

Міністерство освіти і науки України

**Тернопільський національний технічний університет
Імені Івана Пулюя**

**Кафедра систем електроспоживання
та комп'ютерних технологій в
електроенергетиці**

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт**

з дисципліни «Основи електроприводу»

**для студентів денної і заочної форм навчання
напряму 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”**

Тернопіль, 2017

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет
Імені Івана Пулюя

Кафедра систем
електроспоживання та
комп'ютерних технологій в
електроенергетиці

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт

з дисципліни «Основи електроприводу»

для студентів денної і заочної форм навчання
напряму 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”

Тернопіль, 2017

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи електроприводу» для студентів денної і заочної форм навчання напряму 6.050701 “Електротехніка та електротехнології”.

Укладач: Решетник В.Я., Кислиця Т.А – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2017. – 54 с.

Кафедра систем електроспоживання та комп’ютерних технологій в електроенергетиці

Укладач: к.т.н., доцент
асистент

Решетник В.Я.
Кислиця Т.А.

Рецензент: к.т.н., доцент

Буняк О.А.

Затверджено науково-методичною радою факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії,
протокол №8 від 3 березня 2017 р.

Затверджено на засіданні кафедри систем електроспоживання та комп’ютерних технологій в електроенергетиці,
протокол № 6 від 14 лютого 2017р.

ЗМІСТ

Практична робота №1	6
Практична робота №2	12
Практична робота №3	16
Практична робота №4	25
Практична робота №5	29
Перелік посилань	35
Додатки	36
Додаток А	
Додаток Б	
Додаток В	
Додаток Г	
Додаток Д	

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Дано: електродвигун постійного струму з паралельним збудженням має наступні номінальні дані:

- напруга $U_n = 220\text{ В}$;
- потужність P_n ;
- частота обертання якоря n_n ;
- коефіцієнт корисної дії (ККД) η_n ;
- струм збудження $I_{зб}$ у % від номінального струму двигуна;
- потужність втрат у якірному колі при номінальному навантаженні становить приблизно 50 % від загальної потужності втрат у двигуні.

Дані до варіантів задачі наведені у таблиці 1.1. Варіант задачі вибрати за номером прізвища у списку групи. Бланк завдання для розрахунку наведений у додатку А.

Таблиця 1.1 - Дані до практичного завдання №1.

<i>№ варіанту</i>	<i>P_n кВт</i>	<i>n_n об/хв</i>	<i>η_n %</i>	<i>$I_{зб}$ %I_n</i>	<i>№ варіанту</i>	<i>P_n кВт</i>	<i>n_n об/хв</i>	<i>η_n %</i>	<i>$I_{зб}$ %</i>
X	2,2	1000	80	3	10	12	1500	87	4
1	2,5	1000	81	3	11	15	1500	86	2
2	3,2	1000	83	3	12	19	1500	87	2
3	3,5	1000	82	3	13	20	1500	88	2
4	4,5	1000	84	3	14	25	1500	88	2
5	5,0	1000	82	3	15	25	1500	90	2
6	6,0	1000	85	3	16	32	1500	88	2
7	7,0	1000	86	3	17	35	1500	88	2
8	8,0	1000	86	3	18	42	1500	88	2
9	10,0	1000	87	3	19	45	1500	88	2

Визначити:

- номінальний момент двигуна M_n , номінальний струм I_n , що споживає двигун від мережі при номінальному навантаженні;
- опори кола якоря $R_{як}$ і ланцюга збудження $R_{зб}$;

- загальну потужність втрат;
- потужність постійних, механічних і магнітних втрат ΔP_m , вважаючи їх незалежними від навантаження;
- потужність змінних втрат;
- момент і частоту обертання при значеннях струму двигуна 0,25; 0,5; 0,75; $1,0 I_n$.

Побудувати в загальній системі координатних осей залежності $M = f_1(I_a)$; $n = f_2(I_a)$; $\eta = f_3(I_a)$, де I_a - струм якоря.

Примітки:

- механічні і магнітні втрати нероздільні, рахувати разом;
- постійні втрати знайти як суму механічних і магнітних і втрат на нагрівання обмотки збудження;
- залежність $\eta = f_3(I_a)$ можна будувати за формулами лекції 7, вважаючи коефіцієнт навантаження пропорційним струму якоря.

Хід роботи

1. Наведемо схему живлення двигуна (рисунок 1.1) і запишемо основні рівняння енергетичного балансу

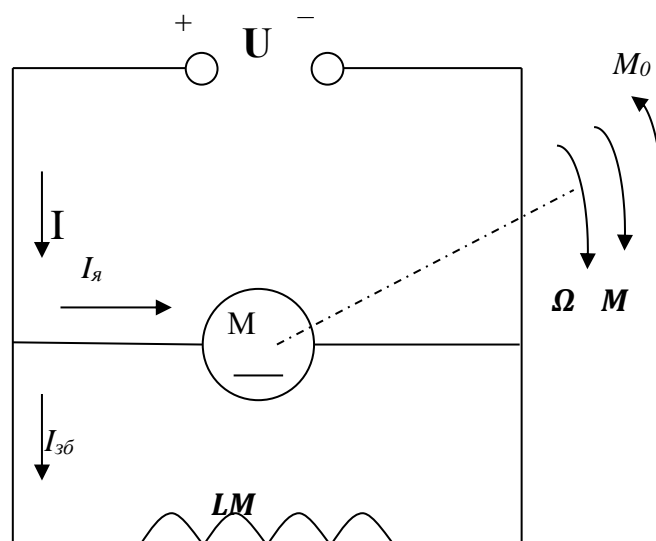


Рисунок 1.1 – Схема живлення двигуна

$$U = I_{я} R_{я} + L_{я} \frac{dI_{я}}{dt} + E;$$

$$J \frac{d\Omega}{dt} = M - M_0;$$

$$E = c \cdot \Omega; \quad c = k \cdot \Phi_n;$$

$$M = c \cdot I_{я}; \quad k = \frac{pN}{2\pi a};$$

$$I = I_{я} + I_{зб}.$$

2. Номінальний момент двигуна, $H \cdot m$, визначимо за формулою

$$M_n = \frac{P_n}{\Omega_n}.$$

3. Номінальний струм визначаємо за формулою

$$I_n = \frac{P_{1n}}{U_n},$$

де

$$P_{1n} = \frac{P_n}{\eta_n}.$$

4. Струм збудження і номінальний струм якоря

$$I_{зб} = 0,03 \cdot I_n,$$

$$I_{ян} = I_n - I_{зб}.$$

5. Опір кола якоря при номінальному навантаженні

$$R_n = \frac{U_n}{I_{ян}}.$$

6. Опір кола збудження

$$R_{зб} = \frac{U}{I_{зб}}.$$

7. Загальну потужність втрат знайдемо за формулою

$$\Delta P = P_{1n} - P_n.$$

8. Потужність механічних і магнітних втрат ΔP_M знайдемо за формулою

$$P_H = P_{1H} - \Delta P_{\text{я}} - \Delta P_{\text{зб}} - \Delta P_M,$$

звідки

$$\Delta P_M = \Delta P - \Delta P_{\text{я}} - \Delta P_{\text{зб}},$$

де $\Delta P_{\text{я}}$ - втрати в обмотці якоря – змінні втрати

$$\Delta P_{\text{я}} = I_{\text{ян}}^2 \cdot R_{\text{я}},$$

де

$$R_{\text{я}} \approx 0,5 \left(\frac{U_H}{I_{\text{ян}}} - \frac{P_H}{I_{\text{ян}}^2} \right),$$

$\Delta P_{\text{зб}}$ - втрати в обмотці збудження

$$\Delta P_{\text{зб}} = I_{\text{зб}}^2 \cdot R_{\text{зб}}.$$

9. Для побудови графіка $M=f_I(I_{\text{я}})$ використовуємо залежність

$$M = c \cdot I_{\text{я}},$$

а для графіка $n=f(I_{\text{я}})$ – рівняння електромеханічної характеристики

$$\Omega = \frac{U}{c} - \frac{R_{\text{я}}}{c} \cdot I_{\text{я}}.$$

Ці графіки є прямими лініями, тому їх можна побудувати по двох точках. Але для того треба знайти величини c і Ω_0 або n_0 .

Рівняння електромеханічної характеристики для $\Omega = \Omega_n$ має вигляд

$$c\Omega_n = U_n - I_{ян} \cdot R_{я},$$

тому

$$c = \frac{U_n - I_{ян} \cdot R_{я}}{\Omega_n}.$$

Отже графік $M=f_1(I_{я})$ будемо по двох точках:

1 точка: $I_{я}=0; \quad M=0;$

2 точка: $I_{я}= I_{ян}, \quad M=M_n.$

Графік $n=f_2(I_{я})$ будемо також по двох точках:

1 точка: $n=n_0, \quad I_{я}=0;$

2 точка: $n=n_n, \quad I_{я}= I_{ян}.$

Знайдемо Ω_0 (c^{-1}), n_0 (об/хв), з рівняння електромеханічної характеристики

$$\Omega_0 = \frac{U_n}{c},$$

$$n_0 = 9.55\Omega_0.$$

Характеристику $\eta=f_3(I_{я})$ будувати складніше, тому, що η нелінійно залежить від навантаження. Перш за все треба отримати рівняння залежності η від $I_{я}$. Виходимо з визначення ККД як відношення корисної потужності на валу двигуна до потужності, яку забирає двигун з мережі.

Корисна потужність – це $P_{мех}-\Delta P_{мех}$, $\Delta P_{мех}$ – потужність механічних втрат.

Тобто

$$\eta = \frac{P_{мех} - \Delta P_{мех}}{P_{1н}},$$

де

$$P_{mex} = M \cdot \Omega,$$

$$\Delta P_{mex} \approx 0,5 \Delta P_M,$$

$$P_{I_H} = U(I_{я} + I_{зб}).$$

Отже

$$M\Omega = cI_{я} \left(\frac{U}{c} - \frac{I_{я}R_{я}}{c} \right) = UI_{я} - R_{я}I_{я}^2;$$

$$\eta = \frac{UI_{я} - R_{я}I_{я}^2 - 0,5\Delta P_M}{U(I_{я} + I_{зб})}.$$

Підставляємо значення $I_{я}$, знаходимо η (дані занести в таблицю 1.2).

Таблиця 1.2 – Результати розрахунку

$I_{я}$	1	3	6	9	1,125	15
η						

10. Будуємо графік залежностей характеристик двигуна в загальній системі координатних осей ($M = f_1(I_{я})$; $n = f_2(I_{я})$; $\eta = f_3(I_{я})$).

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Дано: трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має наступні номінальні дані:

- лінійна напруга U_n ,
- потужність P_n ,
- ковзання S_n ,
- ККД η_n ,
- коефіцієнт потужності $\cos\varphi_n$,
- число пар полюсів P ,
- перевантажна здатність $K_m = \frac{M_{\max}}{M_n}$,
- кратність пускового моменту $K_n = \frac{M_n}{M_n}$,
- кратність пускового струму $K_i = \frac{I_n}{I_n}$.

Дані до варіантів задачі наведені у таблиці 2.1. Варіант задачі вибрати за номером прізвища у списку групи. Бланк завдання для розрахунку наведений у додатку Б.

Визначити:

- номінальний I_n і пусковий I_n струми,
- номінальний M_n , пусковий M_n і максимальний M_{\max} моменти.
- повні втрати ΔP_n у двигуні при номінальному навантаженні,
- пусковий момент при зниженні напруги на 15% від номінального,
- побудувати механічну характеристику двигуна $s = f(M)$.

Таблиця 2.1 - Дані до практичного завдання №2.

