

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Кафедра	Електричного транспорту та тепловозобудування
Спеціальність	G3 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма	Електромеханіка
Форма навчання	Денна
Навчальна дисципліна	Сучасні технології виробництва електрорухомого складу
Семестр	9

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ
ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.
ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Вхідні дані для прикладу розрахунку електромеханічних характеристик тягового двигуна наведені в таблиці 1, вихідні дані до кожного індивідуального завдання обираються за номером студента у журналі обліку групи згідно з наведеним у додатку А таблицями.

Параметр	Умовне позначення	Величина
Напруга двигуна, В	U	1500
Кількість пар полюсів	P	3
Номінальна частота обертання, хв^{-1}	$n_{\text{ном}}$	945
Номінальний струм якоря, А	$I_{\text{я ном}}$	565
Робоча температура гарячих обмоток, $^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{гар}}$	115
Число витків обмотки збудження	w_z	15
Маса зубців якоря, кг	m_z	101,7
Маса тіла (ярма) якоря, кг	$m_{\text{я}}$	516
МРС обмоток збудження в номінальному режимі,	$F_{\text{з ном}}$	8475
Коефіцієнт насичення	$k_{\text{нс}}$	1,2
Колова швидкість колектора в номінальному режимі, м/с	$v_{\text{к}}$	8,6
Стала якоря, $c_e = \frac{pN}{60a}$	c_e	15,833
Індукція в розрахунковому перерізі зубців якоря в номінальному режимі, Тл	$B_{z\ 1/3}$	1,75
Індукція у ярмі якоря у номінальному режимі, Тл	$B_{\text{я}}$	1,6
Загальна площа контакту усіх щіток з колектором, м^2	$S_{\text{щ}}$	0,0305
Опір обмотки якоря, Ом	$r_{\text{я}}$	0,0264
Опір обмотки збудження, Ом	r_z	0,007
Опір обмотки додаткових полюсів, Ом	$r_{\text{д.п}}$	0,006
Номінальний основний магнітний потік, Вб	$\Phi_{\text{ном}}$	0,1
Розрахунковий степінь режиму ослаблення збудження;	β	0,6
Значення коефіцієнту збудження		0,9

Таблиця 1- Вхідні дані розрахунку.

Розрахунок передбачає визначення таких величин:

1) МРС обмотки збудження у відносних одиницях

$$F_{\text{з.в.о.}} = 0,42k_{\text{нс}} - 0,27 .$$

2) Магнітний потік у відносних одиницях:

$$\Phi_{\text{в.о.}} = 0,94 + 0,14717(k_{\text{нс}} - 2,5) - 0,03417(k_{\text{нс}} - 0,25)^2 - 0,035(k_{\text{нс}} - 2,5)^3 - 0,02333(k_{\text{нс}} - 2,5)^4 + 0,02533(k_{\text{нс}} - 0,25)^5 ;$$

3) Масштаби МРС і магнітного потоку, (в.о./А) і (Вб/в.о.)

$$m_F = \frac{F_{\text{з.в.о.}}}{F_{\text{з.ном}}} ; m_\Phi = \frac{\Phi_{\text{ном}}}{\Phi_{\text{в.о.}}} .$$

4) Задаючи розрахункове значення струмів в діапазоні $0,2I_{\text{я.ном}} \leq I_{\text{я}} \leq 2I_{\text{я.ном}}$ з інтервалом $\Delta I_{\text{я}} = 0,2I_{\text{я.ном}}$ при заданому коефіцієнті ослаблення β (визначається з таблиці згідно варіанту) збудження визначаємо наступні величини.

5) Струм якоря, А,

$$I_{\text{я}\beta} = \frac{0,98I_{\text{я}}}{\beta} .$$

6) МРС у відносних одиницях при будь-якому значенні струму якоря

$$F_{\text{з.в.о.}} = 0,98I_{\text{я}}w_3m_F .$$

7) Коефіцієнт насичення в розрахунковій точці:

$$k_{\text{нс}} = \frac{(F_{\text{з.в.о.}} + 0,27)}{0,42} .$$

8) Якщо $k_{\text{нс}}=1$ і $0 < F_{\text{з.в.о.}} \leq 0,15$, то

$$\Phi_{\text{в.о.}} = 3F_{3.\text{в.о.}},$$

при інших значеннях цих величин визначення $\Phi_{\text{в.о.}}$ потрібно виконати згідно з виразом:

$$\Phi_{\text{в.о.}} = 0,94 + 0,14717(k_{\text{нс}} - 2,5) - 0,03417(k_{\text{нс}} - 0,25)^2 - 0,035(k_{\text{нс}} - 2,5)^3 - 0,02333(k_{\text{нс}} - 2,5)^4 + 0,02533(k_{\text{нс}} - 0,25)^5 ;$$

