



Національний університет
водного господарства та природокористування

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

04-03-178

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання практичних робіт



з навчальної дисципліни
"Електричні машини"

для студентів спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Рекомендовано науково-методичною комісією зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Протокол № 4 від 09. 11. 2016 р.

Рівне – 2017



Національний університет

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни "Електричні машини" для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / Маланчук Є.З., Христюк А.О. – Рівне : НУВГП, 2017. – 53 с.

Упорядники: Є.З. Маланчук, д.т.н., професор кафедри АЕКІТ;
А.О. Христюк, ст. викладач кафедри АЕКІТ.

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



Національний університет
водного господарства
та природокористування

© Маланчук Є.З.,
Христюк А.О., 2017
© НУВГП, 2017



Зміст

Вступ	4
1. Трансформатори	5
2. Асинхронні машини	21
3. Синхронні машини	35
4. Машини постійного струму	44
Література	53





Вступ

Методичні вказівки складено у відповідності з робочою програмою з навчальної дисципліни "Електричні машини" для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка".

Метою вивчення дисципліни є отримання студентами уявлення про електричні машини, засвоєння основних методів розрахунку параметрів електричних машин та режимів їх роботи.

Самостійне розв'язування задач є одним із загальнонавчальних засобів підвищення ефективності процесу навчання. Це сприяє глибшому засвоєнню теоретичного матеріалу, дозволяє сконцентрувати увагу на його основних положеннях.

Методичні вказівки складаються з чотирьох розділів: трансформатори, асинхронні машини, синхронні машини, машини постійного струму. Кожен розділ розпочинається з детального викладу типових прикладів розв'язування задач, що забезпечує теоретичну і методичну основу для подальшого самостійного вирішення поставлених завдань. Методичні вказівки містять завдання для самостійного вирішення.



1. ТРАНСФОРМАТОРИ

Задача 1.1. Номінальна потужність однофазного трансформатора $S_H = 10500$ кВА, напруга $U_{1H} = 110$ кВ і $U_{2H} = 6.3$ кВ, напруга короткого замикання $U_K = 10.5$ %, струм холостого ходу $I_o = 3.3$ %, втрати холостого ходу $P_o = 29.5$ кВт, втрати короткого замикання $P_K = 81.5$ кВт. Визначити струми холостого ходу і короткого замикання, напругу короткого замикання.

Розв'язок

Напруга короткого замикання, кВ:

$$U_K = \frac{U_K [\%]}{100} U_{1H} = \frac{10.5}{100} 110 = 11.5$$

Номінальний струм, А:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{U_{1H}} = \frac{10500}{110} = 95.5$$

Струм холостого ходу, А:

$$I_o = \frac{I_o [\%]}{100} I_{1H} = \frac{3.3}{100} 95.5 = 3.14$$

Струм короткого замикання, А:

$$I_{1K} = I_{1H} \frac{U_{1H}}{U_{1K}} = 95.5 \frac{110}{11.5} = 914$$

Задача 1.2. Визначити параметри спрощеної схеми заміщення трансформатора, сполученого за схемою Y/Y, складові напруг короткого замикання у відсотках і вольтах, коефіцієнт потужності навантаження, коефіцієнт трансформації, якщо номінальна потужність $S_H = 20$ кВА, напруга $U_{1H} = 20$ кВ і $U_{2H} = 0.4$ кВ, втрати короткого замикання $P_K = 0.6$ кВт, напруга короткого замикання $U_K = 5.5$ %.

Розв'язок

Фазні значення номінальної напруги, кВ:



$$U_{1\phi} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3.47 ;$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{2H}}{\sqrt{3}} = \frac{0.4}{\sqrt{3}} = 0.23$$

Фазні значення номінальних струмів, А:

$$I_{1\phi} = I_{1H} = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_{1H}} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 6} = 1.93 ;$$

$$I_{2\phi} = I_{2H} = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_{2H}} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 29$$

Напряга короткого замикання, В:

$$U_K = U_{1\phi} \frac{U_K [\%]}{100} = 3470 \frac{5.5}{100} = 191$$

Повний опір спрощеної схеми заміщення, Ом :

$$z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1\phi}} = \frac{191}{1.93} = 98.9$$

Активний опір, Ом :

$$r_K = \frac{P_K}{mI_{1\phi}^2} = \frac{600}{3 \cdot 1.93^2} = 53.7$$

Індуктивний опір, Ом :

$$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2} = \sqrt{98.9^2 - 53.7^2} = 83$$

Коефіцієнт потужності, в.о.

$$\cos \varphi_K = \frac{r_K}{z_K} = \frac{53.7}{98.9} = 0.545 ; \varphi_K = 57^\circ$$

Активна складова напруги короткого замикання :

$$U_{Ka} = r_K I_{1\phi} = 53.7 \cdot 1.93 = 104 \text{ В}; U_{Ka} = \frac{r_K I_{1\phi}}{U_{1\phi}} 100 = \frac{104}{3470} 100 = 3 \%$$

Індуктивна складова напруги короткого замикання :

$$U_{Kp} = x_K I_{1\phi} = 83.0 \cdot 1.93 = 160 \text{ В}; U_{Kp} = \frac{x_K I_{1\phi}}{U_{1\phi}} 100 = \frac{160}{3470} 100 = 4.7 \%$$



Коефіцієнт трансформації :

$$k = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{3.47}{0.23} = 15$$

Задача 1.3. Визначити найбільше значення коефіцієнта корисної дії трифазного трансформатора, якщо номінальна потужність $S_H = 50$ кВА, втрати холостого ходу $P_O = 0.35$ кВт, втрати короткого замикання $P_K = 1.35$ кВт, коефіцієнт потужності навантаження $\cos\varphi_2 = 1$.

Розв'язок

При максимальному значенні коефіцієнта корисної дії $P_O = \kappa_H^2 P_K$ що відповідає цьому значенню коефіцієнт навантаження

$$\kappa_H = \sqrt{\frac{P_O}{P_K}} = \sqrt{\frac{0.35}{1.35}} = 0.516$$

Максимальне значення ККД, %

$$\eta_{\max} = \frac{P_2}{P_1} 100 = \frac{P_2}{P_2 + \sum \Delta P} 100 = \frac{\kappa_H S_H \cos\varphi_2}{\kappa_H S_H \cos\varphi_2 + P_O + \kappa_H^2 P_K} 100 =$$

$$= \left(\frac{0.516 \cdot 50 \cdot 1}{0.516 \cdot 50 \cdot 1 + 0.35 + 0.516^2 \cdot 1.32} \right) 100 = 97.4.$$

Задача 1.4. Знайти розподіл навантаження між двома трифазними трансформаторами, що мають однакові коефіцієнти трансформації і однакові групи з'єднання обмоток (Y/Y - 12), але різні значення напруги короткого замикання. При коефіцієнті потужності $\cos\varphi_2 = 0.8$ відстаючий струм навантаження $I = 80$ А. Напряга на первинних обмотках $U_{1H} = 35$ кВ. Трансформаторами мають наступні відмінні дані: потужність - $S_{H(1)} = 1800$ кВА, $S_{H(2)} = 3200$ кВА; напруга короткого замикання - $U_{K(1)} = 6.5$ % $U_{K(2)} = 7$ %; втрати короткого замикання - $P_{K(1)} = 24$ кВт, $P_{K(2)} = 37$ кВт.



Розв'язок

Напряга короткого замикання, кВ:

$$U_{\kappa(1)} = \left(\frac{U_{\kappa(1)} [\%]}{100} \right) \left(\frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} \right) = \left(\frac{5.5}{100} \right) \left(\frac{35}{\sqrt{3}} \right) = 1.31$$

$$U_{\kappa(2)} = \left(\frac{U_{\kappa(2)} [\%]}{100} \right) \left(\frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} \right) = \left(\frac{7}{100} \right) \left(\frac{35}{\sqrt{3}} \right) = 1.41$$

Активна складова напруги короткого замикання :

$$U_{\kappa a(1)} [\%] = \frac{100 P_{\kappa(1)}}{S_{H(1)}} = \frac{100 \cdot 24}{1800} = 1.33$$

$$U_{\kappa a(1)} [кВ] = \left(\frac{U_{\kappa a(1)} [\%]}{100} \right) \left(\frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} \right) = \left(\frac{1.33}{100} \right) \left(\frac{35}{\sqrt{3}} \right) = 0.27$$

$$U_{\kappa a(2)} [\%] = \frac{100 P_{\kappa(2)}}{S_{H(2)}} = \frac{100 \cdot 37}{3200} = 1.15$$

$$U_{\kappa a(2)} [кВ] = \left(\frac{U_{\kappa a(2)} [\%]}{100} \right) \left(\frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} \right) = \left(\frac{1.15}{100} \right) \left(\frac{35}{\sqrt{3}} \right) = 0.232$$

Індуктивна складова напруги короткого замикання, кВ:

$$U_{\kappa p(1)} = \sqrt{(U_{\kappa(1)})^2 - (U_{\kappa a(1)})^2} = \sqrt{(1.31)^2 - (0.27)^2} = 1.3$$

$$U_{\kappa p(2)} = \sqrt{(U_{\kappa(2)})^2 - (U_{\kappa a(2)})^2} = \sqrt{(1.41)^2 - (0.232)^2} = 1.4$$

Номінальні струми, А:

$$I_{1H(1)} = \frac{S_{H(1)}}{\sqrt{3} U_{1H}} = \frac{1800}{\sqrt{3} \cdot 35} = 29.8$$

$$I_{1H(2)} = \frac{S_{H(2)}}{\sqrt{3} U_{1H}} = \frac{3200}{\sqrt{3} \cdot 35} = 52.9$$

Опори схеми заміщення в режимі короткого замикання, Ом:



$$\underline{z_{к(1)}} = \frac{U_{ка(1)}}{I_{1н(1)}} + j \frac{U_{кп(1)}}{I_{1н(1)}} = \frac{0.27 \cdot 10^3}{29.8} + j \frac{1.3 \cdot 10^3}{29.8} = 9.08 + j43.7$$

$$\underline{z_{к(2)}} = \frac{U_{ка(2)}}{I_{1н(2)}} + j \frac{U_{кп(2)}}{I_{1н(2)}} = \frac{0.232 \cdot 10^3}{52.9} + j \frac{1.4 \cdot 10^3}{52.9} = 4.4 + j26.5$$

Комплексне значення струму навантаження, А:

$$\dot{I} = I \cos \varphi_2 + jI \sin \varphi_2 = 80 \cdot 0.8 + j80 \cdot 0.6 = 64 + j48$$

Струм навантаження розподіляється обернено пропорційно до опорів короткого замикання :

$$\begin{aligned} \dot{I}_{1(2)} &= \dot{I} \frac{\underline{z_{к(1)}}}{\underline{z_{к(1)}} + \underline{z_{к(2)}}} = \frac{(64 + j48)(9.08 + j43.7)}{9.08 + j43.7 + 4.4 + j26.5} = 40 + j25.5 = \\ &= 47.4e^{-j32} \text{ А}; \end{aligned}$$

$$\dot{I}_{1(1)} = \dot{I} - \dot{I}_{1(2)} = 64 + j48 - (40 + j25.5) = 24 + j16.5 = 29.1e^{-j34} \text{ А.}$$

Спрощений розрахунок. Для великих трансформаторів похибка спрощеного розрахунку не перевищує 5 %. Він здійснюється за наступною схемою:

1) визначаються опори короткого замикання трансформаторів,
Ом

$$\underline{z_{к(1)}} = \frac{U_{к(1)}}{I_{1н(1)}} = \frac{1.31 \cdot 10^3}{29.8} = 44 \quad ; \quad \underline{z_{к(2)}} = \frac{U_{к(2)}}{I_{1н(2)}} = \frac{1.41 \cdot 10^3}{52.9} = 26.7$$

2) визначаються струми в трансформаторах, А:

$$\dot{I}_{1(2)} = I \frac{\underline{z_{к(1)}}}{\underline{z_{к(1)}} + \underline{z_{к(2)}}} = \frac{80 \cdot 44}{44 + 26.7} = 49.8$$

$$\dot{I}_{1(1)} = I - \dot{I}_{1(2)} = 80 - 49.8 = 30.2$$

Задача 1.5. Номінальні дані трифазного трансформатора при з'єднанні обмоток за схемою «зірка-зірка»: потужність $S_H = 63$ кВА, напруга на обмотці високої і низької напруги відповідно $U_{вн} = 21$ кВ і

$U_{HH} = 0.4$ кВ: Втрати холостого ходу - $P_o = 0.29$ кВт, струм холостого - $I_o = 0.035 I_H$, втрати короткого замикання - $P_K = 1.65$ кВт, напруга короткого замикання - $U_K = 4.5$ %, активна складова напруги короткого замикання - $U_{Ka} = 2.54$ %. Визначити: коефіцієнт потужності при короткому замиканні і холостому ході, опори схеми заміщення для режиму короткого замикання, ККД при номінальному навантаженні і коефіцієнтах потужності $\cos \varphi_2 = 1$ і $\cos \varphi_2 = 0.8$; активну потужність на вторинній стороні для $\cos \varphi_2 = 0.8$, при якій значення ККД буде найбільшим; втрати в трансформаторі при потужності $S = 10$ кВА; напруга на виводах вторинної обмотки при номінальному навантаженні і коефіцієнтах потужності $\cos \varphi_2 = 1$ і $\cos \varphi_2 = 0.8$.

