	0,064	0,077	0,065	0,290	0,110
4A71B2Y3	1,10	0,72	200	8,5	76,0	79,5	79,5	77,5	73,0	0,50	0,73	0,82	0,87	0,89	2,8	0,130	0,054	0,069	0,084	0,070	0,200	0,110
4A80A2Y3	1,50	0,72	194	6,1	73,0	80,5	81,5	81,0	79,0	0,48	0,70	0,80	0,85	0,87	2,3	0,084	0,051	0,049	0,081	0,050	0,130	0,099
4A80B2Y3	2,20	0,73	218	6,5	77,0	83,0	83,5	83,0	81,0	0,51	0,73	0,83	0,87	0,89	2,7	0,076	0,050	0,049	0,087	0,050	0,130	0,098
4A90LY3	3,00	0,68	233	6,4	80,0	85,5	85,5	84,5	82,0	0,58	0,78	0,85	0,88	0,89	3,4	0,072	0,057	0,047	0,100	0,048	0,120	0,110
4A100S2Y3	4,00	0,67	232	5,2	80,0	86,0	88,0	86,5	85,0	0,60	0,80	0,86	0,89	0,90	3,4	0,054	0,055	0,036	0,099	0,038	0,091	0,110
4A100L2Y3	5,50	0,68	247	5,6	82,5	87,5	88,0	87,5	86,0	0,65	0,83	0,88	0,91	0,91	3,8	0,050	0,054	0,036	0,110	0,038	0,087	0,100
4A112M2Y3	7,50	0,70	252	5,7	78,0	85,5	87,5	87,5	86,5	0,56	0,74	0,83	0,88	0,89	3,7	0,046	0,058	0,028	0,140	0,032	0,077	0,150
4A132M2Y3	11,0	0,71	248	5,9	80,0	87,0	88,0	88,0	87,0	0,63	0,82	0,87	0,90	0,90	4,2	0,040	0,061	0,025	0,120	0,028	0,068	0,120
4A160S2Y3	15,0	0,72	335	6,3	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,68	0,84	0,89	0,91	0,91	4,0	0,052	0,092	0,022	0,120	0,029	0,081	0,160
4A160M2Y3	18,5	0,70	355	6,3	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92	4,5	0,049	0,092	0,022	0,120	0,030	0,079	0,160
4A180S2Y3	22,0	0,78	387	5,6	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,88	0,91	0,92	3,6	0,039	0,091	0,020	0,110	0,026	0,065	0,150
4A180M2Y3	30,0	0,79	366	5,2	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90	3,8	0,030	0,073	0,018	0,110	0,024	0,054	0,130
4A200M2Y3	37,0	0,82	403	4,8	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89	4,1	0,029	0,094	0,021	0,120	0,031	0,060	0,160
4A200L2Y3	45,0	0,79	407	4,9	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90	4,9	0,027	0,088	0,020	0,130	0,031	0,058	0,150
4A225M2Y3	55,0	0,74	405	5,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92	5,6	0,026	0,092	0,019	0,120	0,029	0,055	0,160
4A250S2Y3	75,0	0,77	409	4,4	81,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,89	4,8	0,021	0,080	0,015	0,130	0,029	0,050	0,160
4A250M2Y3	90,0	0,75	419	4,6	84,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90	5,2	0,020	0,078	0,016	0,130	0,030	0,050	0,160
Синхронна частота обертання 1500 об/хв																						
4AA50A4Y3	0,06	0,64	136	4,5	25,0	40,0	50,0	50,0	49,5	0,31	0,41	0,51	0,60	0,68	1,2	0,16	0,17	0,22	0,17	0,22	0,38	0,34
4AA50B4Y3	0,09	0,68	152	4,9	31,0	46,0	55,0	55,0	54,5	0,31	0,40	0,51	0,60	0,68	1,2	0,13	0,16	0,21	0,17	0,21	0,35	0,33
4AA56A4Y3	0,12	0,71	146	6,2	40,0	55,0	63,0	63,0	51,5	0,30	0,43	0,56	0,66	0,70	1,2	0,18	0,087	0,15	0,15	0,15	0,32	0,23

