

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Методичні вказівки
та завдання до виконання розрахунково-графічної роботи
для студентів, які навчаються за напрямом підготовки
6.050202“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Київ 2012

УДК 621.321.28

ББК 31.261.63

E46

Укладачі: Г. М. Голенков, канд. техн. наук, доцент
Р.П. Бондар, канд. техн. наук, доцент
Д.І. Пархоменко, асистент

Рецензент В.М. Скіданов, д-р техн. наук, професор

Відповідальний за випуск Л.І. Мазуренко, д-р . наук, професор

Затверджено на засіданні кафедри електротехніки та електроприводу, протокол №19 від 14 червня 2011р.

Видається в авторській редакції

Електротехніка та електромеханіка: Методичні вказівки та завдання
E46 до виконання розрахунково-графічної роботи /уклад: Г. М. Голенков,
Р.П. Бондар, Д.І. Пархоменко. – К.: КНУБА, 2012 – 40 с.

Розглянуто основні методи розрахунку трифазного асинхронного електродвигуна.

Призначено для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” з метою використання під час виконання розрахунку та розробки основних електромеханічних та конструктивних параметрів трифазного асинхронного електродвигуна з метою закріплення теоретичного курсу.

Загальні положення

На сучасному етапі розвитку промислового та цивільного будівництва широко використовується електротехніка та електромеханіка. Впроваджується комплексна механізація та автоматизація, в тому числі, різні системи автоматизованого електроприводу будівельних машин та механізмів. Автоматизація виробництва в основному здійснюється через використання електричного приводу, який має цілий ряд переваг порівняно з іншими видами приводів. Такий електропривід переважно будується з використанням асинхронних електродвигунів. Конструктивно електропривод з асинхронними електродвигунами має достатньо компактні габарити. За рахунок застосування перетворювачів частоти та іншої пускорегулюючої апаратури, в такому електроприводі зручно змінювати робочі режими: швидкість обертання вала та робочий момент. Зазначені переваги і є причиною широкого поширення електроприводу з асинхронними електродвигунами.

Метою виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Електротехніка та електромеханіка» згідно з нормами робочої програми курсу «Автоматизоване управління технологічними процесами» є поглиблення знань з питань конструкції, принципів роботи та проектування асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

При цьому студенти повинні осмислити та вивчити теоретичні питання, опрацювати наукову літературу та провести розрахунки з використанням обчислювальної техніки.

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

"Розрахунок трифазного асинхронного електродвигуна"

Короткий зміст роботи:

1. Вихідні дані для проектування.
2. Магнітне коло двигуна. Розміри, конфігурація, матеріал.
3. Обмотка статора.
4. Обмотка короткозамкненого ротора.
5. Розрахунок магнітного кола.
6. Активні та індуктивні опори обмоток.
7. Режим холостого ходу і номінальний.
8. Робочі характеристики.
9. Максимальний момент.
10. Початковий пусковий струм і початковий пусковий момент.
11. Механічні характеристики.

Студенти виконують розрахунково-графічну роботу відповідно до варіантів (див. таблицю варіантів). Для всіх варіантів число фаз $m=3$; номінальна фазна напруга $U_{\phi}=220$ В; частота мережі $f=50$ Гц.

Приклад розрахунку курсової роботи "Розрахунок трифазного асинхронного електродвигуна" виконано згідно з [1 с. 124- 139].

Обсяг завдання 25 - 35 сторінок формату А4.

Креслення основних вузлів та деталей розрахованого електродвигуна розміщувати на форматі А1. Приклад креслення вузлів .
Схема обмотки статора (рис.1); паз обмотки статора (рис.3); паз обмотки ротора (рис.4); робочі характеристики (рис.8), механічні характеристики (рис.9).

Розрахунок розрахунково-графічної роботи і креслення виконуються і оформляються відповідно до Державних стандартів.