Розв'язок

Номінальні струми, А:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_{BH}} = \frac{63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 21 \cdot 10^3} = 1.73$$

$$I_{2H} = \frac{U_{BH}}{U_{HH}} I_{1H} = \frac{21}{0.4} 1.73 = 91.0$$

Коефіцієнти потужності, в.о.:

$$\cos \varphi_o = \frac{P_o}{\sqrt{3}U_{BH}I_o} = \frac{0.29}{\sqrt{3} \cdot 21 \cdot (0.035 \cdot 1.73)} = 0.132$$

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{\sqrt{3}U_K I_{1H}} = \frac{1.65}{\sqrt{3}(0.045 \cdot 21)1.73} = 0.592$$

Опори короткого замикання, Ом :

$$r_K = r_1 + r_2' = \frac{P_K}{m I_{1H}^2} = \frac{1650}{3(1.73)^2} = 183$$

$$x_K = x_1 + x_2' = \frac{U_{Kp} [\%] \cdot (U_{1H} / \sqrt{3})}{100 I_{1H}} = \frac{\sqrt{U_K^2 - U_{Ka}^2} \cdot U_{1H}}{100 \sqrt{3} I_{1H}} =$$



$$= \frac{\sqrt{(4.5)^2 - (2.54)^2} \cdot 21000}{100\sqrt{3} \cdot 1.73} = 260$$

Коефіцієнт корисної дії при номінальному навантаженні, в.о.:

$$\eta_H = \frac{P_{2H}}{P_{1H}} = \frac{S_H \cos \varphi_2}{S_H \cos \varphi_2 + P_o + P_k};$$

$$\text{при } \cos \varphi_2 = 1 \quad \eta_H = \frac{63 \cdot 1}{63 \cdot 1 + 0.29 + 1.65} = 0.97;$$

$$\text{при } \cos \varphi_2 = 0.8 \quad \eta_H = \frac{63 \cdot 0.8}{63 \cdot 0.8 + 0.29 + 1.65} = 0.963.$$

Максимальне значення коефіцієнта корисної дії відповідає умові $P_o = P_k$. Враховуючи, що втрати короткого замикання $P_k = 3I_{1\phi}^2 r_k$, визначаються значення струму

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_k}{3r_k}} = \sqrt{\frac{P_o}{3r_k}} = \sqrt{\frac{290}{3 \cdot 183}} = 0.727 \text{ А}$$

і активній потужності на вторинній стороні

$$P_2 = \sqrt{3}U_{2H}I_2 \cos \varphi_2 = \sqrt{3}U_{2H} \left(\frac{U_{1H}}{U_{2H}} \right) I_1 \cos \varphi_2 =$$

$$= \sqrt{3} \cdot 400 \cdot \left(\frac{21000}{400} \right) 0.927 \cdot 0.8 = 16.9 \text{ кВт.}$$

Втрати потужності в трансформаторі при $S = 10$ кВА:

$$\Sigma \Delta P = P_o + \kappa_n^2 P_k = P_o + \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 P_k = 0.29 + \left(\frac{10}{60} \right)^2 1.65 = 0.336 \text{ кВт.}$$

Напруга на вторинній обмотці, що відповідає спрощеній схемі заміщення трансформатора під навантаженням:

$$U'_2 = U_1 - I_1(r_k \cos \varphi_2 + x_k \sin \varphi_2);$$

$$\cos \varphi_2 = 1 \quad U'_2 = \frac{21000}{\sqrt{3}} - 1.73 \cdot 183 \cdot 1 = 11820 \text{ В;}$$



$$\cos \varphi_2 = 0.8 \quad U_2' = \frac{21000}{\sqrt{3}} - 1.73(183 \cdot 1 + 260 \cdot 0.599) = 11630 \quad \text{В.}$$

Напряга на виводах вторинної обмотки при номінальному навантаженні:

$$U_{2нн} = \frac{\sqrt{3}U_2'}{k} = \frac{\sqrt{3}U_2'}{(U_{вн}/U_{нн})},$$

$$\cos \varphi_2 = 1 \quad U_{2нн} = \frac{\sqrt{3} \cdot 11820}{(21/0.4)} = 390 \quad \text{В;}$$

$$\cos \varphi_2 = 0.8 \quad U_{2нн} = \frac{\sqrt{3} \cdot 11630}{(21/0.4)} = 383 \quad \text{В.}$$

Завдання для самостійного виконання

Задача 1.6. Визначити номінальний струм вторинної обмотки $I_{2н}$ однофазного трансформатора, якщо номінальна потужність $S_n = 20$ кВА, номінальна напруга первинної обмотки $U_{1н} = 10$ кВ, коефіцієнт трансформації $k = 15$.

Задача 1.7. Визначити номінальну потужність трифазного трансформатора S_n і номінальний струм первинної обмотки $I_{1н}$, якщо номінальна напруга первинної обмотки $U_{1н} = 20$ кВ, номінальна напруга вторинної обмотки $U_{2н} = 0.4$ кВ, номінальний струм вторинної обмотки $I_{2н} = 150$ А.

Задача 1.8. Знайти діючі значення ЕРС в обмотках E_1 і E_2 , якщо максимальний магнітний потік $\Phi_{\max} = 0.02$ Вб, частота струму $f = 50$ Гц, кількість витків первинної і вторинної обмоток відповідно $W_1 = 100$, $W_2 = 50$.

Задача 1.9. Максимальний магнітний потік в осерді однофазного трансформатора $\Phi_{\max} = 0.02$ Вб, число витків первинної обмотки $W_1 = 500$. Визначити коефіцієнт трансформації k і підведену

напругу U_1 , якщо напруга на затискачах вторинної обмотки в режимі холостого ходу $U_{2o} = 127$ В, частота напруги мережі $f = 50$ Гц.

Задача 1.10. Номінальна напруга первинної обмотки однофазного трансформатора $U_{1н} = 200$ В, потужність навантаження $P_2 = 1$ кВт, коефіцієнт потужності навантаження $\cos \varphi_2 = 0.8$. Визначити значення коефіцієнта трансформації k .

Задача 1.11. Визначити приведені значення струму вторинної обмотки $I'_{2н}$, якщо номінальний струм вторинної обмотки $I_{2н} = 10$ А, номінальна напруга первинної і вторинної обмоток відповідно $U_{1н} = 10$ кВ і $U_{2н} = 0.4$ кВ, обмотки сполучені за схемою Y/Δ .

Задача 1.12. Число витків первинної обмотки однофазного трансформатора $W_1 = 100$, магнітний потік в осерді $\Phi = 0.01$ Вб. Визначити ЕРС, якщо частота струму мережі живлення $f = 50$ Гц.

Задача 1.13. Трансформатор включений в мережу змінного струму промислової частоти. Індуктивність розсіяння первинної обмотки $L_{\sigma 1} = 0.001$ Гн. Визначити індуктивний опір розсіяння первинної обмотки $x_{\sigma 1}$.

Задача 1.14. Відомо, що вторинна обмотка трансформатора сполучена за схемою «трикутник», струм навантаження $I_2 = 100$ А. На який струм мають бути розраховані котушки фаз вторинної обмотки?

Задача 1.15. Обмотки трифазного трансформатора сполучені за схемою Y/Δ , число витків кожної фази первинної обмотки $W_1 = 1000$, вторинної обмотки $W_2 = 200$. Визначити лінійну напругу на виході трансформатора, якщо лінійна напруга мережі живлення $U_1 = 1000$ В.

Задача 1.16. У режимі холостого ходу трансформатор споживає потужність $P_0 = 3.6$ Вт, в режимі короткого замикання - $P_K = 2$ Вт, маса сталі осердя трансформатора $G = 3$ кг. Визначити питомі втрати в сталі p_0 .

Задача 1.17. Визначити активну складову струму холостого ходу I_{oa} однофазного трансформатора, якщо його номінальна потужність $S_H = 100$ ВА, номінальний первинний струм $I_{1н} = 1$ А, втрати холостого ходу $P_0 = 10$ Вт.



Задача 1.18. Первинна обмотка одного трифазного трансформатора сполучена за схемою «зірка», іншого - «трикутник». Обидва трансформатори приєднані до мережі з однаковою напругою і мають однакові магнітні потоки. Як відрізняються кількість витків первинних обмоток трансформаторів?

Задача 1.19. На щитку трансформатора позначено: $U_{1H} = 110$ кВ, $U_K = 10\%$. Яку напругу слід подати на первинну обмотку, щоб в режимі короткого замикання в обмотках протікали номінальні струми?

Задача 1.20. Втрати короткого замикання трансформатора $P_K = 3$ кВт, номінальна потужність трансформатора $S_H = 100$ кВА. Визначити активну складову напруги короткого замикання U_{Ka} у відсотках.

Задача 1.21. У досліді короткого замикання однофазного трансформатора вольтметр показує значення 5 В, амперметр - 1 А, ватметр - 3 Вт. Визначити опори схеми заміщення z_K і x_K .

Задача 1.22. При замкнутій накоротку вторинній обмотці на вхід трансформатора подана напруга $U_K = 10$ В, що складає 5 % від номінального значення, при цьому струми в обмотках $I_{1K} = I_{1H} = 2.5$ А, $I_{2K} = I_{2H} = 10$ А. Визначити потужність однофазного трансформатора і напругу на виході при номінальному навантаженні.

Задача 1.23. При номінальному режимі роботи трансформатора втрати в сталі магнітопровода складають 400 Вт. Визначити втрати в сталі при досліді короткого замикання, якщо напруга короткого замикання $U_K = 5\%$.

Задача 1.24. Струм холостого ходу однофазного трансформатора $I_0 = 1$ А, первинна обмотка має 100 витків. Визначити значення магніторухомої сили при холостому ході трансформатора.

Задача 1.25. Ватметр, підключений до затискачів джерела живлення трансформатора, показує значення: при холостому ході 50 Вт, при короткому замиканні 50 Вт, при номінальному навантаженні 1 кВт. Визначити ККД трансформатора.

Задача 1.26. Номінальна потужність на виході трансформатора $P_{2H} = 0.97$ кВт. У режимі холостого ходу ватметр показує 10 Вт, в режимі короткого замикання при номінальних струмах в обмотках -

Визначити ККД трансформатора при номінальному навантаженні.

Задача 1.27. Чому дорівнює значення напруги на затискачах трансформатора, якщо зміна вторинної напруги $\Delta U = 4\%$, коефіцієнт навантаження $\kappa_H = 0.5$, номінальна напруга вторинної обмотки $U_{2H} = 400$ В?

Задача 1.28. Номінальна первинна напруга $U_{1H} = 6$ кВ, коефіцієнт трансформації $k = 15$. Визначити зміну вторинної напруги трансформатора ΔU_H у відсотках, якщо при номінальному навантаженні $U_2 = 380$ В.

Задача 1.29. Визначити напругу на затискачах вторинної обмотки при активному номінальному навантаженні, якщо активна складова напруги короткого замикання $U_{ка} = 2\%$, номінальна вторинна напруга $U_{2H} = 400$ В.

Задача 1.30. Потужність, що споживається однофазним понижуючим трансформатором, $S_1 = 500$ ВА. Напруга мережі $U_c = 100$ В. Коефіцієнт трансформації $k = 10$. Визначити струм навантаження.

Задача 1.31. Зміна вторинної напруги однофазного трансформатора при номінальному навантаженні і коефіцієнті потужності $\cos \varphi_2 = 1$ складає 1.97% . Визначити електричні втрати в обмотках, якщо номінальна потужність трансформатора $S_H = 100$ кВА.

Задача 1.32. Чому дорівнює кут між векторами однойменних лінійних напруг обмоток трансформатора, якщо їх схема і група з'єднання - Y/Y - 8?

Задача 1.33. Які групи можна отримати при з'єднанні обмоток трифазного трансформатора за схемою Y/ Δ ?

Задача 1.34. Які групи з'єднання обмоток трифазного трансформатора можливі при схемі Y/Y?