4AA56B4Y3	0,18	0,75	167	6,9	43,5	58,0	64,0	64,0	61,5	0,26	0,40	0,53	0,64	0,71	1,3	0,18	0,090	0,16	0,17	0,16	0,33	0,24
4AA63A4Y3	0,25	0,82	162	6,8	49,0	63,0	68,0	68,0	65,5	0,26	0,41	0,54	0,65	0,72	1,4	0,15	0,082	0,14	0,17	0,14	0,29	0,25
4AA63B4Y3	0,37	0,87	189	8,4	51,5	64,5	68,0	68,0	64,0	0,29	0,45	0,58	0,69	0,75	1,4	0,17	0,086	0,14	0,18	0,14	0,30	0,23
4A71A4Y3	0,55	0,93	188	6,9	55,0	67,0	75,0	75,0	67,0	0,29	0,46	0,59	0,70	0,75	1,6	0,13	0,086	0,11	0,20	0,11	0,24	0,23
4A71B4Y3	0,75	0,97	225	8,5	58,5	70,0	73,0	72,0	68,5	0,33	0,50	0,64	0,73	0,79	1,8	0,11	0,084	0,11	0,20	0,11	0,23	0,22
4A80A4Y3	1,1	0,84	218	7,6	64,0	74,0	76,0	75,0	72,0	0,38	0,59	0,73	0,81	0,85	1,7	0,12	0,078	0,068	0,12	0,071	0,20	0,14
4A80B4Y3	1,5	0,82	231	8,0	70,0	78,0	73,5	77,0	73,0	0,41	0,63	0,76	0,83	0,86	1,9	0,12	0,078	0,069	0,12	0,072	0,19	0,15
4A90L4Y3	2,2	0,88	233	7,6	74,0	81,0	81,5	80,0	76,5	0,42	0,64	0,76	0,83	0,85	2,1	0,098	0,076	0,060	0,13	0,063	0,16	0,14
4A100S4Y3	3,0	0,90	246	6,6	75,5	82,0	83,0	82,0	79,5	0,43	0,65	0,77	0,83	0,85	2,2	0,078	0,079	0,053	0,13	0,057	0,14	0,14
4A100L4Y3	4,0	0,87	254	6,3	79,5	84,5	85,0	84,0	81,5	0,46	0,68	0,79	0,84	0,86	2,4	0,067	0,079	0,053	0,14	0,058	0,13	0,15
4A112M4Y3	5,5	0,85	248	7,1	82,0	86,5	86,5	85,5	83,0	0,51	0,72	0,80	0,85	0,85	2,8	0,064	0,078	0,041	0,13	0,048	0,11	0,14
4A132S4Y3	7,5	0,90	252	5,9	77,5	86,0	87,5	87,5	86,0	0,53	0,71	0,83	0,86	0,87	3,0	0,048	0,085	0,033	0,13	0,040	0,088	0,15
4A132M4Y3	11,0	0,89	264	6,1	80,0	86,0	88,5	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88	3,2	0,043	0,085	0,032	0,13	0,039	0,082	0,15
4A160S4Y3	15,0	0,72	314	5,7	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88	4,0	0,047	0,086	0,025	0,13	0,038	0,085	0,15
4A160M4Y3	18,5	0,69	310	5,5	87,5	90,5	95,0	89,5	87,5	0,65	0,82	0,86	0,88	0,88	4,3	0,042	0,085	0,024	0,13	0,037	0,079	0,14
4A180S4Y3	22,0	0,74	333	5,4	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89	4,0	0,041	0,080	0,021	0,12	0,034	0,076	0,15
4A180 M4Y3	30,0	0,79	335	5,5	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89	3,9	0,034	0,068	0,018	0,12	0,031	0,064	0,13
4A200M4Y3	37,0	0,76	368	5,9	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90	4,4	0,039	0,086	0,018	0,14	0,035	0,074	0,16