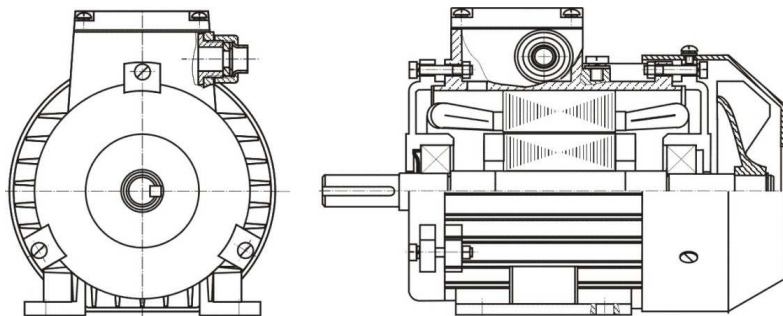


Рис.1. Зовнішній вигляд асинхронного електродвигуна

Таблиця

№ варіанту	Потужність (P_2), кВт	ККД (η_n), %	$\cos\varphi$	M_{2max}/M_n	M_r/M_n	I_r/I_n	№ варіанту	Потужність (P_2), кВт	ККД (η_n), %	$\cos\varphi$	M_{2max}/M_n	M_r/M_n	I_r/I_n
Синхронна частота обертання $n_1=3000$ об/хв.							29	1,1	75	0,81	2,2	2,0	5,0
							30	1,5	77	0,83	2,2	2,0	5,0
1	0,09	60	0,7	2,2	2,0	5,0	31	2,2	80	0,83	2,2	2,0	6,0
2	0,12	63	0,7	2,2	2,0	5,0	32	3,0	82	0,83	2,2	2,0	6,5
3	0,18	66	0,76	2,2	2,0	5,0	33	4,0	84	0,84	2,2	2,0	6,0
4	0,25	68	0,77	2,2	2,0	5,0	34	5,5	85,5	0,86	2,2	2,0	7,0
5	0,37	70	0,86	2,2	2,0	5,0	35	7,5	87,5	0,86	2,2	2,0	7,5
6	0,55	73	0,86	2,2	2,0	5,0	36	11,0	87,5	0,87	2,2	2,0	7,5
7	0,75	77	0,87	2,2	2,0	5,5	37	15,0	89	0,88	2,2	1,4	7,0
8	1,1	77,5	0,87	2,2	2,0	5,5	38	18,5	90	0,88	2,2	1,4	7,0
9	1,5	81	0,85	2,2	2,0	6,5	39	22,0	90	0,9	2,2	1,4	7,0
10	2,2	83	0,87	2,2	2,0	6,5	40	30,0	91	0,89	2,2	1,4	7,0
11	3,0	84,5	0,88	2,2	2,0	6,5	Синхронна частота обертання $n_1=1000$ об/хв.						
12	4,0	86,5	0,89	2,2	2,0	7,5	41	0,18	56	0,62	2,2	2,0	4,0
13	5,5	87,5	0,91	2,2	2,0	7,5	42	0,25	59	0,62	2,2	2,0	4,0
14	7,5	87,5	0,88	2,2	2,0	7,5	43	0,37	64,5	0,69	2,2	2,0	4,0
15	11,0	88	0,9	2,2	1,6	7,5	44	0,55	67,5	0,71	2,2	2,0	4,0
16	15,0	88	0,91	2,2	1,4	7,5	45	0,75	69	0,74	2,2	2,0	4,0
17	18,5	88,5	0,92	2,2	1,4	7,5	46	1,1	74	0,74	2,2	2,0	4,0
18	22,0	88,5	0,91	2,2	1,4	7,5	47	1,5	75	0,74	2,2	2,0	5,5
19	30,0	90,5	0,9	2,2	1,4	7,5	48	2,2	81	0,73	2,2	2,0	5,5
20	37,0	90	0,89	2,2	1,4	7,5	49	3,0	81	0,76	2,2	2,0	6,0
Синхронна частота обертання $n_1=1500$ об/хв.							50	4,0	82	0,81	2,2	2,0	6,0
21	0,06	50	0,6	2,2	2,0	5,0	51	5,5	85	0,8	2,2	2,0	7,0
22	0,09	55	0,6	2,2	2,0	5,0	52	7,5	85,5	0,81	2,2	2,0	7,0
23	0,12	63	0,66	2,2	2,0	5,0	53	11,0	86	0,86	2,0	1,2	6,0
24	0,18	64	0,64	2,2	2,0	5,0	54	15,0	87,5	0,87	2,0	1,2	6,0
25	0,25	68	0,65	2,2	2,0	5,0	55	18,5	88	0,87	2,0	1,2	6,0
26	0,37	68	0,69	2,2	2,0	5,0	56	22,0	90	0,9	2,0	1,2	6,5
27	0,55	70,5	0,70	2,2	2,0	4,5	57	30,0	90,5	0,9	2,0	1,2	6,5
28	0,75	72	0,73	2,2	2,0	4,5	58	37,0	91	0,89	2,0	1,2	6,5

Продовження таблиці

№ варіанту	Потужність (P_2), кВт	ККД (η_n), %	$\cos\varphi$	M_{2max}/M_n	M_T/M_n	I_T/I_n	№ варіанту	Потужність (P_2), кВт	ККД (η_n), %	$\cos\varphi$	M_{2max}/M_n	M_T/M_n	I_T/I_n
59	45	91,5	0,89	2	1,2	1	87	90,0	92,5	0,83	1,8	1,0	6,0
60	55	92	0,88	2	1,2	1	88	110,0	93	0,83	1,8	1,0	6,0
Синхронна частота обертання $n_1=750$ об/хв.							Синхронна частота обертання $n_1=500$ об/хв.						
61	0,25	56	0,65	1,7	1,6	3,5	89	45,0	90,5	0,75	1,8	1,0	6,0
62	0,37	61,5	0,65	1,7	1,6	3,5	90	55,0	91	0,75	1,8	1,0	6,0
63	0,55	64	0,65	1,7	1,6	3,5	91	75,0	91,5	0,76	1,8	1,0	6,0
64	0,75	68	0,62	1,7	1,6	3,5	92	90,0	92	0,76	1,8	1,0	6,0
65	1,1	70	0,68	1,7	1,6	3,5	Синхронна частота обертання $n_1=3000$ об/хв.						
66	1,5	74	0,65	1,7	1,6	5,5							
67	2,2	76,5	0,71	2,2	1,8	6,0	93	45,0	91	0,9	2,2	1,4	7,5
68	3,0	79	0,74	2,2	1,8	6,0	94	55,0	91	0,92	2,2	1,2	7,5
69	4,0	83	0,7	2,2	1,8	6,0	95	75,0	91	0,89	2,2	1,2	7,5
70	5,5	83	0,74	2,2	1,8	6,0	96	90,0	92	0,9	2,2	1,2	7,5
71	7,5	86	0,75	2,2	1,4	6,0	97	110,0	91	0,89	2,2	1,2	7,0
72	11,0	87	0,75	2,2	1,4	6,0	98	132,0	91,5	0,89	2,2	1,2	7,0
73	15,0	87	0,82	2,0	1,2	6,0	99	160,0	92	0,9	1,9	1,0	7,0
74	18,5	88,5	0,84	2,2	1,2	6,0	100	200,0	92,5	0,9	1,9	1,0	7,0
75	22,0	88,5	0,84	2,0	1,2	6,0	101	250,0	92,5	0,9	1,9	1,0	7,0
76	30,0	90	0,81	2,0	1,2	6,0	102	315,0	93	0,91	1,9	1,0	7,0
77	37,0	90	0,83	2,0	1,2	6,0	Синхронна частота обертання $n_1=1500$ об/хв.						
78	45,0	91,5	0,82	2,0	1,2	6,0							
79	55,0	92	0,84	1,9	1,2	6,5	103	37,0	91	0,9	2,2	1,4	7,0
80	75,0	92,5	0,85	1,9	1,2	6,5	104	45,0	92	0,9	2,2	1,4	7,0
Синхронна частота обертання $n_1=600$ об/хв.							105	55,0	92,5	0,9	2,2	1,2	7,0
							106	75,0	93	0,9	2,2	1,2	7,0
81	30,0	88	0,81	1,9	1,2	6,0	107	90,0	93	0,91	2,2	1,2	7,0
82	37,0	89	0,81	1,9	1,2	6,0	108	110,0	92,5	0,9	2,0	1,2	7,0
83	37,0	91	0,78	1,8	1,0	6,0	109	132,0	93	0,9	2,0	1,2	6,5
84	45,0	91,5	0,78	1,8	1,0	6,0	110	160,0	93,5	0,91	1,9	1,0	7,0
85	55,0	92	0,79	1,8	1,0	6,0	111	200,0	94	0,92	1,9	1,0	7,0
86	75,0	92	0,8	1,8	1,0	6,0	112	250,0	94,5	0,92	1,9	1,0	7,0

ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

1. Розрахунок електродвигуна асинхронного трифазного потужністю 0,38 кВт

1.1. Технічні вимоги та номінальні параметри двигуна

Основні номінальні параметри двигуна.

1. Потужність на валу - $P_{2H} = 0,38$ кВт.
2. Частота мережі - $f_H = 50$ Гц.
4. Синхронна частота обертання $n_1 = 3000$ об/хв.
5. Коефіцієнт корисної дії в номінальному режимі - $\eta_H = 0,716$.
6. Коефіцієнт потужності - $\cos \varphi_H = 0,876$.
7. Кратність пускового струму - $k_{nI} = \frac{I_{1n}}{I_H} = 4,24$.
8. Кратність пускового моменту - $k_{nm} = \frac{M_n}{M_H} = 1,72$.
9. Кратність максимального моменту - $k_m = \frac{M_{2\max}}{M_H} = 2,1$.

Технічні вимоги

1. Режим роботи тривалий за ДСТ 2582-81.
2. Ступінь захисту двигуна IP44 за ДСТУ 14254-80.
3. Спосіб охолодження двигуна ІСО141.

1.2. Електромагнітний розрахунок

Вихідні дані. Потужність на валу - $P_{2H} = 0,38$ кВт. Напряга номінальна фазна - $U_H = 220$ В. Частота живильної мережі - $f = 50$ Гц. Синхронна частота обертання $n_c = 3000$ об/хв. Ізоляція класу нагрівостійкості F.

1.2.1. Вибір головних розмірів

1. Число пар полюсів

$$p = 60 \frac{f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{3000} = 1.$$

2. Висота осі обертання (попередньо) за рис. 8-17,а [1]

$$h_{np} = 63 \text{ мм.}$$

З [1, табл. 8-6] беремо

$$h = 63 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр сердечника статора (див. табл. 8.6) [1]

$$D_a = 0,102 \text{ м.}$$

За [1 табл. 8-7] вибираємо значення k_D : при $2p=2$ $k_D=0,52\dots0,6$; при $2p=4$ $k_D=0,62\dots0,68$; при $2p=6$ $k_D=0,7\dots0,72$; при $2p=8$ $k_D=0,72\dots0,75$; при $2p=10\dots12$ $k_D=0,75\dots0,77$, у проекті $2p=2$, тому вибираємо коефіцієнт

$$k_D = 0,58.$$

3. Внутрішній діаметр статора

$$D = k_D D_a = 0,58 \cdot 0,102 = 0,0592 \text{ м.}$$

4. Полісний розподіл

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,0592}{2} = 0,093 \text{ м.}$$

5. Розрахункова потужність за (8.4) [1]:

з рис. 8.20 вибираємо коефіцієнт

$$k_E = 0,978;$$

з рис. 8.21,а вибираємо коефіцієнт корисної дії двигуна

$$\eta = 0,7;$$

і коефіцієнт потужності

$$\cos \phi = 0,86;$$

$$P' = \frac{k_E}{\eta \cos \phi} = \frac{0,38 \cdot 10^3 \cdot 0,978}{0,7 \cdot 0,86} = 0,62 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

6. Електромагнітні навантаження (попередньо) з рис. 8.22 [1]:

- лінійне токове навантаження

$$A = 14400 \text{ А/м;}$$

- магнітна індукція в повітряному зазорі

$$B_\delta = 0,65 \text{ Тл.}$$

7. Обмотувальний коефіцієнт обмотки (попередньо) $k_{o\delta 1}$, якщо $2p=2$ (для 1-шарових обмоток $k_{o\delta 1} = 0,95\dots0,96$; для 2-шарових і 1-2-шарових при $2p=2$ $k_{o\delta 1} = 0,90\dots0,91$ і при $2p>2$ $k_{o\delta 1} = 0,91\dots0,92$)

$$k_{об1} = 0,955.$$

8. Розрахункова довжина повітряного зазору за (8.6) [1]

$$l_{\delta} = \frac{P'}{k_B D^2 w_1 k_{об1} A B_{\delta}} =$$

$$= \frac{0,62 \cdot 10^3}{1,11 \cdot 0,0592^2 \cdot 314 \cdot 0,955 \cdot 14400 \cdot 0,65} = 0,057 \text{ м},$$

де $w_1 = 2\pi n_1 / 60 = 2 \cdot 3,14 \cdot 3000 / 60 = 314 \text{ рад/с}$.