Задача 1.35. На вхід однофазного трансформатора подана напруга $U_1 = 220$ В частотою $f = 50$ Гц, число витків вторинної обмотки $W_2 = 30$, напруга на виході трансформатора в режимі холостого ходу $U_{20} = 36$ В, площа поперечного перерізу осердя



магнітопровода $S_{ст} = 36 \text{ см}^2$. Визначити число витків первинної обмотки і максимальне значення магнітної індукції в осерді.

Задача 1.36. Однофазний трансформатор підданий випробуванню при номінальній первинній напрузі в режимі холостого ходу і при номінальному струмі в обох обмотках в режимі короткого замикання. Покази приладів в первинному і вторинному колі наступні: $U_{1н} = 6 \text{ кВ}$, $U_{2о} = 220 \text{ В}$, $I_{1о} = 0.18 \text{ А}$, $P_{1о} = 70 \text{ Вт}$, $U_{1к} = 188 \text{ В}$, $I_{1к} = 3 \text{ А}$, $I_{2к} = 46 \text{ А}$, $P_{1к} = 250 \text{ Вт}$. Визначити: номінальну потужність трансформатора $S_{н}$, ККД при номінальному навантаженні для значень коефіцієнта потужності $\cos \varphi_2 = 1$ і $\cos \varphi_2 = 0.8$, параметри схеми заміщення при допущенні $r_1 = r_2'$, $x_{\sigma 1} = x_{\sigma 2}'$.

Задача 1.37. Визначити процентну зміну вторинної напруги трансформатора при струмі навантаження $I_2 = 0.5 I_{2н}$ і коефіцієнті потужності $\cos \varphi_2 = 0.8$ за наступними даними: $S_{н} = 100 \text{ кВА}$, $P_{к} = 1970 \text{ Вт}$, $U_{к} = 4.5 \%$.

Задача 1.38. Трифазний трансформатор номінальною потужністю $S_{н} = 63 \text{ кВА}$ і напругою обмоток $U_{1н} / U_{2н} = 10 \text{ кВ} / 0.4 \text{ кВ}$ при струмі навантаження $I_2 = 45.5 \text{ А}$ і коефіцієнті потужності $\cos \varphi_2 = 0.9$ має на обмотці низької напруги $U_2 = 393 \text{ В}$. Схема і група з'єднання обмоток - $Y/Y - 0$. Визначити реактивну складову напруги короткого замикання $U_{кр}$, якщо втрати короткого замикання $P_{к} = 1280 \text{ Вт}$.

Задача 1.39. Трансформатор потужністю $S_{н} = 63 \text{ кВА}$ має втрати короткого замикання $P_{к} = 1280 \text{ Вт}$ і напругу короткого замикання $U_{к} = 4.5 \%$. Знайти значення кута навантаження, при яких зміна вторинної напруги не відбувається.

Задача 1.40. Визначити ККД трифазного трансформатора, якщо номінальна потужність $S_{н} = 100 \text{ кВА}$, коефіцієнт потужності навантаження $\cos \varphi_2 = 0.8$, втрати короткого замикання $P_{к} = 2000 \text{ Вт}$, втрати холостого ходу $P_0 = 500 \text{ Вт}$, коефіцієнт навантаження $\kappa_{н} = 0.5$.



Задача 1.41. Для однофазного трансформатора відомі: номінальна потужність $S_H = 100$ кВА, номінальна первинна напруга $U_{1H} = 10$ кВ, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_2 = 0.8$, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.97$, втрати холостого ходу $P_0 = 700$ Вт. Визначити активний опір первинної обмотки, вважаючи $r_1 = r_2'$.

Задача 1.42(*). Чи можна включити на паралельну роботу два трансформатори з наступними даними:

1) $S_H = 400$ кВА, $U_1 = 10500$ В, $U_2 = 400$ В, $U_K = 4.5$ %, Y/Y-0;

2) $S_H = 630$ кВА, $U_1 = 10000$ В, $U_2 = 380$ В, $U_K = 5.5$ %, Y/Y-0?

Задача 1.43(*). Два однофазні трансформатори напругою 6600/220 В, потужністю по 22 кВА кожен включаються на паралельну роботу. При номінальному навантаженні автономно працюючих трансформаторів $\Delta U_{H1} = 4.5$ %, $\Delta U_{H2} = 7$ %. Визначити струм навантаження кожного з трансформаторів, якщо при паралельній роботі на загальних шинах встановилася напруга $U_2 = 205$ В.

Задача 1.44(*). З паспортних даних трифазного трансформатора відомо: $U_{1H} = 10$ кВ, $I_{1H} = 4$ А, $\cos \varphi_1 = 0.8$, $\eta_H = 0.97$. Визначити коефіцієнт навантаження трансформатора, при якому втрати в сталі складають 700 Вт, а втрати в обмотках - 1500 Вт.

Задача 1.45. Однофазний трансформатор включений в мережу з частотою струму 50 Гц, номінальна вторинна напруга U_{2H} , коефіцієнт трансформації k . Визначити кількість витків в обмотках W_1 і W_2 , якщо в стержні магнітопровода перерізом S_{CT} максимальне значення магнітної індукції - B_{max} (таблиця. 1.1).

Таблиця 1.1

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_{2H} , В	230	400	680	230	230	400	400	680	230	230
k	15	10	12	8	10	6	8	12	14	8
S_{CT} , $m^2 \cdot 10^{-1}$	0.49	0.80	1.2	1.8	0.65	0.80	1.2	0.76	0.60	0.85
B_{max} , Тл	1.3	1.6	1.8	1.3	1.4	1.5	1.2	1.3	1.5	1.2



Задача 1.46. Для однофазного трансформатора номінальною потужністю S_H і первинною напругою U_{1H} , потужністю короткого замикання P_K і напругою короткого замикання U_K розрахувати дані і побудувати графік залежності зміни вторинної напруги ΔU від коефіцієнта навантаження κ_H , якщо коефіцієнт потужності навантаження - $\cos\varphi_2$ (таблиця. 1.2).

Таблиця 1.2

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_H , кВА	600	250	800	100	180	560	320	50	120	80
U_{1H} , кВ	31.5	6.3	31.5	6.3	6.3	10	10	3.4	6.3	10
P_K , кВт	20	12	22	7	10	25	13	3.5	8	5.4
U_K , %	8.5	6.5	8.5	5.5	6.5	7.0	6.5	5.5	5.5	6.0
$\cos\varphi_2$, в.о.	0.75	0.85	0.80	0.70	1.0	0.85	0.90	1.0	0.80	0.70

Задача 1.47. Для однофазного трансформатора, технічні дані якого приведені в завданні 1.46, розрахувати дані і побудувати графік залежності ККД від коефіцієнта навантаження $\eta = f(\kappa_H)$, якщо відомо, що його максимальне значення відповідає $\kappa_H = 0.7$.

Задача 1.48. Трифазний трансформатор номінальною потужністю S_H і номінальними лінійними напругами, U_{1H} , U_{2H} має напругу короткого замикання U_K , струм холостого ходу I_0 , втрати холостого ходу P_0 , втрати короткого замикання P_K (табл. 1.3). Обмотки трансформатора сполучені за схемою «зірка-зірка». 1. Визначити параметри Т-подібної схеми заміщення, вважаючи її симетричною ($r_1 = r_2'$; $x_1 = x_2'$). 2. Знайти ККД η і корисну потужність P_2 , що відповідають повній споживаній потужності $S_1 = 0.25S_H$,

$S_1 = 0.5S_H$, $S_2 = 0.75S_H$, $S_3 = S_H$, при значеннях $\cos \varphi_2 = 0.8$ і $\cos \varphi_2 = 1$; побудувати в одних осях координат графіки $\eta = f(P_2)$. 3.

Визначити номінальну зміну напруги ΔU_H .

Таблиця 1.3

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_H , кВА	100	180	320	560	1000	800	600	700	400	200
U_{1H} , кВ	0.5	3.0	6.0	10	35	10	10	6.0	3.0	3.0
U_{2H} , кВ	0.23	0.4	0.4	0.4	3.0	0.4	0.6	0.6	0.23	0.23
U_k , %	5.5	5.5	8.5	6.5	5.5	6.5	8.5	5.5	6.5	5.5
P_k , кВт	2.0	3.6	5.8	9.0	13.5	10	9.0	8.2	6.0	4.0
P_o , кВт	0.65	1.2	1.6	2.5	5.2	3.6	2.8	3.2	2.0	1.5
I_o , %	6.5	5.5	5.5	5.5	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.5

Задача 1.49. Три трифазні трансформатори номінальною потужністю $S_{H(1)}$, $S_{H(2)}$, $S_{H(3)}$ і напругою короткого замикання $U_{k(1)}$, $U_{k(2)}$, $U_{k(3)}$ (табл. 1.4) включені на паралельну роботу. Визначити: 1) значення навантаження кожного трансформатора ($S_{(1)}$, $S_{(2)}$, $S_{(3)}$) в кВА за умови, що їх загальне навантаження дорівнює сумі номінальних потужностей ($S_{\text{общ}} = S_{H(1)} + S_{H(2)} + S_{H(3)}$); 2) міру використання по потужності (S/S_H) кожного трансформатора; 3) наскільки слід зменшити загальне навантаження трансформаторів, $S_{\text{общ}}$ щоб усунути перевантаження, і як при цьому будуть використані у відсотках трансформатори по потужності.



Таблиця 1.4

Величини	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$S_{H(1)}$, кВА	5000	5600	3200	1800	560
$S_{H(2)}$, кВА	3200	3200	4200	3200	420
$S_{H(3)}$, кВА	1800	3200	5600	4200	200
$U_{K(1)}$, %	5.3	5.3	4.3	4.4	4.0
$U_{K(2)}$, %	5.5	5.5	4.3	4.0	4.2
$U_{K(3)}$, %	5.7	5.5	4.0	3.8	4.5





2. АСИНХРОННІ МАШИНИ

Задача 2.1. Трифазний асинхронний двигун загальнопромислового призначення з фазним ротором має наступні дані: напруга $U_H = 220$ В; схема з'єднання обмотки статора - «трикутник»; кількість витків фаз обмоток статора і ротора відповідно $W_1 = 192$ і $W_2 = 36$; обмотувальні коефіцієнти $k_{o1} = 0.932$ і $k_{o2} = 0.955$; активні і індуктивні опори на фазу $r_1 = 0.46$ Ом, $r_2 = 0.02$ Ом, $x_1 = 2.24$ Ом, $x_2 = 0.08$ Ом; кількість пар полюсів $p = 3$. Визначити: 1) струм статора $I_{1п}$ і ротора $I_{2п}$, обертовий момент $M_{п}$, і коефіцієнт потужності $\cos \phi_n$ при пуску двигуна із замкнутою накоротко обмоткою ротора; 2) струм статора I_1 і ротора I_2 , електромагнітний момент $M_{эм}$ при роботі двигуна з ковзання $s = 3\%$ (обмотка ротора замкнута накоротко); 3) величину додаткового опору $r'_{доб}$, який необхідно ввести в коло ротора, щоб отримати пусковий момент $M_{п}$, рівний максимальному значенню M_{max} , а також пускові струми в обмотках при цьому опорі; 4) критичне ковзання і максимальний момент за умови $r'_{доб} = 0$. Струм холостого ходу нехтувати.

Розв'язок

Коефіцієнти трансформації двигуна :

$$k_E = \frac{k_{o1}W_1}{k_{o2}W_2} = \frac{0.932 \cdot 192}{0.955 \cdot 36} = 5.2 ;$$
$$k_I = \frac{m_1 k_{o1}W_1}{m_2 k_{o2}W_2} = \frac{3 \cdot 0.932 \cdot 192}{3 \cdot 0.955 \cdot 36} = 5.2$$

Опір короткого замикання і його складові, Ом :

$$r'_2 = k_E k_I r_2 = (5.2)^2 \cdot 0.02 = 0.54 ;$$
$$x'_2 = k_E k_I x_2 = (5.2)^2 \cdot 0.08 = 2.16 ;$$
$$r_k = r_1 + r'_2 = 0.46 + 0.54 = 1.0 ;$$



$$x_k = x_1 + x_2' = 2.24 + 2.16 = 4.4 ;$$

$$z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2} = \sqrt{1.0^2 + 4.4^2} = 4.51$$

1. Розглядаємо асинхронний двигун із замкнутою накоротко обмоткою ротора при пуску як трансформатор.

