

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

| | |
|----------------------|---|
| Кафедра | Електричного транспорту та тепловозобудування |
| Спеціальність | 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» |
| Освітня програма | Електромеханіка (Електричний транспорт) |
| Форма навчання | Денна |
| Навчальна дисципліна | Електрообладнання електрорухомого складу та тягових мереж |
| 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

$$F_{з.в.о.} = 0,42k_{нс} - 0,27 .$$

2) Магнітний потік у відносних одиницях:

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

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

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

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

5) Струм якоря, А,

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

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

$$F_{з.в.о.} = 0,98I_{я}w_3m_F .$$

7) Коефіцієнт насичення в розрахунковій точці:

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

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

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

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 контактї 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 $\beta_{\text{ном}} = 0,98$:

$$\Sigma p = p_m + p_c + p_{\text{дод}} + p_{\text{пер}} + p_{\text{тр.ш}} + p_{\text{мех}};$$

б) у режимі ОЗ

$$\Sigma p_{\beta} = \Sigma p - p_m + (0,004\theta_{\text{гар}} + 0,92) \cdot \left[0,98 I_{\text{я}}^2 r_3 + \left(0,98 \frac{I_{\text{я}}}{\beta} \right)^2 (r_{\text{я}} + r_{\text{лп.}}) \right].$$

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

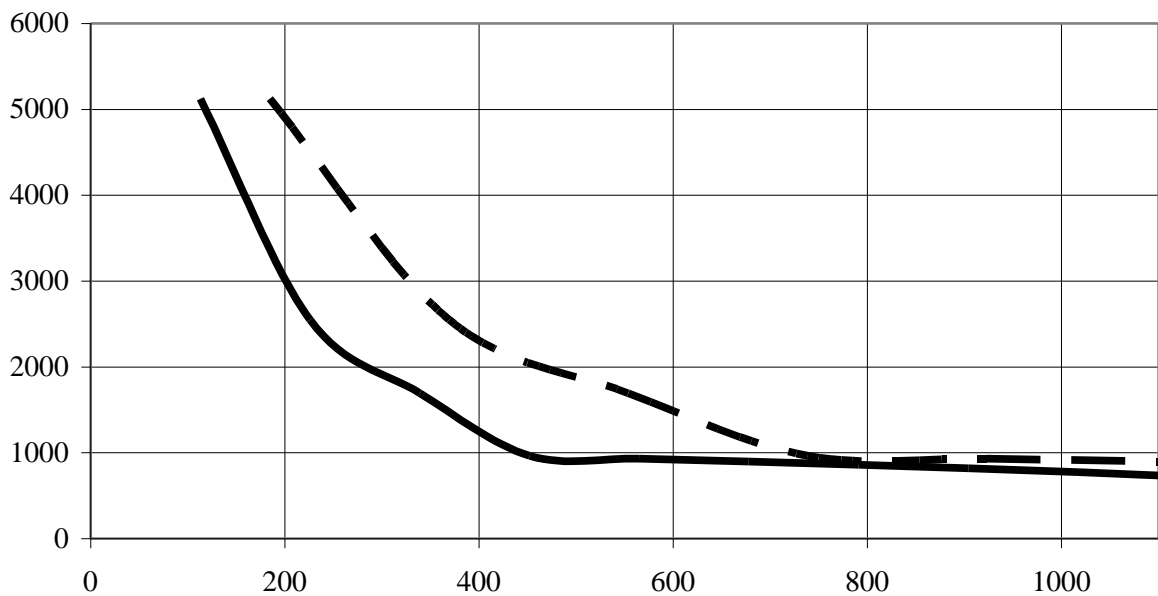


Рисунок 1 – Залежність частоти обертання ротора двигуна від струму якіря:
 ————— - режим повного поля, — — — - режим ослабленого поля.

