

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Р. А. Ставинський

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять з курсу
"Електричні машини"
Частина II
Машини змінного струму

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2007

Ставинський Р.А. Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу "Електричні машини": У 2 ч. – Ч. 2. Машини змінного струму. – Миколаїв: НУК, 2007. – 20 с.

Кафедра суднових електроенергетичних систем

Подано стислі теоретичні відомості; приклади розв'язання типових задач, які роз'яснюють ті або інші властивості електричних машин і трансформаторів; завдання для контрольної роботи; питання до іспиту.

Призначені для практичних занять студентів бакалаврату "Електромеханіка" ІАЕ НУК денної та заочної форм навчання.

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. О.Ю. Кімстач;
д-р техн. наук, проф. В.І. Локареєв

1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Асинхронною називається машина змінного струму, в якій тільки одна первинна обмотка вмикається до електричної мережі, а друга вторинна обмотка замикається накоротко або на електричні опори. Асинхронні машини (АМ) принципово можуть бути генераторами або двигунами, але в основному АМ використовуються як двигуни, які порівняно з іншими типами електричних двигунів простіші, надійніші та мають більш високий коефіцієнт корисної дії (ККД). У залежності від конструкції ротора асинхронні двигуни (АД) поділяють на два типи: з короткозамкненим та з фазним ротором.

Найбільш поширеними у використанні є трифазні АД, в яких первинна обмотка статора виконується трифазною та створює обертове магнітне поле. Частота обертання поля n_1 залежить від кількості пар полюсів p АМ та частоти струму мережі f_1 :

$$n_1 = 60 f_1 / p .$$

Ротор АМ обертається асинхронно, тобто зі швидкістю n_2 , що відрізняється від n_1 . Відносна різниця між частотами обертання поля та ротора називається ковзанням:

$$s = (n_1 - n_2) / n_1 .$$

Діючі значення електрорушійної сили (ЕРС), які наводяться в фазах обмотки статора E_1 , нерухомого ротора E_2 та ротора, який обертається, E_{2s} , відповідно визначаються за виразами

$$E_1 = 4,44 f_1 W_1 \Phi_m k_{o1}; E_2 = 4,44 f_1 W_2 \Phi_m k_{o2}; E_{2s} = 4,44 f_{2s} W_2 \Phi_m k_{o2},$$

де $W_{1(2)}$ – кількість витків обмоток статора та ротора; Φ_m – амплітудне значення магнітного потоку; $k_{o1(2)}$ – обмотковий коефіцієнт; $f_{2s} = sf_1$ – частота струму ротора, який обертається.

Відношення ЕРС обмоток називається коефіцієнтом трансформації АМ:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{k_{o1} W_1}{k_{o2} W_2}.$$

Обертовий момент на валу АД пов'язаний з корисною механічною потужністю P_2 на валу співвідношенням

$$M = 9,55 P_2 / n_2.$$

Потужність P_1 , яка споживається АД з мережі, визначається за виразом

$$P_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 \cos \phi_1,$$

де U_1, I_1 – відповідно лінійні значення напруги та струму; $\cos \phi_1$ – коефіцієнт потужності.

Струми в нерухомому роторі та в роторі, який обертається, визначають за співвідношеннями

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}; I_{2s} = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}},$$

де R_2 – активний опір обмотки ротора; X_2 – індуктивний опір нерухомого ротора; $X_{2s} = X_2 s$ – індуктивний опір ротора, який обертається.

Визначається ККД АД відношенням механічної потужності на валу P_2 до потужності P_1 :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P},$$

де ΣP – сумарні втрати, які складаються з електричних втрат в обмотках статора та ротора, магнітних втрат, механічних та додаткових втрат.

Електромагнітна потужність

$$P_{\text{ем}} = M_{\text{ем}} \omega,$$

де $M_{\text{ем}}$ – електромагнітний момент; $\omega = 2\pi n/60$ – кутова швидкість обертання.

Число пазів Z_1 в обмотці статора

$$Z_1 = 2qpm,$$

де q – число пазів, які приходяться на полюс і фазу; m – кількість фаз обмотки.

Синхронною називається двохобмоткова електрична машина, одна з обмоток якої (обмотки якоря) з'єднана з мережею змінного струму, а друга (обмотка збудження) живиться постійним струмом. У синхронних машинах (СМ) перетворення енергії відбувається внаслідок обертання постійного магнітного потоку відносно обмотки якоря. Використовуються СМ як двигуни, але найбільш поширені як генератори (СГ). Конструктивно СМ поділяються на явнополюсні і неявнополюсні.