9) Магнітний потік, Вб,

$$\Phi = m_{\phi} \Phi_{\text{в.о.}} .$$

10) Сумарний опір якірного кола двигуна за температурою $\theta_{\text{гар}}$, Ом,

$$R_{\text{я}} = (0,004\theta_{\text{гар}} + 0,92) \cdot (r_{\text{я}} + 0,98r_{\text{з}} + r_{\text{д.п}}) .$$

11) ЕРС двигуна, В,

$$E = U - I_{\text{я}}R_{\text{я}} - 2 .$$

12) Частота обертання, хв^{-1} ,

$$n = \frac{E}{c_e \Phi} ,$$

причому, для режиму ослабленого збудження ця величина відповідає струмам, що визначені виразом за п. 5; таким чином будується залежність $n_{\beta}(I_{\text{я}\beta})$;

13) Втрати в міді обмоток двигуна (струмові), Вт,

$$p_{\text{м}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}} ,$$

14) Втрати в сталі двигуна (магнітні) визначаються за формулою:

$$p_c = 4 \cdot 10^{-5} (pn)^{1.5} (B_{z1/3}^2 m_z + B_y^2 m_y) \cdot \left(\frac{\Phi}{\Phi_{ном}} \right)^2.$$

15) Додаткові втрати в залежності від значення I_y визначаються за формулами для діапазону навантажень $I_y < I_{yном}$:

$$p_{дод} = 0,3 \left(\frac{I_y}{I_{ном}} \right)^{0,35} p_c.$$

для діапазону навантажень $I_y \geq I_{yном}$:

$$p_{дод} = 0,3 \frac{I_y}{I_{ном}} p_c,$$

16) перехідні втрати в контактi колектор—щітка, Вт,

$$p_{пер} = 2I_y.$$

17) Втрати на тертя щіток визначаються за формулою, Вт,

$$p_{тр.щ.} = p_{тис} \rho S_{щ} v_k \frac{n}{n_{ном}} = 6000 S_{щ} v_k \frac{n}{n_{ном}}.$$

18) Втрати механічні (у підшипниках і від тертя якоря об повітря),
Вт,

$$p_{мех} = 0,002 U I_y \frac{n}{n_{ном}}$$

19) Втрати підсумкові (повні), Вт:

а) у режимі ПЗ при $\beta_{\text{ном}} = 0,98$:

$$\Sigma p = p_{\text{м}} + p_{\text{с}} + p_{\text{дод}} + p_{\text{пер}} + p_{\text{тр.щ}} + p_{\text{мех}};$$

б) у режимі ОЗ

$$\Sigma p_{\beta} = \Sigma p - p_{\text{м}} + (0,004\theta_{\text{гар}} + 0,92) \cdot \left[0,98 I_{\text{я}}^2 r_{\text{з}} + \left(0,98 \frac{I_{\text{я}}}{\beta} \right)^2 (r_{\text{я}} + r_{\text{д.п.}}) \right].$$

20) Корисна потужність двигуна, Вт:

а) у режимі ПЗ

$$P_2 = UI_{\text{я}} - \Sigma p;$$

б) у режимі ОЗ

$$P_{2\beta} = UI_{\text{я}} \frac{0,98}{\beta} - \Sigma p_{\beta};$$

21) ККД:

а) у режимі ПЗ

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma p}{UI_{\text{я}}};$$

б) у режимі ОЗ

$$\eta_{\beta} = 1 - \frac{\Sigma p_{\beta}}{UI_{\text{я}} \frac{0,98}{\beta}}.$$

22) Обертаючий момент, Н·м:

а) у режимі ПЗ

$$M = 9,55 \frac{P_2}{n};$$

б) у режимі ОЗ

$$M_{\beta} = 9,55 \frac{P_{2\beta}}{n}.$$

На основі розрахунку будуються 6 характеристик: $n(I_{\text{я}})$, $M(I_{\text{я}})$, $\eta(I_{\text{я}})$, $n(I_{\text{я}\beta})$, $M_{\beta}(I_{\text{я}\beta})$, $\eta_{\beta}(I_{\text{я}\beta})$. Характеристики для режимів повного та ослабленого збудження побудовані в спільних системах координат. Графік характеристик обмежено значеннями величин $I_{\text{я}} = 2I_{\text{я.ном}}$ та $n = n_{\text{max}}$.