Беремо

$$l_{\delta} = 0,057.$$

Відношення

$$\lambda = \frac{l_{\delta}}{\tau} = \frac{0,057}{0,093} = 0,61$$

беруть в припустимих межах (див. рис. 8.25 [1])

1.2.2. Визначення числа пазів, витків і перерізу проводу обмотки статора

1. Граничні значення зубцевих розподілів статора t_1 (по рис. 8.26 [1], якщо полюсний розподіл $\tau = 0,093 \text{ м}$; $h = 63 \text{ мм}$:

$$t_{z1\min} = 6,5 \text{ мм};$$

$$t_{z1\max} = 9,0 \text{ мм}.$$

2. Число пазів статора по 8.16 [1]

$$Z_{1\max} = \pi D / t_{z1\max} = 3,14 \cdot 0,0592 / 6,5 \cdot 10^{-3} = 29;$$

$$Z_{1\min} = \pi D / t_{z1\min} = 3,14 \cdot 0,0592 / 9 \cdot 10^{-3} = 21.$$

Беремо

$$Z_1 = 24;$$

тоді число пазів статора на полюс і фазу

$$q = \frac{Z_1}{2pt} = \frac{24}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 4;$$

Обмотка одношарова наведена в додатку А.

3. Зубцевий розподіл статора (остаточно)

$$t_1 = \frac{\pi D}{2p\tau q} = \frac{3,14 \cdot 0,0592}{2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 4} = 0,0077 \text{ м.}$$

4. Число ефективних провідників у пазу (попередньо) за умови, що число паралельних гілок обмотки статора $a=1$ за (8.17) [1]

Струм обмотки статора номінальний за 8.18 [1]

$$I_{1H} = \frac{P_{2H}}{mU_{1H}\eta\cos\phi} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,7 \cdot 0,86} = 0,96 \text{ А,}$$

$$u'_n = \frac{\pi DA}{I_{1H}Z_1} = \frac{3,14 \cdot 0,0592 \cdot 14400}{0,96 \cdot 24} = 116.$$

5. Беремо число паралельних гілок

$$a = 1;$$

тоді за (8.19) [1]

$$u_n = au'_n = 1 \cdot 116 = 116;$$

Беремо

$$u_n = 115;$$

6. Визначаємо остаточно.

Обмотка одношарова з м'яких секцій (рис. 1). Число витків у котушці

$$w_k = \frac{u_n}{1} = \frac{115}{1} = 115 \text{ витка(ів).}$$

7. Для одношарової обмотки укорочення кроку обмотки

$$\beta_1 = \frac{y_1}{\tau} = 1.$$

8. Число витків фази обмотки статора за (8.20) [1]

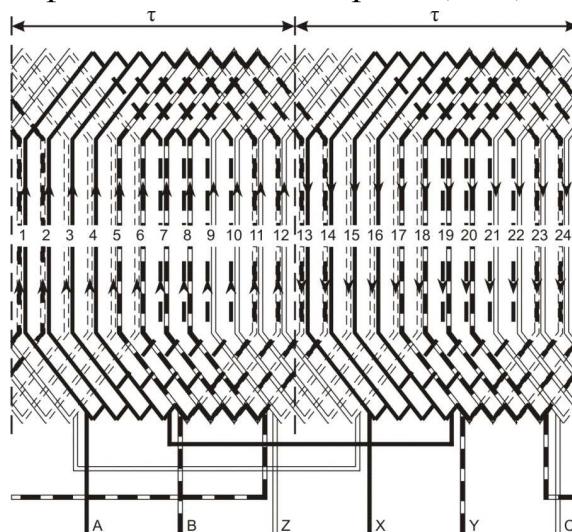


Рис. 1. Обмотка статора

$$w_1 = \frac{u_n z_1}{2am} = \frac{115 \cdot 24}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 460 \text{ витка (ів)}.$$

9. Лінійне токове навантаження статора за (8.21) [1]

$$A = \frac{2I_{1H} w_1 m}{\pi D} = \frac{2 \cdot 0,96 \cdot 460 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,0592} = 14254 \text{ А/м}.$$

10. Коефіцієнт розподілу для першої гармоніки електрорушійної сили (ЕРС) для трифазних машин ($m=3$) і $q=4$ з табл.3.16

$$k_{p1} = 0,958.$$

11. Обмоточний коефіцієнт для одношарової обмотки

$$k_{об1} = k_{p1} = 0,958.$$

12. Магнітний потік у повітряному зазорі за (8.22) [1]

$$\Phi = \frac{k_E U_{1H}}{4k_B w_1 k_{об1} f_1} = \frac{0,978 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 460 \cdot 0,955 \cdot 50} = 0,02206 \text{ Вб}.$$

13. Магнітна індукція в повітряному зазорі за (8.23) [1]

$$B_\delta = \frac{p\Phi}{Dl_\delta} = \frac{1 \cdot 0,002206}{0,0592 \cdot 0,057} = 0,654 \text{ Тл}.$$

14. Щільність струму в обмотці статора (попередньо) за (8.25) [1]: за рис. 8.27,б [1] визначаємо (якщо $D_a = 0,102 \text{ м}$)

$$AJ_1 = 110 \times 10^9 \text{ А}^2/\text{м}^2.$$

Потім щільність струму

$$J_1 = \frac{(AJ_1)}{A} = 110 \times 10^9 / 14254 = 7717132 \text{ А/м}^2.$$

15. Переріз ефективного провідника (попередньо) за (8.24) [1]

$$q_{эф} = \frac{I_{1H}}{n_{эл} J_1} = \frac{0,96}{1 \cdot 7717132} = 0,1244 \cdot 10^{-6} (\text{м}^2) = 0,1244 \text{ мм}^2.$$