Частота обертання ротора машини дорівнює синхронній частоті обертання магнітного поля ($n_2 = n_1$) та визначається частотою струму мережі f_1 і кількістю пар полюсів p :

$$n_1 = 60 f_1 / p.$$

Фазна напруга СМ визначається за виразом

$$\dot{U}_\phi = \dot{E} - \dot{U}_a - \dot{U}_s - \dot{U}_R,$$

де $\dot{E}$ – електрорушійна сила СМ; $\dot{U}_a$ – падіння напруги на індуктивному опорі реакції якоря (в явнополюсних СМ необхідно розділити на подовжню і поперечну складові); $\dot{U}_s$ – падіння напруги на індуктивному опорі розсіяння; $\dot{U}_R$ – падіння напруги на активному опорі обмотки якоря.

2. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ

Приклад 2.1

Трифазний АД з короткозамкненим ротором має номінальні дані: корисна потужність $P_{\text{ном2}} = 11$ кВт, напруга $U_{\text{ном}} = 380$ В, частота обертання ротора $n_2 = 975$ об/хв, ККД $\eta_{\text{ном}} = 0,86$, коефіцієнт потужності $\cos \phi_1 = 0,83$. Частота струму в мережі $f_1 = 50$ Гц. Визначити наступні величини: потужність P_1 , яка споживається двигуном, номінальний момент $M_{\text{ном}}$, струм обмотки статора I_1 , ковзання s , частоту струму в роторі f_{2s} , сумарні втрати ΣP .

Розв'язання

Потужність, яка споживається двигуном з мережі,

$$P_1 = P_{\text{ном2}} / \eta_{\text{ном}} = 11 / 0,86 = 12,8 \text{ кВт.}$$

Номінальний момент двигуна

$$M_{\text{ном}} = 9,55 P_{\text{ном2}} / n_2 = 9,55 \cdot 11000 / 975 = 107,7 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Струм фази обмотки статора

$$I_1 = \frac{P_{\text{ном2}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}} \cos \phi_1} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,83} = 23,4 \text{ А.}$$

Визначається ковзання

$$s = (n_1 - n_2) / n_1 = (1000 - 975) / 1000 = 0,025.$$

Сумарні втрати потужності визначаються за співвідношенням

$$\Sigma P = P_1 - P_{\text{ном2}} = 12,8 - 11 = 1,8 \text{ кВт.}$$

Визначається частота струму в роторі:

$$f_{2s} = f_{1s} = 50 \cdot 0,025 = 1,25 \text{ Гц.}$$

Приклад 2.2

Кожна з фаз обмотки статора трифазного АД з фазним ротором має $W_1 = 150$ витків і обмотковий коефіцієнт $k_{\text{ол}} = 0,97$. Амплітуда магнітного потоку $\Phi_m = 0,006$ Вб. Частота струму мережі

$f_1 = 50$ Гц. Активний опір фази обмотки ротора $R_2 = 0,4$ Ом, індуктивний опір фази нерухомого ротора $X_2 = 4,2$ Ом. При обертанні ротора з частотою $n_2 = 980$ об/хв у фазі ротора наводиться ЕРС $E_{2s} = 10$ В. Визначити: ЕРС E_1 у фазі обмотки статора, ЕРС E_2 у фазі обмотки нерухомого ротора, струм у фазі ротора при нормальній роботі I_2 та в момент пуску $I_{2п}$.

Розв'язання

Визначається ЕРС у фазі статора:

$$E_1 = 4,44 f_1 W_1 \Phi_m k_{ol} = 4,44 \cdot 50 \cdot 150 \cdot 0,006 \cdot 0,97 = 194 \text{ В.}$$

Визначається ковзання:

$$s = (n_1 - n_2) / n_1 = (1000 - 980) / 1000 = 0,02 .$$

Електрорушійна сила у фазі нерухомого ротора визначаємо зі співвідношення $E_{2s} = E_2 s$:

$$E_2 = E_{2s} / s = 10 / 0,02 = 500 \text{ В.}$$

Струм у фазі ротора в момент пуску

$$I_{2п} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} = \frac{500}{\sqrt{0,4^2 + 4,2^2}} = 119 \text{ А.}$$