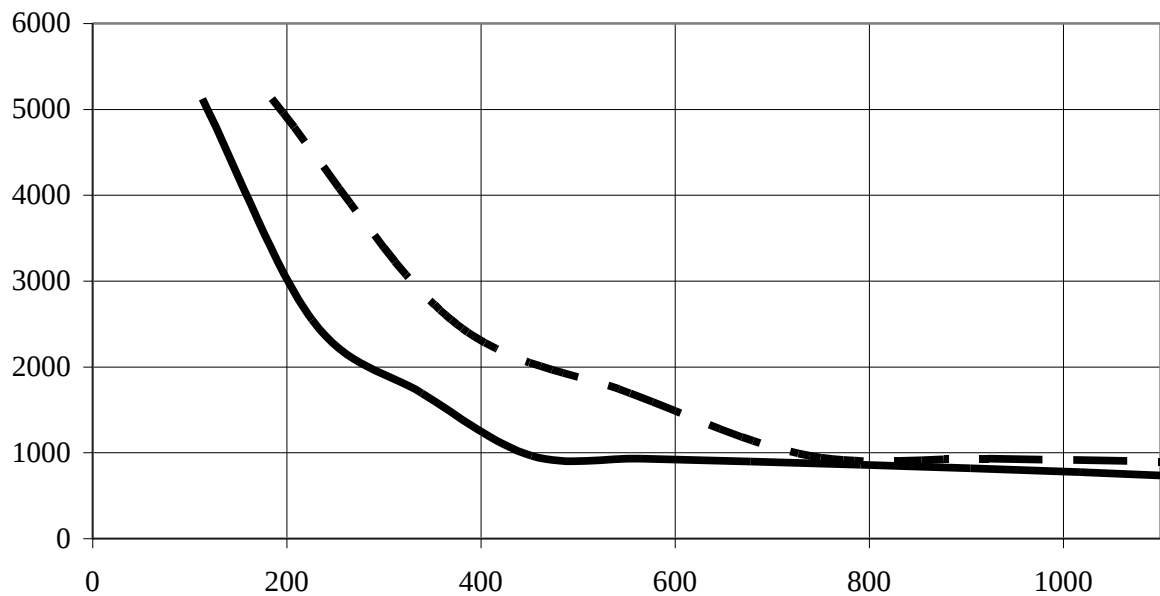


Рисунок 1 – Залежність частоти обертання ротора двигуна від струму якіря:
 ————— - режим подного поля, — — — - режим ослабленого поля.

