

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
з дисципліни

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

*(для студентів заочної форми навчання
напрямів підготовки 6.050701 – «Електротехніка та
електротехнології» та 6.050702 – «Електромеханіка»)*

Харків – ХНУМГ – 2014

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Електричні машини» (для студентів заочної форми навчання напряму 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» та 6.050702 – «Електромеханіка»)/ Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: М. Л. Глєбова, О. В. Дорохов, В. Б. Фінкельштейн. – Х. : ХНУМГ, 2014 – 26 с.

Укладачі: доц., к.т.н., М. Л. Глєбова
доц., к.т.н., О. В. Дорохов
проф., д.т.н. В. Б. Фінкельштейн

Рецензент: проф., д.т.н. А. Г. Сосков

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 10 від 29.05.2014 р.

Зміст

Вступ.....	4
1 Трансформатори (заочна форма навчання)	5
Задача 1.1.....	5
Задача 1.2.....	6
Задача 1.3.....	7
Контрольні запитання з теми «Трансформатори»	8
2 Електричні машини постійного струму (заочна форма навчання)	8
Задача 2.1.....	8
Задача 2.2.....	9
Контрольні запитання з теми Електричні машини постійного струму	10
3 Асинхронні електричні машини (заочна форма навчання).....	11
Задача 3.1.....	11
Задача 3.2.....	11
Задача 3.3.....	12
Задача 3.4.....	12
Задача 3.5.....	13
Контрольні запитання з теми Асинхронні електричні машини	14
4 Синхронні електричні машини (заочне навчання)	15
Тема практичного заняття: розв’язання задач (4 години).....	15
Задача 4.1.....	15
Задача 4.2.....	17
Задача 4.3.....	21
Контрольні запитання з теми Синхронні електричні машини	23
Список джерел.....	25
Рекомендована література	25

Вступ

Ці методичні вказівки складені на основі робочих програм з дисципліни «Електричні машини» на пряму підготовки та 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» та 6.050702 – «Електромеханіка».

Мета: формування теоретичних знань та практичних навичок у галузі електричних машин та трансформаторів, їх електричних та механічних властивостей, енергетичних і теплових процесів, що мають місце при їх роботі.

Завдання дисципліни:

- вивчення принципів побудови електричних машин та трансформаторів, методів їх розрахунку та областей застосування.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

Знати:

- будову і принцип дії окремих видів електричних машин і трансформаторів; основні елементи конструкцій і матеріали, з яких вони виконуються

- електромагнітні та електромеханічні процеси в електричних машинах і трансформаторах та їх вплив на режим роботи, характеристики і енергетичні показники; способи пуску та регулювання швидкості обертання електричних машин;

- особливості експлуатації електричних машин і трансформаторів; математичні моделі електричних машин і трансформаторів різного рівня

Вміти:

- вибирати електричні машини і трансформатори для конкретних умов їх практичного використання;

- використовувати основні рівняння та паспортні дані електричних машин і трансформаторів для визначення їхніх параметрів для аналізу режимів роботи характеристик та енергетичних показників;

- адекватно застосувати математичні моделі електричних машин і трансформаторів

Мати компетентності:

- для конкретних машин і механізмів вирішувати питання управління електричними машинами залежно від особливостей технологічного процесу;

- підбирати струмовий захист відповідно до режимів роботи електричних машин;

- розробляти систему сигналізації аварійних режимів і відхилень від заданих режимів у процесі експлуатації.

1 Трансформатори (заочна форма навчання)

Тема практичного заняття розв'язання задач (2 години)

Задача 1.1

Визначити коефіцієнт трансформації n трансформатора, число витків w_1 первинної обмотки при числі витків вторинної обмотки w_2 , а також номінальні струми $I_{1\text{ном}}$ і $I_{2\text{ном}}$ в обмотках однофазного трансформатора з номінальною потужністю $S_{1\text{ном}}$, підключеного до живильної мережі з напругою $U_{1\text{ном}} = 127$ В, напруга на затискачах вторинної обмотки при холостому ході U_{20} . Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
w_2 , ВИТКІВ	40	50	60	70	80	80	70	60	60	40	50
$S_{1\text{ном}}$, кВА	3	3,6	4	6	10	5	6,6	6	4,4	3,8	4,2
$U_{1\text{ном}}$, В	127	127	220	220	220	127	220	220	127	127	127
U_{20} , В	60	100	40	60	80	40	40	60	50	40	40

Розв'язання задачі для варіанта К

Коефіцієнт трансформації трансформатора

$$n = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{127}{60} = 2,11$$

Оскільки $U_{20} = E_2$, при холостому ході трансформатора падіння напруги на первинній обмотці незначне, тому приблизно $U_1 \cong E_1$. Число витків первинної обмотки:

$$w_1 = n \cdot w_2 = 2,11 \cdot 40 = 84,4.$$

Номінальний струм первинної обмотки (вважаючи повні потужності обмоток $S_1 \cong S_2$):

$$I_{1\text{ном}} = \frac{S_{1\text{ном}}}{U_{1\text{ном}}} = \frac{3 \cdot 1000}{127} = 23,6 \text{ А.}$$

Номінальний струм вторинної обмотки трансформатора (з врахуванням $U_{2\text{ном}} = U_{20}$)

$$I_{2\text{ном}} = \frac{S_{1\text{ном}}}{U_{20}} = \frac{3000}{60} = 50 \text{ А.}$$

Задача 1.2

Визначити коефіцієнт трансформації n трифазного трансформатора і номінальні діючі значення первинної й вторинної напруги фазні $U_{1ф.ном}$, $U_{2ф.ном}$ і лінійні $U_{2л.ном}$, при з'єднанні обмоток за схемами «зірка – зірка» і «зірка – трикутник». Первинна обмотка має число витків на фазу w_1 , вторинна - w_2 . Номінальна лінійна напруга первинної обмотки $U_{1л.ном}$. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
w_1 , ВИТКІВ	2002	1980	1200	1600	1400	2300	2000	1900	1800	1700	1980
w_2 , ВИТКІВ	134	126	100	106	94	140	130	127	120	112	126
$U_{1л.ном}$, В	6000	6000	3300	3300	3300	10000	10000	6000	6000	6000	6000

Розв'язання задачі для варіанта К

Коефіцієнт трансформації фазних напруг

$$n = \frac{w_1}{w_2} = \frac{2002}{134} = 15$$

Номінальна первинна фазна напруга трансформатора

$$U_{1ф.ном} = \frac{U_{1л.ном}}{\sqrt{3}} = \frac{6000}{1,73} = 3470 \text{ В.}$$

Номінальні вторинні напруги при з'єднанні обмоток трансформатора за схемою «зірка - зірка»:

$$\text{лінійна } U_{2л.ном} = U_{1л.ном} / n = 6000 / 15 = 400 \text{ В;}$$

$$\text{фазна } U_{2ф.ном} = U_{2л.ном} / \sqrt{3} = 400 / 1,73 = 230 \text{ В.}$$

Коефіцієнти трансформації трансформатора при з'єднанні обмоток за схемою «зірка - зірка»:

$$\text{лінійний } n_{Y..л} = U_{1л.ном} / U_{2л.ном} = 6000 / 400 = 15;$$

$$\text{фазний } n_{Y..ф} = U_{1ф.ном} / U_{2ф.ном} = 3479 / 230 = 15 .$$

Коефіцієнти трансформації трансформатора при з'єднанні обмоток за схемою «зірка - трикутник»:

$$\text{лінійний } n_{\Delta..л} = U_{1л.ном} / U_{2л.ном} = 6000 / 230 = 26 ;$$

$$\text{фазний } n_{\Delta..ф} = U_{1ф.ном} / U_{2ф.ном} = 3479 / 230 = 15 .$$

Задача 1.3

Трифазний трансформатор має потужність $S_{\text{НОМ}}$, номінальні напруги первинної і вторинної обмоток $U_{1.\text{НОМ}}$, $U_{2.\text{НОМ}}$ при частоті мережі $f = 50$ Гц. Втрати холостого ходу при номінальній напрузі $P_{\text{ХХ}} = 180$ Вт, втрати короткого замикання $P_{\text{КЗ}} = 1000$ Вт. Визначити ККД трансформатора при заданих $\cos\varphi_2$ і коефіцієнті навантаження β , що змінюється в діапазоні від 0,4 до 1. Побудувати залежність ККД від коефіцієнта навантаження. Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S_{\text{НОМ}}$, кВа	40	63	25	100	100	160	160	250	250	400	400
$U_{1.\text{НОМ}}$, кВ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
$U_{2.\text{НОМ}}$, кВ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$P_{\text{ХХ}}$, кВт	0,18	0,24	0,14	0,49	0,49	0,73	0,73	1,05	1,05	1,45	1,45
$P_{\text{КЗ}}$, кВт	1,0	1,4	0,8	1,97	1,97	2,65	2,65	3,7	3,7	5,5	5,5
$\cos\varphi_2$	0,9	0,8	0,84	0,74	0,86	0,76	0,88	0,73	0,87	0,68	0,84