Визначається індуктивний опір ротора, який обертається:

$$X_{2s} = X_2 s = 4,2 \cdot 0,02 = 0,084 \text{ Ом.}$$

Струм у фазі ротора, який обертається,

$$I_2 = \frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2 + X_{2s}^2}} = \frac{10}{\sqrt{0,4^2 + 0,084^2}} = 24 \text{ А.}$$

Приклад 2.3

Визначити активний опір фази обмотки якоря, а також індуктивні опори розсіяння та основного поля трифазного СГ із циліндричним ротором. Повна потужність генератора $S_{\text{ном}} = 100$ кВ·А, лінійна напруга $U_{\text{ном}} = 380$ В, коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,8$

(характер навантаження активно-індуктивний $P = 70$ кВт). Відносні значення падіння напруги в колі якоря $u_a = 70\%$, $u_s = 20\%$, $u_r = 10\%$. Визначити також струм якоря при заданому навантаженні.

Розв'язання

Номинальний струм якоря

$$I_{a\text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{3U_{\phi}} = \frac{100000}{3 \cdot 220} = 151,5 \text{ А.}$$

Струм якоря при заданому навантаженні

$$I_a = \frac{P}{3U_{\phi} \cos \varphi} = \frac{70000}{3 \cdot 220 \cdot 0,8} = 132,6 \text{ А.}$$

Визначається активний опір:

$$U_R = 0,1U_{\phi} = 0,1 \cdot 220 = 22 \text{ В; } U_R = I_{a\text{ ном}} R_a;$$

$$R_a = U_R / I_{a\text{ ном}} = 22 / 151,5 = 0,145 \text{ Ом.}$$

Аналогічно визначаються індуктивні опори:

$$X_s = \frac{U_s}{I_{a\text{ ном}}} = \frac{0,2U_{\phi}}{I_{a\text{ ном}}} = \frac{0,2 \cdot 220}{151,5} = 0,29 \text{ Ом;}$$

$$X_a = \frac{U_a}{I_{a\text{ ном}}} = \frac{0,7U_{\phi}}{I_{a\text{ ном}}} = \frac{0,7 \cdot 220}{151,5} = 1,02 \text{ Ом.}$$

3. ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Задача 3.1

Трифазний АД працює в номінальному режимі. Двигун споживає з мережі потужність P_1 при номінальній напрузі $U_{\text{ном}}$ і номінальному струмі $I_{\text{ном}}$. Механічна потужність на валу $P_{\text{ном2}}$. Сумарні втрати в АД дорівнюють ΣP , його ККД $\eta_{\text{ном}}$. Коефіцієнт

потужності двигуна $\cos \varphi_1$. Обертовий момент АД $M_{\text{ном}}$, пусковий та максимальний моменти відповідно $M_{\text{п}}$ і M_{max} . Перевантажна здатність двигуна $M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$, кратність пускового моменту $M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$. Синхронна частота обертання АД n_1 , ковзання при номінальному навантаженні $s_{\text{ном}}$. Частота обертання ротора дорівнює $n_{\text{ном2}}$. Частота струму в мережі $f_1 = 50$ Гц. Використовуючи дані, наведені в табл. 1, визначити величини, відзначені прочерками в таблиці варіантів.

Таблиця 1

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\text{ном2}}$, кВт	11	5,5	—	4	30	—	—	55	—	—
P_1 , кВт	—	—	59	4,76	—	—	33	—	—	12,5
ΣP , кВт	—	—	—	—	—	1,3	3	4	0,76	1,5
$U_{\text{ном}}$, В	380	660	380	220	660	—	—	380	220	—
$I_{\text{ном}}$, А	—	—	—	—	32	7,4	32	99,7	—	21
$\eta_{\text{ном}}$	0,87	0,81	0,93	—	0,91	0,81	—	—	0,84	—
$\cos \varphi_1$	0,9	0,8	0,9	0,84	—	0,8	0,9	—	0,84	0,9
$M_{\text{ном}}$, Н·м	—	—	357	26,8	—	54,7	—	—	—	—
M_{max} , Н·м	—	120	—	—	—	—	584	786	59	79,6
$M_{\text{п}}$, Н·м	—	—	429	—	350	109	—	—	59	58
$M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$	2,2	—	2,2	2,2	2	2,2	2	—	—	—
$M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$	1,6	2	—	2,2	—	—	1,2	1,2	—	—
$n_{\text{ном2}}$, об/хв	—	960	—	—	980	—	—	1470	1455	2920
n_1 , об/хв	3000	—	1500	—	—	1000	1000	—	1500	3000
$s_{\text{ном}}$, %	3,3	4	—	5	2	—	—	2	—	—