16. Беремо число елементарних провідників в ефективному провіднику

$$n_{эл} = 1;$$

тоді переріз елементарного провідника

$$q_{эл} = \frac{q_{эф}}{n_{эл}} = \frac{0,1244}{1} = 0,1244 \text{ м}^2.$$

17. Вибираємо обмотувальний провід ПЕТВ за табл. ПЗ.1 [1]:

$$q_{эл} = 0,1257 \text{ мм}^2.$$

Діаметр голого проводу

$$d_2 = d_{эл} = 0,4 \text{ мм.}$$

Діаметр ізолюваного проводу

$$d_{уз} = 0,44 \text{ мм.}$$

Переріз ефективного провідника остаточно

$$q_{эф} = n_{эл} q_{эл} = 1 \cdot 0,1257 = 0,1257 \text{ м}^2.$$

18. Щільність струму в обмотці статора (остаточно) за (8.27) [1]

$$J_1 = \frac{I_{1н}}{aq_{эл} n_{эл}} = \frac{0,96}{1 \cdot 0,1257 \cdot 1} = 7,64 \text{ А/мм}^2.$$

1.2.3. Розрахунок розмірів зубцевої зони статора

1. Застосовуємо електротехнічну сталь 2013. У більшості сучасних двигунів виконують трапецеїдальні пази (рис.2, 3) Паз статора трапецеїдальний беремо за рис. 8.29, а [1] зі співвідношенням розмірів, що забезпечують паралельність бічних граней зубців (див. рис 2).

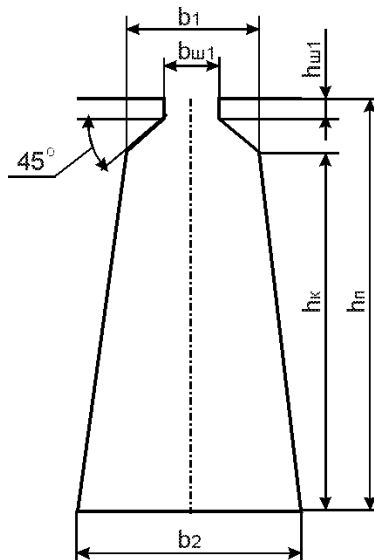


Рис. 2. Паз статора

2. Беремо попередньо за табл. 8.10 [1]:

- індукція в зубцях статора

$$B_{z1} = 1,35 \text{ Тл;}$$

- індукція в ярі статора

$$B_a = 1,5 \text{ Тл.}$$

3. Коефіцієнт заповнення пакета статора сталлю за табл.8.11 [1] для окисованої сталі марки 2013.

$$k_c = 0,97.$$

Ширина зубця статора за (8.37) [1]

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta t_1} l_{\delta}}{B_{z1} l_{cm1} k_c} = \frac{0,654 \cdot 0,0077 \cdot 0,057}{1,35 \cdot 0,057 \cdot 0,97} = 0,00385 \text{ м} = 3,85 \text{ мм.}$$

Довжина пакета статора l_{cm1} дорівнює розрахунковій довжині повітряного зазору l_{δ} .

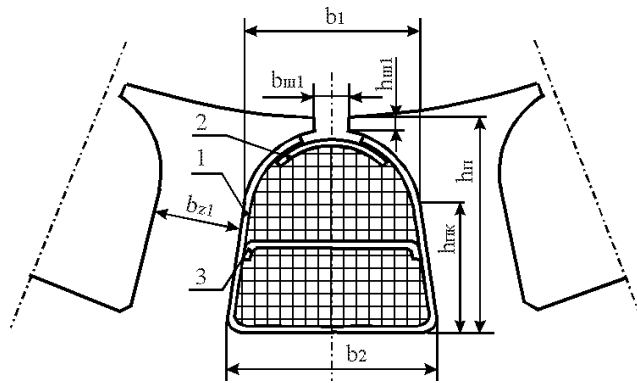


Рис. 3. Паз статора

4. Висота ярма статора за (8.28) [1]

$$h_a = \frac{\Phi}{2B_a l_{cm1} k_c} = \frac{0,002206}{2 \cdot 1,5 \cdot 0,057 \cdot 0,97} = 0,01330 \text{ м} = 13,3 \text{ мм.}$$

5. Розміри паза в штампі беремо:

$$b_{u1} = 0,0015 \text{ м.}$$

Ширину шліца в двигунах із $h \leq 132$ мм беремо $h_{u1} = 0,5$ мм, у двигунах із $h \geq 160$ мм збільшують до $h_{u1} = 1$ мм, для $h = 63$ мм

$$h_{u1} = 0,0005 \text{ м.}$$

За (8.38) [1] висота паза

$$h_n = 0,5(D_a - D) - h_a = 0,5 \cdot (0,102 - 0,0592) - 0,01330 = 0,0081 \text{ м} = 8,1 \text{ мм.}$$

6. Виходячи з умови паралельності граней зубців, знаходимо:

$$b_1 = \frac{\pi(D + 2h_{u1}) - Z_1 b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{3,14(0,0592 + 2 \cdot 0,0005) - 24 \cdot 0,00385}{24 - 3,14} =$$

$$= 0,00463 \text{ м} = 4,63 \text{ мм};$$

$$b_2 = \frac{\pi(D + 2h_n)}{Z_1} - b_{z1} = \frac{3,14(0,0592 + 2 \cdot 0,0081) - 24 \cdot 0,00385}{24 - 3,14} =$$

$$= 0,00601 \text{ м} = 6,01 \text{ мм};$$

за (8.42)- (8-45) [1]

$$h_{нк} = h_n - \frac{b_1 + h_{u1}}{2} = 0,0081 - \frac{0,00463 + 0,005}{2} =$$

$$= 0,00554 \text{ м} = 5,54 \text{ мм}.$$

7. Розміри паза у світлі по (8.42) [1] з урахуванням припусків на зборку згідно з табл. 8.12. [1]:

- по ширині паза

$$\Delta b_n = 0,01 \text{ мм},$$

- по висоті паза

$$\Delta h_n = 0,01 \text{ мм}$$

$$b'_1 = b_1 - \Delta b_n = 0,00463 - 0,01 \cdot 10^{-3} = 0,00462 \text{ м} = 4,62 \text{ мм};$$

$$b'_2 = b_2 - \Delta b_n = 0,00601 - 0,01 \cdot 10^{-3} = 0,006 \text{ м} = 6 \text{ мм};$$

$$h'_{нк} = h_{нк} - \Delta h_n = 0,00554 - 0,01 \cdot 10^{-3} = 0,00553 \text{ м} = 5,53 \text{ мм}.$$

8. Пазова ізоляція наведена в табл.1.

Таблиця 1

Ізоляція класу F обмотки статора

Позиція у рис. 2, найменування ізоляції	Марка матеріалу	Товщина матеріалу, мм	Число шарів	Однобічна товщина ізоляції
1, корпусна ізоляція, $b_{уз}$	Імідофлекс	0,2	1	0,2
2, пазова кришка, $b_{нк}$	Імідофлекс	0,3	1	0,2
3, прокладка, b_{np}	Відсутня якщо	0	0	0

	обмотка одношарова			
--	-----------------------	--	--	--

9. Площа поперечного перерізу паза, у якому розміщується обмотка, корпусна ізоляція і прокладки

$$S_n = \frac{\pi b'^2}{8} + \frac{(b'_1 + b'_2) h'_{жк}}{2} = \frac{3,14 \cdot 0,00462^2}{8} + \frac{(0,00462 + 0,006) \cdot 0,00553}{2} = 0,0000377 \text{ м}^2 = 37,7 \text{ мм}^2.$$

10. Площа поперечного перерізу корпусної ізоляції в пазу

$$S_{уз} = b_{уз} (2h'_{нк} + 0,5\pi b'_1 + b'_2) = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 0,00553 + 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,00462 + 0,006) = 0,0000049 \text{ м}^2 = 4,9 \text{ мм}^2,$$

де $b_{уз}$ - однобічна товщина ізоляції в пазу за табл. 3.1 [1] і табл.1.11. Площа, яку займають прокладки в пазу згідно з рис.3. (поз. 2 і поз. 3) і табл.1

$$S_{np} = b'_1 \cdot b_{нк} + \frac{b'_1 + b'_2}{2} \cdot b_{np} = 0,00462 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} + \frac{0,00462 + 0,006}{2} \cdot 0 \cdot 10^{-3} = 0,0000009 \text{ м}^2 = 0,9 \text{ мм}^2.$$

12. Площа поперечного перерізу паза для розміщення провідників за (8.48) [1]

$$S'_n = S_n - S_{уз} - S_{np} = 0,0000377 - 0,0000049 - 0,0000009 = 0,0000319 \text{ м}^2 = 31,9 \text{ мм}^2.$$

13. Коефіцієнт заповнення паза (контроль правильності розміщення обмотки в пазах)

$$k_3 = \frac{d_{уз}^2 u_n}{S'_n} = \frac{(0,4410^{-3})^2 \cdot 115}{0,0000319} = 0,70,$$

що задовольняє вимозі технологічності виготовлення обмотки, що має знаходитися в межах $k_3 = 0,69 \dots 0,71$ для двополюсних машин ($2p = 2$) і $k_3 = 0,72 \dots 0,74$ для двигунів з $2p \geq 4$.

1.2.4. Розрахунок ротора

1. Повітряний зазор (за рис. 8.31 [1]) для зовнішнього діаметра статора $D_a = 0,102 \text{ м}$

$$\delta = 0,25 \text{ мм.}$$

2. Число пазів ротора (за табл. 8.16 [1]), якщо число пазів статора дорівнює $Z_1=24$

$$Z_2 = 18.$$

3. Зовнішній діаметр ротора

$$D_2 = D - 2\delta = 0,0592 - 2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 0,0587 \text{ м.}$$

4. Довжина магнітопроводу

$$l_2 = l_1 = l_\delta = 0,057 \text{ м.}$$

5. Зубцевий розподіл ротора

$$t_2 = \frac{\pi D_2}{Z_2} = \frac{3,14 \cdot 0,0587}{18} = 0,0102 \text{ м} = 10,2 \text{ мм.}$$

6. Внутрішній діаметр ротора дорівнює діаметрові вала, тому що осердя ротора безпосередньо насаджується на вал, (8.102) [1].

Коефіцієнт k_B визначимо з табл. 8.17 [1]

$$k_B = 0,23 \text{ м;}$$

$$D_J = k_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,102 = 0,023 \text{ м.}$$

Беремо

$$D_J = 0,02 \text{ м.}$$

7. Струм у стрижні ротора.