4A200L4Y3	45,0	0,73	362	5,6	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90	4,6	0,034	0,082	0,017	0,14	0,034	0,069	0,16
4A225M4Y3	55,0	0,76	370	5,3	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90	4,2	0,027	0,086	0,015	0,14	0,030	0,058	0,15
4A250S4Y3	65,0	0,74	334	4,3	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90	4,4	0,025	0,089	0,014	0,11	0,027	0,052	0,15
4A250M4Y3	90,0	0,70	413	4,4	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90	5,0	0,024	0,093	0,014	0,22	0,029	0,054	0,15
4A280S4Y3	110	0,75	446	3,8	89,5	92,5	93,0	92,5	91,0	0,82	0,90	0,91	0,90	0,87	4,9	0,023	0,122	0,019	0,16	0,048	0,071	0,21
4A280M4Y3	132	0,79	473	3,9	90,0	93,0	93,5	93,0	91,5	0,81	0,90	0,91	0,90	0,87	4,5	0,021	0,115	0,018	0,15	0,047	0,068	0,20
4A315S4Y3	160	0,78	470	3,8	91,0	93,5	94,0	93,5	92,5	0,81	0,90	0,91	0,91	0,88	4,6	0,018	0,107	0,017	0,15	0,045	0,064	0,19
4A315M4Y3	200	0,79	462	3,8	91,5	94,0	94,5	94,0	93,0	0,82	0,90	0,92	0,92	0,89	4,1	0,014	0,086	0,014	0,12	0,038	0,052	0,19
4A355S4Y3	250	0,79	444	3,5	91,5	94,0	94,5	94,5	93,5	0,82	0,90	0,92	0,92	0,89	4,6	0,013	0,090	0,013	0,13	0,024	0,037	0,15
4A355B4Y3	315	0,72	439	3,4	92,5	94,5	95,0	94,5	93,5	0,85	0,92	0,92	0,92	0,89	5,7	0,012	0,099	0,014	0,14	0,027	0,039	0,16
Синхронна частота обертання 1000 об/хв																						
4AA63A6Y3	0,18	0,74	195	7,6	34,5	49,5	56,0	56,0	52,0	0,25	0,38	0,51	0,62	0,71	1,3	0,24	0,15	0,22	0,18	0,22	0,46	0,30
4AA63B6Y3	0,25	0,71	196	6,4	39,5	54,0	59,0	59,0	55,0	0,24	0,38	0,51	0,62	0,70	1,4	0,18	0,13	0,21	0,19	0,21	0,40	0,28
4A71A6Y3	0,37	0,82	206	6,9	45,5	59,5	64,5	64,5	61,0	0,30	0,45	0,58	0,69	0,76	1,3	0,17	0,12	0,15	0,16	0,15	0,32	0,24
4A71B6Y3	0,55	0,80	213	7,5	52,5	65,5	68,5	67,5	62,5	0,30	0,47	0,60	0,71	0,77	1,4	0,16	0,11	0,15	0,17	0,15	0,31	0,24
4A80A6Y3	0,75	0,84	227	7,8	56,0	68,0	69,5	69,0	63,5	0,33	0,51	0,65	0,74	0,79	1,5	0,16	0,12	0,12	0,20	0,12	0,28	0,25
4A80B6Y3	1,1	0,80	223	7,3	53,0	73,5	75,0	74,0	69,0	0,33	0,52	0,65	0,74	0,78	1,6	0,12	0,11	0,11	0,19	0,11	0,23	0,24
4A90L6Y3	1,5	0,85	223	7,1	65,5	75,0	76,0	75,0	71,0	0,33	0,53	0,66	0,74	0,77	1,8	0,11	0,11	0,088	0,21	0,093	0,20	0,23
4A100L6Y3	2,2	0,81	231	6,3	74,0	81,5	82,0	81,0	78,0	0,32	0,53	0,66	0,73	0,76	1,9	0,09	0,11	0,067	0,21	0,073	0,16	0,22