Задача 3.2

Трифазний АД з короткозамкненим ротором характеризується наступними номінальними величинами: потужність на валу $P_{\text{ном2}}$, обертовий момент $M_{\text{ном}}$, напруга $U_{\text{ном}}$, струм фази статора $I_{\text{ном}}$, ККД $\eta_{\text{ном}}$, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{\text{ном}}$. Частота обертання ротора дорівнює $n_{\text{ном2}}$ при ковзанні $s_{\text{ном}}$. Синхронна частота обертання АД n_1 , число пар полюсів дорівнює p . Частота струму в мережі f_1 , частота струму в роторі f_{2s} . Використовуючи дані, наведені в табл. 2, визначити величини, відзначені прочерками в таблиці варіантів.

Таблиця 2

Величини	Варіанти									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P_{\text{ном2}}, \text{кВт}$	—	4,5	—	100	—	18	—	20	—	5
$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	220	—	—	380	660	380	220	220	380
$I_{\text{ном}}, \text{А}$	—	—	10	114	30	21	—	70	8	—
$\eta_{\text{ном}}$	0,85	0,86	0,85	0,91	0,88	—	0,89	0,9	0,89	0,86
$\cos \varphi_{\text{ном}}$	0,83	0,82	0,83	0,85	0,85	0,84	0,85	—	0,85	0,8
$M_{\text{ном}}, \text{Н}\cdot\text{М}$	120	—	60	—	—	—	250	—	—	—
$n_{\text{ном2}}, \text{об/хв}$	—	—	—	980	1450	950	—	2850	—	—
$n_1, \text{об/хв}$	—	—	—	1000	—	1000	3000	—	750	1500
$s_{\text{ном}}, \%$	—	5	2	—	—	—	2,5	5	—	—
p	3	1	4	—	2	—	—	1	—	—
$f_1, \text{Гц}$	50	100	50	—	50	50	—	—	100	50
$f_{2s}, \text{Гц}$	2,5	—	—	1	—	—	2,5	—	4	2

Задача 3.3

Для трифазного АД у табл. 3 задані наступні величини: сумарні втрати потужності ΣP , ККД $\eta_{\text{ном}}$, синхронна частота обертання n_1 , частота струму в роторі f_{2s} . Частота струму в мережі $f_1 = 50 \text{ Гц}$. Визначити: потужність, яку двигун споживає з мережі P_1 , корисну потужність $P_{\text{ном2}}$, ковзання $s_{\text{ном}}$, частоту обертання ротора $n_{\text{ном2}}$, кількість полюсів $2p$.

Таблиця 3

Величини	Варіанти									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\Sigma P, \text{кВт}$	0,65	1,5	1,64	3,33	4,11	0,76	2,14	1,22	4,78	2,4
$\eta_{\text{ном}}$	0,86	0,88	0,87	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,9
$n_1, \text{об/хв}$	3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750	1500	1000
$f_{2s}, \text{Гц}$	2	1,67	1,33	1,67	0,87	0,67	1,25	2,5	1,17	1,3

Задача 3.4

Трифазний АД з фазним ротором характеризується наступними величинами: число витків обмоток статора і ротора відповідно дорівнюють W_1 і W_2 , коефіцієнт обмотки статора (ротора) $k_{\text{ол}(2)}$, амплітуда обертового магнітного потоку Φ_m . Діючі значення електрорушійної сили, які наводяться в фазах обмотки статора E_1 , нерухомого ротора E_2 та ротора, який обертається, E_{2s} .

Число пар полюсів АД дорівнює p . Синхронна частота обертання двигуна n_1 , частота обертання ротора дорівнює n_2 . Ковзання АД s . Частота струму в мережі $f_1 = 50$ Гц, частота струму в роторі f_{2s} . Використовуючи дані АД, наведені в табл. 4, визначити всі величини, відзначені прочерками.