Розв'язання задачі для варіанта К

Для визначення ККД трансформатора скористаємося співвідношенням (9.16). ККД при коефіцієнті навантаження $\beta = 1,0$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot \cos\varphi_2}{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot \cos\varphi_2 + \Delta P_{\text{С}} + \Delta P_{\text{МН}} \cdot \beta^2} = \frac{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot \cos\varphi_2}{\beta \cdot S_{\text{Н}} \cdot \cos\varphi_2 + P_{\text{ХХ}} + P_{\text{КЗ}} \cdot \beta^2} =$$

$$= \frac{1,0 \cdot 40 \cdot 0,9}{1,0 \cdot 40 \cdot 0,9 + 0,18 + 1 \cdot 1^2} = 0,968.$$

Результати розрахунку для інших значень коефіцієнта навантаження приведені в таблиці 1.4. На рисунку 1 побудована залежність ККД від коефіцієнта навантаження трансформатора.

Таблиця 1.4

β	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0
η	0,949	0,970	0,975	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968

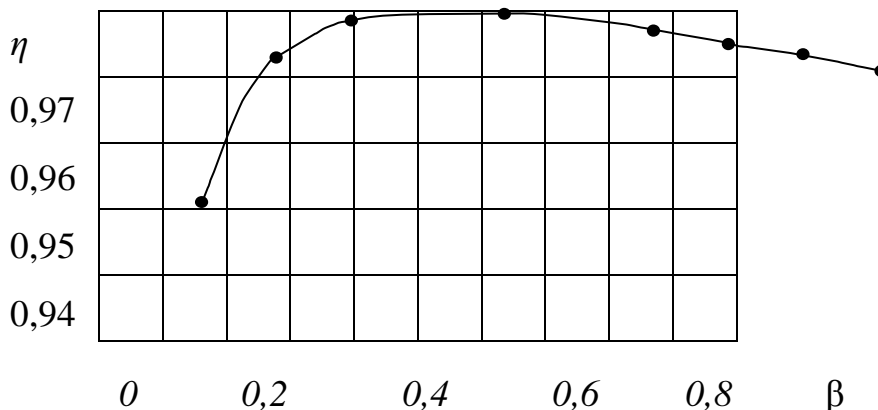


Рисунок 1.1 – Розрахункова залежність ККД від β

Контрольні запитання з теми «Трансформатори»

1. Поясніть призначення і принцип дії трансформатора.
2. Чому магнітопровід трансформатора виконують з електротехнічної а не із звичайної сталі, і збирають з окремих тонких, ізольованих один від одного листів?
3. Як розташовують обмотки трансформатора на осерді магнітопроводу?
4. Що називають коефіцієнтом трансформації трансформатора, як його визначити?
5. З якою метою наводиться електрична схема заміщення трансформатора?
6. З якою метою проводять досліди холостого ходу й короткого замикання трансформатора?
7. Які дані трансформатора називають паспортними?
8. Порівняйте векторні діаграми Т- і Г-подібної схем заміщення трансформатора; складіть за ними рівняння електричного стану.
9. Як з'єднують обмотки трифазних трансформаторів?
10. Які переваги й недоліки автотрансформаторів у порівнянні з трансформаторами?

2 Електричні машини постійного струму (заочна форма навчання)

Тема практичного заняття: розв'язання задач (2 години)

Задача 2.1

Машина постійного струму в режимі двигуна має наступні номінальні дані: P_n ; U_n ; I_n ; $R_{я}$; $I_{зб}$; n_n . Визначити необхідну швидкість обертання якоря МПС, що працює в режимі генератора з напругою U_r . Обчислити номінальну потужність цього генератора, якщо насичення сталі і нагрівання прийняти такими ж, як у двигуна. Вихідні дані наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_n , кВт	11	13	15	18	16	14	12	10	12	14	16
U_n , В	220	230	240	230	220	230	240	230	220	230	240
n_n , об/хв	1000	960	900	840	800	1100	1180	960	900	860	800
I_n , А	62	64	66	68	66	64	62	60	62	64	66
$R_{я}$, Ом	0,09	0,1	0,14	0,16	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,13	0,15
$I_{зб}$, А	3	3,4	3,6	3,8	4	3,8	3,6	3	3,2	3,4	3,6
U_r , В	230	240	230	240	230	240	230	240	230	240	230

Розв'язання завдання для варіанта К

Визначаємо струм якоря двигуна й генератора

$$I_{\text{я,дв}} = I_{\text{н}} - I_{\text{зб}} = 62 - 3 = 59 \text{ А} = I_{\text{н,г}}$$

Обчислюємо ЕРС двигуна й генератора без урахування падіння напруги в щітковому контактi:

$$E_{\text{дв}} = U_{\text{н}} - I_{\text{я,дв}} \cdot R_{\text{я}} = 220 - 59 \cdot 0,09 = 214,7 \text{ В};$$

$$E_{\text{г}} = U_{\text{г}} + I_{\text{я,г}} \cdot R_{\text{я}} = 230 + 59 \cdot 0,09 = 235,3 \text{ В}.$$

Швидкість обертання якоря генератора визначаємо із співвідношення

$$\frac{E_{\text{г}}}{E_{\text{дв}}} = \frac{c \cdot n_{\text{г}} \cdot \Phi_{\text{г}}}{c \cdot n_{\text{дв}} \cdot \Phi_{\text{дв}}} = \frac{n_{\text{г}}}{n_{\text{дв}}},$$

оскільки за умовою $\Phi_{\text{г}} = \Phi_{\text{дв}}$,

$$n_{\text{г}} = \frac{E_{\text{г}}}{E_{\text{дв}}} n_{\text{дв}} = \frac{235,3}{214,7} 1000 = 1096 \text{ об/хв.}$$

Якщо врахувати падіння напруги в щітковому контактi, наприклад при $\Delta U_{\text{щ}} = 2 \text{ В}$, тоді

$$E'_{\text{дв}} = U_{\text{н}} - I_{\text{я,дв}} \cdot R_{\text{я}} - \Delta U_{\text{щ}} = 214,7 - 2 = 212,7 \text{ В},$$

$$E'_{\text{г}} = U_{\text{г}} + I_{\text{я,г}} \cdot R_{\text{я}} + \Delta U_{\text{щ}} = 235,3 + 2 = 237,3 \text{ В},$$

і швидкість обертання повинна бути

$$n_{\text{г}} = \frac{E'_{\text{г}}}{E'_{\text{дв}}} n_{\text{дв}} = \frac{237,3}{212,7} 1000 = 1116 \text{ об/хв.}$$

Знаходимо номінальний струм і номінальну потужність:

$$I_{\text{н,г}} = I_{\text{я,г}} - I_{\text{зб}} = 59 - 3 = 56 \text{ А},$$

$$P_{\text{нг}} = U_{\text{г}} \cdot I_{\text{нг}} = 230 \cdot 56 = 12880 \text{ Вт} = 12,9 \text{ кВт}.$$