Пусковий струм обмоток статора і ротора, А:

$$I_{1n} = \frac{U_{1\phi}}{z_k} = \frac{U_H}{z_k} = \frac{220}{4.51} = 48.8 ; \quad I_{2n} = k_I I_{1n} = 5.2 \cdot 48.8 = 254$$

Синхронна частота обертання магнітного поля статора, об/хв:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000$$

Пусковий момент двигуна, Нм:

$$M_n = \frac{m_2 I_2^2 (r_2/s)}{2\pi n_1} = \frac{3 \cdot 254^2 \cdot (0.02/1)}{2\pi (1000/60)} = 37.1$$

$$M_n = \frac{pm_1 U_{1\phi}^2 r_2'}{2\pi f_1 (r_k^2 + x_k^2)} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 220^2 \cdot 0.54}{2\pi \cdot 50 (1.0^2 + 4.4^2)} = 37.1$$

Коефіцієнт потужності при пуску:

$$\cos\varphi_n = \frac{r_k}{z_k} = \frac{1.0}{4.51} = 0.222$$

2. Режим роботи двигуна при ковзанні $s = 3\%$.

Опір короткого замикання двигуна, Ом:

$$r_k = r_1 + r_2' = r_1 + k_E k_I (r_2/s) = 0.46 + 5.2^2 (0.02/0.03) = 18.4 ;$$

$$x_k = x_1 + x_2' = x_1 + k_E k_I x_2 = 2.24 + 5.2^2 \cdot 0.08 = 4.4 ;$$

$$z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2} = \sqrt{18.4^2 + 4.4^2} = 18.9$$

Струми обмоток статора і ротора, А:

$$I_1 = U_{1\phi} / z_k = 220 / 18.9 = 11.6 ; \quad I_2 = k_I I_1 = 5.2 \cdot 11.6 = 60.5$$



Електромагнітний момент, Нм:

$$M_{\text{эм}} = \frac{m_2 I_2^2 (r_2/s)}{2\pi n_1} = \frac{3 \cdot 60 \cdot 5^2 (0.02/0.03)}{2\pi (1000/60)} = 69.9 \quad \text{чи}$$

$$M_{\text{эм}} = \frac{pm_1 U_{1\phi}^2 (r'_2/s)}{2\pi f_1 \left((r_1 + r'_2/s)^2 + (x_1 + x'_2)^2 \right)} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 220^2 (0.54/0.03)}{2\pi \cdot 50 (18.4^2 + 4.4^2)} = 69.9$$

3. Пусковий момент досягає максимального значення за умови

$$s_k = \frac{r'_2 + r'_{2\text{доб}}}{x_k} = 1, \quad \text{що рівносильно } r'_2 + r'_{2\text{доб}} = x_k.$$

Додатковий опір, Ом :

$$r'_{2\text{доб}} = x_k - r'_2 = 4.4 - 0.54 = 3.86, \quad r_{2\text{доб}} = \frac{r'_{2\text{доб}}}{k_E k_I} = \frac{3.86}{5.2^2} = 0.143$$

Пусковий струм при введенні в коло ротора додаткового опору,

А:

$$I_{1n} = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(r_1 + r'_2 + r'_{2\text{доб}})^2 + x_k^2}} = \frac{220}{\sqrt{4.86^2 + 4.4^2}} = 33.6$$

$$I_{2n} = k_I I_{1n} = 5.2 \cdot 33.6 = 175$$

Пусковий момент при введенні додаткового опору, Нм:

$$M_n = \frac{m_2 I_{2n}^2 (r_2 + r_{2\text{доб}})}{2\pi n_1} = \frac{3 \cdot 175^2 (0.02 + 0.143)}{2\pi (1000/60)} = 142 \quad \text{чи}$$

$$M_n = \frac{pm_1 U_{1\phi}^2 (r'_2 + r'_{2\text{доб}})}{2\pi f_1 \left((r_k + r'_{2\text{доб}})^2 + x_k^2 \right)} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 220^2 (0.54 + 3.86)}{2\pi \cdot 50 \left((1.0 + 3.86)^2 + 4.4^2 \right)} = 142$$

Коефіцієнт потужності при пуску двигуна з додатковим опором:



$$\cos\varphi_n = \frac{r_k + r'_{2\text{доб}}}{\sqrt{(r_k + r'_{2\text{доб}})^2 + x_k^2}} = \frac{1.0 + 3.86}{\sqrt{(1.0 + 3.86)^2 + 4.4^2}} = 0.742$$

При введенні додаткового опору в коло ротора пусковий момент двигуна збільшився в 3.82 разу, при цьому пусковий струм зменшився в 1.45 разу.

4. Критичне ковзання двигуна за умови $r_{\text{доб}} = 0$:

$$s_k = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}} = \frac{0.54}{\sqrt{0.46^2 + (2.24 + 2.16)^2}} = 0.1223 \quad \text{чи}$$

$$s_k \approx \frac{r'_2}{x_k} = \frac{0.54}{4.4} = 0.1227$$

Максимальний електромагнітний момент за умови $r_{\text{доб}} = 0$, Нм:

$$M_{\text{max}} = \frac{pm_1 U_1^2 \varphi}{4\pi f_1 \left(r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2} \right)} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 220^2}{4\pi \cdot 50 \left(0.46 + \sqrt{0.46^2 + 4.4^2} \right)} = 142$$

Задача 2.2. Асинхронний трифазний двигун при напрузі мережі $U_c = 380$ В розвиває номінальну потужність $P_n = 10$ кВт, обертаючись з частотою $n_n = 2920$ об/хв і споживаючи струм $I_{1n} = 18.6$ А при коефіцієнті потужності $\cos\varphi_n = 0.913$.

У режимі холостого ходу двигун споживає з мережі потужність $P_0 = 325$ Вт при струмі $I_0 = 5.04$ А. Активний опір обмотки статора $r_1 = 0.326$ Ом, механічні втрати потужності $\Delta P_{\text{мех}} = 130$ Вт. Схема з'єднання обмотки статора - «зірка». Визначити втрати потужності в міді статора і ротора, втрати в сталі, додаткові втрати при навантаженні, коефіцієнт корисної дії, електромагнітний момент, момент на валу для номінального режиму роботи двигуна.

Розв'язок

При рішенні задачі приймаємо допущення, що сума втрат в сталі і механічних втрат - величина стала.



Втрати в сталі, Вт:

$$P_{ст} = P_o - (m_1 I_o^2 r_1 + \Delta P_{мех}) = 325 - (3 \cdot 5.04^2 \cdot 0.326 + 130) = 170$$

Втрати в міді статора, Вт:

$$P_{эл1} = m_1 I_{1H}^2 r_1 = 3 \cdot 18.6^2 \cdot 0.326 = 338$$

Споживана з мережі потужність, Вт :

$$P_1 = \sqrt{3} U_{1H} I_{1H} \cos \varphi_H = \sqrt{3} U_c I_{1H} \cos \varphi_H = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 18.6 \cdot 0.913 = 11150$$

Електромагнітна потужність, Вт :

$$P_{эм} = P_1 - (P_{ст} + P_{эл1}) = 11150 - (170 + 338) = 10642$$

Втрати в міді ротора, Вт:

$$P_{эл2} = s P_{эм} = 0.027 \cdot 10642 = 280$$
, де при частоті обертання

магнітного поля статора $n_1 = 3000$ об/хв ковзання

$$s = (n_1 - n_H) / n_1 = (3000 - 2920) / 3000 = 0.027$$

Додаткові втрати, Вт :

$$P_{доб} = P_{эм} - (P_H + P_{эл2} + \Delta P_{мех}) = 10642 - (10000 + 130 + 280) = 150$$

Сумарні втрати потужності, Вт :

$$\begin{aligned} \sum \Delta P &= P_{эл1} + P_{эл2} + P_{ст} + \Delta P_{мех} + P_{доб} = \\ &= 338 + 280 + 170 + 130 + 150 = 1150 \end{aligned}$$

Коефіцієнт корисної дії, в.о.:

$$\eta = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1} = \frac{11150 - 1150}{11150} = 0.987$$

Електромагнітний момент, Нм:

$$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{2\pi n_1} = \frac{10642}{2\pi(3000/60)} = 33.9$$

Момент на валу двигуна, Нм:

$$M_2 = \frac{P_2}{2\pi n} = \frac{P_H}{2\pi n} = \frac{10000}{2\pi(2920/60)} = 32.7$$



Задача 2.3. Трифазний восьмиполосний асинхронний двигун в номінальному режимі має наступні дані: напруга $U_H = 380$ В, струм $I_H = 51$ А, частота обертання $n_H = 725$ об/хв, перевантажувальна здатність $M_{\max}/M_H = 3.3$, кратність пускового моменту $M_{\Pi}/M_H = 1.1$. Визначити критичне і робоче ковзання, перевантажувальну здатність і кратність пускового моменту при незмінному моменті навантаження і зменшенні напруги до значення 350 В.

Розв'язок

Синхронна частота обертання магнітного поля статора, об/хв:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750$$

Номінальне ковзання, о.е.:

$$s_H = (n_1 - n_H)/n_1 = (750 - 725)/750 = 0.033$$

Критичне ковзання визначається на підставі формули Клосса :

$$\frac{M_H}{M_{\max}} = \frac{2}{s_K + s_H} = \frac{2}{\frac{0.033}{s_K} + 0.033} = \frac{1}{3.3}; \quad s_{K1} = 0.21; \quad s_{K2} = 0.005$$

Рішення s_{K2} неприйнятне з фізичних міркувань в силу нерівності $s_{K2} < s_H$, $s_K = s_{K1} = 0.21$.

Перевантажувальна здатність двигуна при напрузі $U_1 = 350$ В і незмінному моменті навантаження (електромагнітний момент змінюється пропорційно квадрату напруги) :

$$\frac{M_{\max}(U_1)}{M_H} = \left(\frac{M_{\max}(U_H)}{M_H} \right) \left(\frac{U_1}{U_H} \right)^2 = 3.3 \left(\frac{350}{380} \right)^2 = 2.8$$

Кратність пускового моменту двигуна при напрузі $U_1 = 350$ В і незмінному моменті на валу:

$$\frac{M_{\Pi}(U_1)}{M_H} = \left(\frac{M_{\Pi}(U_H)}{M_H} \right) \left(\frac{U_1}{U_H} \right)^2 = 1.1 \left(\frac{350}{380} \right)^2 = 0.933$$



При цьому пониженні напруги пуск двигуна неможливий.

Робоче ковзання двигуна при напрузі $U_1 = 350$ В і незмінному моменті на валу:

$$\frac{M_H}{M_{\max}(U_H)} = \left(\frac{U_1}{U_H}\right)^2 \frac{2}{\frac{s(U_1)}{s_K} + \frac{s_K}{s(U_1)}} = \left(\frac{350}{380}\right)^2 \frac{2}{\frac{s(U_1)}{0.21} + \frac{0.21}{s(U_1)}} = \frac{1}{3.3};$$

$$s(U_1)_1 = 1.14; \quad s(U_1)_2 = 0.038$$

Ковзання $s(U_1)_1 = 1.14$ відповідає режиму гальмування, тому робітником є ковзання $s(U_1)_2 = 0.038$.

Задача 2.4. Трифазний асинхронний двигун з обмоткою статора, з'єднаною за схемою «трикутник», і короткозамкнутим ротором в номінальному режимі має наступні дані: потужність $P_H = 37$ кВт, напруга $U_H = 380$ В, струм $I_H = 73$ А, частота обертання $n_H = 1450$ об/хв, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H = 0.86$. При безпосередньому підключенні до мережі кратність пускового струму $I_{\Pi}/I_H = 6$, кратність пускового моменту $M_{\Pi}/M_H = 2$. Визначити пусковий струм і пусковий момент двигуна при пуску способом «перемикання схеми із зірки на трикутник».

Розв'язок

Номінальний момент двигуна, Нм:

$$M_H = \frac{P_H}{2\pi n_H} = \frac{37000}{2\pi(1450/60)} = 243$$

Пусковий момент при безпосередньому пуску від мережі, Нм:

$$M_{\Pi(\Delta)} = \left(\frac{M_{\Pi}}{M_H}\right) M_H = 2 \cdot 243 = 486$$

Пусковий струм при безпосередньому пуску від мережі, А:



$$I_{\Pi(\Delta)} = \left(\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{H}}} \right) I_{\text{H}} = 6 \cdot 73 = 438$$

При пуску двигуна перемиканням схеми із зірки на трикутник пусковий струм у фазі обмотки статора зменшується в $\sqrt{3}$ раз, пусковий момент - в 3 рази, споживаний з мережі струм, - в 3 рази:

$$I_{\Pi(Y)} = \frac{I_{\Pi(\Delta)}}{\sqrt{3}} = \frac{438}{\sqrt{3}} = 253 \quad \text{А; } M_{\Pi(Y)} = \frac{M_{\Pi(\Delta)}}{3} = \frac{486}{3} = 162 \text{ Нм;}$$

$$I_{\text{сп}(Y)} = \frac{I_{\text{сп}(\Delta)}}{3} = \frac{438}{3} = 146$$

Завдання для самостійного виконання

Задача 2.5. Шість котушок, осі яких зміщені в просторі одна відносно іншої на кут 60° , живляться трифазним струмом частотою $f = 50$ Гц. Визначити частоту обертання магнітного поля n_1 .