№ варіанту	U_n , В	P_n , кВт	s_n , %	η_n	$\cos \phi_n$	P	k_m	k_n	k_I
X	220	0,8	3,0	0,78	0,86	1	2,2	1,9	7
1	220	0,1	3,0	0,79	0,88	1	2,2	1,9	7
2	220	1,5	3,0	0,80	0,87	1	2,2	1,8	7
3	220	2,2	4,0	0,83	0,89	1	2,2	1,8	7
4	220	3,0	4,5	0,84	0,89	1	2,2	1,7	7
5	220	4,0	3,5	0,85	0,89	1	2,2	1,7	7
6	220	5,5	2,0	0,86	0,89	1	2,2	1,7	7
7	220	7,5	3,0	0,87	0,89	1	2,2	1,6	7
8	220	10	3,5	0,88	0,89	1	2,2	1,5	7
9	220	13	4,0	0,88	0,89	1	2,2	1,5	7
10	220	17	3,5	0,88	0,90	1	2,2	1,2	7
11	220	22	3,5	0,88	0,90	1	2,2	1,1	7
12	220	30	3,5	0,89	0,90	1	2,2	1,1	7
13	220	40	3,0	0,90	0,91	1	2,2	1,0	7
14	220	55	3,0	0,90	0,92	1	2,2	1,0	7
15	220	75	3,0	0,91	0,92	1	2,2	1,0	7
16	220	100	3,0	0,885	0,92	1	2,2	1,0	7
17	380	10	2,5	0,885	0,87	2	2,0	1,4	7
18	380	13	3,0	0,89	0,89	2	2,0	1,3	7
19	380	17	3,0	0,89	0,89	2	2,0	1,3	7
20	220	0,1	3,0	0,79	0,88	1	2,2	1,9	7
21	220	1,5	3,0	0,80	0,87	1	2,2	1,8	7
22	220	2,2	4,0	0,83	0,89	1	2,2	1,8	7
23	220	3,0	4,5	0,84	0,89	1	2,2	1,7	7
24	220	4,0	3,5	0,85	0,89	1	2,2	1,7	7
25	220	5,5	2,0	0,86	0,89	1	2,2	1,7	7

Хід роботи

1. Визначаємо номінальну потужність, яка споживається двигуном від мережі

$$P_{1n} = U_n I_n \cos \phi_n \sqrt{3} = \frac{P_n}{\eta_n}.$$

2. Знаходимо номінальний і пусковий струм

$$I_n = \frac{P_{n1}}{\sqrt{3} U_n \cdot \cos \phi_n},$$

$$I_n = k_i I_H.$$

3. Синхронна частота рівна

$$n_0 = \frac{60f}{P}.$$

4. Номінальна частота знаходиться з формули

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0},$$

$$n_H = n_0 - s_H n_0.$$

5. Знаходимо номінальний момент

$$M_H = \frac{P_H}{\Omega_H}.$$

6. Максимальний момент рівний

$$M_{\max} = k_M M_H.$$

7. Пусковий момент

$$M_n = k_n M_H.$$

8. Пусковий момент при $U=0,85U_H$ знайдемо, виходячи з того, що момент пропорційний квадрату напруги. Складемо рівняння пропорції

$$1^2 U_H^2 \rightarrow M_n,$$

$$U_n^2 \cdot 0,85^2 \rightarrow M_{xn},$$

$$M_{xn} = 0,85^2 M_n.$$

9. Для побудови механічної характеристики маємо чотири точки

$$1 \text{ точка} - s=0; M=0,$$

$$2 \text{ точка} - s=s_n; M=M_n,$$

$$3 \text{ точка} - s=s_k; M=M_{max},$$

$$4 \text{ точка} - s=l; M=M_n.$$

Знайдемо s_k

$$s_k = s_n \left(k_M \pm \sqrt{k_M^2 - 1} \right).$$

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Дано: двигун постійного струму паралельного збудження, тип якого вибирати відповідно до варіанту задачі (таблиця 3.1), а паспортні дані наведені в таблицях 3.2 і 3.3. Варіант задачі вибрати за номером прізвища у списку групи. Бланк завдання для розрахунку наведений у додатку В.

Визначити:

- побудувати природну швидкісну і механічну характеристики;
- розрахувати опори чотириступеневого пускового реостату;
- побудувати пускові характеристики;
- накреслити схему автоматичного пуску в функції часу і описати її роботу.

Таблиця 3.1 - Дані до практичного завдання №3

<i>№ варіанту</i>	<i>Тип двигуна</i>	<i>№ варіанту</i>	<i>Тип двигуна</i>
0	4ПФ132S	13	П72
1	4ПФ112S	14	4ПФ132М
2	4ПФ112М	15	П81
3	4ПФ112L	16	4ПФ160L
4	П52	17	П91
5	4ПФ132L	18	4ПФ160L
6	П82	19	4ПФ180М
7	4ПФ160М	20	4ПФ132S
8	П92	21	4ПФ112S
9	П101	22	4ПФ112М
10	П16	23	4ПФ112L
11	П62	24	П52
12	П71	25	4ПФ132L

Примітки

1. При розрахунках брати до уваги, що $I_{я} = I - I_{зб}$, де $I_{зб}$ - струм обмотки збудження.
2. Методика побудови пускових реостатних характеристик наведена в літературі [Л1; Л2; Л3].
3. Схема пуску двигуна у функції часу наведена в Л1, с.86.

Хід роботи

1. Для побудови природних характеристик знайдемо деякі величини, а саме:

- струм збудження

$$I_{зб} = \frac{P_{зб}}{U} = \frac{U}{R_{зб}};$$

- номінальний струм якоря

$$I_{ян} = I_n - I_{зб};$$

- потужність, яку забирає двигун від джерела живлення

$$P_{1н} = U I_n;$$

- коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{P_n}{P_{1н}};$$

- опір обмотки якоря

$$R_я \approx 0.5 \left(\frac{U_n}{I_{ян}} - \frac{P_n}{I_{ян}^2} \right);$$

- швидкість ідеального холостого ходу Ω_0 знайдемо з рівняння балансу напруг на обмотці якоря

$$U_n = I_{ян} R_я + E_n,$$

$$E_n = c \cdot \Omega_n,$$

$$c \cdot \Omega_n = U_n - I_{ян} R_я,$$

$$c = \frac{U_n - I_{ян} R_я}{\Omega_n},$$

$$\Omega_n = \frac{\pi n_n}{30},$$

$$\Omega_0 = \frac{U_n}{c},$$

$$n_0 = \frac{30}{\pi} \Omega_0.$$

2. Тепер маємо всі дані для побудови природних швидкісної і механічної характеристик. Рівняння швидкісної характеристики

$$\Omega = \frac{U}{c} - \frac{R_я}{c} I_я,$$

Характеристики є прямими, які можна побудувати по двох точках.

Для швидкісної характеристики $\Omega = f(I_я)$

1 точка : $\Omega = \Omega_0; I_я = 0;$

2 точка : $\Omega = \Omega_n; I_я = I_{ян}.$

Для механічної характеристики $\Omega = f(M)$

1 точка : $\Omega = \Omega_0; M = 0.$

2 точка : $\Omega = \Omega_n; M = M_n, M_n = c I_{ян}$

4. Для розрахунку пускового реостату будемо пускові (реостатні) характеристики у відносних осях координат (рисунок 1). По осі у відкладаємо відносну швидкість $v = \Omega / \Omega_0 = n / n_0$, по осі x – відносний момент $\mu = M / M_n$.

При побудові пускових характеристик виходимо з того, що пусковий реостат повинен забезпечувати пусковий струм, при якому пусковий момент має бути в $2 \div 2,5$ рази більший за номінальний, тобто

$$M_n = 2-2,5M_n.$$

Прийmemo $M_n=2M_n$, тобто $\mu_n=\mu_l=2$. При переході з одної характеристики на наступну, момент повинен бути приблизно в 1,1-1,2 більше номінального. Прийmemo $\mu_2=1,2$.

Спочатку будемо природну механічну характеристику у відносних координатах.

Рівняння характеристики

$$\Omega = \frac{U}{c} - \frac{I_a R}{c}$$

запишемо у вигляді

$$\Omega = \Omega_0 \left(1 - \frac{I_a R_a}{U} \right),$$

або

$$\frac{\Omega}{\Omega_0} = 1 - \frac{I_a / I_{ян} \cdot R_a}{U_n / I_{ян}},$$

або

$$v = 1 - \Delta v.$$

Для точки, в якій Ω_n і $I_{ян}$ $\Delta v = R_a/R_n$.

Отже рівняння природної характеристики в точці $\mu=1$

$$v = 1 - \frac{R_a}{R_n}.$$

Для природної характеристики

1 точка $v = 1, \mu = 0$;

2 точка $v = 1 - R_{\text{я}}/R_{\text{н}}, \mu = 1$.

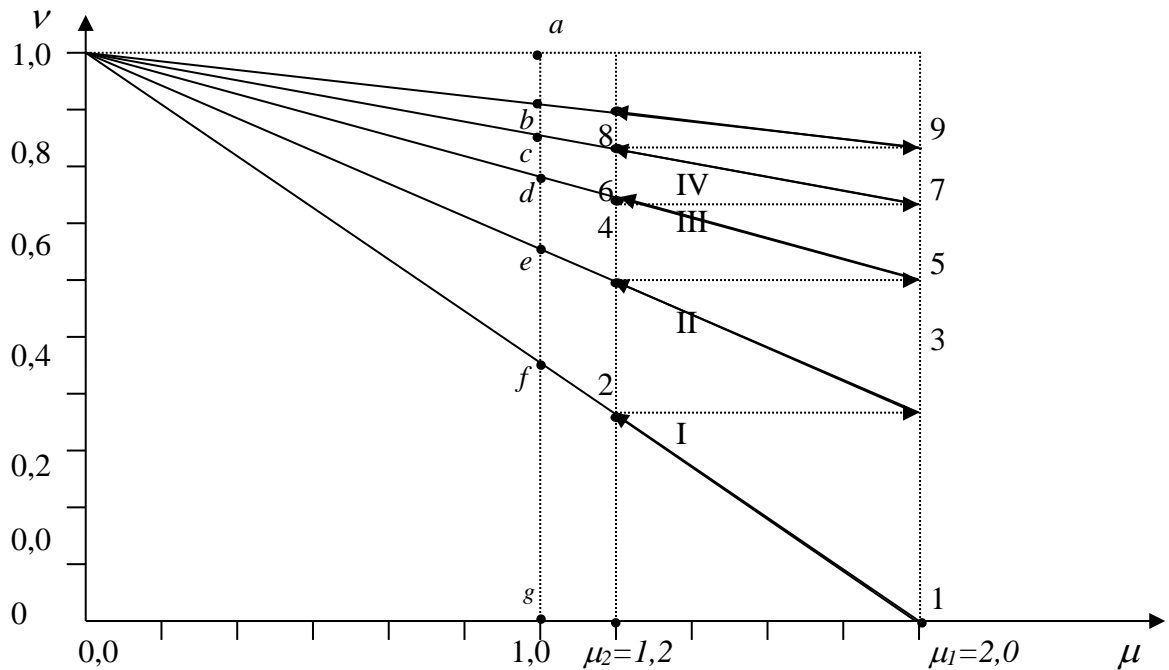


Рисунок 3.1 – Пускові характеристики двигуна

Щоб забезпечити пусковий момент $\mu=2$ пускова характеристика повинна починатися в точці 1. Вмикання і розгін двигуна починається з цієї точки і відбувається по характеристиці I до точки 2. У точці 2 перший ступінь реостата вимикається (закорочується). Завдяки інерції двигуна швидкість миттєво не змінюється, а струм і момент змінюються до значень, властивих точці 3. Стан двигуна переходить в точку 3 і розгін двигуна продовжується по характеристиці II до точки 4. У точці 4 вимикається другий ступінь реостата, стан двигуна перейде у точку 5. Так буде відбуватись, поки двигун не перейде у стан що характеризується точкою b на природній характеристиці. Це буде усталений стан, у якому швидкість набула номінальної величини n_n і момент навантаження має значення M_n .

5. Тепер розрахуємо значення опорів пускового реостату.

При встановленні масштабу відносних осей координат вводимо пропорцію

$$\frac{ab}{ag} = \frac{R_{я}}{R_{н}},$$

згідно з якою

$$R_{я} = \frac{ab}{ag} R_{н},$$

з цього виходить, що

$$R_{я} + R_{р} = \frac{af}{ag} R_{н}$$

або

$$R_{я} + R_{р} = \frac{af}{ag} R_{н} - R_{я}.$$

Згідно з останнім

$$R_1 = \frac{ef}{ag} R_{н} = 0,2 \cdot R_{н},$$

$$R_2 = \frac{de}{ag} R_{н} = 0,11 \cdot R_{н},$$

$$R_3 = \frac{cd}{ag} R_{н} = 0,08 \cdot R_{н},$$

$$R_4 = \frac{bc}{ag} R_{н} = 0,04 \cdot R_{н},$$

$$R_{р} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{bf}{ag} R_{н} = 0,43 \cdot R_{н}.$$

6. Далі розглянемо схему пуску двигуна з реостатом на 4 ступені і розгоном у функції часу (рисунок 3.2).

У схемі – *КМ1-КМ5* – магнітні контактори, *КТ1-КТ4* – реле часу з затримкою на відпускання. Схема зображена у вихідному положенні, коли напруга *U* не ввімкнена.

При вмиканні напруги через обвитку збудження спрацьовує реле *КТ1* і розмикає контакти в колі живлення контакторів *КМ2-КМ5*. У такому стані схема

буде залишатися поки не натиснути кнопку $SB2$ (пуск). При натисканні цієї кнопки потече струм через обвитку контактора $KM1$, контактор $KM1$ спрацює, замкне контакт $KM1$ в колі якоря, через якір і реостат потече силовий струм, якір почне обертатися.

Одночасно замкнеться контакт $KM1$, який паралельно з кнопкою $SB2$ (контактор $KM1$ сам себе заблокував). Тепер, якщо відпустити кнопку $SB2$, контактор буде під струмом, при спрацюванні контактора $KM1$ розімкнеться його контакт у колі живлення реле $KT1$, реле відключиться, але буде тримати деякий час, за який двигун розгониться від точки 1 до точки 2 пускової характеристики.