Задача 2.2

Визначити швидкість обертання якоря генератора з $P_{\text{н}} = 16,5 \text{ кВт}$, $U_{\text{н}} = 230 \text{ В}$, $n_{\text{н,г}} = 1460 \text{ об/хв}$, $R_{\text{я}} = 0,18 \text{ Ом}$, $R_{\text{зб}} = 82 \text{ Ом}$ при роботі двигуном з $U_{\text{дв}} = 220 \text{ В}$, якщо насичення сталі й нагрівання двигуна прийняти такими ж, як у генератора. Обчислити електромагнітну потужність двигуна. Вихідні дані наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{\text{нг}}$, кВт	16,5	18	20	22	21	19	17	15	16	18	20
$U_{\text{н,г}}$, В	230	240	230	240	230	240	230	240	230	240	230
$n_{\text{н,г}}$, об/хв	1460	1400	1540	1500	1460	1400	1540	1600	1500	1460	1400
$R_{\text{я}}$, Ом	0,18	0,2	0,22	0,21	0,2	0,19	0,18	0,17	0,16	0,18	0,2
$R_{\text{зб}}$, Ом	82	84	86	85	83	81	80	82	84	85	83
$U_{\text{дв}}$, В	220	220	220	230	210	220	210	220	210	220	220

Розв'язання задачі для варіанта К

Знаходимо струм якоря генератора й двигуна:

$$I_{я.г} = I_H + I_{зб} = P_{н.г}/U_{н.г} + U_H/R_{зб} = \\ = 16500/230 + 230/82 = 72 + 2,8 = 74,8 \text{ А}$$

$$I_{я.дв} = I_{я.г} \text{ (за умовою завдання).}$$

Струм, споживаний двигуном з мережі, дорівнює

$$I_{дв} = I_{я.дв} + I_{зб} = 74,8 + 2,8 = 77,6 \text{ А.}$$

Обчислюємо ЕРС генератора й двигуна:

$$E_{г} = U_{н.г} + I_{я.г} \cdot R_{я} = 230 + 74,8 \cdot 0,18 = 243,5 \text{ В};$$

$$E_{дв} = U_{дв} - I_{я.дв} \cdot R_{я} = 220 - 74,8 \cdot 0,18 = 206,5 \text{ В.}$$

Швидкість обертання якоря двигуна знаходимо із співвідношення

$$n_{дв} = \frac{E_{дв}}{E_{г}} n_{н.г} = \frac{206,5}{243,5} 1460 = 1238 \text{ об/хв.}$$

Визначаємо електромагнітну потужність двигуна:

$$P_{ем} = E_{дв} \cdot I_{я.дв} = 206,5 \cdot 74,8 = 15446 \text{ Вт} = 15,5 \text{ кВт.}$$

Номинальна потужність двигуна буде трохи меншою.

Контрольні запитання з теми Електричні машини постійного струму

1. Назвіть основні частини машини постійного струму, поясніть її конструкцію.
2. Поясніть принцип дії генератора постійного струму і призначення колектора у генератора та у двигуна.
3. Як можна змінити ЕРС генератора?
4. Поясніть принцип дії двигуна постійного струму.
5. Запишіть рівняння противо- ЕРС і струму якоря двигуна.
6. Виведіть рівняння обертового моменту двигуна. Як змінити напрям обертання якоря двигуна?
7. Виведіть рівняння швидкості двигуна і поясніть можливості її регулювання.
8. Поясніть призначення пускового реостата й вибір величини його опору.
9. Особливості схеми двигуна з паралельним збудженням.
10. Поясніть регулювання швидкості двигуна зміною струму збудження. Чому розрив кола збудження небезпечний для двигуна?
11. Поясніть регулювання швидкості двигуна з паралельним збудженням зміною напруги на якорі.

12. Як змінюється швидкість двигуна з послідовним збудженням при зміні навантаження на його валу? Чому робота з малим навантаженням для двигуна є неприпустимою?

13. Поясніть, як регулюють швидкість двигуна з послідовним збудженням.

14. Як змінюються обертовий момент і швидкість двигуна із змішаним збудженням із зростанням навантаження?

15. Які з втрат у машині постійного струму залежать від навантаження? Які втрати є постійними?

3 Асинхронні електричні машини (заочна форма навчання)

Тема практичного заняття: розв'язання задач (6 годин)

Задача 3.1

Багатополісний двигун при номінальному навантаженні працює з ковзанням $s = 4\%$. Частота мережі $f_1 = 50$ Гц. Визначити швидкість обертання двигуна. Вихідні дані наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число полюсів	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4
$s, \%$	4	3,6	3,2	2,8	4,4	4,8	3,3	3,5	3,8	4,2	4,5
$f_1 = 50$ Гц.	50	60	50	60	50	60	50	60	50	60	50

Розв'язання задачі для варіанта К

Число пар полюсів $p = 6/2 = 3$; синхронна швидкість

$$n_1 = f_1 \cdot 60/p = 50 \cdot 60/3 = 1000 \text{ об/хв.}$$

Швидкість обертання ротора

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) = 1000 \cdot (1 - 0,04) = 960 \text{ об/хв.}$$

Задача 3.2

Швидкість обертання асинхронного двигуна при номінальному навантаженні становить n_2 об/хв, при холостому ході - n_{xx} об/хв. Визначити ковзання при навантаженні й холостому ході; $f_1 = 50$ гц. Шкала частот обертання: 3000, 2200, 1600, 1500, 1000, 850, 800, 750, 650, 600 об/хв. Вихідні дані наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_{xx}, \text{об/хв}$	2940	2160	1550	820	630	580	580	740	730	780	840
$n_2, \text{об/хв}$	2850	2040	1320	740	560	510	490	680	660	690	760
$f_1 = 50$ Гц.	50	50	50	50	60	60	50	60	50	60	50

Розв'язання задачі для варіанта К

Синхронна швидкість для даного двигуна $n_1 = 3000$ об/хв (найближча більша). Ковзання при навантаженні

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100 = \frac{3000 - 2850}{3000} 100 = 5\% ;$$

при холостому ході

$$s = \frac{3000 - 2940}{3000} 100 = 2\% .$$

Задача 3.3

Двигун з контактними кільцями включений до мережі з напругою U_H , В. На розімкнутих кільцях ротора обмірювана напруга U_2 , В. Число витків фазних обмоток статора – $w_1 = 60$, обмотувальний коефіцієнт - $k_1 = 0,94$, обмоток ротора – $w_2 = 36$, $k_2 = 0,96$. Обмотки з'єднані «зіркою». Частота мережі f_1 Гц. Визначити потік, що проходить через полюси двигуна, і ЕРС статора E_1 . Вихідні дані наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_H , В	380	380	220	220	400	400	400	390	390	380	380
U_2 , В	228	224	129	127	300	292	268	240	236	210	216
w_1 , витків	60	60	54	54	66	68	70	64	62	62	60
k_1	0,94	0,92	0,94	0,92	0,95	0,94	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
w_2 , витків	36	35	32	30	40	38	42	40	38	38	36
k_2	0,96	0,94	0,96	0,92	0,93	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,94
f_1 , Гц	50	50	50	50	60	60	60	60	50	50	50

Розв'язання задачі для варіанта К

Фазна ЕРС нерухомого ротора

$$E_{2H} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{228}{1,73} = 132 \text{ В.}$$

Потік
$$\Phi = \frac{E_{2H}}{4,44 f_1 \cdot w_2 \cdot k_2} = \frac{132}{4,44 \cdot 50 \cdot 36 \cdot 0,96} = 0,0173 \text{ Вб.}$$

ЕРС статора

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_1 \cdot \Phi = 4,44 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 0,94 \cdot 0,0173 = 216 \text{ В.}$$

Задача 3.4

Визначити величину й фазу номінального струму ротора двигуна з контактними кільцями, при заданих E_{2H} , R_2 , X_{2H} і s_H .