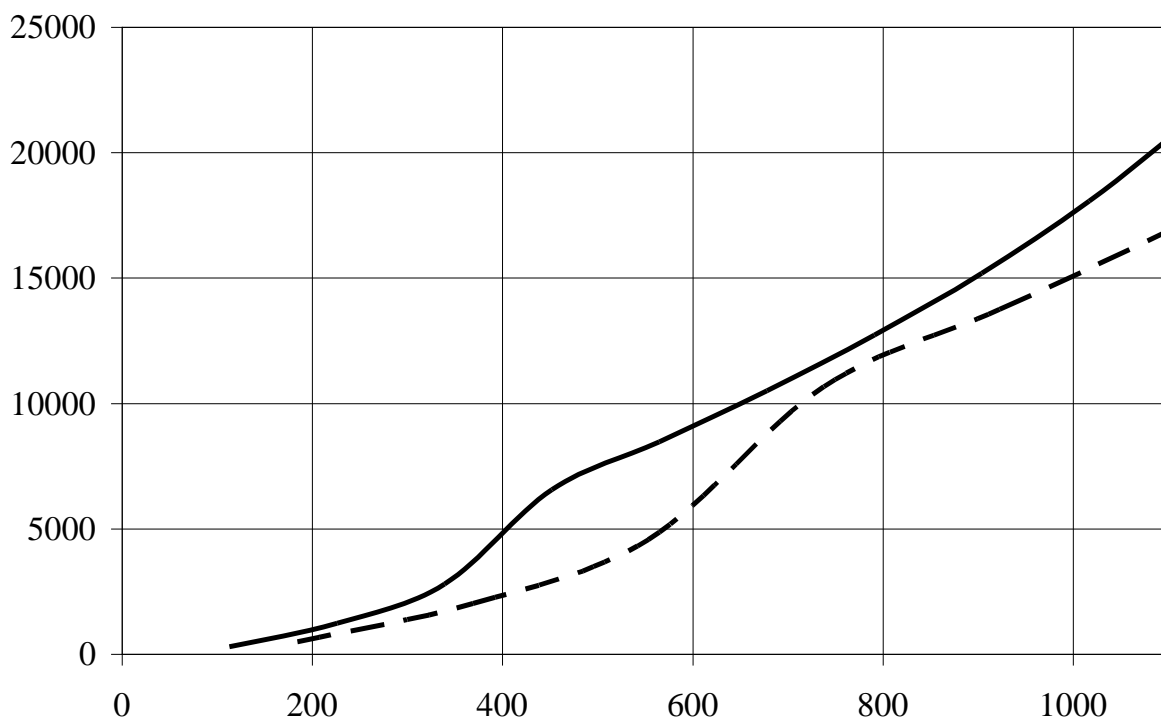


Рисунок 2 – Залежність моменту двигуна від струму якоря:

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

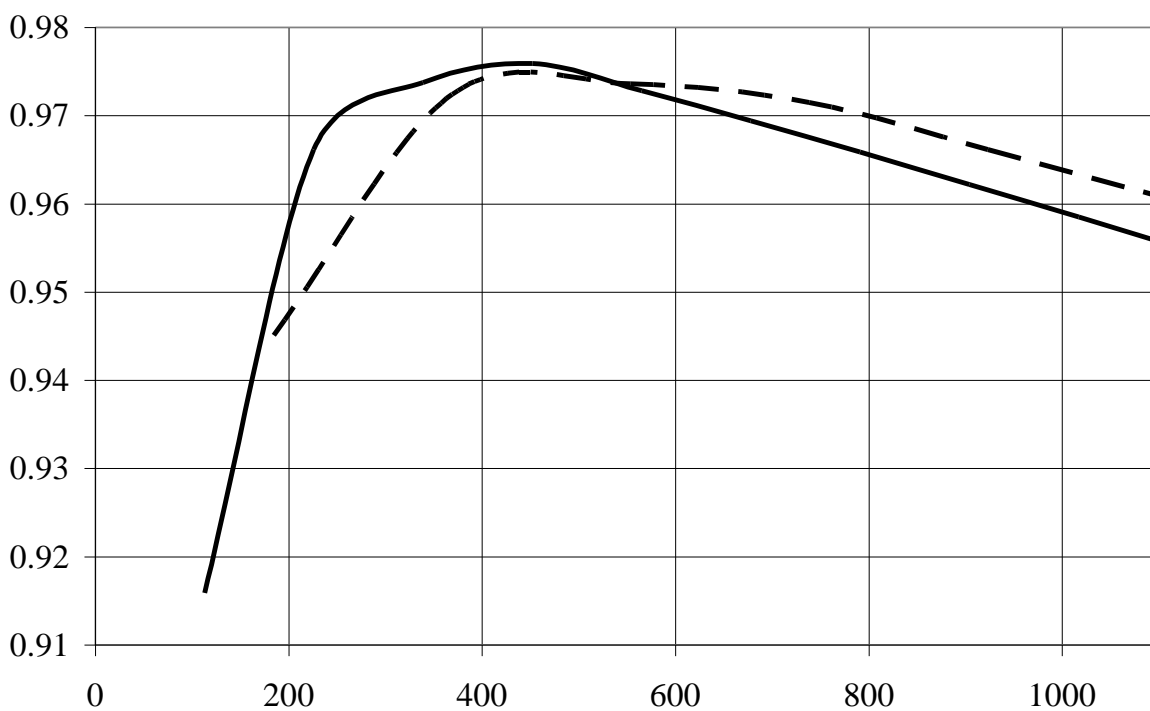


Рисунок 3 – Залежність к. к. д. двигуна від струму якоря:

———— - 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_3 | 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 | $v_{\text{к}}$ | 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_3 | 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