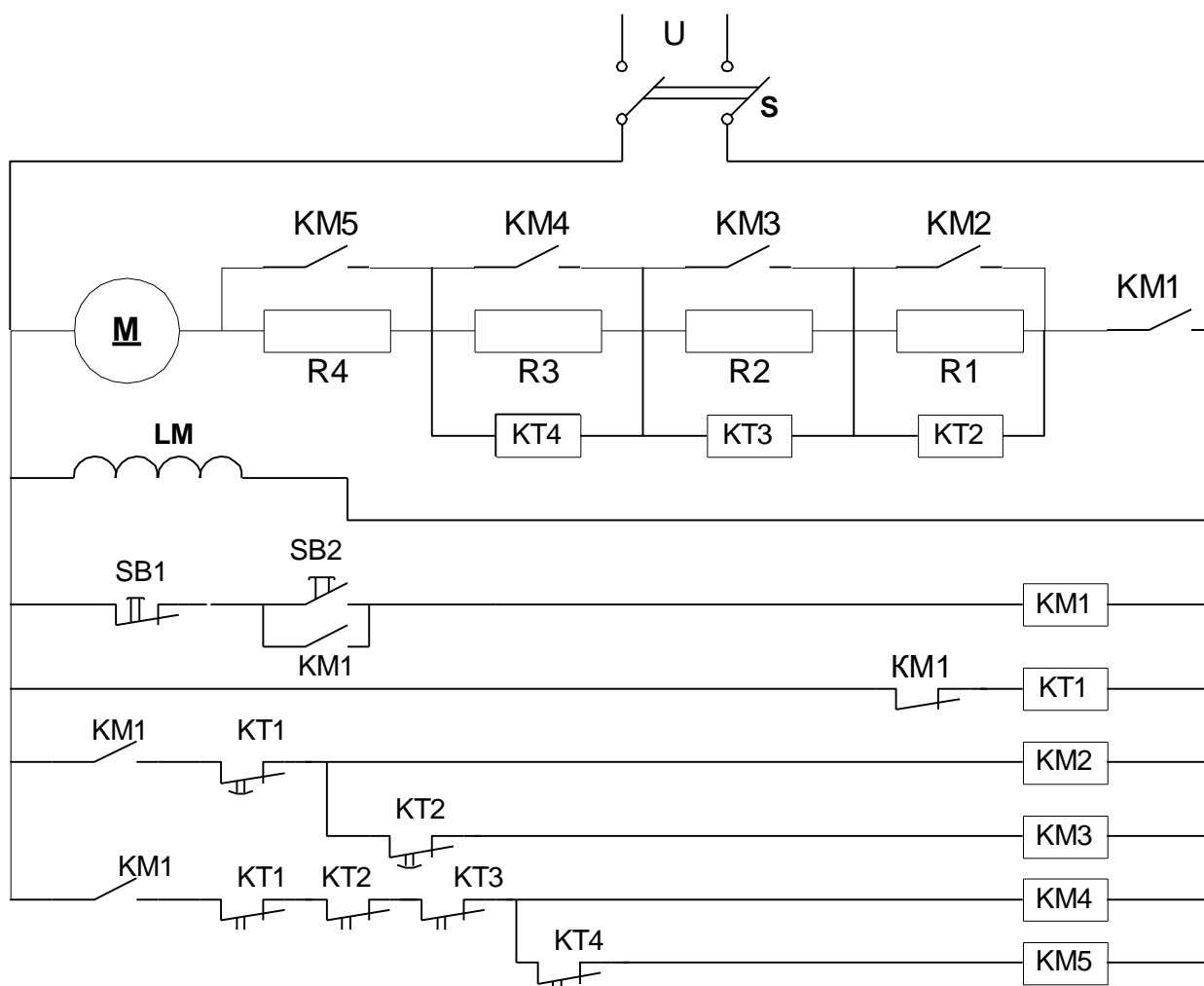


Рисунок 3.2 – Схема пуску і розгону двигуна у функції часу

В точці 2 реле $KT1$ відпустить свій якір і замкне контакт $KT1$ у колі живлення контактора $KM2$. Цей контактор спрацює і замкне контакт, який стоїть паралельно $R1$. Резистор $R1$ закоротиться, реле $KT2$ втратить живлення, але ще буде тримати свої контакти, а двигун перейде із точки 2 у точку 3 пускової характеристики.

Подальший розгін двигуна буде здійснюватися по характеристиці II, при меншому опорі реостату. У точці 4 реле $KT2$ відпустить, спрацює контактор $KM3$, закоротить ступінь $R2$ пускового реостата. Стан двигуна перейде у точку 5, розгін буде продовжуватись, поки не закоротяться всі ступені реостата, а стан двигуна буде у точці b природної характеристики. Ця точка є точкою усталеного режиму з номінальними значеннями швидкості і момента навантаження. Для вимкнення двигуна треба натиснути кнопку $SB1$, контактор $KM1$ розімкне контакт у колі якоря, двигун почне зменшувати швидкість. Для прискорення зупинки двигуна можна застосувати динамічне гальмування або гальмування противмиканням.

Таблиця 3.2 – Технічні дані електродвигунів постійного струму для приводів головного руху верстатів

Тип електро-двигуна	$P_n, кВт$	$I_n, А$	$U_n, В$	$n_n, \frac{об}{хв}$	$n_{max}, \frac{об}{хв}$	$j, кг \cdot м^2$	$P_{зб}, кВт$
4ПФ112S	7,5	19,5	440	2220	5000	0,047	0,327
4ПФ112М	7,5	20	440	1470	5000	0,056	0,59
4ПФ112L	8,0	20,6	440	1350	5000	0,0625	0,66
4ПФ132S	15	85	220	1320	4500	0,095	0,75
4ПФ132М	22	59	440	1485	4500	0,116	0,76
4ПФ132L	24	64	440	1330	4500	0,135	0,83
4ПФ160S	30	75	440	1485	4000	0,250	0,98
4ПФ160М	22	57	440	1070	4000	0,290	1,035
4ПФ160L	30	78	440	1075	4000	0,325	1,2
4ПФ180М	37	97	440	1075	3800	0,440	1,16
4ПФ180L	45	117	440	1030	3800	0,580	1,55

Таблиця 3.3 – Технічні дані електродвигунів постійного струму серії П ($U_n = 220 \text{ В}$, $n_n = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$, $p = 2$, $2a = 2$) загальнопромислового використання

Тип електро-двигуна	$P_n, \text{кВт}$	$I_n, \text{А}$	$n_{max}, \text{об/хв}$	$\eta_n, \%$	$R_{я} + R_{дн}, \text{Ом}$ при 20°C	$R_{зб.}, \text{Ом}$ при 20°C	GD^2 кг.м^2
П52	4,5	25,2	2000	81	0,432+0,200	184	0,4
П61	6,0	32,6	2000	83,5	0,32+0,174	158	0,56
П62	8,0	43	2000	85	0,226+0,102	136	0,65
П71	11	60	2000	79,5	0,224+0,076	85	1,4
П72	14	78	2000	81	0,172+0,065	108	1,6
П81	19	105	2000	82	0,1+0,0345	96,2	2,7
П82	25	133	2000	85,5	0,0806+0,0318	79,2	3,1
П91	32	171	2000	85	0,0503+0,0163	35,8	5,9
П92	42	219	2000	87	0,0402+0,0145	48,4	7,0
П101	55	286	1500	87,5	0,0206+0,0086	37,8	10,3

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Дано: для електроприводу виробничого механізму вибрано двигун постійного струму з незалежним збудженням. Тип двигуна вибрати відповідно до варіанту задачі (*той самий що і в практичній роботі №3*) (таблиця 3.1), а паспортні дані наведені в таблицях 3.2 і 3.3. Варіант задачі вибрати за номером прізвища у списку групи. Бланк завдання для розрахунку наведений у додатку Г.

Визначити:

- визначити тривалість пуску і розгону двигуна до номінальної швидкості;
- розрахувати значення опорів резисторів, які потрібно ввімкнути в режим динамічного гальмування і в режим противмикання за умовою, щоб максимальне значення струму при переході на цей режим не перевищувало $2I_n$, а двигун у гальмівних режимах працював з номінальним навантаженням.

Примітки

4. Тривалість пуску визначити з рівняння руху електроприводу, вважаючи пусковий момент незмінним і рівним $M_n = 2M_n$, а момент опору $M_0 = M_n$. Момент інерції електроприводу вважати рівним $j = (1,3...1,7)j_{об}$.
5. Значення опорів додаткових резисторів, що вмикаються в режимах гальмування, розрахувавши за рівняннями рівноваги напруг у якірному ланцюгу в режимах динамічного гальмування і противмикання за умовою, щоб струм при цих режимах не перевищував значення $I = 2I_n$.

Хід роботи

Режими динамічного гальмування і гальмування противмиканням застосовуються для швидкої зупинки двигуна.

1. Розглянемо характеристики і схему динамічного гальмування, зображені на рис. 4.1.

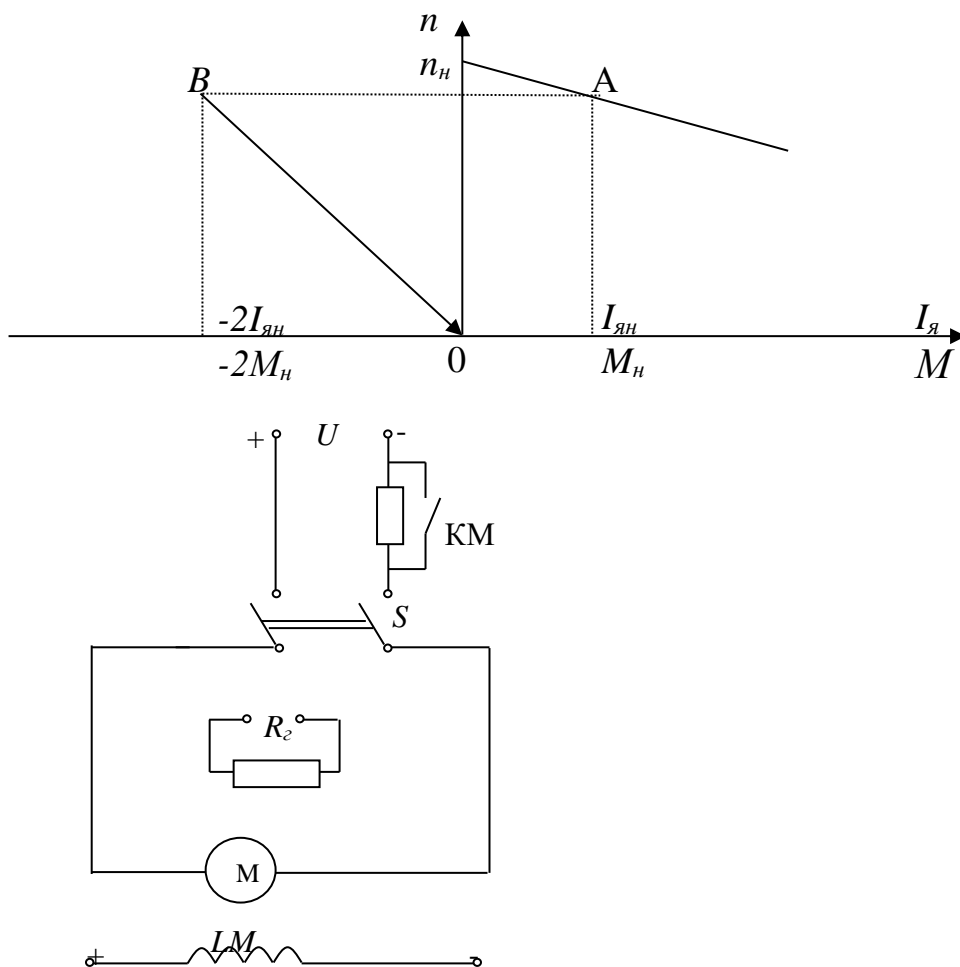


Рисунок 4.1 – Характеристики і схема двигуна у режимі динамічного гальмування

Динамічне гальмування полягає у тому, що для зупинки двигуна напруга з якоря вимикається, а якірня обмотка замикається на резистор R_2 , яким визначається струм в обмотці і гальмівний момент. Якщо гальмування починається з точки А, де швидкість і момент мають номінальні значення, то при знятті напруги і замиканні якоря на резистор R_2 , двигун з попереднього режиму переходить в режим генератора, створюється протидіючий момент, під дією якого швидкість спадає до нуля по прямій BO .