Таблиця 4

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W_1	48	100	—	—	50	180	—	146	60	—
W_2	—	70	45	13	—	60	36	—	30	60
k_{o1}	0,94	0,96	0,94	0,95	0,96	0,97	0,93	0,95	0,97	0,96
k_{o2}	0,95	0,98	0,95	0,97	0,97	0,98	0,95	0,97	0,95	0,96
Φ_m , Вб	0,035	—	0,05	—	0,02	0,006	—	0,007	—	—
E_1 , В	—	200	100	360	—	—	110	—	130	211
E_2 , В	—	—	—	100	—	—	50	200	—	—
E_{2s} , В	4	—	—	—	5	—	—	8	—	2,1
p	—	—	1	3	—	—	—	—	6	—
s , %	—	8	—	4	—	—	3	—	—	3
n_1 , об/хв	1000	—	—	—	1000	1500	—	—	—	—
n_2 , об/хв	960	920	—	—	950	—	970	1440	—	1445
f_{2s} , Гц	—	—	2,5	—	—	1,5	—	—	5	—

Задача 3.5

У трифазному АД у фазі ротора у момент пуску наведено ЕРС E_2 . При обертанні ротора з ковзанням s у фазі ротора наведено ЕРС E_{2s} . Активний опір фази обмотки ротора R_2 , індуктивний опір фази нерухомого ротора та ротора, який обертається, відповідно X_2 і X_{2s} . Частота струму в роторі f_{2s} , частота струму в мережі $f_1 = 50$ Гц. Число пар полюсів АД дорівнює p . Синхронна частота обертання двигуна n_1 , частота обертання ротора дорівнює n_2 . У фазі обмотки ротора в момент пуску виникає струм $I_{2п}$; при обертанні ротора — $I_{2п}$. Використовуючи дані АД, наведені в табл. 5, визначити всі величини, відзначені прочерками.

Таблиця 5

Величини	Варіанти									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
E_2 , В	120	—	—	250	—	750	125	150	—	—
E_{2s} , В	—	6	—	—	5	—	—	—	10	3,6

Продовж. табл. 5

Величини	Варіанти									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$s, \%$	3	—	2	4	—	—	4	4	—	—
$R_2, \text{Ом}$	0,15	—	0,3	—	0,6	—	—	0,5	0,25	—
$X_2, \text{Ом}$	0,5	1,5	—	0,5	—	2	2,5	—	—	—
$X_{2s}, \text{Ом}$	—	—	0,04	—	0,1	—	—	0,06	0,02	0,015
$f_{2s}, \text{Гц}$	—	—	—	—	2	1	—	—	—	1,5
p	—	—	4	2	—	—	1	4	—	3
$n_1, \text{об/хв}$	1000	750	—	—	—	—	—	—	1500	—
$n_2, \text{об/хв}$	—	720	—	—	2880	735	—	—	1440	—
$I_{2п}, \text{А}$	—	95	—	449	—	371	—	—	—	231
$I_2, \text{А}$	—	—	50	—	—	—	8	—	—	—

Задача 3.6

У табл. 6 наведено величини, які характеризують трифазний АД з фазним ротором: потужність на валу $P_{\text{ном}2}$, напруга $U_{\text{ном}}$, частота обертання ротора $n_{\text{ном}2}$, ККД $\eta_{\text{ном}}$, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{\text{ном}}$, кратність пускового струму $I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$, перевантажна здатність $M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$, кратність пускового моменту $M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$. Необхідно визначити наступні величини: номінальний $I_{\text{ном}}$ і пусковий $I_{\text{п}}$ струми; номінальний $M_{\text{ном}}$, максимальний M_{max} і пусковий $M_{\text{п}}$ моменти при номінальній напрузі; кратність пускового струму, кратність пускового моменту та перевантажну здатність при зниженні напруги на 10 %. Чи можливо в цьому випадку запустити двигун при номінальному навантаженні?

Таблиця 6

Величини	Варіанти									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$P_{\text{ном}2}, \text{кВт}$	11	30	37	15	5,5	15	7,5	18,5	45	2,2
$U_{\text{ном}}, \text{В}$	380	660	380	380	660	380	660	380	660	380
$n_{\text{ном}2}, \text{об/хв}$	2900	1460	740	975	2880	1465	730	970	740	1400
$\eta_{\text{ном}}$	0,88	0,9	0,9	0,875	0,87	0,865	0,86	0,87	0,91	0,8
$\cos \varphi_1$	0,9	0,87	0,83	0,82	0,91	0,84	0,78	0,8	0,84	0,88
$I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$	7,5	7,5	6,0	7,0	7,5	7,5	6,5	7,0	6,0	6,0
$M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$	2,2	2,2	1,7	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	1,7	2,2
$M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$	1,6	2,0	1,2	2,0	2,0	2,0	1,8	2,0	1,2	2,0