Коефіцієнт, що враховує вплив струму намагнічування на відношення I_1 / I_2 ,

$$k_i = 0,2 + 0,8 \cos \varphi = 0,2 + 0,8 \cdot 0,86 = 0,888.$$

8. Коефіцієнт зведення струмів

$$\nu_i = \frac{2m_1 w_1 k_{об1}}{Z_2 k_{ск}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 460 \cdot 0,955}{18} = 146,43.$$

9. Струм у стрижні ротора за (8.57) [1]

$$I_2 = k_i \nu_i I_{1н} = 0,888 \cdot 146,43 \cdot 0,96 = 124,8 \text{ А.}$$

10. Припустима щільність струму в стрижнях ротора в трифазних закритих двигунах, що обдуваються, при заливанні алюмінієвим сплавом складає $J_2=2,5-3 \text{ А/мм}^2$, а при захищеному виконанні на 10-15% вище; у

мідних стрижнях $J_2=4-8 \text{ А/мм}^2$. Великі значення відповідають машинам меншої потужності. Беремо для алюмінієвої обмотки

$$J_2 = 3 \text{ А/мм}^2.$$

Площа поперечного перерізу стрижня за (8.68) [1]

$$q_c = \frac{I_2}{J_2} = \frac{124,8}{3 \cdot 10^6} = 41,6 \text{ мм}^2 .$$

11. Паз ротора - за рис. 8.40,б [1]. У двигунах з висотою осі обертання $h < 160$ мм пази мають вузький проріз з такими розмірами: $b_{u2}=1,0$ мм і $h_{u2}=0,5$ мм при висоті осі обертання $h < 100$ мм; $b_{u2}=1,5$ мм і $h_{u2}=0,75$ мм при висоті осі обертання $h=112\dots132$ мм; у двигунах з $h=160\dots200$ мм виконують трапецеїдальні закриті пази (рис. 4) з розмірами шліца $b_{u2}=1,5$ мм і $h_{u2}=0,7$ мм. Висоту перемички над пазом у двигунах з $2p \geq 4$ роблять такою, що дорівнює $h'_{u2}=0,3$ мм, у двополосній машині $h'_{u2}=1,0\dots1\dots1,5$ мм.

Беремо для $h=63$ мм (рис. 4):

$$b_{u2} = 1,5 \text{ мм.}$$

Висоту шліца беремо

$$h_{u2} = 0,5 \text{ мм.}$$

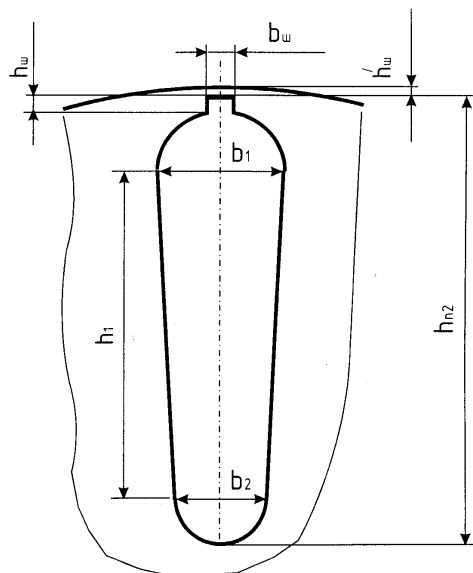


Рис. 4. Паз ротора

Висота містка для $h=63$ мм

$$h'_{u2} = 0,0 \text{ мм.}$$

Беремо індукцію в зубцях ротора за табл. 8.10 [1]

$$B_{z2} = 1,8 \text{ Тл.}$$

Припустима ширина зубця за (8.75) [1]

$$b_{z2\text{don}} = \frac{B_d t_2 l_d}{B_{z2} l_{cm2} k_c} = \frac{0,654 \cdot 0,0102 \cdot 0,057}{1,8 \cdot 0,057 \cdot 0,97} = 0,0038 \text{ м} = 3,8 \text{ мм.}$$

Розміри паза

$$b_1 = \frac{\pi(D_2 - 2h_{u2} - 2h'_{u2}) - Z_2 b_{z2}}{\pi + Z_2} =$$

$$= \frac{3,14(0,0587 - 2 \cdot 0,0005 - 2 \cdot 0,0) - 18 \cdot 0,0038}{3,14 + 18} = 0,0053 \text{ м} = 5,3 \text{ мм,}$$

за (8.77) [1]

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \left(\frac{Z_2 + \pi}{\pi} \right) - 4q_c}{\frac{Z_2 - \pi}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{0,0053^2 \left(\frac{18}{3,14} + \frac{3,14}{2} \right) - 4 \cdot 41,6 \cdot 10^{-6}}{\frac{18}{3,14} - \frac{3,14}{2}}} =$$

$$= 0,0031 \text{ м} = 3,1 \text{ мм,}$$

за (8.78) [1]

$$h_1 = \frac{(b_1 - b_2)Z_2}{2\pi} = \frac{(0,0053 - 0,0031) \cdot 18}{2 \cdot 3,14} = 0,0063 \text{ м} = 6,3 \text{ мм.}$$

Беремо: $b_1 = 5,3 \text{ мм}$; $b_2 = 3,1 \text{ мм}$; $h_1 = 6,3 \text{ мм}$.

Повна висота паза

$$h_{n2} = h'_{u2} + h_{u2} + b_1 / 2 + h_1 + b_2 / 2 =$$

$$= 0,0005 + 0,0053 / 2 + 0,0063 + 0,0031 / 2 = 0,0110 \text{ м} = 11 \text{ мм.}$$

Переріз стрижня за (8.79) [1]

$$q_c = \frac{\pi(b_1^2 + b_2^2)}{8} + \frac{h_1(b_1 + b_2)}{2} = \frac{3,14 \cdot (0,0053^2 + 0,0031^2)}{8} +$$

$$+ \frac{0,0063 \cdot (0,0053 + 0,0031)}{2} = 0,00004126 \text{ м}^2 = 41,26 \text{ мм}^2.$$

12. Щільність струму в стрижні

$$J_2 = I_2 / q_c = 124,8 / 0,00004126 = 3,02 \times 10^6 \text{ А/м}^2.$$

13. Короткозамикаючі кільця (див. рис. 8.37 [1]).