Рівняння електричного балансу у цьому режимі має вигляд

$$0 = -I_{я}(R_2 + R_{я}) + c\Omega.$$

Якщо $\Omega = \Omega_n$, $I_{я} = 2I_{ян}$, то

$$R_2 = \frac{c\Omega_n}{2I_{ян}} - R_я,$$

2. Розглянемо характеристики і схему гальмування противмиканням, зображені на рис. 2.

Гальмування противмиканням здійснюється тим, що за допомогою перемикача S полярність напруги на якорі змінюється на протилежну. При цьому стан двигуна з робочої точки A переходить у точку B , швидкість зменшується по характеристиці BC під впливом протидіючого моменту двигуна. У точці C напругу треба зняти. Якщо в цей момент якір не вимкнути, то він почне розганятися, у напрямі, протилежному напрямку робочого режиму.

Рівняння електричного балансу напруги якоря при гальмуванні

$$-U = c\Omega + I_я(R_2 + R_я)$$

Якщо $\Omega = \Omega_n$ $I_я(2 \cdot I_я) = 2I_{ян}$. То

$$R_2 = \frac{U + c\Omega_n}{2I_{ян}} - R_я;$$

3. Тривалість пуску і розгону двигуна визначимо за рівнянням

$$t_n = \int_0^{\Omega_n} J \frac{d\Omega}{M_n - M_0},$$

з якого

$$t_n = \frac{J\Omega_n}{M_n - M_0}.$$

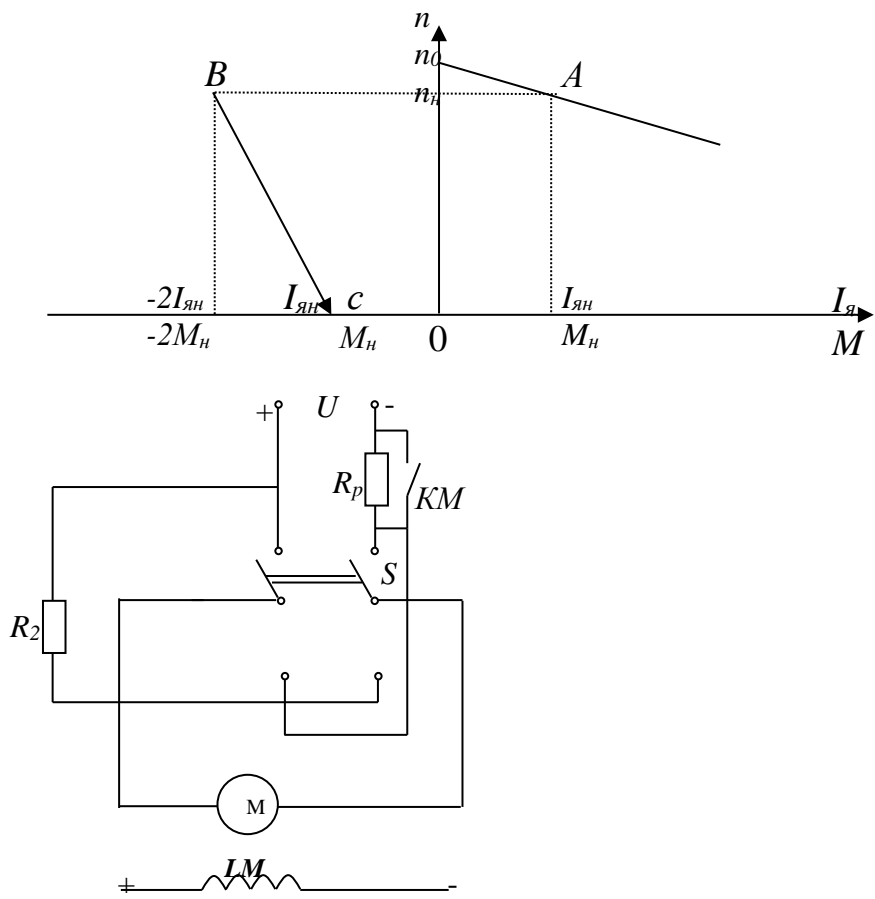


Рисунок 4.2 – Характеристика і схема двигуна при гальмуванні протівмиканням

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Дано: для електроприводу підйимально-транспортного механізму вибрати двигун згідно свого варіанту з таблиці 5.1. Паспортні дані двигунів наведені в таблиці 5.2. Варіант задачі вибрати за номером прізвища у списку групи. Бланк завдання для розрахунку наведений у додатку Д.

Потрібно:

- розрахувати пусковий струм та коефіцієнт корисної дії двигуна;
- розрахувати і побудувати механічні характеристики – природну і штучні при напрузі мережі живлення $u_1 = k_1 U_n$ та $u_2 = k_2 U_n$;
- розрахувати швидкості і потужності двигуна при умові, що момент опору механізму, зведений до валу двигуна $M_0 = k_3 M_n$ при роботі і на природній і на штучних характеристиках.

Таблиця 5.1 - Дані до практичного завдання №5

№ вар.	Тип двигуна	k_1	k_2	k_3	№ вар.	Тип двигуна	k_1	k_2	k_3
0	МТК-11-6	0,80	1,10	1,20	13	МТК-31-6	0,84	1,15	1,22
1	МТК-12-6	0,82	1,12	1,22	14	МТК-21-6	0,82	1,14	1,24
2	МТК-22-6	0,84	1,14	1,24	15	МТК-31-8	0,80	1,12	1,25
3	МТК-31-6	0,86	1,16	1,26	16	МТК-41-8	0,82	1,14	1,26
4	МТК-21-6	0,88	1,18	1,29	17	МТК-42-8	0,84	1,16	1,28
5	МТК-31-8	0,90	1,20	1,24	18	МТК-51-8	0,86	1,18	1,24
6	МТК-41-8	0,87	1,18	1,22	19	МТК-52-8	0,85	1,20	1,20
7	МТК-42-8	0,85	1,16	1,20	20	МТК-12-6	0,82	1,12	1,22
8	МТК-51-8	0,83	1,14	1,18	21	МТК-22-6	0,84	1,14	1,24
9	МТК-52-8	0,80	1,12	1,15	22	МТК-31-6	0,86	1,16	1,26
10	МТК-11-6	0,90	1,2	1,15	23	МТК-21-6	0,88	1,18	1,29
11	МТК-12-6	0,88	1,18	1,18	24	МТК-31-8	0,90	1,20	1,24
12	МТК-22-6	0,86	1,16	1,20	25	МТК-41-8	0,87	1,18	1,22

Примітки:

1. Штучні характеристики розраховують за даними розрахунку природної характеристики зважаючи на те, що $M = f(U^2)$, тому для одних і тих же значень ковзання $M_1 = M_{np} \cdot k_1^2$, $M_2 = M_{np} \cdot k_2^2$, де M_1, M_2 - значення моментів на штучних характеристиках, M_{np} - значення моменту на природній характеристиці.
2. Швидкості визначаються по $S = \frac{n_0 - n}{n_0}$. Щоб знайти швидкості при $M_0 = k_3 M_n$, необхідно по характеристиці знайти відповідне значення ковзання S при цьому моменті.
3. Потужність двигуна при роботі з моментом опору $M_0 = k_3 M_n$ знаходять за формулою $P = \frac{M_0 \cdot n}{9550} \text{ кВт}$, де n - швидкість двигуна при роботі на відповідній характеристиці при моменті M_0 .
4. Всі характеристики будувати на одному рисунку (у одних осях координат).

Хід роботи

1. Знаходимо ККД двигуна

$$\eta_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{сн} I_{сн} \cos \phi_n}.$$

2. Пусковий струм двигуна

$$\frac{I_{сн}}{I_{сн}} = x, .$$

$$I_{сн} = x \cdot I_{сн}.$$

3. Природну характеристику будуюмо за рівнянням

$$M \frac{2M_k (1 + as_k)}{\frac{s_x + s_k}{s_k} + 2as_k}$$

За табличними даними знаходимо коефіцієнти a , s_h , s_k

$$a = \frac{R_c}{R_p},$$

$$s_h = \frac{n_0 - n_H}{n_0},$$

$$s_k = \frac{R_p}{\sqrt{R_c^2 + (x_c + x_p)^2}}.$$

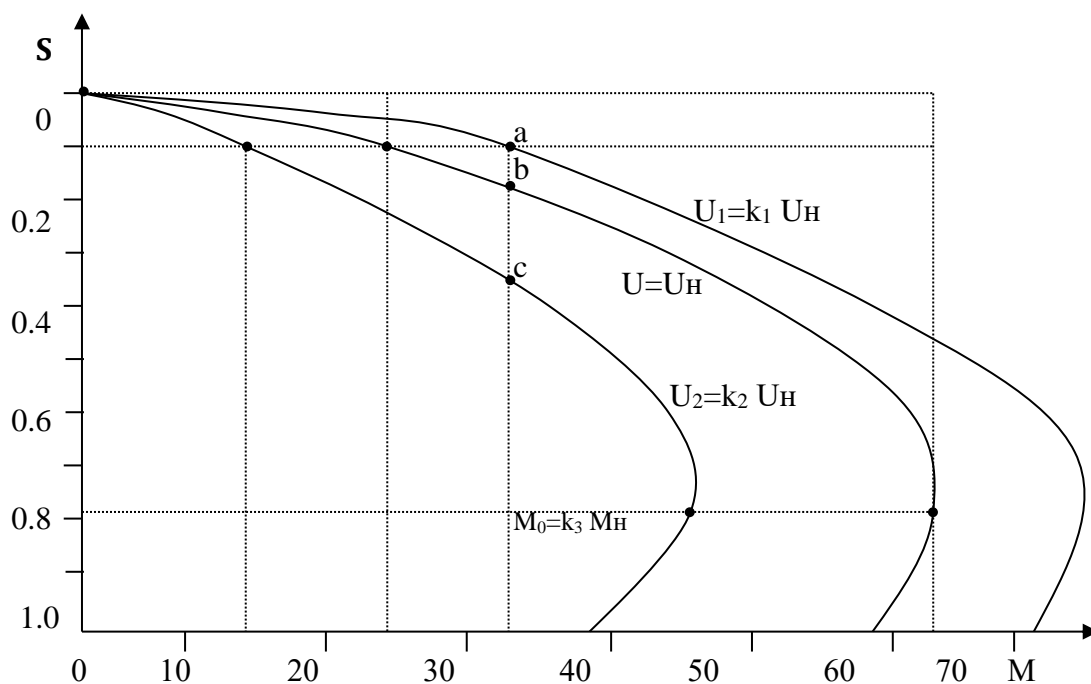


Рисунок 5.1 - Механічні характеристики двигуна МТК

Розраховуємо значення моментів

$$M_H = P_H / \Omega_H, \text{ НМ}$$

$$\frac{M_{\max}}{M_H} = y,$$

$$M_k = M_{max} = y \cdot M_n, HM$$

$$\frac{M_n}{M_n} = z,$$

$$M_n = z \cdot M_n, HM$$

Для побудови природної механічної характеристики маємо 4 точки:

$$1) \quad s=0; \quad M=0.$$

$$2) \quad s=s_n; \quad M=M_n.$$

$$3) \quad s=s_k; \quad M=M_k.$$

$$4) \quad s=1; \quad M=M_n.$$

Для побудови штучних характеристик складаємо пропорцію:

$$(1U_n)^2 - M_n$$

$$(k_1U_n)^2 - M_{x1}$$

$$(k_2U_n)^2 - M_{x2}$$

$$M_{n1} = k_1^2 \cdot M_n, \text{ при напрузі } U_1 = k_1 U_n$$

$$M_{n2} = k_2^2 \cdot M_n, \text{ при напрузі } U_2 = k_2 U_n$$

Знаходимо відповідні значення максимального і пускового моментів M_{k1}, M_{n1} і M_{k2}, M_{n2} .

Знаходимо точки для побудови штучних характеристик при напрузі U_1 та U_2

Для побудови штучної механічної характеристики при напрузі U_1 маємо 4 точки:

$$1) \quad s_1=0; \quad M_1=0.$$

$$2) \quad s_1=s_n; \quad M_1 = M_{n1} = M_n \cdot k_1^2,$$

$$3) \quad s_1=s_k; \quad M_1 = M_{k1} = M_k \cdot k_1^2,$$

$$4) \quad s_1=1; \quad M_1 = M_{n1} = M_n \cdot k_1^2.$$

Для побудови штучної механічної характеристики при напрузі U_2 маємо 4 точки:

- 1) $s_2=0; M_2=0.$
- 2) $s_2=s_n; M_2 = M_{n2} = M_n \cdot k_2^2,$
- 3) $s_2=s_k; M_2 = M_{k2} = M_k \cdot k_2^2,$
- 4) $s_2=1; M_2 = M_{n2} = M_n \cdot k_2^2.$

4. Від точки $M_0=k_3 \cdot M_n$ проводимо вертикаль (рисунок 1), яка пересікає характеристики у точках a, b, c .