Задача 2.6. Магнітне поле, створене трифазним струмом частотою $f = 50$ Гц, обертається з частотою $n_1 = 3000$ об/хв. Скільки полюсів $2p$ має це магнітне поле?

Задача 2.7. Три котушки обмотки статора асинхронної машини живляться від мережі трифазного струму частотою $f = 50$ Гц. Ротор обертається з частотою $n = 2850$ об/хв. Визначити ковзання s .

Задача 2.8. Частота струму мережі живлення збільшилася в 2 рази. Як зміниться частота ЕРС в обмотці нерухомого ротора?

Задача 2.9. Частота струму мережі живлення $f = 50$ Гц. Ковзання асинхронного двигуна $s = 2$ %. Визначити частоту струму в обмотці ротора f_2 .

Задача 2.10. Магнітне поле відносно ротора переміщається з частотою $n_s = 60$ об/хв. Визначити частоту струму в обмотці ротора f_2 , якщо число пар полюсів $p = 2$.



Задача 2.11. При ковзанні $s = 2\%$ електрорушійна сила у фазі обмотки ротора $E_{2s} = 1$ В. Чому дорівнює ЕРС цієї обмотки E_2 при нерухомому роторі?

Задача 2.12. Активний опір фази обмотки нерухомого ротора $r_2 = 10$ Ом, індуктивний опір розсіяння - $x_2 = 150$ Ом. Як зміняться величини цих опорів при ковзанні $s = 10\%$?

Задача 2.13. Чи змінюється кут між векторами струму і ЕРС фази обмотки ротора при зміні частоти його обертання в діапазоні $n \in (0; n_H]$?

Задача 2.14. Напряга на затисках асинхронного двигуна зменшилася в 2 рази. Як зміниться його обертовий момент?

Задача 2.15. На заводській табличці асинхронного двигуна вказано: $U_H = 380\text{В}/220\text{В}$. Двигун підключають до мережі напругою $U_D = 220\text{В}$. Який має бути схема обмотки статора?

Задача 2.16. Дві котушки, зміщені в просторі на кут 90° , живляться двофазним струмом частотою $f = 50$ Гц. Визначити частоту обертання магнітного поля.

Задача 2.17. Відомо, що струми у фазах двофазної обмотки змінюються згідно із законом: $i_A = I_{\max} \cos \omega t$, $i_B = I_{\max} \sin \omega t$. Чому дорівнюють значення струмів i_A , i_B в моменти часу $t = T/4$ і $t = T/2$ (T – період струму)?

Задача 2.18. На який кут обернеться за чверть періоду : а) двополосне обертове магнітне поле; б) шестиполосне обертове магнітне поле?

Задача 2.19. Частота трифазного струму обмотки статора $f = 50$ Гц. Визначити частоту обертання: а) двополосного магнітного поля; б) шестиполосного магнітного поля.

Задача 2.20. Скільки котушок, що живляться трифазним струмом, потрібно для отримання шестиполосного обертового магнітного поля?

Задача 2.21. Активний опір обмотки ротора збільшений в два рази. Як зміниться величина максимального обертового моменту двигуна за інших рівних умов?

Задача 2.22. При ковзанні $s = 1$ обертовий момент, $M_{п} = 1$ Нм, момент навантаження на валу двигуна $M_c = 1.5$ Нм, перевертаючий



Задача 2.23. На яку потужність має бути розрахований генератор, що живить асинхронний двигун, який розвиває на валу механічну потужність $P_2 = 5$ кВт, якщо відомо, що коефіцієнт потужності двигуна $\cos \varphi = 0.8$, а його коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.9$?

Задача 2.24. Пусковий момент асинхронного двигуна при номінальній напрузі $M_{\Pi} = 100$ Нм. Чи можливий запуск двигуна при зниженні напруги на 10 %, якщо момент навантаження на валу $M_c = 90$ Нм?

Задача 2.25. Максимальний момент асинхронного двигуна $M_{\max} = 100$ Нм, номінальний, - $M_H = 50$ Нм. Як зміниться перевантажувальна здатність двигуна при зниженні напруги на 10 %?

Задача 2.26. Опір фази ротора трифазного асинхронного двигуна з контактними кільцями $r_2' = 0.01$ Ом. Визначити опір пускового реостата, що забезпечує при включенні в коло ротора запуск двигуна з максимально можливим моментом, якщо відомо, що критичне ковзання $s_k = 0.2$ в.о.

Задача 2.27. Паспортні дані асинхронного двигуна : $P = 100$ кВт, $U = 380$ В, $\eta = 91.5$ %, $\cos \varphi = 0.92$, $n = 2960$ об/хв. Визначити номінальний струм, номінальний момент, ковзання і частоту струму в роторі, якщо частота споживаного з мережі струму $f = 50$ Гц.

Задача 2.28. Для трифазного асинхронного двигуна відомі наступні дані: номінальна частота обертання $n_H = 1450$ об/хв, частота напруги мережі живлення $f = 50$ Гц, електромагнітна потужність $P_{\text{эм}} = 500$ Вт, механічні втрати $\Delta P_{\text{мех}} = 53.3$ Вт. Визначити номінальний і електромагнітний момент двигуна.

Задача 2.29. Визначити пусковий момент асинхронного двигуна, якщо електричні втрати в роторному колі при пуску складають 6.25 кВт, частота струму мережі живлення $f = 50$ Гц, номінальна частота обертання $n_H = 570$ об/хв.

Задача 2.30. У коло ротора чотириполюсного асинхронного двигуна з контактними кільцями підключений прилад магнітоелектричної системи з нулем по середині шкали. При живленні

обмотки статора від мережі частотою $f = 50$ Гц стрілка приладу за 30 секунд робить 60 повних коливань. Визначити частоту обертання ротора.

Задача 2.31. Значення ЕРС, індукованої у фазі ротора асинхронної машини при ковзанні $s = 0.03$, рівне 6 В. Визначити струм в обмотці нерухомого ротора, якщо активний опір фази обмотки ротора $r_2 = 0.01$ Ом, індуктивність розсіювання $L_2 = 2.2 \cdot 10^{-4}$ Гн, частота мережі $f = 50$ Гц.

Задача 2.32. Асинхронний двигун з фазним ротором має активний опір фази ротора $r_2 = 0.6$ Ом, індуктивний опір нерухомого ротора $x_2 = 2.2$ Ом. Відомо, що ЕРС фази нерухомого ротора $E_2 = 300$ В, частота обертання ротора $n = 1440$ об/хв. Визначити ЕРС при обертанні ротора E_{2s} , струм у фазі ротора I_{2s} при вказаній частоті обертання і у момент пуску.

Задача 2.33. Ковзання шестиполосного асинхронного двигуна дорівнює 3 %. Визначити частоту обертання ротора n , частоту струму обмотки ротора f_2 , якщо частота струму обмотки статора $f_1 = 50$ Гц.

Задача 2.34. Електромагнітна потужність асинхронного двигуна $P_{\text{эм}} = 500$ Вт, повна механічна потужність $P_{\text{мех}} = 470$ Вт. Знайти ковзання, при якому працює двигун, і електричні втрати в роторі.

Задача 2.35. Чотириполюсний асинхронний двигун живиться від мережі частотою $f_c = 50$ Гц. Знайти частоту обертання двигуна, якщо відомо, що електромагнітна потужність $P_{\text{эм}} = 500$ Вт, механічна потужність $P_{\text{мех}} = 470$ Вт.

Задача 2.36. Для трифазного асинхронного двигуна відомі наступні дані: номінальна напруга $U_H = 380$ В, номінальний струм $I_H = 18.6$ А, активний опір фази обмотки статора $r_1 = 0.33$ Ом, втрати в сталі статора $P_{cm} = 170$ Вт, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H = 0.85$, частота обертання ротора $n_H = 970$ об/хв, схема з'єднання обмотки статора - «зірка». Визначити: споживану потужність, електромагнітну потужність, електричні втрати в колі ротора.

Задача 2.37(*). Визначити частоту струму в обмотці ротора, якщо для асинхронного двигуна з фазним ротором відомі наступні



дані: $P_{эм} = 7$ кВт, $I_2 = 60$ А, $r_2 = 0.02$ Ом. Обмотка ротора сполучена за схемою «зірка».

Задача 2.38. Визначити значення ЕРС, індукованої обертовим магнітним потоком Φ в обмотці статора E_1 , в нерухомому та обертаючомуся роторі E_2 і E_{2s} , частоту обертання ротора n_2 і частоту струму в роторі f_2 , якщо відомо, що число послідовно сполучених витків фази обмотки статора W_1 , обмоточний коефіцієнт k_{01} , кількість полюсів $2p$, частота струму $f_1 = 50$ Гц і номінальне ковзання s_H (таблиця. 2.1).

Таблиця 2.1

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Φ $Вб(10^{-3})$	45	34	28	82	55	45	58	48	40	750
W_1	96	100	128	48	66	46	60	80	84	40
k_{01}	0.96	0.90	0.94	0.86	0.90	0.96	0.84	0.90	0.96	0.90
s_H	0.02	0.03	0.02	0.04	0.06	0.01	0.04	0.03	0.03	0.02
$2p$	4	6	8	12	2	4	8	8	6	10

Задача 2.39. Трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором працює від мережі частотою 50 Гц і має дані, наведені в табл. 2.2, де P_H - номінальна потужність, U_1 - фазна напруга, $\cos\varphi_H$ - коефіцієнт потужності, $P_{ст}$ - магнітні втрати, $\Delta P_{мех}$ - механічні втрати, r_1 - активний опір фази обмотки статора при робочій температурі, r_2' - приведений активний опір обмотки ротора. Необхідно побудувати графік залежності коефіцієнта корисної дії у функції відносного значення корисної потужності $\eta = f(P_2/P_H)$. Прийняти, що додаткові втрати $P_{доб} = 0.005P_2$, а коефіцієнт потужності змінюється у функції P_2/P_H відповідно до даних табл. 2.3.



Таблиця 2.2

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_H, \text{кВт}$	4.0	15	45	5.5	11	30	4.0	15	110	250
$\cos \varphi_H$	0.89	0.91	0.90	0.86	0.87	0.89	0.84	0.88	0.90	0.92
$U_1, \text{В}$	220	220	220	220	220	380	220	380	380	380
$r_1, \text{Ом}$	1.62	0.4	0.083	1.5	0.53	0.16	1.62	1.1	0.11	0.03
$r'_2, \text{Ом}$	1.40	0.2	0.043	1.2	0.28	0.06	1.40	0.4	0.02	0.01
$P_{cm}, \text{Вт}$	129	270	730	145	230	680	129	264	1230	1670
$\Delta P_{\text{мех}}, \text{Вт}$	80	250	370	40	100	320	30	125	550	900

Таблиця 2.3

P_2/P_H	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$\cos \varphi$	0.136	0.238	0.374	0.476	0.578	0.663	0.748	0.790	0.800	0.790	0.748

Задача 2.40. Трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором серії 4А має технічні дані, приведені в табл. 2.4. Визначити висоту осі обертання h , число полюсів $2p$, ковзання при номінальному навантаженні s_H , момент на валу M_H , початковий пусковий M_{Π} і максимальний M_{\max} моменти, номінальний і пусковий струми I_H і I_{Π} в мережі живлення при з'єднанні обмоток статора зіркою і трикутником.

Таблиця 2.4

Тип двигуна	Величини								
	$P_H, \text{кВт}$	$n_H, \text{р}$ об/хв	$\eta_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\frac{I_{\Pi}}{I_H}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_H}$	$\frac{M_{\max}}{M_H}$	$U_c, \text{В}$	
4А100 S 2У3	4.0	2880	86.5	0.89	7.5	2.0	2.5	220/380	
4А160 S 2У3	15	2940	88.0	0.91	7.0	1.4	2.2	220/380	
4А200М2У3	37	2945	90.0	0.89	7.5	1.4	2.5	380/660	
4А112М4У3	5.5	1445	85.5	0.85	7.0	2.0	2.2	220/380	
4А132М4У3	11	1460	87.5	0.87	7.5	2.2	3.0	220/380	
4А180М4У3	30	1470	91.0	0.89	6.5	1.4	2.3	380/660	
4А200М6У3	22	975	90.0	0.9	6.5	1.3	2.4	220/380	
4А280М6У3	90	985	92.5	0.89	5.5	1.4	2.2	380/660	
4А315М8У3	110	740	93.0	0.85	6.5	1.2	2.3	380/660	
4А355М10У3	110	590	93.0	0.83	6.0	1.0	1.8	380/660	



Задача 2.41. Трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором працює від мережі змінного струму частотою 50 Гц. При номінальному навантаженні ротор двигуна обертається з частотою n_H , перевантажувальна здатність двигуна - λ , а кратність пускового моменту - M_{II}/M_H (табл. 2.5). Розрахувати дані у відносних одиницях і побудувати механічну характеристику двигуна $M^* = f(s)$.