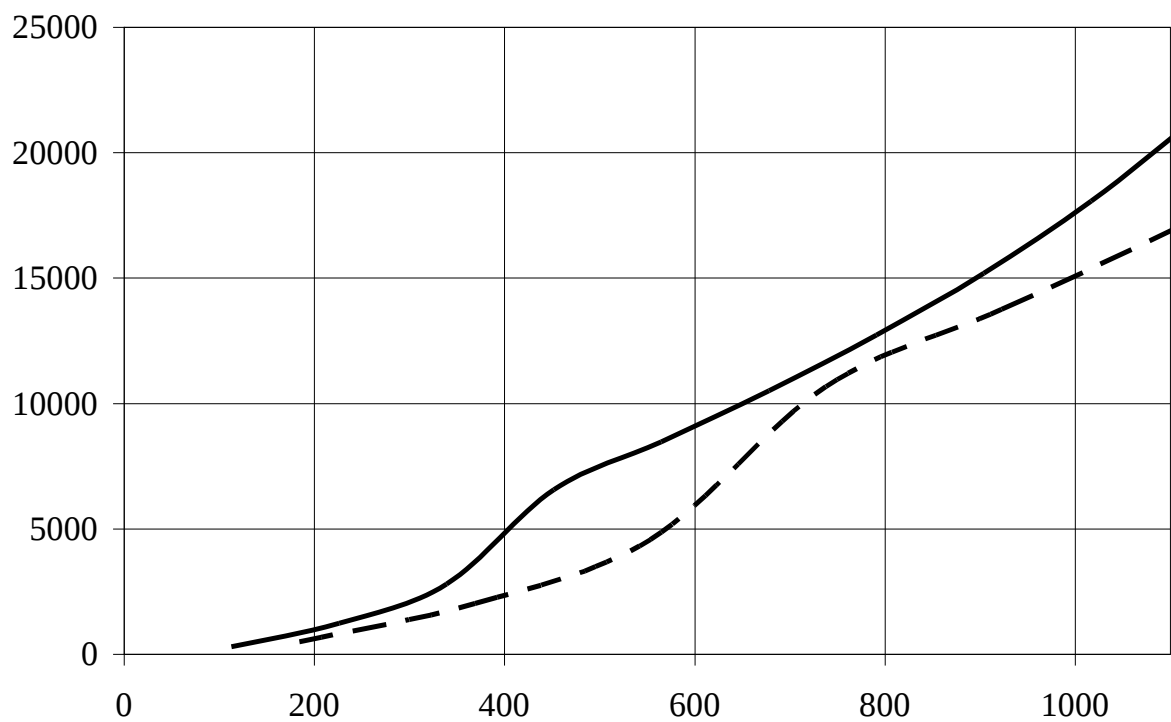


Рисунок 2 – Залежність моменту двигуна від струму якоря:

————— - режим повного поля, — — — - режим ослабленого поля.

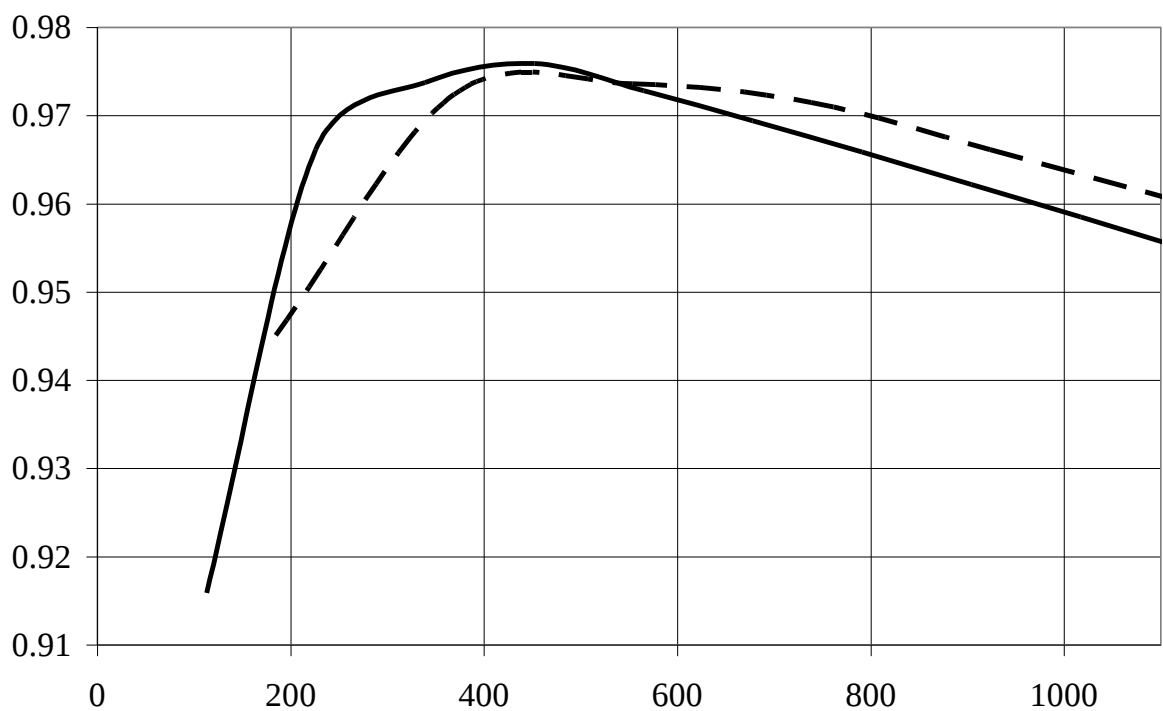


Рисунок 3 – Залежність к. к. д. двигуна від струму якоря:

————— - режим повного поля, — — — - режим ослабленого поля.