Задача 3.7

Трифазний неявнополюсний СГ характеризується наступними величинами, які наведено в табл. 7: повна потужність $S_{\text{ном}}$, лінійна напруга $U_{\text{ном}}$, коефіцієнт потужності $\cos \phi$, індуктивний опір розсіяння X_s , індуктивний опір основного магнітного поля X_a , кількість полюсів $2p$. Використавши дані табл. 8, необхідно визначити наступні величини: кут навантаження β , синхронну частоту обертання n_1 , відносні значення індуктивних опорів при номінальному навантаженні, якщо СГ перезбуджено. Частота струму в мережі $f_1 = 50$ Гц. Побудувати векторну діаграму СГ.

Таблиця 7

Величини	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{\text{ном}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	250	200	185	150	125	100	90	75	65	50
$U_{\text{ном}}, \text{В}$	800	670	400	500	800	400	500	460	400	230
$\cos \phi$	0,7	0,72	0,75	0,78	0,8	0,72	0,69	0,79	0,7	0,76
$X_s, \text{Ом}$	0,172	0,196	0,231	0,256	0,287	0,567	0,413	0,324	0,384	0,548
$X_a, \text{Ом}$	2,6	4,03	2,13	3,46	3,81	2,43	1,98	3,5	3,77	4,11
$2p$	8	10	6	8	12	6	10	8	6	4

Задача 3.8

Визначити ЕРС явнополюсного трифазного СГ і падіння напруги на індуктивних опорах основного поля по подовжній та поперечній вісях, який експлуатується з номінальним навантаженням у режимі перезбудження. У табл. 8 наведено величини, які характеризують генератор: повна потужність $S_{\text{ном}}$, лінійна напруга $U_{\text{ном}}$, коефіцієнт потужності $\cos \phi$, індуктивний опір розсіяння X_s , індуктивний опір основного магнітного поля у подовжньому напрямку X_{ad} , індуктивний опір основного магнітного поля у поперечному напрямку X_{aq} , кількість полюсів $2p$, активний опір фази обмотки якоря R_a , частота мережі f_1 . Обмотка якоря з'єднана зіркою.

Таблиця 8

Величини	Варіанти									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$S_{\text{ном}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	250	200	185	150	125	100	90	75	65	50
$U_{\text{ном}}, \text{В}$	800	670	400	500	800	400	500	460	400	230

Продовж. табл. 8

Величини	Варіанти									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\cos \varphi$	0,7	0,72	0,75	0,78	0,8	0,72	0,69	0,79	0,7	0,76
X_s , Ом	0,172	0,196	0,231	0,256	0,287	0,567	0,413	0,324	0,384	0,548
X_{ad} , Ом	2,6	4,03	2,13	3,46	3,81	2,43	1,98	3,5	3,77	4,11
X_{aq} , Ом	1,26	2,45	0,79	1,24	1,76	1,59	0,73	1,56	1,87	2,15
R_a , Ом	0,035	0,065	0,023	0,024	0,043	0,078	0,094	0,036	0,029	0,081
$2p$	8	10	6	8	12	6	10	8	6	4
f_1 , Гц	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50

Задача 3.9

У табл. 9 наведено номінальні величини, які характеризують трифазний СГ: повна потужність $S_{\text{ном}}$, лінійна напруга $U_{\text{ном}}$, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{\text{ном}}$, струм збудження I_3 , напруга збудження U_3 , ККД збуджувача η_3 , втрати в сталі $P_{\text{ст}}$, додаткові втрати P_d (вказані у відсотках від номінальної потужності $P_{\text{ном2}}$), механічні втрати $P_{\text{мех}}$, опір фази обмотки статора R_{75} при температурі 75 °С. Необхідно визначити ККД СГ при номінальному навантаженні.