Вихідні дані наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E_{2H} , В	132	130	126	122	136	140	138	135	133	137	131
R_2 , Ом	0,24	0,22	0,2	0,2	0,25	0,27	0,26	0,25	0,23	0,27	0,22
X_{2H} , Ом	1,2	1,1	1,0	1,2	1,3	1,4	1,35	1,3	1,1	1,4	1,1
s_H	0,035	0,03	0,04	0,02	0,04	0,06	0,05	0,02	0,03	0,04	0,035

Розв'язання задачі для варіанта К

$$I_{2H} = \frac{E_{2H} \cdot s}{\sqrt{R_2^2 + X_{2H}^2 \cdot s_H^2}} = \frac{132 \cdot 0,035}{\sqrt{0,24^2 + 1,2^2 \cdot 0,035^2}} = 19 \text{ А};$$

$$\operatorname{tg} \psi_2 = \frac{X_{2H} \cdot s_H}{R_2} = \frac{1,2 \cdot 0,035}{0,24} = 0,175; \quad \psi_2 = 9055'.$$

Якщо при визначенні номінального струму ротора знехтувати індуктивним опором $X_2 = X_{2H} \cdot s$, матимемо

$$I_{2H} = \frac{E_{2H} \cdot s}{R_2} = \frac{132 \cdot 0,035}{0,24} = 19,2 \text{ А}.$$

Задача 3.5

Номінальна потужність двигуна P_H кВт, напруга U_H В, ККД η_H , коефіцієнт потужності $\cos \varphi_H$, втрати в сталі ΔP_c від P_H . Втрати потужності в обмотках статора в номінальному режимі $\Delta P_{e.c.}$ від P_H . Визначити споживаний струм і електромагнітну потужність двигуна в номінальному режимі. Вихідні дані наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_H , кВт	10	11	7,5	7,5	5,5	5,5	4	4	3	2,2	2,2
U_H , В	380	380	380	380	380	380	380	220	220	220	220
η_H	0,88	0,9	0,78	0,84	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,84	0,82
$\cos \varphi_H$	0,87	0,84	0,87	0,86	0,85	0,84	0,8	0,84	0,82	0,8	0,76
ΔP_c	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05
$\Delta P_{e.c.}$	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03

Розв'язання задачі для варіанта К

Споживана потужність

$$P_1 = \frac{P_H}{\eta_H} = \sqrt{3} U_H \cdot I_H \cdot \cos \varphi_H.$$

Номинальний струм

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{10 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,88} = 20 \text{ А.}$$

Електромагнітна потужність у номінальному режимі

$$P_{EM} = P_1 - P_C - P_{EC} = P_H/\eta_H - 0,05 \cdot P_H - 0,03 \cdot P_H = \\ = 10/0,88 - 0,05 \cdot 10 - 0,03 \cdot 10 = 10,55 \text{ кВт.}$$

Контрольні запитання з теми Асинхронні електричні машини

1. Як виконують магнітопровід АД?
2. Поясніть принцип виконання обмотки статора АД.
3. Як виконують обмотку ротора короткозамкненого двигуна?
4. Поясніть будову обмотки ротора двигуна з контактними кільцями.
5. Як вибирають схему з'єднань обмоток статора і як встановити однойменні виводи фазних обмоток статора?
6. Від чого залежить швидкість обертання магнітного поля? Чим визначається число пар полюсів двигуна?
7. Як створюється обертовий момент АД, чому ротор не може самостійно досягти синхронної швидкості обертання?
8. Як визначають ковзання й швидкість обертання ротора і як впливає на АД зміна навантаження на валу?
9. Що розуміють під механічною характеристикою двигуна і який вигляд механічної характеристики АД?
10. Як визначають діючі значення фазних ЕРС статора й ротора?
11. Як залежать ЕРС ротора й частота струму ротора від ковзання?
12. Як враховують ЕРС розсіювання статора й ротора?
13. Поясніть роль ЕРС статора. Як записується рівняння напруг статора?
14. Запишіть рівняння напруг ротора. Як залежить від ковзання струм ротора і його фаза?
15. На підставі яких рівнянь будується повна векторна діаграма й схема заміщення асинхронного двигуна? Як будується векторна діаграма?
16. Які види втрат потужності мають місце в АД? Що розуміють під електромагнітною й механічною потужністю двигуна?
17. Визначіть поняття «номінальна потужність двигуна».
18. Як залежать електричні втрати в роторі від ковзання?
19. Від чого залежить обертовий момент двигуна?
20. Проаналізуйте залежність обертового моменту від ковзання.

21. Що розуміють під коефіцієнтом перевантажувальної здатності і яка його величина для звичайних АД?
22. Поясніть умову усталеної роботи двигуна.
23. Від чого і як залежить критичний момент і критичне ковзання?
24. Які є можливості впливу на механічну характеристику АД?
25. За якими показниками оцінюють пускові властивості двигуна?
26. Позитивні якості й недоліки прямого пуску асинхронних короткозамкнених двигунів.
27. Позитивні якості й недоліки запуску двигунів на зниженій напрузі.
28. Як пускають в хід двигуни з контактними кільцями? Дайте загальну оцінку їхніх пускових властивостей.
29. Що розуміють під робочими характеристиками двигуна? Поясніть характер цих залежностей для АД.
30. Умова переходу асинхронного двигуна до генераторного режиму. Поясніть практичне значення такого режиму.
31. Які можливі способи гальмування асинхронного двигуна? Дайте їхню оцінку й поясніть практичне значення.
32. Поясніть будову і принцип дії однофазного АД.
33. Як пускають в хід однофазні двигуни?

4 Синхронні електричні машини (заочне навчання)

Тема практичного заняття: розв'язання задач (4 години)

Задача 4.1

Умова завдання відбиває важливі співвідношення, що характеризують форму кривій напруги й поля збудження при холостому ході синхронної машини. Це дозволяє представити взаємозв'язок між системою коефіцієнтів, що визначають форму напруги й магнітного поля, і оцінити порядок їхніх числових значень.

Числові значення величин: $F_{fm} = 26000$ А; $D_i = 145$ см; $l_\delta = 200$ см; $\delta' = 3,5$ см; $\rho = 0,76$; $2p = 2$.

Визначити: Φ_{fm} , Φ_{fm1} , k_Φ , k_b , а також нове значення ρ .

Рішення: Покажемо схематично (рис. 4.1) синхронну машину, що має на роторі неявнополюсну розподілену двополюсну обмотку збудження з довжиною обмотаної частини полюса b . Задана за умовами відносна довжина обмотаної частини полюса $\rho = b/\tau$. Розподіл уздовж розточення статора магніторушійної сили, утвореною цією обмоткою при протіканні в ній струму

збудження, представимо східчастої кривої. При цьому на необмотаній частині полюса (великий зуб) МРС обмотки незмінна.

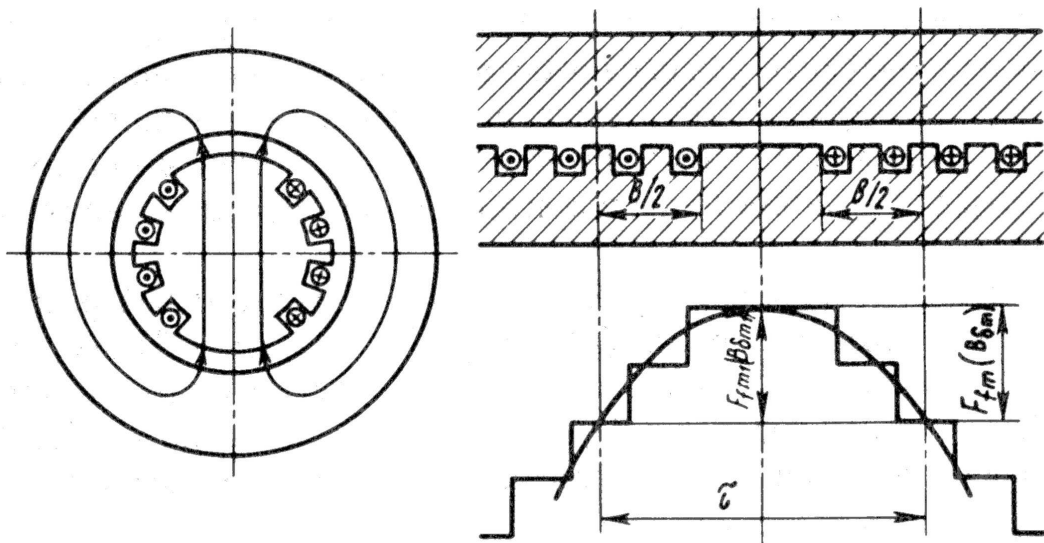


Рисунок 4.1 – Схематичне зображення синхронної машини

Індукція в зазорі $B_{\delta} = \mu_0 F_f / \delta'$. Тому крива індукції повторює за формою криву МРС. Вона також ступінчата з максимальним значенням індукції на осі полюса:

$$B_{\delta m} = \mu_0 F_{fm} / \delta' = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 26000 / (3,5 \cdot 10^{-2}) = 0,933 \text{ Тл.}$$