Таблиця 2.5

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_H , об/хв	1450	2940	960	1420	720	2920	580	1430	730	575
λ	2.2	1.9	2.0	2.2	2.0	1.9	1.8	2.2	1.7	1.8
M_{II}/M_H	1.4	1.4	1.2	1.0	1.0	1.2	1.4	1.0	0.9	1.0





3. СИНХРОННІ МАШИНИ

Задача 3.1. Шестиполосний синхронний генератор має повну потужність $S_H = 65$ кВА; номінальна напруга $U_H = 400/230$ В; коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H = 0.7$ в режимі перезбудження; індуктивний опір розсіювання $x_1 = 0.384$ Ом; індуктивний опір, обумовлений магнітним полем реакції якоря $x_a = 3.77$ Ом. Визначити: кут навантаження θ ; синхронну частоту обертання ротора n ; електрорушійну силу, що індукується магнітним полем збудження E_B відносні значення індуктивних опорів x_1, x_a і синхронного індуктивного опору x_d .

Розв'язок

Синхронна частота обертання ротора, об/хв:

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000$$

Номінальний струм обмотки якоря, А:

$$I_{1H} = \frac{S_H}{3U_{\phi H}} = \frac{65000}{3 \cdot 230} = 93.8$$

Активна складова струму якоря, А:

$$I_{1Ha} = I_{1H} \cos \varphi_H = 93.8 \cdot 0.7 = 65.7$$

Реактивна складова струму якоря, А:

$$I_{1Hp} = I_{1H} \sin \varphi_H = 93.8 \cdot 0.714 = 67.0$$

Комплексне значення струму якоря, А:

$$\dot{I}_{1H} = I_{1Ha} - jI_{1Hp} = 65.7 + j67.0$$

Синхронний індуктивний опір, Ом :

$$x_d = x_a + x_1 = 3.77 + 0.384 = 4.15$$

Спад напруги на синхронному індуктивному опорі, В:

$$\dot{U}_d = j\dot{I}_{1H}x_d = j(65.7 - j67.0)4.15 = 278 + j273$$

Комплексне значення ЕРС, індукованої полем збудження, В:



$$\dot{E}_B = \dot{U}_{\text{фн}} + jI_{1H}x_d = 230 + 278 + j273 = 508 + j273$$

Модуль діючого значення ЕРС, В:

$$E_B = \sqrt{508^2 + 273^2} = 578$$

Кут навантаження, град.:

$$\theta = \arcsin \left(\frac{\text{Im} \{ \dot{E}_B \}}{E_B} \right) = \arcsin \left(\frac{273}{578} \right) = \arcsin 0.472 = 28.2^\circ$$

Базисний опір, Ом :

$$z_0 = \frac{U_{\text{фн}}}{I_{1H}} = \frac{230}{93.8} = 2.46$$

Відносні значення індуктивних опорів, в.о.:

$$x_1^* = \frac{x_1}{z_0} = \frac{0.384}{2.46} = 0.156 \quad ; \quad x_a^* = \frac{x_a}{z_0} = \frac{3.77}{2.46} = 1.53 \quad ; \quad x_d^* = \frac{x_d}{z_0} = \frac{4.15}{2.46} = 1.69$$

Задача 3.2. Трифазний синхронний генератор потужністю $S_H = 330$ кВА, напругою $U_H = 6.3$ кВ при частоті струму $f = 50$ Гц і частоті обертання $n = 1000$ об/хв має коефіцієнт корисної дії $\eta_H = 92$ %. Генератор працює в номінальному режимі з коефіцієнтом потужності $\cos \varphi_H = 0.9$. Схема з'єднання обмотки статора - «зірка». Визначити: активну потужність генератора P_H , струм обмотки статора I_H , потужність приводного механізму P_{1H} , обертовий момент M_1 при безпосередньому з'єднанні валів генератора і приводного механізму.

Розв'язок

Активна потужність генератора, кВт:

$$P_H = S_H \cos \varphi_H = 330 \cdot 0.9 = 297$$

Струм обмотки статора, А:

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H} = \frac{330}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 3.3$$

Потужність приводного механізму, кВт:



$$P_{\text{H}} = \frac{P_{2\text{H}}}{\eta_{\text{H}}} = \frac{P_{\text{H}}}{\eta_{\text{H}}} = \frac{297}{0.92} = 323$$

Обертовий момент, Нм:

$$M_1 = \frac{P_1}{2\pi n} = \frac{323 \cdot 10^3}{2\pi(1000/60)} = 3084$$

Задача 3.3. Трифазний синхронний двигун номінальною потужністю $P_{\text{H}} = 575$ кВт, числом полюсів $2p = 6$ працює від мережі промислової частоти напругою $U_{\text{H}} = 6$ кВ. Перевантажувальна здатність двигуна $M_{\text{max}}/M_{\text{H}} = 1.5$, кратність пускового струму $I_{\text{п}}/I_{\text{H}} = 5$, кратність пускового моменту $M_{\text{п}}/M_{\text{H}} = 1.4$. Схема з'єднання обмотки статора - «зірка». У номінальному режимі роботи двигун має коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{H}} = 93$ %, коефіцієнт потужності при випереджаючому струмі статора $\cos \varphi_{\text{H}} = 0.8$. Визначити: 1) споживану двигуном з мережі активну потужність P_1 і струм I_{H} , сумарні втрати потужності $\sum \Delta P$, обертовий момент двигуна M_{H} при номінальному навантаженні; 2) пусковий струм $I_{\text{п}}$ і пусковий момент $M_{\text{п}}$; максимальний момент M_{max} , при якому двигун випадає з синхронізму.

Розв'язок

Споживана двигуном з мережі активна потужність, кВт:

$$P_1 = \frac{P_{\text{H}}}{\eta_{\text{H}}} = \frac{575}{0.93} = 618$$

Споживаний з мережі струм, А:

$$I_{\text{H}} = \frac{S_{\text{H}}}{\sqrt{3}U_{\text{H}}} = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_{\text{H}} \cos \varphi_{\text{H}}} = \frac{618}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0.8} = 74.5$$

Номінальна частота обертання, об/хв:

$$n_{\text{H}} = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000$$

Обертовий момент, що розвивається двигуном, Нм:



$$M_H = \frac{P_H}{2\pi n_H} = \frac{575 \cdot 10^3}{2\pi(1000/60)} = 5494$$

Сумарні втрати потужності в двигуні, кВт:

$$\sum \Delta P = P_1 - P_H = 618 - 575 = 43$$

Пусковий момент двигуна, Нм:

$$M_{II} = 1.4M_H = 1.4 \cdot 5494 = 7691$$

Пусковий струм двигуна, А:

$$I_{II} = 5I_H = 5 \cdot 74.5 = 372$$

Максимальний момент двигуна, Нм:

$$M_{\max} = 1.5M_H = 1.5 \cdot 5494 = 8240$$

Задача 3.4. У трифазну мережу напругою $U_c = 6$ кВ включений споживач потужністю $S_{II} = 660$ кВА при коефіцієнті потужності $\cos \varphi = 0.7$. Визначити потужність синхронного компенсатора, який слід підключити паралельно споживачеві, щоб коефіцієнт потужності мережі підвищився до значення $\cos \varphi' = 0.9$.

Розв'язок

Активна потужність споживача при $\cos \varphi = 0.7$, кВт:

$$P_{II} = S_{II} \cos \varphi = 660 \cdot 0.7 = 462$$

Реактивна потужність споживача при $\cos \varphi = 0.7$, кВАр:

$$Q_{II} = S_{II} \sin \varphi = \sqrt{S_{II}^2 - P_{II}^2} = \sqrt{660^2 - 462^2} = 471$$

Потужність споживача при $\cos \varphi' = 0.9$, кВА:

$$S'_{II} = \frac{P_{II}}{\cos \varphi'} = \frac{462}{0.9} = 513$$

Реактивна потужність споживача при $\cos \varphi' = 0.9$, кВАр:

$$Q'_{II} = \sqrt{(S'_{II})^2 - P_{II}^2} = \sqrt{513^2 - 462^2} = 224$$

Потужність синхронного компенсатора, кВАр:

$$Q_k = Q_{II} - Q'_{II} = 471 - 224 = 247$$



Завдання для самостійного виконання

Задача 3.5. Ротор трифазного синхронного генератора має 12 полюсів. Частота напруги на затискачах генератора $f = 50$ Гц. Корисна потужність приводного двигуна 5 кВт. Визначити обертовий момент на валу генератора.

Задача 3.6. Трифазний синхронний генератор виробляє напругу частотою $f = 50$ Гц. Число полюсів $2p = 2$. Приводний двигун створює момент, що обертає, на валу $M_1 = 29$ Нм. Визначити корисну потужність приводного двигуна.

Задача 3.7. Трифазний чотириполюсний синхронний двигун має наступні дані: номінальна потужність $P_n = 500$ кВт, номінальна напруга $U_n = 0.66$ кВ, коефіцієнт корисної дії $\eta_n = 0.95$, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_n = 0.8$ (випереджаючий струм), частота струму $f = 50$ Гц. Визначити частоту обертання ротора, номінальний обертовий момент, активну і реактивну складові потужності, споживаний з мережі струм статора і його реактивну складову.

Задача 3.8. Трифазний синхронний двигун включений в мережу напругою 380 В і розвиває на валу потужність 75 кВт. ККД двигуна - 92 %, коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0.8$. Визначити реактивну складову споживаного з мережі струму.

Задача 3.9. Повна потужність, споживана з мережі синхронним двигуном, $S_1 = 45$ кВА. Коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0.8$. Сумарні втрати потужності $\Sigma \Delta P = 4$ кВт. Визначити коефіцієнт корисної дії двигуна.

Задача 3.10. Визначити напругу на затискачах трифазного синхронного генератора, що працює в режимі холостого ходу, при з'єднанні обмотки статора за схемою «трикутник» і «зірка», якщо відомо, що частота $f = 50$ Гц, кількість послідовно з'єднаних витків фази обмотки статора $W_1 = 180$, обмоточний коефіцієнт $k_{o1} = 0.92$, максимальне значення магнітного потоку однієї фази $\Phi_{\max} = 0.012$ Вб.

Задача 3.11. Трифазний синхронний генератор розрахунковою потужністю $S_n = 5$ мВА характеризується наступними даними:

номінальна напруга $U_H = 6.3$ кВ, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H = 0.8$, активний опір фази обмотки статора $r_1 = 0.04$ Ом, схема з'єднання обмотки статора - «зірка». Визначити ККД генератора, якщо втрати в магнітопроводі $P_{ст} = 20$ кВт, додаткові втрати складають 5 % від номінальної потужності, механічні втрати $\Delta P_{мех} = 0.005 P_H$. Напруга збудника $U_B = 113$ В, струм збудження в номінальному режимі $I_B = 274$ А, коефіцієнт корисної дії збудника $\eta_B = 0.95$.

Задача 3.12. У цеху встановлюють синхронний двигун номінальною потужністю $P_H = 200$ кВт, коефіцієнтом корисної дії $\eta_H = 93$ %, коефіцієнтом потужності $\cos \varphi_H = 0.9$. Двигун призначений для роботи в режимі перезбудження. Визначити коефіцієнт потужності навантаження після установки синхронного двигуна, якщо в цеху встановлений асинхронний двигун, споживаючий потужність $P_{1(АД)} = 400$ кВт і що має $\cos \varphi_{1(АД)} = 0.8$.

Задача 3.13. Трифазний синхронний двигун в номінальному режимі має технічні дані: потужність $P_H = 600$ кВт, напруга $U_H = 3000$ В, коефіцієнт корисної дії $\eta_H = 93$ %, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H = 0.8$, кут навантаження $\theta = 30^\circ$. Визначити споживаний з мережі струм і перевантажувальну здатність двигуна.

Задача 3.14. Трифазний синхронний двигун включений в мережу напругою 220 В, споживає лінійний струм $I_L = 100$ А і розвиває потужність на валу $P_H = 25$ кВт. ККД двигуна $\eta = 90$ %. Визначити реактивну потужність, споживану двигуном з мережі.

Задача 3.15. Трифазний синхронний двигун включений в мережу напругою $U_H = 660$ В і споживає струм $I = 50$ А, ККД двигуна $\eta_H = 0.9$, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H = 0.8$. Визначити сумарні втрати потужності в двигуні.

Задача 3.16. На який кут обернеться ротор чотириполюсного синхронного двигуна за чверть періоду струму?