Таблиця 9

Величини	Варіанти									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$S_{\text{ном}}$, кВ·А	500	450	400	350	300	550	600	650	700	1000
$U_{\text{ном}}$, В	400	400	230	400	230	400	230	230	400	230
$\cos \varphi_{\text{ном}}$	0,92	0,9	0,82	0,86	0,95	0,88	0,9	0,85	0,87	0,83
I_3 , А	100	90	110	85	80	110	95	100	92	88
U_3 , В	32	30	28	26	24	26	28	30	32	40
η_3	0,9	0,85	0,88	0,92	0,84	0,96	0,91	0,93	0,87	0,82
$P_{\text{ст}}$, кВт	5,4	4,6	3,9	3,6	3,0	5,2	5,8	6,5	7,2	8,9
P_d , %	0,38	0,46	0,52	0,63	0,44	0,32	0,54	0,48	0,58	0,62
$P_{\text{мех}}$, кВт	1,2	1,3	1,6	1,7	1,8	1,9	1,3	1,4	1,5	1,6
R_{75} , Ом	1,6	1,8	1,7	1,4	1,3	1,2	1,0	0,8	1,75	1,8

Задача 3.10

Накреслити схему трифазної двошарової якірної обмотки машини змінного струму за даними, які наведено в табл. 10: Z – число пазів статора, $2p$ – число полюсів машини, y/τ – відносний крок, який визначає скорочення.

Таблиця 10

Варіанти	Величини			Варіанти	Величини			Варіанти	Величини		
	Z	y/τ	$2p$		Z	y/τ	$2p$		Z	y/τ	$2p$
1	24	1	2	11	36	7/9	4	21	54	1	6
2	24	1	4	12	36	5/6	6	22	54	7/9	6
3	24	1	8	13	48	1	2	23	18	1	2
4	24	5/6	2	14	48	1	4	24	18	7/9	2
5	24	5/6	4	15	48	1	8	25	18	1	6
6	24	5/6	8	16	48	21/24	2	26	42	1	2
7	36	1	2	17	48	5/6	4	27	42	17/21	2
8	36	1	4	18	48	5/6	8	28	36	8/9	4
9	36	1	6	19	30	1	2	29	48	11/12	4
10	36	5/6	2	20	30	4/5	2	30	24	11/12	2

4. ЗАПИТАННЯ ДО КУРСУ ОСНОВ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

1. Обґрунтування аналітичних виразів ЕРС витка, котушки, фази машини змінного струму.

2. Визначення параметрів електричних машин (ЕМ) змінного струму та обґрунтування виразу головної індуктивності фази.

3. Визначення режимів ідеального неробочого руху (НР), реального НР, навантаження та обґрунтування принципу дії АМ. Поняття ковзання і залежності струму ротора та параметрів від ковзання.

4. Фізичний процес роботи, обґрунтування рівнянь і векторних діаграм магніторухливих сил (МРС) та струмів АМ.

5. Обґрунтування рівнянь і векторних діаграм первинного та вторинного електричних кіл АМ.

6. Аналіз режиму НР, обґрунтування векторної діаграми НР та зв'язку ЕРС взаємної індукції з намагнічувальним струмом АМ. Складові струму НР АМ.

7. Енергетична діаграма режиму двигуна АМ та обґрунтування загального аналітичного виразу електромагнітного моменту.

8. Фізичний процес електромеханічного перетворення енергії в АМ; обґрунтування зв'язку електромеханічної потужності і потужності електричних втрат ротора.

9. Обґрунтування можливості заміщення обертового ротора АМ нерухомим ротором.

10. Обґрунтування рівнянь та загальної векторної діаграми режиму АД у наведеному вигляді.

11. Обґрунтування вигляду та параметрів Т і Г-подібних заступних схем АМ; аналітичне та графічне тлумачення комплексного коефіцієнта перетворення заступних схем.

12. Визначення практичного виразу залежності електромагнітного моменту АМ від параметрів. Електромеханічні характеристики АМ.

13. Визначення особливостей, обґрунтування енергетичної і векторної діаграми генераторного режиму АМ.

14. Визначення особливостей, обґрунтування енергетичної і векторної діаграми режиму електромагнітного гальма.

15. Обґрунтування режиму, заступної схеми, параметрів та виразу ЕМ режиму короткого замикання (КЗ) АМ.

16. Визначення зубцевих гармонік електромагнітного поля, зубцевої ЕРС та додаткових ЕМ, обґрунтування засобів боротьби з ними.

17. Обґрунтування відмінності статичної і динамічної механічної характеристик АД. Асинхронні та синхронні додаткові моменти, засоби їх обмеження.

18. Визначення та обґрунтування призначення і використання колової діаграми АМ.

19. Побудова колової діаграми за експериментальними результатами дослідів НР і КЗ.