При розкладанні східчато розподіленої індукції в гармонійний ряд першу гармонійну індукцію $B_{\delta 1m}$ можна визначити за допомогою коефіцієнта форми поля збудження $k_f = B_{\delta 1m} / B_{\delta m}$. Для розглянутої неявнополюсної машини

$$k_f = 8 \sin(\rho\pi/2) / (\pi^2 \rho) = 8 \sin(0,76 \cdot \pi/2) / (\pi^2 \cdot 0,76) = 0,992.$$

Відповідно $B_{\delta 1m} = B_{\delta m} k_f = 0,933 \cdot 0,992 = 0,926 \text{ Тл.}$

Повний потік взаємної індукції

$$\Phi_{fm} = \alpha_{\delta} \tau l_{\delta} B_{\delta m},$$

де розрахунковий коефіцієнт полюсного перекриття $\alpha_{\delta} = 1 - 0,5\rho = 1 - 0,5 \cdot 0,76 = 0,62$; полюсний розподіл $\tau = \pi D_i / 2 \rho = \pi \cdot 1,45 / 2 = 2,28 \text{ м.}$ Звідки:

$$\Phi_{fm} = 0,62 \cdot 2,28 \cdot 2 \cdot 0,933 = 2,64 \text{ Вб.}$$

Магнітний потік взаємної індукції, що відповідає першій гармонійній індукції,

$$\Phi_{\delta 1m} = (2/\pi) \tau l_{\delta} B_{\delta 1m} = (2/\pi) 2,28 \cdot 2 \cdot 0,926 = 2,69 \text{ Вб.}$$

Коефіцієнт потоку збудження

$$k_{\phi} = \Phi_{fm} / \Phi_{\delta 1m} = 2,64 / 2,69 = 0,98.$$

Коефіцієнт форми ЕРС k_e визначимо по формулі

$$k_e = \pi / (2 \sqrt{2} k_{\phi}) = \pi / (2 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,98) = 1,133.$$

Дорівнюючи рівняння для повного потоку й потоку за першою гармонікою ($\Phi_{fm} = \alpha_{\delta} \tau l_{\delta} B_{\delta m}$ і $\Phi_{fm1} = (2/\pi) \tau l_{\delta} B_{\delta 1m}$), одержуємо

$$(1 - 0,5\rho) \tau l_{\delta} B_{\delta m} = (2/\pi) \tau l_{\delta} k_f B_{\delta m},$$

звідки нове значення відносної довжини обмотаної частини полюса

$$\rho = [1 - (2/\pi) \cdot k_f] 2 = 2 [1 - (2/\pi) \cdot 0,992] = 0,736.$$

Відповідь: $\Phi_{fm} = 2,64$ Вб; $\Phi_{\delta m1} = 2,69$ Вб; $k_{\phi} = 0,98$; $k_{\epsilon} = 1,33$; $\rho = 0,736$.

Задача 4.2

Задача відноситься до дослідження електромагнітних процесів явнопольсної синхронної машини при навантаженні й пов'язана з обліком впливу поля якоря на поле збудження при насиченні. Рішення завдання проводиться графоаналітично із застосуванням векторних діаграм.

Числові значення величин: $X_{ad} = 1,4$; $X_{aq} = 0,7$; $X_{a\sigma} = 0,2$; $R_s = 0$; $U_s = 1$; $I_s = 1$; $\cos(\varphi) = 0,8$.

Нормальні характеристики намагнічування наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Дані нормальних характеристик холостого ходу й намагнічування явнопольсних синхронних машин

F_*	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
$\Phi_{*m}(E_{*f}) = f(F_{*fm})$	0,0	0,106	0,212	0,318	0,53	0,8	1,0	1,125	1,23	1,26	1,3
$\Phi_{*m} = f(F_{*1})$	0,0	0,106	0,212	0,318	0,53	0,8	1,0	1,2	1,28	1,31	1,35
$\Phi_{*m}(E_{*f}) = f(F_{*\delta})$	0,0	0,106	0,212	0,318	0,53	0,8	1,06	1,325	1,59	1,855	2,12
$\Phi_{*f\sigma} = f(F_{*1})$	0,0	0,026	0,052	0,078	0,131	0,196	0,262	0,328	0,393	0,458	0,525
$\Phi_{*2} = f(F_{*2})$	0,0	1,5	1,675	1,75	-	-	-	-	-	-	-

Визначити: $I_{*f}(\Phi_{\sigma} = \text{var})$, $I_{*f}(\Phi_{\sigma} = \text{const})$.

Рішення. Необхідно вибрати масштаб для побудови характеристик намагнічування. Вибір масштабу орієнтовно проводиться з умови розміщення криві намагнічування в правій верхній частині аркуша обраного формату (рис. 4.2). У нашому випадку при форматі 330x200 мм $m_E = 0,2$ в.о./см, $m_F = 0,2$ в.о./см.

Визначимо струм збудження без обліку зміни потоку розсіювання обмотки збудження. За даними таблиці 4.1 в обраному масштабі будемо основну характеристику холостого ходу $E_{*f} = f(F_{*fm})$. У масштабі $m_E = 0,2$ в.о./см відкладаємо вектор напруги $U_* = 1$ і під кутом $\varphi = 37^\circ$ будемо вектор струму $I_* = 1$ у довільному масштабі (тут $m_I = 0,4$ в.о./см).

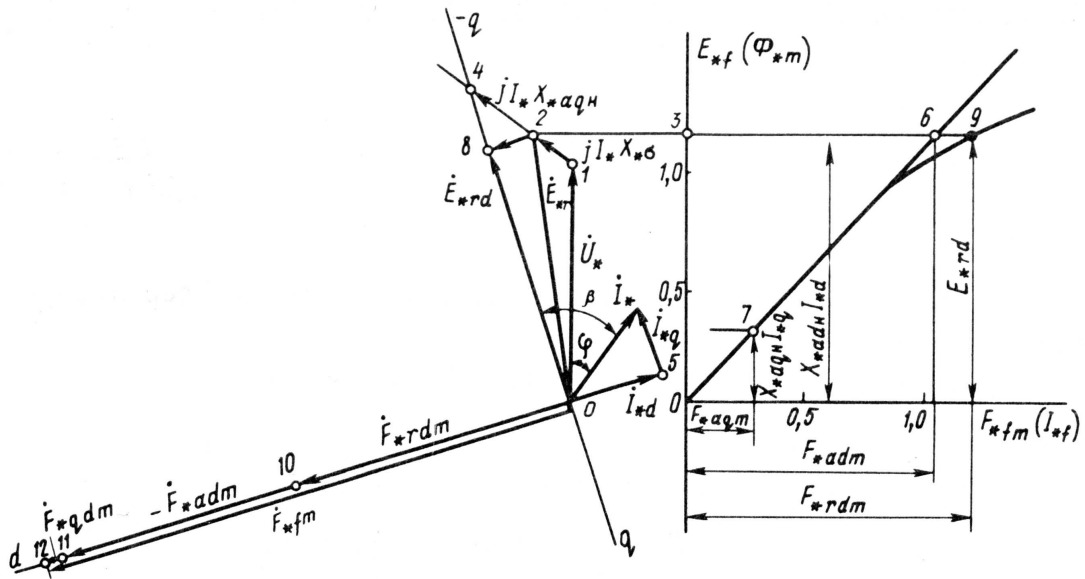


Рисунок 4.2

Щоб визначити результуючу ЕРС взаємної індукції \dot{E}_r , від кінця вектора \dot{U}_* відкладемо вектор $jX_{*\sigma}I_*$, довжина якого $X_{*\sigma}I_* = 0,2 \cdot 1 = 0,2$; в обраному масштабі $0,2:0,2 = 1$ см відповідає напрузі $X_{*\sigma}I$ у відносних одиницях. Вимірявши довжину відрізка $OE_r = 5,7$ см, одержимо $E_{*r} = OE_r \cdot m_E = 5,7 \cdot 0,2 = 1,14$.