5. Потужність двигуна в точках a, b, c при роботі з моментом опору $M_0=k_3 \cdot M_n$ знаходимо за формулою

$$P_a=(M_0 \cdot n_a)/9550 \text{ кВт},$$

де n_a – знаходимо за характеристиками за формулою

$$n_a = n_0 - s_a \cdot n_0.$$

Ковзання в точках a, b, c знаходимо по шкалі s на графіку рис.5.1.

Аналогічно знаходимо P_b і P_c .

Таблиця 5.2 - Технічні дані краново-металургійних двигунів, асинхронних з коротко-замкнутим ротором типу МТК, $U_{сн} = 380 \text{ В}$; $n_0 = 1000 \text{ об/хв}$, $p = 3$.

Тип двигуна	$P_n,$ кВт	$n_n,$ $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$	$\frac{M_{\max}}{M_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	Статор								Ротор				$j,$ кЗ · м ²
					$\frac{I_{сн}}{I_{сн}}$	cosφ			$I_{сн},$ А	$I_{сх},$ А	$R_c,$ Ом	$x_c,$ Ом	$I'_{рн},$ А	$R'_p,$ Ом	$x'_{p},$ Ом	$K_r = k^2 e$	
						пуск овий	номі наль ний	хол. ходу									
МТК 11-6	2,2	893	2,6	2,4	3,3	0,86	0,76	0,36	6,4	4,7	3,76	2,54	4,2	5,02	2,88	$5,3 \cdot 10^4$	0,04
МТК 12-6	9,5	875	2,6	2,5	3,6	0,84	0,78	0,33	9,6	6,8	2,09	1,605	6,85	3,36	1,915	$2,35 \cdot 10^4$	0,0625
МТК 22-6	7,5	905	3,1	3,0	4,4	0,74	0,76	0,30	19,3	12,0	0,685	0,738	13,6	1,33	1,07	$1,005 \cdot 10^4$	0,13
МТК 31-8	7,5	682	3,0	2,9	4,5	0,77	0,76	0,23	19,1	13,5	0,788	0,898	13,2	1,296	0,708	$1,06 \cdot 10^4$	0,25
МТК 41-8	11,0	685	4,0	3,8	4,5	0,7	0,73	0,24	28,8	19,4	0,43	0,526	19,5	0,84	0,662	$0,94 \cdot 10^4$	0,445
МТК 42-8	16,0	685	3,3	3,1	4,8	0,71	0,76	0,23	39,6	25,8	0,371	0,36	28,6	0,598	0,566	$0,46 \cdot 10^4$	0,65
МТК 51-8	22,0	692	3,1	2,8	5,0	0,61	0,77	0,27	52,6	28,8	0,173	0,302	38,4	0,383	0,390	$0,39 \cdot 10^4$	1,05
МТК 52-8	28,0	695	3,2	2,8	5,2	0,61	0,79	0,25	64,6	35,9	0,137	0,229	49,0	0,297	0,301	$0,234 \cdot 10^4$	1,38
МТК 31-6	11	920	3,4	3,2	5,1	0,72	0,73	0,26	26,4	16,2	0,415	0,467	19,2	0,824	0,708	$0,595 \cdot 10^4$	0,25
МТК 21-6	5,0	910	3,1	2,9	4,3	0,76	0,75	0,32	13,4	9,2	1,11	1,072	9,2	1,862	1,5	$1,92 \cdot 10^4$	0,097

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. — М. : Энергоиздат, 1981. — 576 с.
2. Ключев В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев. — М. : Энергоатомиздат, 1985. — 560 с.
3. Москаленко В. В. Автоматизированный электропривод : учебник для вузов / В. В. Москаленко. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 416 с.
4. Соколов М. М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов / М. М. Соколов. — М. : Энергия, 1976. — 488 с.
5. Решетник В.Я. Основы автоматизованого электроприводу : навчальний посібник / В. Я. Решетник — Тернопіль : ТДТУ, 2009. — 116 с.

Додаток А

«___» _____ 201_ р.

Оцінка: _____ балів

Практична робота №1

ІІІ _____

Група _____

Варіант № _____

Дано: електродвигун постійного струму з паралельним збудженням має наступні номінальні дані наведені в таблиці 1

Таблиця 1

№ варіанту	$U_n, В$	$P_n, кВт$	$n_n, об/хв$	$\eta_n, \%$	$I_{зб}, \%I_n$
	220				

Визначити:

- номінальний момент двигуна M_n , номінальний струм I_n , що споживає двигун від мережі при номінальному навантаженні;
- опори кола якоря $R_{як}$ і ланцюга збудження $R_{зб}$;
- загальну потужність втрат;
- потужність постійних, механічних і магнітних втрат ΔP_m , вважаючи їх незалежними від навантаження;
- потужність змінних втрат;
- момент і частоту обертання при значеннях струму двигуна 0,25; 0,5; 0,75; $1,0I_n$.

Побудувати в загальній системі координатних осей залежності $M = f_1(I_a)$;
 $n = f_2(I_a)$; $\eta = f_3(I_a)$, де I_a - струм якоря.

Розв'язок

11. Наведемо схему живлення двигуна (рисунок 1) і запишемо основні рівняння енергетичного балансу

Рисунок 1 – Схема живлення двигуна	<p style="text-align: center;">Основні рівняння енергетичного балансу двигуна:</p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"/> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin-bottom: 10px;"/>
------------------------------------	---

12. Номінальний момент двигуна, $H \cdot м$, визначимо за формулою

$$M_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = 9,55 \frac{P_n}{n_n} = 9,55 \text{ ————— } = \text{—————}.$$

13. Номінальний струм визначаємо за формулою

$$I_n = \frac{P_{1n}}{U_n} = \text{—————} = \text{—————},$$

де

$$P_{1n} = \frac{P_n}{\eta_n} = \text{—————} = \text{—————}.$$

14. Струм збудження і номінальний струм якоря

$$I_{зб} = 0,03 \cdot I_n = \text{—————},$$

$$I_{ян} = I_n - I_{зб} = \text{—————}.$$

15. Опір кола якоря при номінальному навантаженні

$$R_n = \frac{U_n}{I_{ян}} = \text{—————} = \text{—————}.$$

16. Опір кола збудження

$$R_{зб} = \frac{U}{I_{зб}} = \text{—————} = \text{—————}.$$

17. Загальну потужність втрат знайдемо за формулою

$$\Delta P = P_{1n} - P_n = \text{—————}.$$

18. Потужність механічних і магнітних втрат ΔP_m знайдемо за формулою

$$\Delta P_m = \Delta P - \Delta P_y - \Delta P_{зб} = \text{—————},$$

де ΔP_y - втрати в обмотці якоря – змінні втрати

$$\Delta P_y = I_{ян}^2 \cdot R_n = \text{—————},$$

де

$$R_n \approx 0,5 \left(\frac{U_n}{I_{ян}} - \frac{P_n}{I_{ян}^2} \right) = 0,5 \left(\text{—————} - \text{—————} \right) = \text{—————},$$

$\Delta P_{зб}$ - втрати в обмотці збудження

$$\Delta P_{зб} = I_{зб}^2 \cdot R_{зб} = \underline{\hspace{10cm}}.$$

19. Побудова графіка $M=f_1(I_я)$. Використовуємо залежність $M = c \cdot I_я$,

Отже графік $M=f_1(I_я)$ будуємо по двох точках (рисунок 2):

1 точка: $I_я=0$; $M=0$;

2 точка: $I_я=I_{ян}=\underline{\hspace{2cm}}$, $M=M_H=\underline{\hspace{2cm}}$.

20. Побудова графіка $n=f_2(I_я)$. Рівняння електромеханічної характеристики

$$\Omega = \frac{U}{c} - \frac{R_я}{c} \cdot I_я.$$

Рівняння електромеханічної характеристики для $\Omega = \Omega_H$ має вигляд

$$c\Omega_H = U_H - I_{ян} \cdot R_я,$$

тому

$$c = \frac{U_H - I_{ян} \cdot R_я}{\Omega_H} = \underline{\hspace{10cm}} = \underline{\hspace{10cm}}.$$

Знайдемо Ω_0 (c^{-1}), n_0 (об/хв), з рівняння електромеханічної характеристики

$$\Omega_0 = \frac{U_H}{c} = \underline{\hspace{10cm}} = \underline{\hspace{10cm}},$$

$$n_0 = 9,55\Omega_0 = 9,55 \cdot \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}.$$

Графік $n=f_2(I_я)$ будуємо також по двох точках (рисунок 2):

1 точка: $n=n_0=\underline{\hspace{2cm}}$, $I_я=0$;

2 точка: $n=n_H=\underline{\hspace{2cm}}$, $I_я=I_{ян}=\underline{\hspace{2cm}}$.

21. Побудова графіка $\eta=f_3(I_я)$ (рисунок 2).

Підставляємо значення $I_я$, знаходимо η (дані занести в таблицю 2).

$$\eta = \frac{UI_я - R_я I_я^2 - 0.5\Delta P_M}{U(I_я + I_{зб})}.$$

Таблиця 2 – Результати розрахунку

$I_я$	1	3	6	9	12	15
η						

22. Будуємо графік (рисунок 2) залежностей характеристик двигуна в загальній системі координатних осей ($M = f_1(I_я)$; $n = f_2(I_я)$; $\eta = f_3(I_я)$).

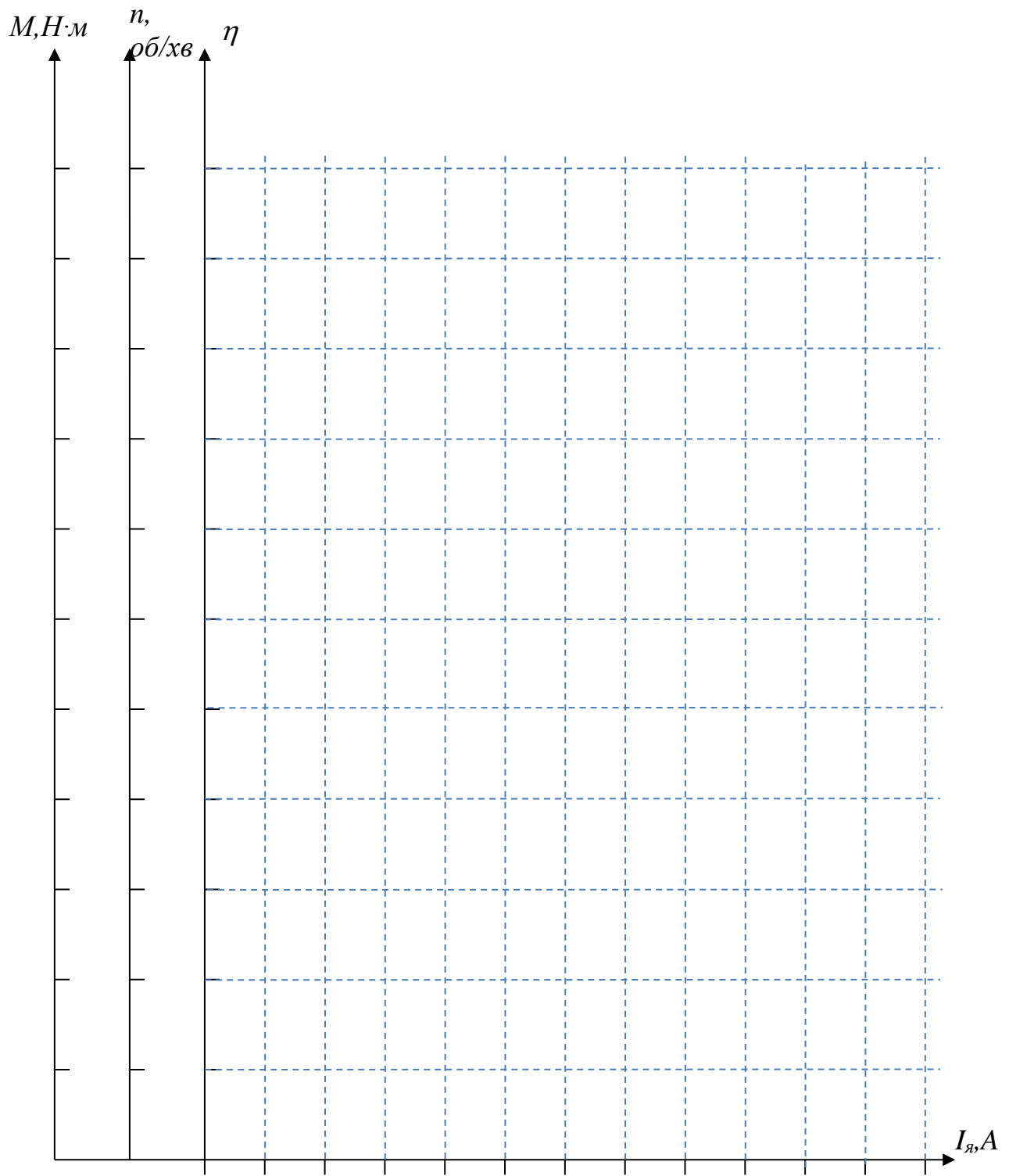


Рисунок 2 – Характеристики двигуна

Висновок: _____

Додаток Б

« _____ » _____ 201_ р.