Задача 3.17. Обертювий момент на валу трифазного синхронного генератора - 48 Нм. Корисна потужність приводного двигуна - 5 кВт. Частота напруги на затискачах генератора $f = 50$ Гц. Визначити число полюсів генератора.

Задача 3.18. Зовнішній обертовий момент неявнополюсного генератора, працюючого паралельно з мережею нескінченно великої потужності, при незмінному струмі збудження $I_{ВН}$ зменшився в два рази в порівнянні з його номінальним значенням. Відомо, що коефіцієнт статичної перевантаженості $k_{\Pi} = 2$. Визначити кут θ між векторами ЕРС і напруги генератора. Як зміниться значення кута, якщо при номінальному навантаженні струм збудження генератора зменшити до значення $I_{В} = 0.75I_{ВН}$?

Задача 3.19. Визначити статичну перевантаженість турбогенератора за наступними даними: номінальний струм збудження $I_{ВН}^* = 1.5$ в.о., індуктивний опір обмотки якоря $x_{\text{син}}^* = 1.2$ в.о., номінальне значення активної потужності $P_{Н}^* = 0.8$ в.о. Електрична машина має нормальну характеристику холостого ходу (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

E_{0}^* , в.о.	0.58	1.0	1.21	1.33	1.44	1.46
$I_{во}^*$, в.о.	0.50	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0

Задача 3.20. Турбогенератор включений на паралельну роботу в енергетичну систему. При цьому кут між векторами ЕРС $\vec{E}_В$ і струму навантаження \vec{I} в номінальному режимі рівний 57° , коефіцієнт потужності при відстаючому струмі $\cos\varphi_{Н} = 0.8$. Визначити кут навантаження θ і коефіцієнт статичної перевантаженості генератора.

Задача 3.21. Трифазний синхронний двигун, номінальна потужність якого $P_{Н} = 6300$ кВт, працює в режимі холостого ходу при $U_{Н} = 6$ кВ і $\cos\varphi = 1$. Визначити споживаний двигуном струм, якщо сумарні втрати потужності $\sum\Delta P = 6$ кВт.

Задача 3.22. Є трифазний синхронний генератор потужністю $S_{Н}$ з напругою на виході $U_{1Н}$ (обмотка статора з'єднана «зіркою») при частоті струму 50 Гц і частоті обертання n_1 . ККД генератора при

номінальному навантаженні η_H (табл. 3.2). Генератор працює на навантаження з $\cos \varphi_H = 0.9$. Вимагається визначити активну потужність генератора при номінальному навантаженні P_H , струм в обмотці статора I_{1H} , потужність первинного двигуна P_1 і обертовий момент M_1 , при безпосередньому механічному з'єднанні валів генератора і двигуна.

Таблиця 3.2

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_H, \text{кВА}$	330	400	270	470	230	600	780	450	700	500
$U_{1H}, \text{кВ}$	6.3	3.2	0.4	6.3	0.7	3.2	6.3	0.4	6.3	3.2
$\eta_H, \%$	92	92	90	91	90	93	93	91	93	92
$n_1, \text{об/хв}$	1000	750	600	1000	600	500	1000	500	1000	600

Задача 3.23. Трифазний синхронний генератор номінальною потужністю P_H і номінальною фазною напругою $U_{1H\phi}$ працює з коефіцієнтом потужності $\cos \varphi_H = 0.8$ (відстаючий струм). Обмотка фази статора має індуктивний опір розсіювання, відношення короткого замикання $ВКЗ=0.7$ (таблиця. 3.3). Необхідно побудувати практичну діаграму ЕРС і по ній визначити номінальну зміну напруги генератора при скиданні навантаження. Активним опором фази обмотки статора можна знехтувати. Характеристика холостого ходу - нормальна (табл. 3.1).

Таблиця 3.3

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_H, \text{кВт}$	15	25	35	45	60	50	40	30	20	10
$U_{1H}, \text{кВ}$	230	230	230	400	400	400	400	230	230	230
$x_1, \text{Ом}$	0.35	0.21	0.15	0.32	0.24	0.30	0.35	0.18	0.25	0.40

Задача 3.24. Трифазний синхронний двигун номінальною потужністю P_H і з числом полюсів $2p$ працює від мережі напругою U_{1H} (обмотка статора з'єднана «зіркою»). ККД двигуна η_H , коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H$ при випереджаючому струмі статора. Перевантажувальна здатність двигуна - λ , а його пускові параметри

визначені кратністю пускового струму I_{Π}/I_{H} і кратністю пускового моменту M_{Π}/M_{H} . Значення цих величин приведені в табл. 3.4. Необхідно визначити: споживані двигуном з мережі активну потужність P_{H} і струм I_{H} , обертовий момент що розвивається двигуном при номінальному навантаженні M_{H} , сумарні втрати потужності $\sum \Delta P$, пусковий момент M_{Π} і пусковий струм I_{Π} , а також обертовий момент M_{max} , при якому двигун випадає з синхронізму.

Таблиця 3.4

Варианти	Величини							
	P_{H} , кВт	U_{H} , кВ	$2p$	$\cos \varphi_{\text{H}}$	$\eta_{\text{H}}, \%$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{\text{H}}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{\text{H}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{H}}}$
1	575	6.0	16	0.8	93	5.0	1.4	1.5
2	600	3.0	10	0.9	92	5.5	1.7	1.5
3	325	3.0	8	0.9	90	4.5	1.7	1.6
4	60	0.38	6	0.8	89	4.5	2.2	1.6
5	160	0.38	6	0.8	90	4.8	2.4	1.5

Задача 3.25. У трифазну мережу напругою U_{C} включений споживач потужністю S_{Π} при коефіцієнті потужності $\cos \varphi$. Визначити потужність синхронного компенсатора Q_{K} , який необхідно підключити паралельно споживачеві, щоб коефіцієнт потужності мережі підвищився до значення $\cos \varphi'$. На скільки необхідно збільшити потужність синхронного компенсатора, щоб підвищити коефіцієнт потужності мережі ще на 0.05 (табл. 3.5)?

Таблиця 3.5

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{C}}, \text{кВ}$	6	10	20	35	6	10	20	35	6	10
$S_{\Pi}, \text{кВА}(10^3)$	0.66	4.5	1.8	2.4	0.8	1.7	1.5	3.5	2.0	3.5
$\cos \varphi, \text{в.о.}$	0.70	0.72	0.70	0.75	0.70	0.72	0.75	0.74	0.78	0.72
$\cos \varphi', \text{в.о.}$	0.90	0.92	0.88	0.90	0.85	0.80	0.83	0.85	0.90	0.95



4. МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Задача 4.1. Для двигуна постійного струму паралельного збудження відомі наступні дані: номінальна потужність $P_H = 95$ кВт, номінальна напруга $U_H = 220$ В, номінальний струм $I_H = 470$ А, опір обмоток в колі якоря $r_a = 0.0125$ Ом, номінальний струм збудження $I_{BH} = 4.25$ А, номінальна частота обертання $n_H = 500$ об/хв. Визначити: коефіцієнт корисної дії η , електричні втрати в обмотках якоря $P_{эл.а}$ і збудження $P_{эл.в}$, постійну складову втрат потужності P_0 , струм холостого ходу I_0 , величину додаткового опору в колі якоря r_d , при якому двигун розвиває номінальну потужність при частоті обертання $n = 400$ об/хв. спадом напруги на щітках нехтуємо.

Розв'язок

Потужність, що споживається з мережі, кВт:

$$P_1 = U_H I_H = 220 \cdot 470 = 103$$

Коефіцієнт корисної дії, в.о.:

$$\eta = \frac{P_H}{P_1} = \frac{95}{103} = 0.918$$

Струм обмотки якоря, А:

$$I_{ан} = I_H - I_{BH} = 470 - 4.25 = 465.75$$

Втрати потужності в обмотці якоря, кВт:

$$P_{эл.а} = I_{ан}^2 r_a = 465.75^2 \cdot 0.0125 = 2.71$$

Втрати потужності в обмотці збудження, кВт:

$$P_{эл.в} = I_{BH} U_H = 4.25 \cdot 220 = 0.935$$

Постійна доля втрат потужності, що складається з втрат в сталі, механічних втрат, додаткових втрат і електричних втрат в колі збудження, кВт:

$$P_0 = P_1 - (P_H + P_{эл.а}) = 103 - (95 + 2.71) = 5.69$$

Струм холостого ходу, А:



$$I_0 = \frac{P_0}{U_H} = \frac{5.69 \cdot 10^3}{220} = 25.9$$

Електрорушійна сила якоря при номінальній частоті обертання, В:

$$E_{ан} = U_H - I_{ан} r_a = 220 - 470 \cdot 0.0125 = 214$$

При незмінному струмі збудження значення ЕРС, індукованої в обмотці якоря, пропорційне частоті обертання ротора. ЕРС при частоті обертання $n = 400$ об/хв, В:

$$E_a = \frac{n}{n_H} E_{ан} = \frac{400}{500} 214 = 173$$

Струм якоря при номінальній потужності двигуна і частоті обертання $n = 400$ об/хв, А:

$$I_a = \frac{P_H}{E_a} = \frac{95 \cdot 10^3}{173} = 548$$

Додатковий опір в колі якоря, при якому двигун розвиває номінальну потужність при $n = 400$ об/хв, визначається на основі другого закону Кірхгофа $U_H = E_a + I_a (r_a + r_d)$. Додатковий опір, Ом :

$$r_d = \frac{U_H - E_a}{I_a} - r_a = \frac{220 - 173}{548} - 0.0125 = 0.0727$$

Задача 4.2. Генератор постійного струму незалежного збудження з номінальною напругою $U_H = 230$ В і номінальною частотою обертання $n_H = 1500$ об/хв має просту петлеву обмотку якоря, що складається з $N = 200$ провідників. Число полюсів генератора $2p = 4$, опір обмоток якоря при робочій температурі $\sum r_a = 0.175$ Ом, основний магнітний потік $\Phi = 4.8 \cdot 10^{-2}$ Вб. Для номінального режиму роботи генератора визначити: ЕРС якоря $E_{ан}$, струм навантаження $I_{ан}$, електромагнітну потужність $P_{эм}$ і електромагнітний момент $M_{эм}$. Розмагнічуючою дією реакції якоря знехтувати.



Для простої петлевої обмотки число паралельних віток $2a$ дорівнює числу полюсів : $2a = 2p = 4$.

Електрорушійна сила якоря, В:

$$E_{\text{ан}} = \frac{pN}{60a} n_{\text{н}} \Phi = \frac{2 \cdot 200}{60 \cdot 2} 1500 \cdot 4.8 \cdot 10^{-2} = 240$$

Струм обмотки якоря, А:

$$I_{\text{ан}} = \frac{E_{\text{ан}} - U_{\text{н}}}{\sum r_{\text{а}}} = \frac{240 - 230}{0.175} = 57.1$$

Електромагнітна потужність, Вт :

$$P_{\text{эм}} = I_{\text{ан}} E_{\text{ан}} = 57.1 \cdot 240 = 13714$$

Електромагнітний момент, Нм:

$$M_{\text{эм}} = \frac{P_{\text{эм}}}{2\pi n_{\text{н}}} = \frac{13714}{2\pi(1500/60)} = 87.4$$

Завдання для самостійного виконання

Задача 4.3. У чотириполюсній машині постійного струму довжина кола якоря $\pi D_{\text{а}} = 0.4$ м, активна довжина провідника обмотки якоря $l = 0.1$ м, магнітний потік обмотки збудження $\Phi_{\text{в}} = 0.01$ Вб. Визначити середнє значення магнітної індукції.

Задача 4.4. У шестиполіусній машині постійного струму потік збудження $\Phi_{\text{в}} = 0.01$ Вб, якір обертається з частотою $n = 60$ об/хв. Визначити середнє значення ЕРС, індукованої в провіднику обмотки якоря.

Задача 4.5. У чотириполюсній машині постійного струму довжина кола якоря $\pi D_{\text{а}} = 0.4$ м, активна довжина провідника якірної обмотки $l = 0.1$ м, індукція в повітряному проміжку $B_{\delta} = 1$ Тл. Визначити ЕРС якірної обмотки, якщо частота обертання ротора $n = 60$ об/хв, обмотка має 460 провідників і одну пару паралельних віток.



Задача 4.6. Пластини колектора рухаються відносно щіток з лінійною швидкістю $v = 25$ м/с, ширина щітки $b_{щ} = 0.01$ м. Визначити період комутації.

Задача 4.7. Який спосіб поліпшення комутації доцільно використати в потужних машинах постійного струму при змінному навантаженні?

Задача 4.8. ЕРС генератора незалежного збудження $E_a = 240$ В, опір якірної обмотки $r_a = 0.1$ Ом. Визначити напругу на щітках генератора при струмі навантаження $I_H = 100$ А.