По величині E_{*r} за допомогою кривих додаток Б визначимо коефіцієнти $\xi_d = 0,965$, $\xi_q = 0,77$, $\xi_{qd} = 0,23$ й обчислимо значення головних індуктивних опорів з урахуванням насичення:

$$X_{*adH} = \xi_d X_{*ad} = 0,965 \cdot 1,4 = 1,35,$$

$$X_{*aqH} = \xi_{qd} X_{*aq} = 0,77 \cdot 0,7 = 0,54.$$

До вектора \dot{E}_r додамо вектор $jX_{*aqH}I_*$, довжина якого в масштабі напруги $X_{*aqH}I_* / m_E = 0,54 \cdot 1 / 0,2 = 0,54 / 0,2 = 2,7$ см. Кінець комплексу $\dot{E}_{*r} + jX_{*aqH}I_*$ визначає напрямок вектора \dot{E}_{*f} (кут β) і напрямок осі $(-q)$ машини. Ось d випереджає вісь $(-q)$ на кут $\pi/2$.

Визначимо повздовжню й поперечну складові струмів, розкладаючи струм I_* по напрямках осей d і q : $I_{*d} = 2,1 \cdot 0,4 = 0,84$, $I_{*q} = 1,4 \cdot 0,4 = 0,56$.

За отриманим значенням складові токи визначимо відповідні їм ЕРС: $E_{*ad} = X_{*adH} I_{*d} = 1,35 \cdot 0,84 = 1,13$; $E_{*aq} = X_{*aqH} I_{*q} = 0,54 \cdot 0,56 = 0,3$.

По продовженню прямолінійної ділянки характеристики холостого ходу знаходимо еквівалентні МРС збудження: $F_{*adm} = 1,04$ й $F_{*aqm} = 0,28$.

Розрахуємо МРС F_{*qdm} , еквівалентну розмагнічуючому впливу поперечної МРС на поздовжнє поле: $F_{*qdm} = \zeta_{dq} F_{*aqm} = 0,23 \cdot 0,28 = 0,064$.

Щоб визначити результуючу МРС по поздовжній осі. \dot{F}_{*rd} спроектуємо. \dot{E}_{*r} на напрямок осі $(-q)$. Одержимо комплекс $\dot{E}_{*rd} = \dot{U}_* + jX_{*\sigma} \dot{I}_* + jX_{*aqf} \dot{I}_{*q}$. По величині ЕРС $E_{*rd} = 5,6 \cdot 0,2 = 1,12$ за допомогою характеристики холостого хода знаходимо величину $F_{*rdm} = 1,2$.

Повна МРС збудження

$$\dot{F}_{*fm} = \dot{F}_{*rdm} - \dot{F}_{*adm} - \dot{F}_{*qdm} = 1,2 + 1,04 + 0,064 = 2,3.$$

У масштабі $m_F = 0,2$ в.о./см ці складові МРС на діаграмі представляються відрізками $1,2/0,2 = 6$ см, $1,04/0,2 = 5,2$ см й $0,064/0,2 = 0,32$ см відповідно.

Шуканий струм збудження у відносних одиницях дорівнює повної МРС збудження

$$I_{*f} = F_{*fm} = 2,3.$$

Визначимо струм збудження при навантаженні з урахуванням зміни потоку розсіювання обмотки збудження. Для цього побудуємо часткові характеристики намагнічування (рис. 4.4) за даними графіку рисунку 4.3.

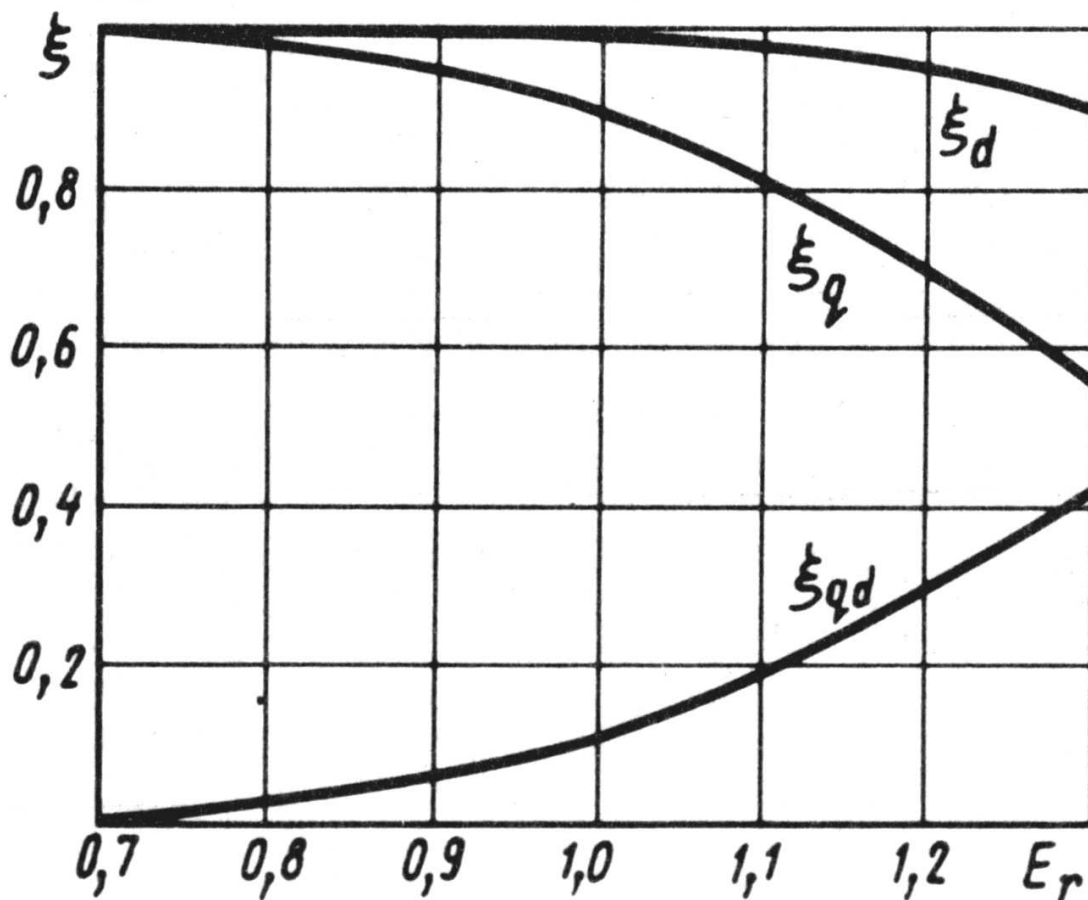


Рисунок 4.3 – Залежності ξ_d , ξ_q , ξ_{qd} від E_r

Виконаємо розрахунки й побудови, аналогічні попередньої. Відмінність складається у визначенні результуючої МРС по поздовжній осі.