Продовження Додаток 1

4A112MA6Y3	3,0	0,89	248	6,9	73,0	81,0	82,0	81,0	78,5	0,33	0,56	0,69	0,76	0,79	1,9	0,085	0,074	0,063	0,10	0,069	0,16	0,14
4A112MB6Y3	4,0	0,87	262	7,4	77,0	82,5	83,0	82,0	79,5	0,40	0,62	0,74	0,81	0,83	2,0	0,077	0,073	0,062	0,11	0,068	0,15	0,14
4A132S6Y3	5,5	0,90	258	7,0	71,0	81,0	84,0	85,0	83,0	0,33	0,56	0,69	0,80	0,84	1,9	0,067	0,072	0,041	0,11	0,050	0,12	0,14
4A132M6Y3	7,5	0,87	256	6,9	76,0	84,0	85,0	85,5	84,0	0,40	0,62	0,74	0,81	0,84	2,1	0,060	0,070	0,040	0,11	0,050	0,11	0,14
4A160S6Y3	11,0	0,75	293	6,9	83,5	87,5	87,0	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87	3,0	0,073	0,11	0,030	0,15	0,047	0,12	0,18
4A160M6Y3	15,0	0,74	292	6,9	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87	3,0	0,062	0,10	0,028	0,16	0,045	0,11	0,19
4A180M6Y3	17,5	0,82	377	6,3	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87	2,9	0,056	0,11	0,026	0,13	0,046	0,10	0,18
4A200M6Y3	22,0	0,70	350	5,5	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90	4,1	0,050	0,11	0,024	0,14	0,042	0,092	0,18
4A200L6Y3	30,0	0,77	375	6,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90	3,7	0,046	0,12	0,022	0,13	0,040	0,085	0,16
4A250S6Y3	45,0	0,76	356	5,1	87,5	91,0	91,0	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89	3,8	0,037	0,090	0,015	0,14	0,032	0,069	0,16
4A250M6Y3	55,0	0,82	364	5,5	88,0	91,0	91,0	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89	3,4	0,034	0,083	0,014	0,13	0,030	0,064	0,15

Пускові властивості електродвигунів основного призначення; ступінь захисту IP44

Типорозмір електродвигуна	Механічні характеристики					$i_{п}$	$V_t, ^\circ C/c$	$I_{д.р}, \text{кг} \cdot \text{М}^2$	$i_{п.о}, \text{с}$	h_0
	$m_{п}$	$M_{м}$	$m_{к}$	$s_{ном}, \%$	$s_{к}, \%$					
<i>Синхронна частота обертання 3000 об/хв</i>										
4AA50A2Y3	2,0	1,8	2,2	8,6	50,0	3,5	1,2	0,000025	0,10	4100
4AA50B2Y3	2,0	1,8	2,2	9,7	51,0	3,5	1,0	0,000028	0,10	4000
4AA56A2Y3	2,0	1,5	2,2	8,0	46,0	4,0	3,7	0,00042	0,09	4000
4AA56B2Y3	2,0	1,5	2,2	7,5	51,0	4,0	3,7	0,00047	0,08	4000
4AA63A2Y3	2,0	1,5	2,2	8,3	50,5	4,5	5,5	0,00076	0,07	3900
4AA63B2Y3	2,0	1,5	2,2	8,5	54,5	4,5	6,5	0,00090	0,07	3900
4A71A2Y3	2,0	1,5	2,2	5,9	38,0	5,5	8,1	0,00097	0,06	3800
4A71B2Y3	2,0	1,5	2,2	6,3	39,0	5,5	10,9	0,0011	0,06	3800
4A80A2Y3	2,1	1,4	2,6	4,2	35,5	6,5	7,9	0,0018	0,07	3600
4A80B2Y3	2,1	1,4	2,6	4,3	38,0	6,5	8,9	0,0021	0,07	3600
4A90L2V3	2,1	1,6	2,5	4,3	32,5	6,5	8,7	0,0035	0,08	3200
4A100S2Y3	2,0	1,6	2,5	3,3	28,0	7,5	7,6	0,0059	0,08	2600
4A100L2Y3	2,0	1,6	2,5	3,4	29,0	7,5	8,8	0,0075	0,09	2600
4A112M2Y3	2,0	1,8	2,8	2,5	17,0	7,5	9,1	0,010	0,09	2400
4A132M2Y3	1,7	1,5	2,8	2,3	19,0	7,5	9,8	0,023	0,10	1600
4A160S2Y3	1,4	1,0	2,2	2,1	12,0	7,0	9,6	0,048	0,20	940