Додаток А: Вихідні дані для індивідуального розрахункового завдання.

Параметр	Умовне позначення	Кодове позначення параметру
Напруга двигуна, В	U	1
Кількість пар полюсів	P	2
Номінальна частота обертання, хв^{-1}	$n_{\text{ном}}$	3
Номінальний струм якоря, А	$I_{\text{я ном}}$	4
Робоча температура гарячих обмоток, $^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{гар}}$	5
Число витків обмотки збудження	w_z	6
Маса зубців якоря, кг	m_z	7
Маса тіла (ярма) якоря, кг	$m_{\text{я}}$	8
МРС обмоток збудження в номінальному режимі,	$F_{\text{з ном}}$	9
Коефіцієнт насичення	$k_{\text{нс}}$	10
Колова швидкість колектора в номінальному режимі, м/с	v_k	11
Стала якоря, $c_e = \frac{pN}{60a}$	c_e	12
Індукція в розрахунковому перерізі зубців якоря в номінальному режимі, Тл	$B_{z 1/3}$	13
Індукція у ярмі якоря у номінальному режимі, Тл	$B_{\text{я}}$	14
Загальна площа контакту усіх щіток з колектором, м^2	$S_{\text{щ}}$	15
Опір обмотки якоря, Ом	$r_{\text{я}}$	16
Опір обмотки збудження, Ом	r_z	17
Опір обмотки додаткових полюсів, Ом	$r_{\text{д.п}}$	18
Номінальний основний магнітний потік, Вб	$\Phi_{\text{ном}}$	19
Розрахунковий степінь режиму ослаблення збудження;	β	20
Значення коефіцієнту збудження		21

Таблиця 2 – Кодування вхідних даних розрахунку.

Кодове позначення параметру	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4	Вар. 5
1	1500	1500	1500	1500	1500
2	3	3	3	3	3
3	945	750	840	950	800
4	565	580	565	580	565
5	115	115	115	115	115
6	14	15	16	15	16
7	122	132	114	121	120
8	495	647	554	511	510
9	8475	8700	9040	8845	8555
10	1,21	1,23	1,15	1,22	1,2
11	8,6	17,2	16,4	15,8	10
12	15	21,75	16,1	11,7	14,833
13	1,76	1,58	1,75	1,73	1,72
14	1,5	1,45	1,62	1,55	1,5
15	0,03145	0,0368	0,026	0,0319	0,0315
16	0,02758	0,0325	0,025	0,0145	0,0234
17	0,006	0,0065	0,0067	0,0045	0,006
18	0,0055	0,0062	0,0062	0,0042	0,005
19	0,105	0,092	0,11	0,134	0,11
20	0,65	0,55	0,5	0,67	0,6
21	0,8	0,7	0,6	0,55	0,9

Таблиця 3 – Вихідні дані для індивідуального розрахункового завдання

Кодове позначення параметру	Вар. 6	Вар. 7	Вар. 8	Вар. 9	Вар. 10
1	506	565	463	502	750
2	2	2	2	2	2
3	600	690	585	470	950
4	890	840	720	920	320
5	115	115	115	115	115
6	15	18	19	16	43
7	104,7	106	124	76	75
8	257,5	260	270	229	224
9	13350	15150	13680	7520	6482
10	1,2	1,21	1,3	1,15	1,32
11	12,56	15,2	12,25	18,4	19,2
12	7,833	8,1	7,3	12,21	6,33
13	2,03	2	2,16	1,94	2,04
14	1,6	1,55	1,63	1,64	1,73
15	0,012	0,012	0,012	0,008	0,0105
16	0,0112	0,0112	0,0135	0,0144	0,0319
17	0,00675	0,00776	0,0079	0,00997	0,0145
18	0,00641	0,00776	0,0079	0,00997	0,0145
19	0,102	0,0956	0,102	0,067	0,075
20	0,6	0,65	0,55	0,5	0,8
21	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Таблиця 4 – Вихідні дані для індивідуального розрахункового завдання