Оцінка: _____ балів

Практична робота №2

ІІІ _____

Група _____

Варіант № _____

Дано: трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має наступні номінальні дані наведені в таблиці 1

Таблиця 1

№ варіанту	$U_n, В$	$P_n, кВт$	$S_n, \%$	$\eta_n, \%$	$\cos \phi_n$	P	k_m	k_n	k_i
	220								

Визначити:

- номінальний I_n і пусковий I_n струми,
- номінальний M_n , пусковий M_n і максимальний M_{max} моменти.
- повні втрати ΔP у двигуні при номінальному навантаженні,
- пусковий момент при зниженні напруги на 15% від номінального,
- побудувати механічну характеристику двигуна $s = f(M)$.

Розв'язок

10. Визначаємо номінальну потужність, яка споживається двигуном від мережі

$$P_{1n} = U_n I_n \cos \phi_n \sqrt{3} = \frac{P_n}{\eta_n} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} .$$

11. Знаходимо номінальний і пусковий струм

$$I_n = \frac{P_{1n}}{\sqrt{3} U_n \cdot \cos \phi_n} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} ,$$

$$I_n = k_i I_n = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} .$$

12. Синхронна частота рівна

$$n_0 = \frac{60f}{P} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} .$$

13. Номінальна частота знаходиться з формули

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0},$$

$$n_n = n_0 - s_n n_0 = \underline{\hspace{10em}} = \underline{\hspace{10em}}.$$

14. Знаходимо номінальний момент

$$M_n = \frac{P_n}{\Omega_n} = \underline{\hspace{10em}} = \underline{\hspace{10em}}.$$

15. Максимальний момент рівний

$$M_{\max} = k_M M_n = \underline{\hspace{10em}} = \underline{\hspace{10em}}.$$

16. Пусковий момент

$$M_n = k_n M_n = \underline{\hspace{10em}} = \underline{\hspace{10em}}.$$

17. Пусковий момент при $U=0,85U_n$ знайдемо, виходячи з того, що момент пропорційний квадрату напруги. Складемо рівняння пропорції

$$\begin{aligned} 1^2 U_n^2 &\rightarrow M_n, \\ U_n^2 \cdot 0,85^2 &\rightarrow M_{xn}, \end{aligned}$$

$$M_{xn} = 0,85^2 M_n = \underline{\hspace{10em}} = \underline{\hspace{10em}}.$$

18. Для побудови механічної характеристики маємо чотири точки

$$1 \text{ точка} - s=0; M=0,$$

$$2 \text{ точка} - s=s_n = \underline{\hspace{2em}}; M=M_n = \underline{\hspace{2em}},$$

$$3 \text{ точка} - s=s_k = \underline{\hspace{2em}}; M=M_{\max} = \underline{\hspace{2em}},$$

$$4 \text{ точка} - s=1; M=M_n = \underline{\hspace{2em}}.$$

Знайдемо s_k

$$s_k = s_n \left(k_M \pm \sqrt{k_M^2 - 1} \right) = \underline{\hspace{10em}} = \underline{\hspace{10em}}.$$

19. Будуємо графік (рисунок 1) механічної характеристики двигуна.

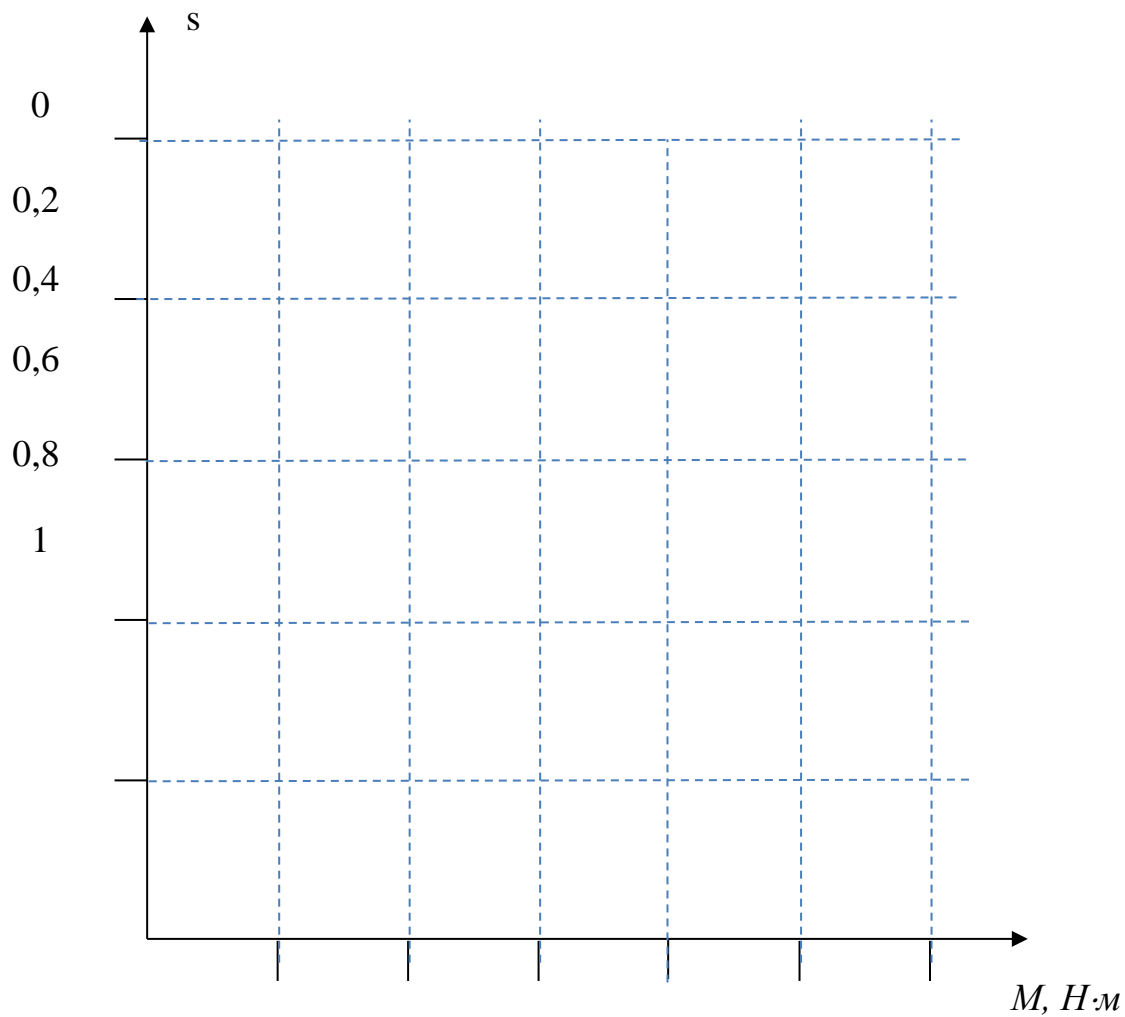


Рисунок 1 – Механічна характеристика АД двигуна

Висновок: _____

Додаток В

« _____ » _____ 201_ р.

Оцінка: _____ балів

Практична робота №3

ІІІ _____

Група _____

Варіант № _____

Дано: двигун постійного струму паралельного збудження має наступні номінальні дані наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Тип двигуна	P_n , кВт	n_n , об/хв	$J_{я}$, кг·м ²	$P_{зб}$, кВт	$R_{зб}$, кВт	U_n , В	I_n , А

Визначити:

- побудувати природну швидкісну і механічну характеристики;
- розрахувати опори чотириступеневого пускового реостату;
- побудувати пускові характеристики;
- накреслити схему автоматичного пуску в функції часу і описати її роботу.

Розв'язок

1. Для побудови природних характеристик знайдемо деякі величини, а саме:

- струм збудження

$$I_{зб} = \frac{P_{зб}}{U} = \frac{U}{R_{зб}} = \underline{\hspace{2cm}};$$

- номінальний струм якоря

$$I_{ян} = I_n - I_{зб} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}};$$

- потужність, яку забирає двигун від джерела живлення

$$P_{1н} = U_n I_n = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}};$$

- коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{P_n}{P_{1н}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}};$$

- опір обмотки якоря

$$R_{я} \approx 0,5 \left(\frac{U_n}{I_{ян}} - \frac{P_n}{I_{ян}^2} \right) = 0,5 \left(\underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} \right) = \underline{\hspace{2cm}};$$

- швидкість ідеального холостого ходу Ω_0

$$c = \frac{U_n - I_{ян} R_{я}}{\Omega_n} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}},$$

$$\Omega_n = \frac{\pi n_n}{30} = \text{_____} = \text{_____},$$

$$\Omega_0 = \frac{U_n}{c} = \text{_____} = \text{_____},$$

$$n_0 = \frac{30}{\pi} \Omega_0 = \text{_____} = \text{_____}.$$

2. Тепер маємо всі дані для побудови природних швидкісної і механічної характеристик (рисунок 1). Рівняння швидкісної характеристики

$$\Omega = \frac{U}{c} - \frac{R_{я}}{c} I_{я} = \text{_____} - \text{_____} \cdot I_{я} = \text{_____} - \text{_____} \cdot I_{я},$$

Характеристики є прямими, які можна побудувати по двох точках.

Для швидкісної характеристики $\Omega = f(I_{я})$

1 точка : $\Omega = \Omega_0 = \text{_____}; I_{я} = 0;$

2 точка : $\Omega = \Omega_n = \text{_____}; I_{я} = I_{ян} = \text{_____}.$

Для механічної характеристики $\Omega = f(M)$

1 точка : $\Omega = \Omega_0 = \text{_____}; M = 0.$

2 точка : $\Omega = \Omega_n = \text{_____}; M = M_n = \text{_____}, M_n = c I_{ян} = \text{_____}.$

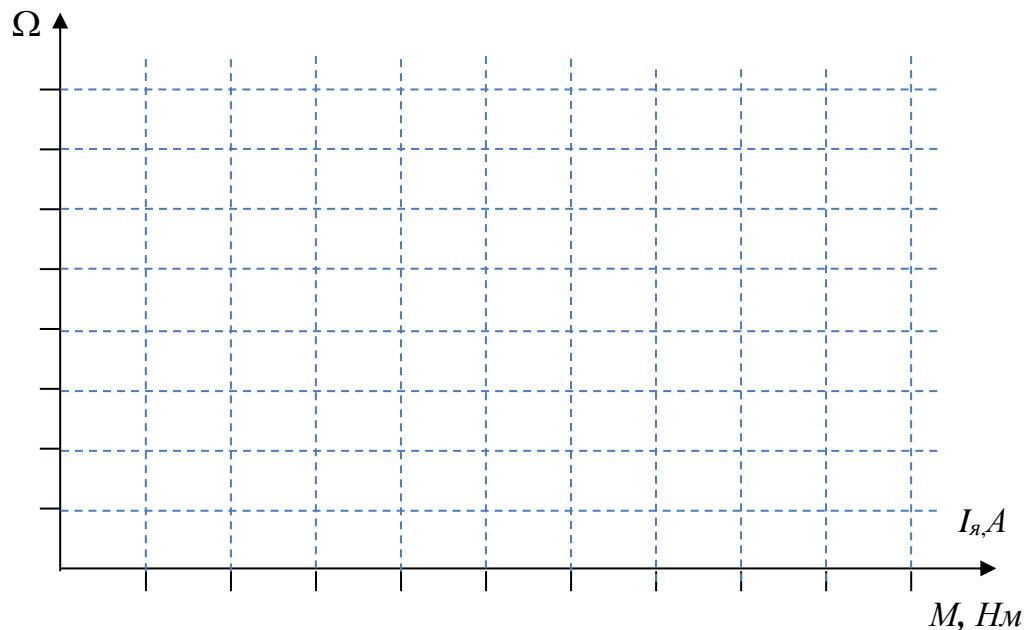


Рисунок 1 – Природні швидкісна і механічна характеристики двигуна

4. Для розрахунку пускового реостату будуюмо пускові (реостатні) характеристики у відносних осях координат (рисунок 2). По осі у відкладаємо відносну швидкість $v = \Omega/\Omega_0 = n/n_0$, по осі x – відносний момент $\mu = M/M_n$.

Прийmemo $M_n = 2M_n$, тобто $\mu_n = \mu_l = 2$. При переході з одної характеристики на наступну, момент повинен бути приблизно в 1,1-1,2 більше номінального. Прийmemo $\mu_2 = 1,2$.

Спочатку будуюмо природну механічну характеристику у відносних координатах.

Рівняння природної характеристики в точці $\mu = 1$

$$v = 1 - \frac{R_{я}}{R_n}.$$

Для природної характеристики

1 точка $v = 1, \mu = 0$;

2 точка $v = 1 - R_{\text{я}}/R_{\text{н}} = \dots, \mu = 1$.