Продовження Додаток 2

4A160M2Y3	1,4	1,0	2,2	2,1	12,5	7,0	10,3	0,053	0,22	940
4A180S2Y3	1,4	1,1	2,5	1,9	12,5	7,5	8,8	0,070	0,23	830
4A180M2Y3	1,4	1,1	2,5	1,8	12,5	7,5	7,6	0,085	0,25	830
4A200M2Y3	1,4	1,0	2,5	1,9	11,5	7,5	6,5	0,15	0,29	750
4A200L2Y3	1,4	1,0	2,5	1,8	11,5	7,5	6,8	0,17	0,30	730
4A225M2Y3	1,4	1,2	2,5	1,8	11,0	7,5	7,0	0,25	0,30	590
4A250S2V3	1,2	1,0	2,5	1,4	10,0	7,5	5,5	0,47	0,46	520
4A250M2Y3	1,2	1,0	2,5	1,4	10,0	7,5	6,0	0,52	0,55	420
<i>Синхронна частота обертання 1500 об/хв</i>										
4AA50A4Y3	2,0	1,7	2,2	8,1	58,5	2,5	0,6	0,0002 9	0,10	10000
4AA50B4Y3	2,0	1,7	2,2	8,6	59,0	2,5	0,8	0,0003 3	0,08	10000
4AA56A4Y3	2,1	1,5	2,2	8,2	49,0	3,5	2,4	0,00070	0,08	8500
4AA56B4Y3	2,1	1,5	2,2	8,9	50,5	3,5	2,9	0,00079	0,07	8500
4AA63A4Y3	2,0	1,5	2,2	8,0	48,0	4,0	3,7	0,0012	0,07	8500
4AA63B4Y3	2,0	1,5	2,2	9,0	48,0	4,0	5,6	0,0014	0,06	8500
4A71A4Y3	2,0	1,8	2,2	7,3	39,0	4,5	4,8	0,0013	0,04	8500
4A71B4Y3	2,0	1,8	2,2	7,5	40,0	4,5	7,3	0,0014	0,03	8500
4A80A4Y3	2,0	1,6	2,2	5,4	34,0	5,0	7,2	0,0032	0,04	7800
4A80B4Y3	2,0	1,6	2,2	5,8	34,5	5,0	8,0	0,0033	0,04	7800
4A90L4Y3	2,1	1,6	2,4	5,1	33,0	6,0	10,4	0,0056	0,04	7500