20. Обґрунтування залежностей параметрів кола ротора АМ від частоти. Різновиди АД з поліпшеними пусковими властивостями.

21. Аналіз методів розрахунку та вигляду робочих і пускових характеристик АД. Визначення засобу обліку зміни параметрів ротора при пуску АД.

22. Аналіз вимог до пускових характеристик АД та засобів пуску потужних АД.

23. Обґрунтування засобів та аналіз електромеханічних систем регулювання частоти обертання короткозамкнених АД.

24. Обґрунтування засобів та аналіз електромеханічних систем регулювання частоти обертання АД із фазним ротором.

25. Аналіз різновидів СМ за типом живлення та конструкції системи збудження.

26. Обґрунтування форми кривої магнітного поля та виразу магнітного потоку збудження явнополюсної СМ.

27. Обґрунтування форми кривої МРС та індукції магнітного поля неявнополюсної СМ.

28. Аналіз напрямку магнітного поля реакції якоря СМ у залежності від типу навантаження.

29. Обґрунтування методу двох реакцій та понять подовжнього та поперечного струмів якоря.

30. Аналіз розподілу індукції та обґрунтування коефіцієнтів форми кривої поля СМ по подовжній та поперечній віссях.

31. Визначення індуктивних опорів реакції якоря та результуючого потоку СМ, обґрунтування векторної діаграми ЕРС.

32. Обґрунтування параметрів, рівняння напруги та векторної діаграми явнополюсних СГ.

33. Обґрунтування параметрів, рівняння напруги та векторної діаграми неявнополюсного СГ.

34. Обґрунтування засобу експериментального визначення синхронного індуктивного опору СМ.

35. Обґрунтування виду зовнішньої та регулювальної характеристик СМ.

36. Обґрунтування засобу експериментального визначення індуктивного опору розсіяння СМ.

37. Обґрунтування засобу визначення струму збудження СМ з обліком насичення магнітного кола.

38. Визначення засобів і умов вмикання СМ на паралельну роботу. Призначення опору та електрична схема погашення поля.

39. Визначення та обґрунтування синхронних режимів та спрощених векторних діаграм паралельної роботи СМ з електричною мережею.

40. Обґрунтування виразу електромагнітного моменту СМ.

41. Визначення кутових характеристик активної і реактивної потужності та понять статичної й динамічної стійкості СМ.

42. Аналіз особливостей, переваг і недоліків та обґрунтування векторної діаграми синхронного двигуна (СД).

43. Обґрунтування особливостей та кутових характеристик активної і реактивної потужності синхронної реактивної машини.

44. Аналіз засобів пуску та виду пускової характеристики СД. Призначення демпферної обмотки СМ у режимах генератора і двигуна.

45. Обґрунтування відображення режимів роботи СМ за V-подібними характеристиками СМ.

46. Аналіз засобів розрахунку перехідних процесів електричних машин та особливостей перехідних режимів АМ.

47. Аналіз фізичного процесу та обґрунтування кривих зміни струмів електричних кіл СМ при перехідному процесі КЗ.

48. Обґрунтування виду заступної схеми та параметрів СМ у залежності від стадії та типу перехідного режиму КЗ.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Вольдек А.И.* Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 782 с.
 2. *Данку А., Фаркаш А., Надь Л.* Электрические машины: Сборник задач и упражнений. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 360 с.
 3. *Иванов-Смоленский А.В.* Электрические машины: Учеб. для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
 4. *Костенко М.П., Пиотровский Л.М.* Электрические машины. – Л.: Энергия, 1972. – Т. 1. – 543 с.
 5. *Костенко М.П., Пиотровский Л.М.* Электрические машины. – Л.: Энергия, 1972. – Т. 2. – 648 с.
 6. *Читечян В.И.* Электрические машины: Сб. задач. – М.: Высшая шк., 1988. – 231 с.
 7. *Яцун М.А.* Електричні машини: Навч. посіб. – Львів: Вид-во ДУ "Львівська політехніка", 1999. – 427 с.
-

Навчальне видання

СТАВИНСЬКИЙ Ростислав Андрійович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять з курсу "Електричні машини"
Частина II
Машини змінного струму

(українською мовою)

Редактор Т.Б. Забабуріна
Комп'ютерна правка та верстка Н.В. Ялова
Коректор М.О. Паненко

Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 18.09.07. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 1,2.
Тираж 100 прим. Вид. № 26. Зам. № 267. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5