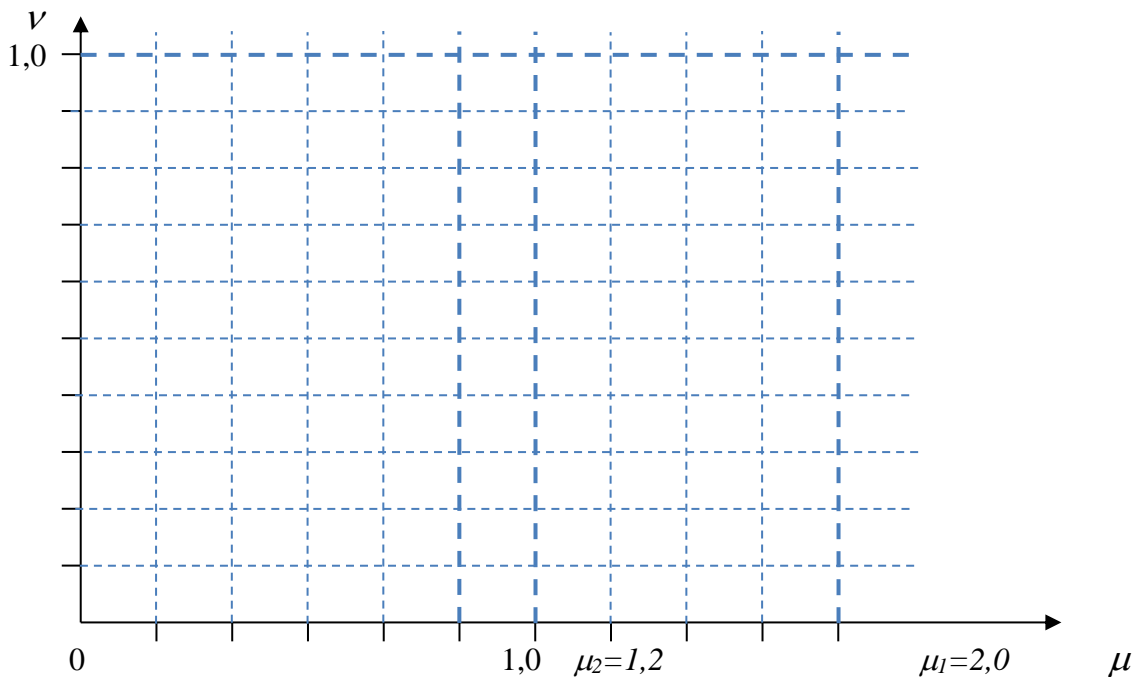


Рисунок 2 – Пускові характеристики двигуна

5. Розрахуємо значення опорів пускового реостату.

$$R_1 = \frac{ef}{ag} R_{\text{н}} = 0,2 \cdot R_{\text{н}} = \dots = \dots,$$

$$R_2 = \frac{de}{ag} R_{\text{н}} = 0,11 \cdot R_{\text{н}} = \dots = \dots,$$

$$R_3 = \frac{cd}{ag} R_{\text{н}} = 0,08 \cdot R_{\text{н}} = \dots = \dots,$$

$$R_4 = \frac{bc}{ag} R_{\text{н}} = 0,04 \cdot R_{\text{н}} = \dots = \dots,$$

$$R_p = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 = \frac{bf}{ag} R_{\text{н}} = 0,43 \cdot R_{\text{н}} = \dots = \dots.$$

6. Розглянемо схему пуску двигуна з реостатом на 4 ступені і розгоном у функції часу (рисунок 3).

Опис роботи схеми:

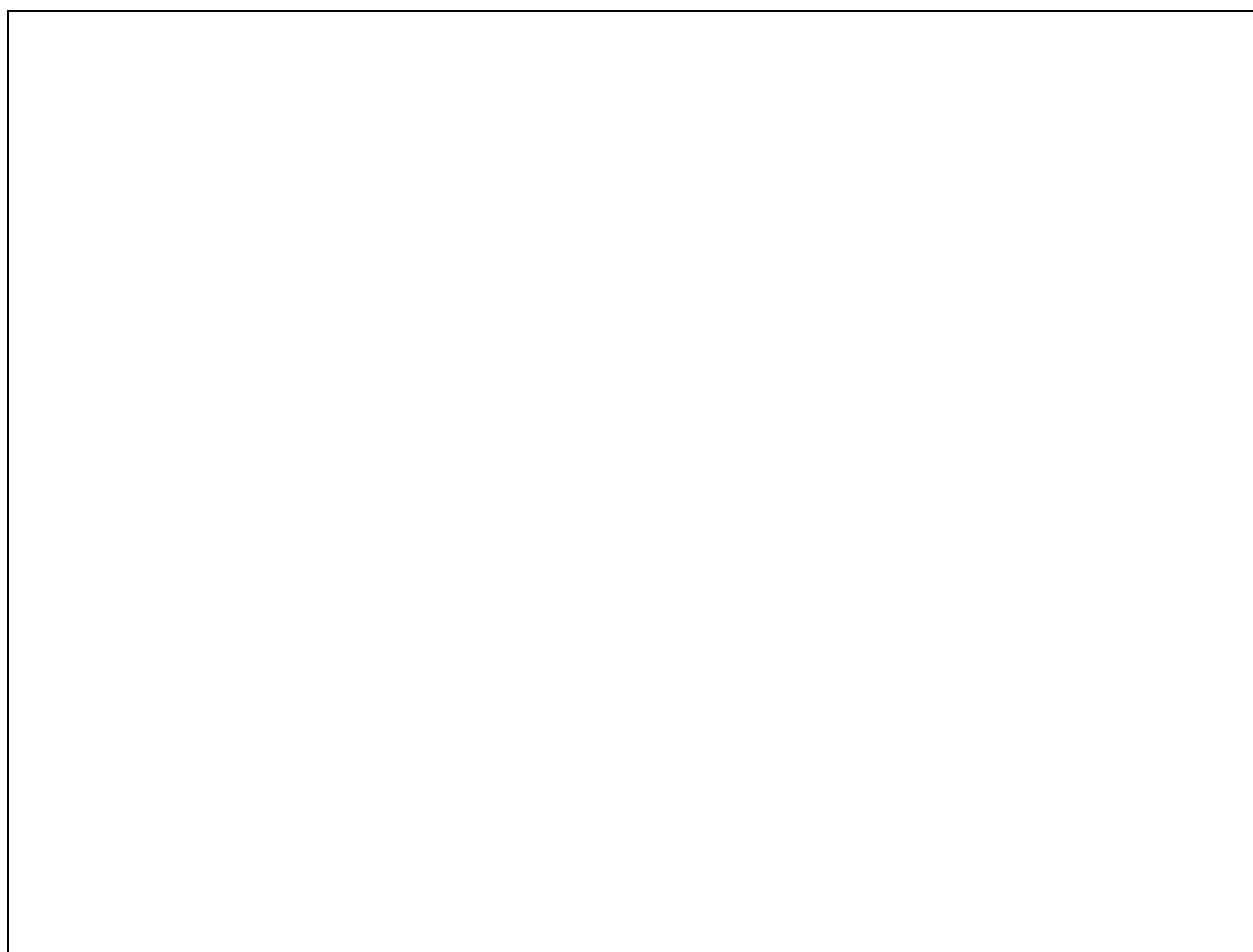


Рисунок 3 – Схема пуску і розгону двигуна у функції часу

Висновок:_____

Додаток Г

« ____ » _____ 201_ р.

Оцінка: _____ балів

Практична робота №4

ППП _____

Група _____

Варіант № _____

Дано: для електроприводу виробничого механізму вибрано двигун постійного струму з незалежним збудженням. Двигун має наступні номінальні дані наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Тип двигуна	P _н , кВт	n _н , об/хв	J _я , кг·м ²	P _{зб} , кВт	R _{зб} , кВт	U _н , В	I _н , А

Визначити:

- визначити тривалість пуску і розгону двигуна до номінальної швидкості;
- розрахувати значення опорів резисторів, які потрібно ввімкнути в режим динамічного гальмування і в режим противмикання за умовою, щоб максимальне значення струму при переході на цей режим не перевищувало 2 I_н, а двигун у гальмівних режимах працював з номінальним навантаженням.

Розв'язок

1 Нарисувати характеристики і схему двигуна у режимі динамічного гальмування (рис. 1.)

Динамічне гальмування полягає у _____

Рівняння електричного балансу у цьому режимі має вигляд

_____.

Якщо $\Omega = \Omega_n, I_a = 2I_{ан}$, то

$$R_2 = \frac{c\Omega_n}{2I_{ан}} - R_a = \text{_____} - \text{_____} = \text{_____},$$

де $c = \frac{U_n - I_{ан}R_a}{\Omega_n} = \text{_____} = \text{_____},$

$$I_{3\phi} = \frac{P_{3\phi}}{U} = \frac{U}{R_{3\phi}} \text{-----} = \text{-----},$$

$$I_{ян} = I_n - I_{3\phi} = \text{-----} = \text{-----},$$

$$R_r \approx 0,5 \left(\frac{U_n}{I_{ян}} - \frac{P_n}{I_{ян}^2} \right) = 0,5 \left(\text{-----} \right) = \text{-----}.$$

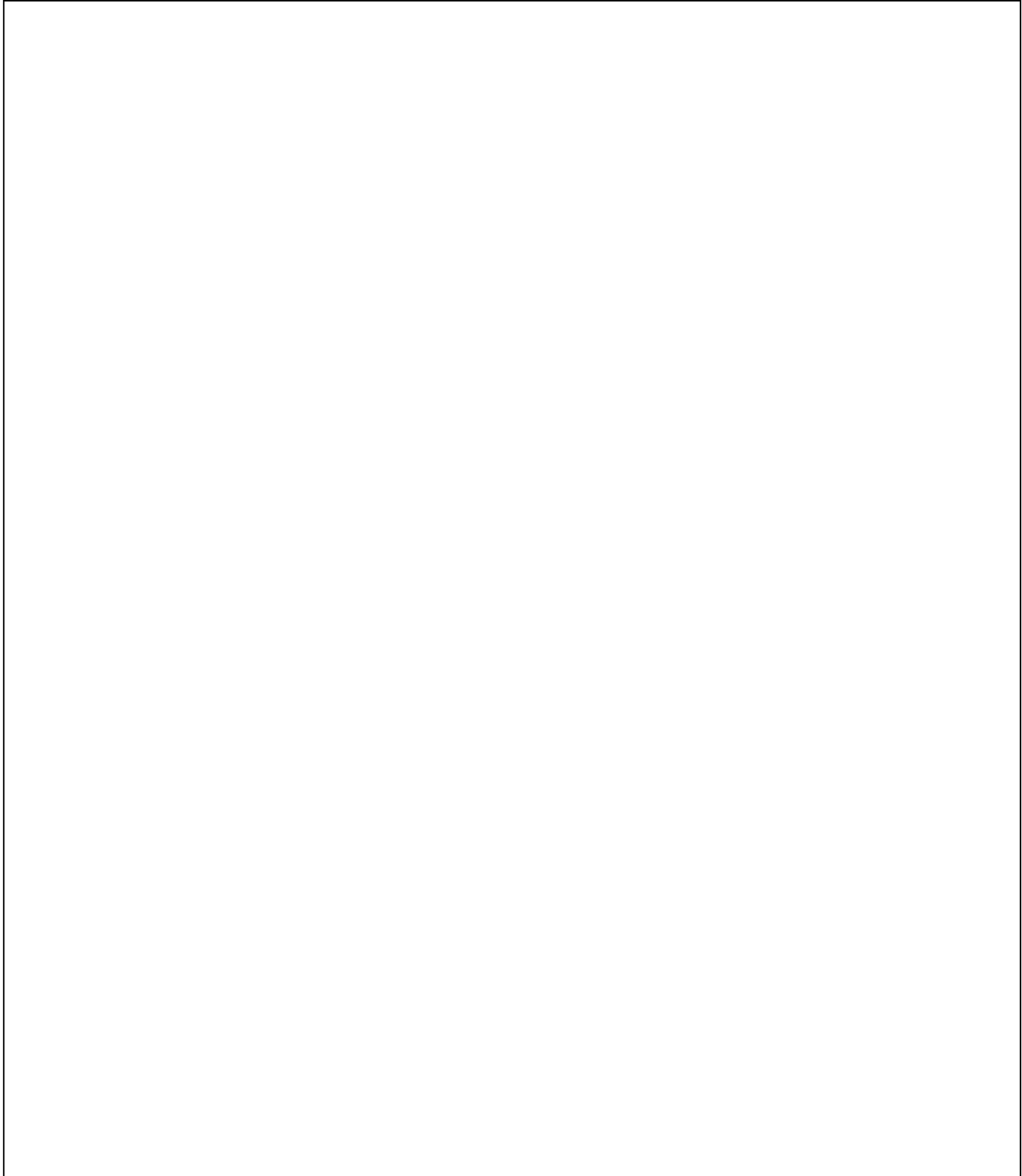


Рисунок 1 – Характеристики і схема двигуна у режимі динамічного гальмування

2. Нарисувати характеристики і схему двигуна при гальмуванні противмиканням (рис. 2.)