Продовження Додаток 2

4A100S4Y3	2,0	1,6	2,4	4,4	31,0	6,0	7,8	0,0087	0,04	6500
4A100L4Y3	2,0	1,6	2,4	4,6	31,5	6,0	7,1	0,011	0,04	6500
4A112M4Y3	2,0	1,6	2,2	3,6	25,0	7,0	12,4	0,017	0,04	5000
4A132S4Y3	2,2	1,7	3,0	2,9	19,5	7,5	9,8	0,028	0,05	4500
4A132M4Y3	2,2	1,7	3,0	2,8	19,5	7,5	10,5	0,04	0,07	4100
4A280S4Y3	1,2	1,0	2,0	2,3	8,5	6,0	2,4	2,3	0,42	520
4A280M4Y3	1,3	1,0	2,0	2,3	6,5	6,0	3,3	2,5	0,45	450
4A315S4Y3	1,3	0,9	2,2	1,4	6,5	6,5	3,0	3,1	0,47	340
4A315M4Y3	1,3	0,9	2,2	1,3	5,0	6,5	3,3	3,6	0,49	330
4A355S4Y3	1,2	0,9	2,0	1,0	4,0	7,0	4,2	6,0	0,52	270
4A355M4Y3	1,2	0,9	2,0	1,0	4,0	7,0	4,2	7,0	0,55	260
<i>Синхронна частота обертання 1000 об/хв</i>										
4AA63A6Y3	2,2	1,5	2,2	11,5	55,5	3,0	2,6	0,0018	0,05	10400
4AA63B6Y3	2,2	1,5	2,2	10,8	62,5	3,0	1,8	0,0022	0,04	10400
4A71A6Y3	2,0	1,8	2,2	9,2	49,0	4,0	3,8	0,0017	0,03	10500
4A71B6Y3	2,0	1,8	2,2	10,0	49,0	4,0	4,5	0,0020	0,03	10500
4A80A6Y3	2,0	1,6	2,2	8,4	37,0	4,0	4,9	0,0031	0,04	8600
4A80B6Y3	2,0	1,6	2,2	8,0	38,0	4,0	4,3	0,0046	0,03	8600
4A90L6Y3	2,0	1,7	2,2	6,4	31,0	4,0	5,1	0,0073	0,03	8200
4A100L6Y3	2,0	1,6	2,2	5,1	25,5	5,0	5,0	0,013	0,04	6900
4A112MA6Y3	2,0	1,8	2,5	4,7	37,0	6,0	8,6	0,017	0,03	7200
4A112MB6Y3	2,0	1,8	2,5	5,1	38,0	6,0	9,1	0,021	0,03	7200

Продовження Додаток 2

4A132S6Y3	2,0	1,8	2,5	3,3	36,0	6,0	8,8	0,040	0,04	4400
4A132M6Y3	2,0	1,8	2,5	3,2	26,0	6,0	8,6	0,058	0,06	4300
4A160S6Y3	1,2	1,0	2,0	2,7	15,0	6,0	8,6	0,14	0,11	2200
4A160M6Y3	1,2	1,0	2,0	2,6	14,0	6,0	8,6	0,18	0,11	2100
4A180M6Y3	1,2	1,0	2,0	2,4	13,5	6,0	7,1	0,22	0,10	2000
4A200M6Y3	1,3	1,0	2,4	2,3	13,5	6,5	6,4	0,40	0,13	1300
4A200L6Y3	1,3	1,0	2,4	2,1	13,5	6,5	7,6	0,45	0,12	1200
4A225M6Y3	1,2	1,0	2,3	1,8	11,5	6,5	6,8	0,74	0,15	1100
4A250S6Y3	1,2	1,0	2,1	1,4	9,0	6,5	5,5	1,2	0,20	780
4A250M6Y3	1,2	1,0	2,1	1,3	9,5	6,5	6,4	1,3	0,20	780
4A280S6Y3	1,2	1,0	2,2	2,0	8,3	7,0	5,2	2,9	0,25	770
4A280M6Y3	1,2	1,0	2,2	1,8	8,3	7,0	6,1	3,4	0,28	680
4A315S6Y3	1,0	0,9	2,2	1,8	8,2	7,0	5,4	4,0	0,34	650
4A315M6Y3	1,4	0,9	2,2	1,7	8,2	7,0	5,0	4,5	0,36	470
4A355S6Y3	1,4	0,9	2,2	1,4	6,5	7,0	4,1	7,3	0,42	410
4A355M6Y3	1,4	0,9	2,2	1,3	6,4	7,0	4,1	8,8	0,44	340