Задача 4.9. Напруга на затискачах генератора паралельного збудження $U_H = 220$ В, опір якірної обмотки $r_a = 0.1$ Ом, опір обмотки збудження $r_b = 100$ Ом. Визначити ЕРС обмотки якоря, якщо відомо, що струм навантаження $I_H = 100$ А.

Задача 4.10. Чи збудиться генератор паралельного збудження, якщо змінити напрям обертання якоря?

Задача 4.11. Потужність, що споживається генератором постійного струму від приводного двигуна, $P_1 = 50$ кВт, сумарні втрати потужності в генераторі $\sum \Delta P = 5$ кВт. Визначити коефіцієнт корисної дії генератора.

Задача 4.12. Як зміняться електричні втрати в обмотці якоря генератора незалежного збудження при збільшенні навантаження генератора в два рази?

Задача 4.13. Двигун постійного струму паралельного збудження при напрузі $U = 110$ В, частоті обертання $n = 1000$ об/хв, коефіцієнті корисної дії $\eta = 0.85$ розвиває потужність на валу $P_2 = 5$ кВт. Визначити значення пускового моменту, якщо значення пускового струму $I_{п}$, обмеженого пусковим реостатом, рівне 160 А. Насиченням магнітної системи і реакцією якоря знехтувати.

Задача 4.14. Визначити силу, яка діє на провідник якоря чотириполлюсної машини постійного струму, якщо діаметр якоря $D_a = 0.04$ м, активна довжина провідника якірної обмотки $l = 0.05$ м, потік збудження $\Phi_B = 0.01$ Вб, струм в провіднику $I_{пр} = 10$ А.

Задача 4.15. Визначити обертовий момент чотириполлюсного двигуна, якщо діаметр якоря $D_a = 0.05$ м, активна довжина



провідника якірної обмотки $l = 0.04$ м, індукція в повітряному проміжку $B_{\delta} = 1$ Тл, струм якоря $I_a = 10$ А, число провідників простої петлевої обмотки якоря $N = 200$.

Задача 4.16. Як зміниться обертовий момент двигуна постійного струму паралельного збудження при збільшенні струму обмотки якоря в два рази?

Задача 4.17. При частоті обертання $n = 975$ об/хв двигун постійного струму видає корисну потужність $P_2 = 5$ кВт. Визначити корисний момент двигуна.

Задача 4.18. При напрузі $U_H = 220$ В двигун постійного струму споживає з мережі струм $I_H = 20$ А. Потужність на валу двигуна $P_2 = 3.3$ кВт. Визначити сумарні втрати потужності в двигуні.

Задача 4.19. При напрузі $U_H = 220$ В двигун паралельного збудження споживає струм $I_H = 20$ А і обертається з частотою $n = 1400$ об/хв. Визначити частоту обертання двигуна після введення додаткового опору в коло якоря $r_d = r_a$, якщо відомо, що $r_a = 0.1$ Ом, а опір обмотки збудження $r_b = 100$ Ом.

Задача 4.20. Для генератора постійного струму незалежного збудження відомі технічні дані: номінальна напруга $U_H = 230$ В, споживана потужність $P_1 = 45$ кВт, струм збудження $I_B = 20$ А, опір обмотки збудження і якоря відповідно $r_b = 100$ Ом і $r_a = 0.12$ Ом, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.86$. Визначити ЕРС якірної обмотки E_a , електромагнітну потужність $P_{\text{эм}}$, втрати в обмотці збудження $P_{\text{эл.в}}$, сумарні втрати потужності $\sum \Delta P$.

Задача 4.21. Для генератора постійного струму незалежного збудження відомі технічні дані: номінальна потужність $P_H = 40$ кВт, номінальна напруга $U_H = 230$ В, опір ланцюга якоря при робочій температурі $r_a = 0.12$ Ом, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.86$, номінальна частота обертання $n = 1470$ об/хв. Визначити: номінальний струм генератора I_H , опір навантаження r_H , ЕРС генератора E_a , сумарні втрати потужності $\sum \Delta P$, електромагнітну потужність $P_{\text{эм}}$, електромагнітний момент $M_{\text{эм}}$.



Задача 4.22. Генератор паралельного збудження працює на мережу напругою $U_H = 120$ В. Опори обмоток якоря і збудження в робочому режимі $r_a = 0.08$ Ом, $r_b = 18$ Ом, опір навантаження $r_H = 1.2$ Ом. Визначити: струм навантаження генератора, струм в колі збудження, струм якоря, ЕРС генератора, корисну потужність, втрати в колі якоря, втрати в колі збудження.

Задача 4.23. Для генератора постійного струму паралельного збудження відомі технічні дані: номінальна напруга $U_H = 115$ В, номінальний струм $I_H = 20$ А, опір кола якоря працюючої машини $r_a = 0.4$ Ом, опір кола збудження працюючої машини $r_b = 145$ Ом, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.8$, частота обертання $n = 2850$ об/хв. Визначити: номінальну потужність генератора, потужність первинного двигуна, струм якоря, електромагнітну потужність, ЕРС генератора, електромагнітний момент.

Задача 4.24. Напруга на затискачах генератора паралельного збудження $U_H = 120$ В, опір навантаження $r_H = 4$ Ом, опори обмоток якоря і збудження при робочій температурі $r_a = 0.25$ Ом, $r_b = 60$ Ом. Визначити: струм якоря, номінальну потужність генератора, ЕРС генератора, електромагнітну потужність генератора.

Задача 4.25. Для генератора постійного струму змішаного збудження відомі технічні дані: номінальна потужність $P_H = 10$ кВт, номінальна напруга $U_H = 220$ В, ЕРС $E_a = 230$ В, струм збудження $I_b = 2$ А, опір послідовної обмотки збудження $r_{b.c} = 0.15$ Ом, частота обертання $n = 1470$ об/хв. Визначити: струм якоря, опір якорного кола, опір кола збудження (паралельного), електромагнітну потужність, електромагнітний момент.

Задача 4.26. Для двигуна постійного струму паралельного збудження відомі технічні дані: номінальна потужність $P_H = 10$ кВт, номінальна напруга $U_H = 220$ В, опір кола якоря при робочій температурі $r_a = 0.3$ Ом, опір кола збудження при робочій температурі $r_b = 85$ Ом, ККД двигуна $\eta = 0.795$. Визначити: споживану потужність, струм якоря, ЕРС, електричні втрати в колі якоря, втрати в колі збудження, сумарні втрати потужності, втрати холостого ходу.



Задача 4.27. Тяговий двигун постійного струму послідовного збудження має номінальну потужність $P_H = 52$ кВт, коефіцієнт корисної дії $\eta = 81\%$, частоту обертання $n = 650$ об/хв, номінальна напруга $U_H = 550$ В, загальний опір обмоток якоря і збудження $r_a + r_b = 0.095$ Ом. Визначити: споживану потужність, струм двигуна, корисний момент на валу, ЕРС, сумарні втрати потужності.

Задача 4.28. Двигун постійного струму змішаного збудження має наступні технічні дані: номінальна потужність $P_H = 25$ кВт, номінальна напруга $U_H = 220$ В, опір якорного кола $r_a = 0.111$ Ом, опір послідовної обмотки збудження $r_{b,c} = 0.0048$ Ом, опір паралельної обмотки збудження $r_{b,ш} = 48.4$ Ом, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.86$. Визначити: номінальний струм двигуна, струм якоря, споживану потужність, ЕРС, електричні втрати в паралельній обмотці збудження.

Задача 4.29. Генератор постійного струму незалежного збудження з номінальною напругою U_H і номінальною частотою обертання n_H має просту хвилеву обмотку якоря, що складається з N провідників. Число полюсів генератора $2p = 4$, опір обмоток в колі якоря при робочій температурі Σr , основний магнітний потік Φ (табл. 4.1). Для номінального режиму роботи генератора визначити: ЕРС E_a , струм навантаження I_H , корисну потужність P_H , електромагнітну потужність $P_{эм}$ і електромагнітний момент $M_{эм}$. Розмагнічуючою дією реакції якоря знехтувати.

Задача 4.30. У генератора постійного струму паралельного збудження потужністю P_H і напругою U_H опір обмоток в колі якоря Σr . Визначити: електричні втрати обмоток якоря і збудження, якщо в генераторі застосовано щітки марки ЭГ (див. табл. 4.2); ККД в режимі номінального навантаження. Струм збудження прийняти рівним $I_b = k_b I_H$, де k_b - коефіцієнт струму збудження, а суму магнітних і механічних втрат - $P_{ст} + P_{мех} = k_{п} P_H$, де $k_{п}$ - коефіцієнт постійних втрат (табл. 4.3).



Таблиця 4.1

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_H, \text{В}$	230	230	460	460	460	115	460	230	230	230
$n_H, \text{об/хв}$	150 0	2300	3000	2300	1500	1000	2300	1000	3000	2300
$\sum r, \text{Ом}$	0.17 5	0.08	0.17	0.30	0.70	0.09	0.27	0.35	0.08	0.14
N	100	118	273	234	200	80	252	114	100	138
$\Phi, \text{Вб}(10^{-2})$	4.8	2.6	1.7	2.6	4.8	4.5	2.4	6.1	2.4	2.2

Таблиця 4.2

Група щіток позначення	Перехідний спад напруги на пару щіток при номінальному струмі,	Номінальна щільність струму,
Графітові Г, 611М	1.9 – 2.0	0.11 – 0.12
Електрографітовані ЭГ	2.0 – 2.7	0.10 – 0.15
Вугільно-графітові УГ, Т	2.0	0.06 – 0.07
Мідно-графітові М, МІЛІГРАМ	0.2 – 1.5	0.15 – 0.20

Таблиця 4.3

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_H, \text{кВт}$	55	70	40	25	35	50	30	45	60	75
$U_H, \text{В}$	230	115	230	115	115	230	230	420	420	230
$\sum r, \text{Ом}$	0.04	0.01	0.05	0.03	0.04	0.04	0.07	0.10	0.07	0.02
k_B	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02

Задача 4.31. Двигун постійного струму номінальною потужністю P_H включений в мережу напругою U_H і при номінальному навантаженні споживає струм I_H , розвиваючи при цьому частоту обертання n_H (табл. 4.4). Необхідно визначити: потужність P_{1H} , споживану двигуном з мережі; сумарні втрати потужності $\sum \Delta P$, ККД η_H , момент на валу двигуна M_{2H} .



Таблиця 4.4

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_H, \text{кВт}$	55	75	100	125	200	42	32	25	75	15
$U_H, \text{В}$	220	220	220	220	220	110	110	110	440	440
$I_H, \text{А}$	289	382	503	630	1020	439	347	264	193	42
$n_H, \text{об/хв}$	1220	1500	1200	1000	1500	2240	1060	1600	3000	750

Задача 4.32. Електродвигун постійного струму паралельного збудження потужністю P_H включений в мережу напругою U_H . У номінальному режимі роботи якір двигуна обертається з частотою n_H , коефіцієнт корисної дії - η_H . Опір обмотки збудження при робочій температурі r_B , опір обмоток в колі якоря Σr (табл. 4.5). У двигуні застосовані щітки марки ЭГ (див. табл. 4.2). Визначити: електромагнітну потужність і електромагнітний момент при номінальному навантаженні двигуна, суму магнітних і механічних втрат, а також опір пускового реостата, при якому початковий пусковий струм двигуна дорівнює $2.5 I_H$.

Таблиця 4.5

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_H, \text{кВт}$	6	9	14	20	7.1	11	17	24	15	20
$U_H, \text{В}$	110	220	220	220	220	220	220	220	220	220
$n_H, \text{об/хв}$	750	1060	1500	2360	750	1000	1500	2360	750	1000
$\eta_H, \%$	81	86	88	89	83	87	89	90	83	86
$\Sigma r, \text{Ом}$	0.14	0.26	0.14	0.05	0.45	0.25	0.11	0.08	0.25	0.17
$r_B, \text{Ом}$	34.5	117	117	74	124	124	124	124	53	67



ЛІТЕРАТУРА

1. И.П. Копылов. Электрические машины. – М.: Энергоиздат, 2004.
2. Яцун М.А. Электричні машини. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2001. – 428 с.
3. А.В. Иванов-Смоленский. Электрические машины. – М.: Энергия, 1988.
4. А.И. Вольдек. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1984.
5. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. – М.: Высш. шк., 1990. –528 с.
6. Читечян В.И. Электрические машины: Сборник задач. – М.: Высш. шк., 1988. –231 с.
7. Костенко М. П., Пиотровский Л. М. Электрические машины, Л, “Энергия”, 1973.
8. Пиотровский Л. М. Электрические машины, Л, “Госэнергоиздат ”, 1963.
9. Арменский Е. В., Прокофьев П.А., Фалк Г. Б. Автоматизированный электропривод, М, “Высшая школа”, 1987.