Гальмування противмиканням здійснюється _____

Рівняння електричного балансу напруги якоря при гальмуванні

Якщо $\Omega = \Omega_n$ $I_a(2 \cdot I_a) = 2I_{ан.}$, то

$$R_2 = \frac{U + c\Omega_n}{2I_{ан}} - R_a = \text{_____} - \text{_____} = \text{_____}.$$

3. Тривалість пуску і розгону двигуна визначимо за рівнянням

$$t_n = \int_0^{\Omega_n} J \frac{d\Omega}{M_n - M_0},$$

з якого

$$t_n = \frac{J\Omega_n}{M_n - M_0} = \text{_____} = \text{_____},$$

де

$$J_{\partial в.} = J_a = \text{_____} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$J = 1,5 J_{\partial в.} \approx \text{_____} \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$\Omega_n = \text{_____} \text{ с}^{-1},$$

$$M_n = 2M_H; = \text{_____} = \text{_____},$$

$$M_H = cI_{ан} = \text{_____} = \text{_____},$$

$$M_0 = M_H = \text{_____} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

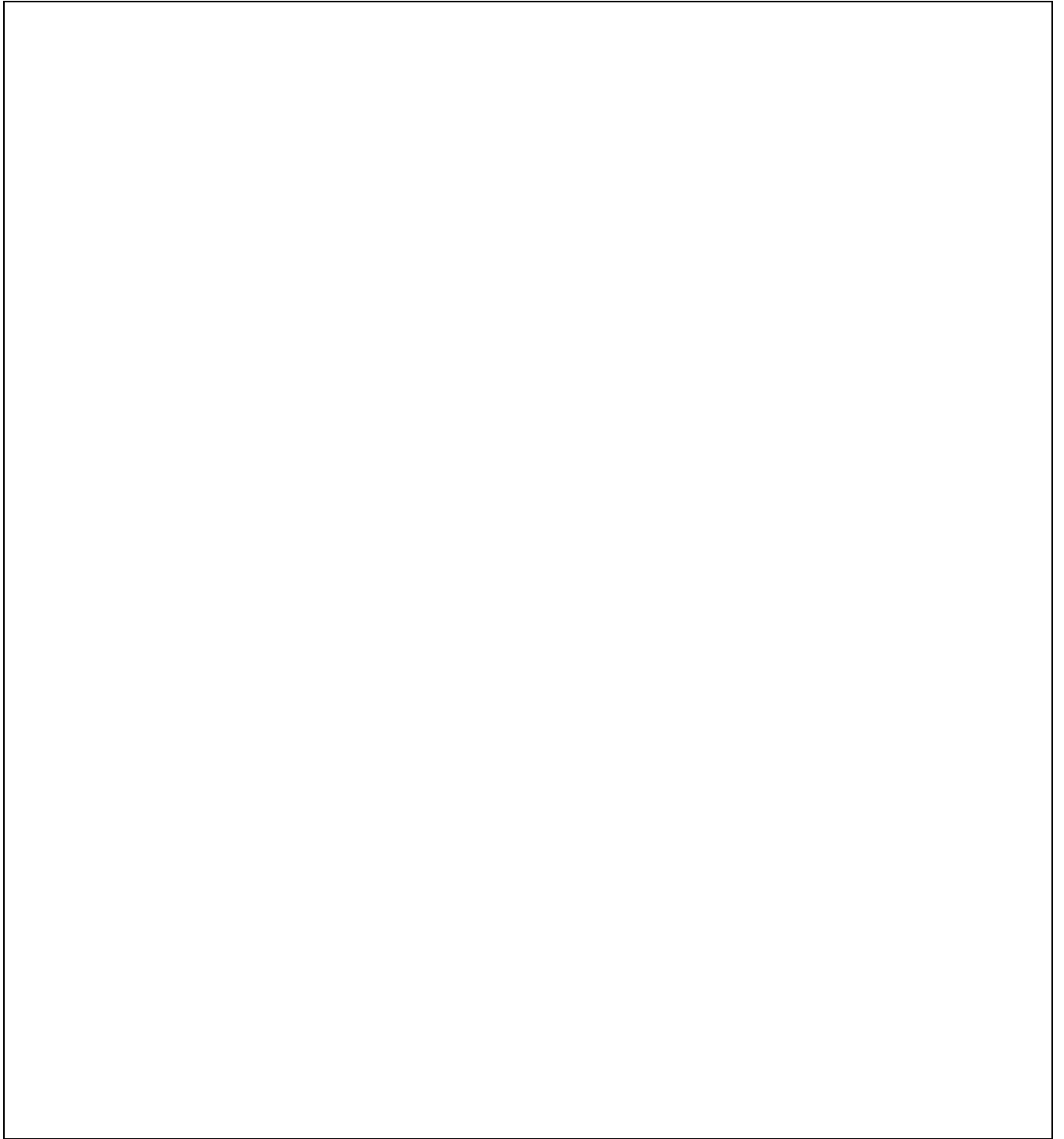


Рисунок 1 – Характеристика і схема двигуна при гальмуванні противмиканням

Висновок: _____

Додаток Д

« _____ » _____ 201_ р.

Оцінка: _____ балів

Практична робота №5

ППП _____
 Група _____
 Варіант № _____

Дано: для електроприводу підйимально-транспортного механізму вибрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Двигун має наступні номінальні дані наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Тип двигуна	P_n , кВт	n_n , об/хв	n_0 , об/хв	$U_{сн}$, В	$I_{сн}$, А	$\frac{I_{сн}}{I_{сн}} = x$	$\frac{M_{max}}{M_n} = y$	$\frac{M_n}{M_n} = z$
	$\cos \phi_n$	R_c , Ом	x_c , Ом	R'_p , Ом	x'_p , Ом	k_1	k_2	k_3

Визначити:

- розрахувати пусковий струм та коефіцієнт корисної дії двигуна;
- розрахувати і побудувати механічні характеристики – природну і штучні при напрузі мережі живлення $u_1 = k_1 U_n$ та $u_2 = k_2 U_n$;
- розрахувати швидкості і потужності двигуна при умові, що момент опору механізму, зведений до валу двигуна $M_0 = k_3 M_n$ при роботі і на природній і на штучних характеристиках

Розв'язок

1. Знаходимо ККД двигуна

$$\eta_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{сн} \cdot I_{сн} \cdot \cos \phi_n} = \frac{\dots}{\dots} = \dots$$

2. Пусковий струм двигуна

$$\frac{I_{сн}}{I_{сн}} = x = \dots$$

$$I_{сн} = x \cdot I_{сн} = \dots$$

3. Природну характеристику будуюмо за рівнянням

4. За табличними даними знаходимо коефіцієнти a , s_H , s_k

$$a = \frac{R_c}{R_p} = \frac{\quad}{\quad} = \quad,$$

$$s_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{\quad}{\quad} = \quad,$$

$$s_k = \frac{R_p}{\sqrt{R_c^2 + (x_c + x_p)^2}} = \frac{\quad}{\quad} = \quad.$$

5. Розраховуємо значення моментів

$$M_H = P_H / \Omega_H = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{НМ}$$

$$\frac{M_{\max}}{M_H} = y = \quad,$$

$$M_K = M_{\max} = y \cdot M_H = \quad, \text{НМ}$$

$$\frac{M_n}{M_H} = z = \quad,$$

$$M_n = z \cdot M_H = \quad, \text{НМ}$$

6. Для побудови природної механічної характеристики маємо 4 точки:

1) $s=0$; $M=0$.

2) $s=s_H = \quad$; $M=M_H = \quad$.

3) $s=s_K = \quad$; $M=M_K = \quad$.

4) $s=l$; $M=M_n = \quad$.

Знаходимо точки для побудови штучних характеристик при напрузі U_1 та U_2

7. Для побудови штучної механічної характеристики при напрузі U_1 маємо 4 точки

1) $s_I=0$; $M_I=0$.

2) $s_I=s_H = \quad$; $M_1 = M_{H1} = M_H \cdot k_1^2 = \quad = \quad$,

3) $s_I=s_K = \quad$; $M_1 = M_{K1} = M_K \cdot k_1^2 = \quad = \quad$,

4) $s_I=l$; $M_1 = M_{n1} = M_n \cdot k_1^2 = \quad = \quad$.

8. Для побудови штучної механічної характеристики при напрузі U_2 маємо 4 точки:

1) $s_2=0$; $M_2=0$.

2) $s_2=s_n$; $M_2 = M_{n2} = M_n \cdot k_2^2 = \dots = \dots$,

3) $s_2=s_k$; $M_2 = M_{k2} = M_k \cdot k_2^2 = \dots = \dots$,

4) $s_2=1$; $M_2 = M_{n2} = M_n \cdot k_2^2 = \dots = \dots$.

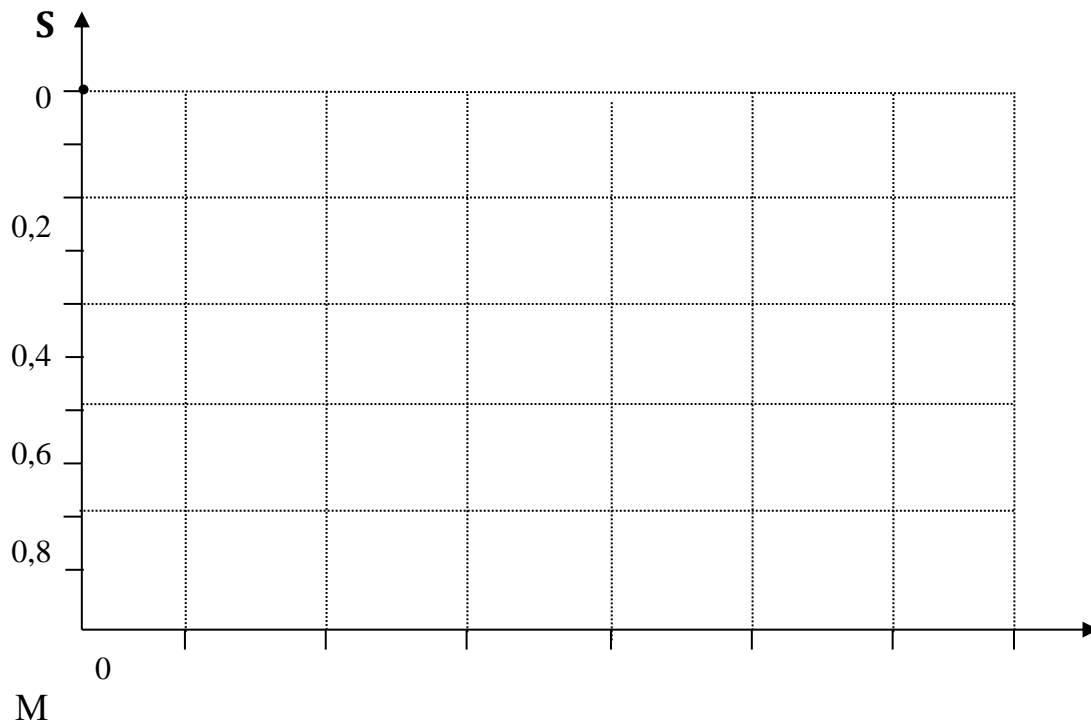


Рисунок 1 - Механічні характеристики двигуна МТК _____

9. Від точки

$$M_0 = k_3 \cdot M_n = \dots = \dots,$$

проводимо вертикаль (рисунок 1), яка пересіче характеристики у точках a, b, c .

10. Потужність двигуна в точках a, b, c при роботі з моментом опору

$M_0 = k_3 \cdot M_n = \dots$ знаходимо за формулами

$$P_a = (M_0 \cdot n_a) / 9550 = \dots = \dots \text{ кВт},$$

$$P_b = (M_0 \cdot n_b) / 9550 = \dots = \dots \text{ кВт},$$

$$P_c = (M_0 \cdot n_c) / 9550 = \dots = \dots \text{ кВт},$$

де n_a, n_b, n_c – знаходимо за характеристиками за формулами

$$n_a = n_0 - s_a \cdot n_0 = \underline{\hspace{4cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ об./ хв. ,}$$

$$n_b = n_0 - s_b \cdot n_0 = \underline{\hspace{4cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ об./ хв.}$$

$$n_c = n_0 - s_c \cdot n_0 = \underline{\hspace{4cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ об./ хв.}$$

Ковзання s_a, s_b, s_c в точках a, b, c знаходимо по шкалі s на графіку рис.1.

Висновок: _____