Технічні дані двигунів постійного струму серії П

Тип	Напруга								
	110 В			220 В			440 В		
	потуж- ність P_n , кВт	к.к.д., %	при послаб. поля P_{max}	потуж- ність P_n , кВт	к.к.д., %	при послаб. поля P_{max}	потуж- ність P_n , кВт	к.к.д., %	при послаб. поля P_{max}
Частота обертання 1500 об/хв									
П11	0,3	63,5	3000	0,3	65,0	3000	-	-	-
П12	0,45	70,0	3000	0,45	70,5	3000	-	-	-
П21	0,7	75,0	3000	0,7	73,5	3000	-	-	-
П22	1,0	76,0	3000	1,0	77,0	3000	-	-	-
П31	1,5	78,5	3000	1,5	78,5	3000	-	-	-
П32	2,2	83,5	3000	2,2	83,5	3000	-	-	-
П41	3,2	78,5	3000	3,2	79,0	3000	3,2	78,0	2250
П42	4,5	80,0	3000	4,5	80,5	3000	4,5	79,5	2250
П51	6,0	83,5	2250	6,0	82,5	2250	6,0	81,5	2000
П52	8,0	85,0	2250	8,0	84,5	2250	8,0	83,0	2000
П61	11	84,5	2250	11	84,0	2250	11	83,0	2000
П62	14	86,5	2250	14	86,5	2250	14	85,5	2000
П71	19	83,5	2250	19	84,5	2250	19	82,5	2000

Продовження додатку 3

П72	25	85,5	2250	25	86,0	2250	25	85,0	2000
П81	32	85,0	2250	32	86,0	2250	32	86,0	1500
П82	42	87,0	2250	42	88,0	2250	42	86,0	1500
П91	-	-	-	55	87,0	2250	55	86,0	1500
П92	-	-	-	75	89,5	1900	75	88,5	1500
П101	-	-	-	100	89,5	1800	100	88,5	1500
П102	-	-	-	125	90,0	1800	125	89,0	1500
П111	-	-	-	160	90,0	1800	160	89,0	1500
П112	-	-	-	200	91,0	1500	200	90,0	1500
Частота обертання 1000 об/хв									
П11	0,13	59,0	2000	0,13	59,0	2000	-	-	-
П12	0,2	66,0	2000	0,4	65,0	2000	-	-	-
П21	0,3	71,5	2000	0,3	68,6	2000	-	-	-
П22	0,45	73,5	2000	0,45	74,5	2000	-	-	-
П31	0,7	74,0	2000	0,7	75,0	2000	-	-	-
П32	1,0	79,5	2000	1,0	80,0	2000	-	-	-
П41	1,5	75,0	2000	1,5	73,0	2000	1,5	72,0	1500
П42	2,2	77,0	2000	2,2	75,5	2000	2,2	74,5	1500
П51	3,2	78,0	2000	3,2	79,5	2000	3,2	78,5	1500
П52	4,5	81,0	2000	4,5	81,0	2000	4,5	80,0	1500
П61	6,0	82,5	2000	6,0	83,5	2000	6,0	82,5	1500

Продовження додатку 3

П62	8,0	84,5	2000	8,0	85,0	2000	8,0	84,0	1500
П71	11	79,0	2000	11	80,5	2000	11	78,5	1500
П72	14	81,0	2000	14	82,0	2000	14	80,0	1500
П81	19	82,5	2000	19	83,5	2000	19	81,0	1350
П82	25	85,0	2000	25	86,0	2000	25	84,0	1350
П91	32	84,0	1800	32	84,5	2000	32	84,0	1350
П92	42	86,0	1800	42	87,0	2000	42	86,0	1350
П101	-	-	-	55	87,5	1500	55	86,5	1250
П102	-	-	-	75	88,5	1500	75	87,5	1250
П111	-	-	-	100	89,0	1500	100	88,0	1250
П112	-	-	-	125	90,0	1500	125	89,0	1250
Частота обертання 750 об/хв									
П11	0,13	59,0	2000	0,13	59,0	2000	-	-	-
П12	0,2	66,0	2000	0,4	65,0	2000	-	-	-
П21	0,3	71,5	2000	0,3	68,6	2000	-	-	-
П22	0,45	73,5	2000	0,45	74,5	2000	-	-	-
П31	0,7	74,0	2000	0,7	75,0	2000	-	-	-
П32	1,0	79,5	2000	1,0	80,0	2000	-	-	-
П41	1,5	75,0	2000	1,5	73,0	2000	1,5	72,0	1500