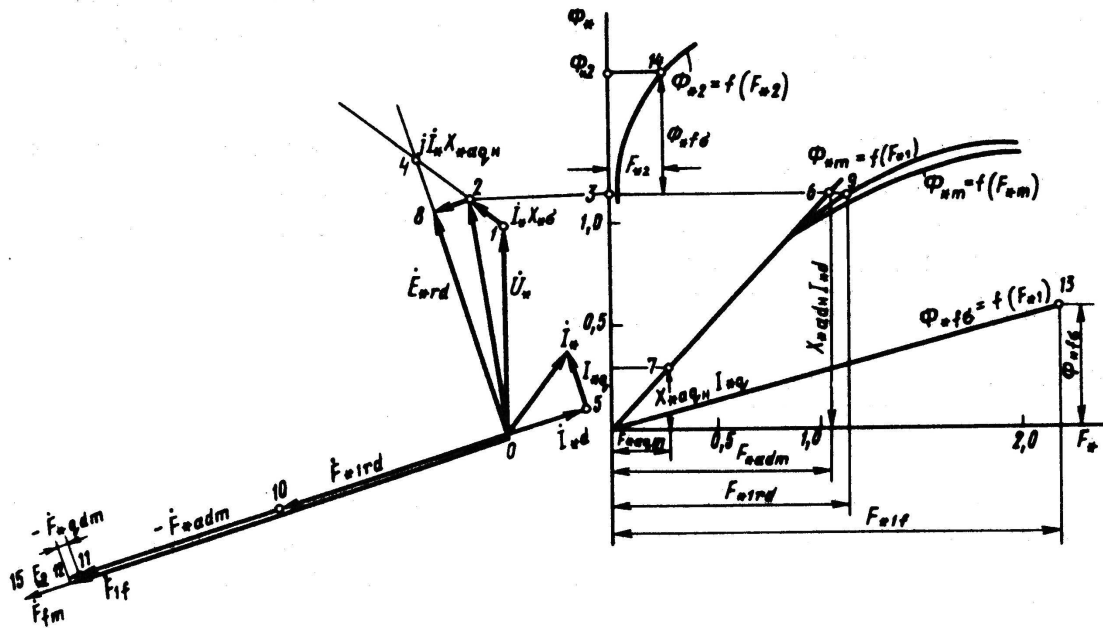


Рисунок 4.4

За допомогою часткової характеристики $\Phi_{*m} = f(F_{*1})$ по величині $E_{*rm} = 1,12$ спочатку визначимо значення F_{*1rd} без врахування магнітної напруги ротора, $F_{*1rd} = 1,16$, а потім знайдемо МРС збудження F_{*1f} без обліку магнітної напруги ротора:

$$F_{*1f} = F_{*1rd} + F_{*adm} + F_{*qdm} = 1,16 + 1,04 + 0,064 = 2,264.$$

По частковій характеристиці $\Phi_{*f\sigma} = f(F_{*1})$ визначимо потік розсіювання $\Phi_{*f\sigma}$, що відповідає МРС F_{*1f} , $\Phi_{*f\sigma} = 0,6$.

Потік у полюсі

$$\Phi_{*2} = \Phi_{*rdm} + \Phi_{*f\sigma} = E_{*rd} + \Phi_{*f\sigma} = 1,12 + 0,6 = 1,72.$$

По частковій характеристиці $\Phi_{*2} = f(F_{*2})$ знайдемо відповідну магнітну напругу ротора $F_{*2} = 0,25$.

Повну МРС збудження й шуканий струм збудження у відносних одиницях визначимо як суму

$$I_{*f} = F_{*fm} = F_{*1f} + F_{*2} = 2,264 + 0,25 = 2,514.$$

Як видно, МРС збудження, визначена цим способом більша за МРС, що знайдена без обліку зміни потоку розсіювання обмотки збудження на величину $2,514 - 2,3 = 0,214$ в.о.

Відповідь: $I_{*f}(\Phi_{\sigma} = \text{var}) = 2,514$ $I_{*f}(\Phi_{\sigma} = \text{const}) = 2,3$.

Задача 4.3

Завдання ставиться до визначення й графічних побудов характеристик синхронного генератора при автономному навантаженні. Регулювальна характеристика генератора — це залежність струму збудження від струму якоря $I_f = f(I)$ при постійних напрузі, кутовій швидкості обертання в куті навантаження ($U = const, \Omega = const, \varphi = const$). Без обліку насичення шукану характеристику можна одержати аналітично, для обліку насичення необхідні графічні побудови з використанням характеристики намагнічування, діаграми напруг і МРС.

Числові значення величин: $X_{*\sigma} = 0,122$; $X_{*a} = 1,44$; $R_l = 0$; $U_* = 1$; $\cos(\varphi) = 0,8$.

Характеристика холостого ходу визначається за даними нормальних характеристик холостого ходу й намагнічування неявнополюсних синхронних машин з таблиці 4.2

Таблиця 4.2

F_*	0,0	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\Phi_{*m}(E_{*f}) = f(F_{*fm})$	0,0	0,116	0,29	0,58	0,83	1,0	1,2	1,33	1,4	1,46	1,51
$\Phi_{*m} = f(F_{*1})$	0,0	0,116	0,29	0,58	0,84	1,02	1,28	1,47	1,64	-	-
$\Phi_{*m}(E_{*f}) = f(F_{*\delta})$	0,0	0,116	0,29	0,58	0,87	1,16	1,74	2,32	-	-	-
$\Phi_{*f\sigma} = f(F_{*1})$	0,0	0,005	0,0115	0,023	0,034	0,046	0,069	0,091	0,114	0,137	0,16
$\Phi_{*2} = f(F_{*2})$	0,0	1,22	1,34	1,42	1,48	1,54	1,63	-	-	-	-

Визначити $I_f = f(I)$ з обліком і без обліку насичення.

Рішення. Регулювальну характеристику без обліку насичення визначимо за допомогою вираження

$$E_f = \sqrt{(U \cos \varphi + RI)^2 + (U \sin \varphi + X_l I)^2}$$

яке у відносних одиницях для $U_* = 1$ та $R_* = 0$ запишеться у вигляді

$$E_{*f} = \sqrt{\cos^2 \varphi + (\sin^2 \varphi + X_{*1} I_*)^2}$$

Замість ЕРС E_{*f} уведемо струм збудження обумовлений по спрямленій нормальній характеристиці холостого ходу, побудованої за таблицею 4.2 у масштабі $m_E = 0,2$ в.о./см, $m_F = 0,2$ в.о./см (рис. 4.5).

Індуктивний опір якоря $X_{*1} = X_{*\sigma} + X_{*a} = 0,122 + 1,44 = 1,562$. Для заданого значення $\cos(\varphi) = 0,8$ аналітичне вираження регулювальної характеристики має вигляд

$$I_{*f} = 0,862 \sqrt{0,64 + (0,6 + 1,562 I_*)^2}.$$

Задаючись п'ятьма значеннями струмів I_* у діапазоні від 0 до 1, знайдемо відповідні значення струму збудження, дані зведемо у таблицю 4.3:

Таблиця 4.3

$I_* \dots$	0	0,25	0,50	0,75	1,0
$I_{*f} \dots$	0,862	1,10	1,376	1,675	1,987

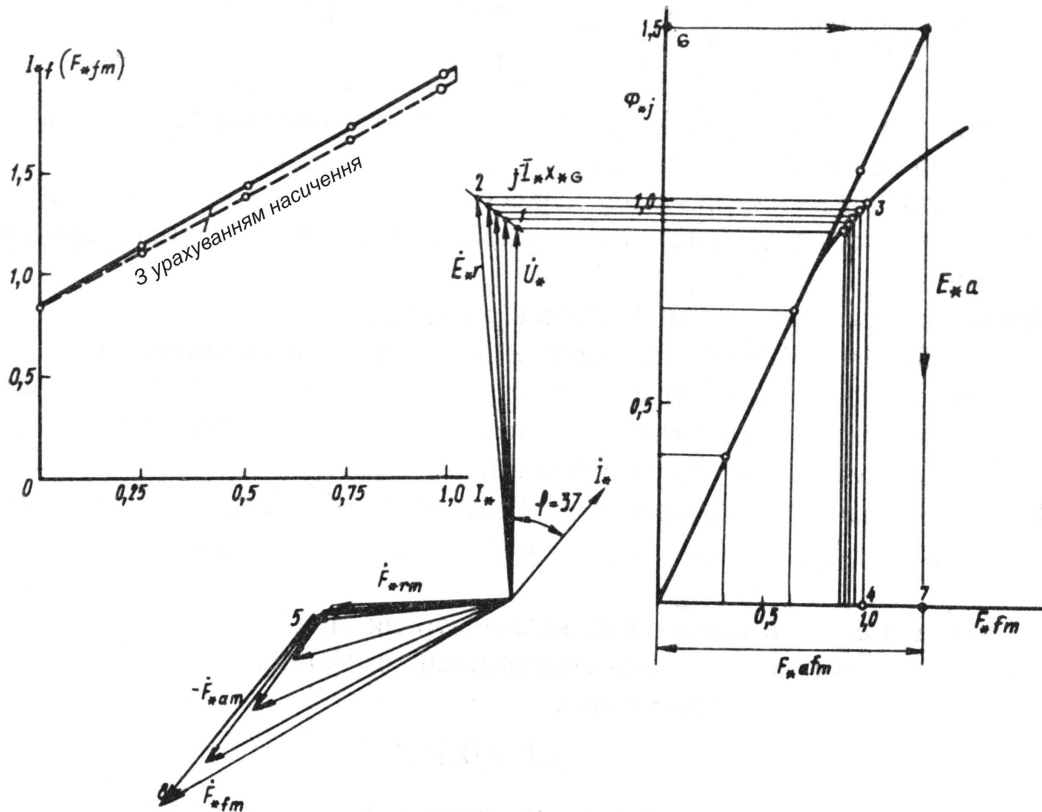


Рисунок 4.5

Для обліку насичення при побудові регульовальної характеристики скористаємося діаграмою напруги й МРС. При цьому для правильної оцінки впливу насичення приймемо, що струм збудження в режимі холостого ходу I_{*f0} однаковий для обох випадків, $I_{*f} = 0,862$.

В обраному масштабі $m_E = 0,2$ в.о./см побудуємо комплекс напруги $\dot{U}_* = 0,92$, що відповідає $\dot{F}_{*f} = 0,862$, і під кутом $\varphi = 37^\circ$ — вектор струму $\dot{i}_* = 1$ у масштабі $m_I = 0,4$ в.о./см.

Для струму $I_* = 1$ побудуємо комплекс $U_* + jI_*X_{*\sigma} = 0,92 + j 0,122$ у масштабі напруги m_E й одержимо вектор результуючої ЕРС $E_{*r} = 1$.

За допомогою основної характеристики намагнічування за значенням $E_{*r} = 1$ визначимо величину МРС $F_{*rm} = 1$ (рис 4.5), для чого відкладемо на діаграмі комплекс МРС $\dot{F}_{*rm} = 1$ що опереджає \dot{E}_{*r} на кут $\pi/2$.

За заданим значенням головного індуктивного опору X_{*a} визначимо ЕРС взаємної індукції $E_{*a} = X_{*a}I_{*a} = 1,44 \cdot 1 = 1,44$ і за допомогою спрямленої характеристики холостого ходу знайдемо значення еквівалентної МРС збудження $\dot{F}_{*afm} = 6,7 \cdot 0,2 = 1,34$.

Враховуючи, що МРС F_{*afm} збігається по фазі зі струмом I_* , а $\dot{F}_{*rm} = \dot{F}_{*fm} + \dot{F}_{*afm}$ визначимо графічно відносну величину МРС збудження F_{*fm} й рівний їй по величині у відносних одиницях струм збудження $I_{*f} = I_{*fm} = 2$.

Повторивши зазначені вище дії для значення струмів $I_* = 0,75; 0,5; 0,25; 0$, одержимо п'ять крапок регульовальної характеристики та зведемо їх до таблиці 4.4:

Таблиця 4.4

$I_* \dots$	0	0,25	0,5	0,75	1
$I_{*f \text{ нас}} \dots$	0,862	1,14	1,46	1,76	2,10
$I_{*f} \dots$	0,862	1,10	1,38	1,67	1,99

Третій рядок відповідає крапкам регульовальної характеристики, певної без обліку насичення.

Як видно, регульовальні характеристики, побудовані з обліком насичення, мало відрізняються від характеристик, розрахованих без обліку насичення.

Відповідь: дивись регульовальні характеристики.

Контрольні запитання з теми Синхронні електричні машини

1. У чому полягає основна особливість СМ і яка область їхнього застосування?
2. Будова і призначення основних частин СМ.
3. Які відмінності в будові магнітопроводу й обмоток СМ у порівнянні з асинхронною?
4. У чому полягає принцип роботи синхронного генератора?
5. Конструктивні відмінності турбо- і гідрогенераторів.
6. Що розуміють під характеристикою холостого ходу генератора?
7. На підставі яких даних будують характеристику холостого ходу генератора?
8. Що розуміють під зовнішньою характеристикою синхронного генератора і як вона залежить від характеру навантаження?
9. Що розуміють під електромагнітною потужністю генератора і двигуна? Роль електромагнітного моменту в генераторі й у двигуні.
10. Що являє собою кутова характеристика? Яким діапазоном кута Θ обмежується її стійка частина?
11. Умови включення СМ паралельно до мережі.

12. Як впливає на режим роботи СМ регулювання струму збудження?
13. Як змінюється активне навантаження генератора, включеного паралельно мережі великої потужності?
14. При яких умовах СМ переходить у режим СД? В якому діапазоні навантажень зберігається усталена робота СМ, ввімкненої паралельно з мережею?
15. Як впливає струм збудження ротора на коефіцієнт потужності СД? Проаналізуйте цей вплив за допомогою векторної діаграми.
16. Для яких цілей використовують синхронні компенсатори й у чому їхня відмінність від звичайних СМ?
17. Які залежності називаються робочими характеристиками СД і який характер вони мають?
18. Дайте порівняльну оцінку електромеханічних властивостей СД відносно асинхронного.
19. Обґрунтуйте доцільність застосування СД?

Список джерел

Рекомендована література

1. Яцун М. А. Электричні машини / М. А. Яцун. – Львів : Львівська політехніка, 2001. – 428 с.
2. Копылов И. П. Электрические машины. Учебник для вузов / И. П. Копылов. – М. : Высшая школа, 2004. – 607 с.
3. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. Учебник для вузов / А. В. Иванов-Смоленский. – М. : Энергия, 1988. – 928 с. : ил.
4. Вольдек А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1984. – 840 с.
5. Брускин Д. Э. Электрические машины и микромашины / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. – М. : Высшая школа, 1990. – 528 с. : ил.
6. Электрические машины. Трансформаторы : учебное пособие для студентов факультета последипломного образования и студентов дневной и заочной формы обучения специальности 6.090603 «Электрические системы электроснабжения», 6.090605 «Светотехника и источники света», 6.092202 «Электрический транспорт» / М. Л. Глебова, М. В. Чернявская, А. И. Кузнецов, И. Т. Карпалюк. – Х. : ХНАГХ, 2007. – 180 с.
7. Электрические машины переменного тока : учебное пособие для студентов факультета последипломного образования и студентов дневной и заочной формы обучения специальности 6.090603 «Электрические системы электроснабжения», 6.090605 «Светотехника и источники света», 6.092202 «Электрический транспорт» / М. Л. Глебова, М. В. Чернявская, А. И. Кузнецов, И. Т. Карпалюк. – Х. : ХНАГХ, 2008. – 102 с.
8. Синхронные машины. Машины постоянного тока : конспект лекций для студентов 3 курса направления подготовки 0922, 6.050702 – Электромеханика специальности «Электрический транспорт» / М. Л. Глебова, М. В. Чернявская, А. И. Кузнецов, И. Т. Карпалюк. – Х. : ХНАГХ, 2009. – 237 с.
9. Читечян В. И. Электрические машины. Сборник задач / В. И. Читечян. – М. : Высшая школа, 1988. – 231 с. : ил.
10. Кацман М.М. Электрические машины / М. М. Кацман. М. : Высшая школа, 2001. – 464 с. : ил.
11. Копылов И.П. Проектирование электрических машин / И.П. Копылов. – М. : Энергия, 1980. – 496 с. : ил.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
з дисципліни

ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

*(для студентів заочної форми навчання
напрямів підготовки 6.050701 – «Електротехніка та
електротехнології» та 6.050702 – «Електромеханіка»)*

Укладачі: **ГЛІБОВА** Марина Леонідівна,
ДОРОХОВ Олександр Володимирович
ФІНКЕЛЬШТЕЙН Володимир Борисович

Відповідальний за випуск: к.т.н. доц. *Я. Б. Форкун*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосо жарова*

План 2014, поз. 220М

Підп. до друку 09.09.2014р.

Формат 60×84/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 1,5

Тираж 50 пр.

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014р.