14. Коефіцієнт співвідношення струму в стрижні і струму в кільці

$$\Delta = 2\sin(\alpha_z / 2) = 2\sin(p\pi / Z_2) = 2\sin(1 \cdot 3,14 / 1818) = 0,35.$$

15. Струм у замикаючих кільцях

$$I_{кл} = I_2 / \Delta = 124,8 / 0,35 = 357 \text{ А.}$$

16. Щільність струму в замикаючих кільцях

$$J_{кл} = 0,85J_2 = 0,85 \cdot 3024721,28 = 2,57 \times 10^6 \text{ А/м}^2.$$

17. Площа поперечного перерізу кільця по (8.72) [1]

$$q_{кл} = I_{кл} / J_{кл} = 357 / 2571013,09 = 139 \times 10^{-6} (\text{м}^2) = 139 \text{ мм}^2.$$

18. Розміри замикаючих кілець:

- висота кільця

$$h_{кл} = 1,25h_{n2} = 1,25 \cdot 0,0110 = 0,0138 \text{ м} = 13,8 \text{ мм};$$

- ширина кільця

$$b_{кл} = q_{кл} / h_{кл} = 139 \cdot 10^{-6} / 0,0138 = 0,0101 \text{ м} = 10,1 \text{ мм.}$$

19. Площа поперечного перерізу замикаючих кілець

$$q_{кл} = h_{кл} b_{кл} = 0,0138 \cdot 0,0101 = 0,000139 \text{ м}^2 = 139,00 \text{ мм}^2.$$

20. Середній діаметр замикаючих кілець

$$D_{к.ср} = D_2 - h_{кл} = 0,0587 - 0,0138 = 0,0449 \text{ м} = 44,9 \text{ мм.}$$

1.2.5. Розрахунок струму, що намагнічує

Магнітопровід зі сталі 2013; товщина 0,5 мм.

1. Магнітна напруга повітряного зазору.

Коефіцієнти визначаються:

- для статора

$$\gamma_1 = \frac{\left(\frac{b_{w1}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{w1}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{1,5}{0,25}\right)^2}{5 + \frac{1,5}{0,25}} = 3,27;$$

- для ротора із зубчастою поверхнею

$$\gamma_2 = \frac{\left(\frac{b_{u2}}{\delta}\right)^2}{5 + \frac{b_{u2}}{\delta}} = \frac{\left(\frac{1,5}{0,25}\right)^2}{5 + \frac{1,5}{0,25}} = 3,27;$$

- для гладкої поверхні ротора беремо $\gamma_2 = 0$.

Беремо

$$\gamma_2 = 3,27.$$

2. Коефіцієнт повітряного зазору (коефіцієнт Картера) за (4.15) [1]

$$k_{\delta 1} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma_1 \delta} = \frac{7,7}{7,7 - 3,27 \cdot 0,25} = 1,12;$$

$$k_{\delta 2} = \frac{t_2}{t_2 - \gamma_2 \delta} = \frac{10,2}{10,2 - 3,27 \cdot 0,25} = 1,09;$$

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1,12 \cdot 1,09 = 1,22.$$

3. Магнітна напруга повітряного зазору за (8.103) [1]

$$F_{\delta} = 1,59 \cdot 10^6 B_{\delta} k_{\delta} \delta = 1,59 \cdot 10^6 \cdot 0,654 \cdot 1,22 \cdot 0,00025 = 317,16 \text{ А.}$$

4. Магнітна індукція в зубці статора з грушоподібними або трапецеїдальними пазми за (8.105) [1]

$$B_{z1} = \frac{B_{\delta} t_1 l_{\delta}}{b_{z1} l_{cm1} k_c} = \frac{0,654 \cdot 0,0077 \cdot 0,057}{0,00385 \cdot 0,057 \cdot 0,97} = 1,35 \text{ Тл.}$$

5. Магнітна індукція в зубці ротора з паралельними гранями за (8.109) [1]

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} t_2 l_{\delta}}{b_{z2} l_{cm2} k_c} = \frac{0,654 \cdot 0,0102 \cdot 0,057}{0,0038 \cdot 0,057 \cdot 0,97} = 1,81 \text{ Тл.}$$

6. Магнітна індукція в ярмі статора за (8.117) [1]

$$B_a = \frac{\Phi}{2h_a l_{cm1} k_c} = \frac{0,002206}{2 \cdot 0,01330 \cdot 0,057 \cdot 0,97} = 1,50 \text{ Тл.}$$

7. Магнітна індукція в ярмі ротора

Висота ярма ротора:

а) дійсна висота ярма ротора за (8.126)

$$h_j = \frac{D_2 - D_1}{2} - h_{n2} = \frac{0,0587 - 0,02}{2} - 0,0110 = 0,0084 \text{ м} = 8,4 \text{ мм};$$

б) беремо діаметр вентиляційних каналів

$$d_k = 0 \text{ м,}$$

кількість рядів

$$m_k = 1.$$

Розрахункова висота ярма ротора за (8.124) [1] для чотириполюсних машин при $0,75(0,5D_2 - h_{n2}) = 0,75 \cdot (0,5 \cdot 0,0587 - 0,0110) = 0,0138 < 0,02$,

а також для двополюсних машин,

$$h'_j = \frac{2+p}{3,2p} \left(\frac{D_2}{2} - h_{n2} \right) = \frac{2+1}{3,2 \cdot 1} \left(\frac{0,0587}{2} - 0,0110 \right) = 0,0172 \text{ м;}$$

у зворотному випадку,

$$h'_j = \frac{D_2 - D_j}{2} - h_{n2} - \frac{2}{3} d_k m_k = \frac{0,0587 - 0,02}{2} - 0,0110 - \frac{2 \cdot 0 \cdot 1}{3} = 0,0084 \text{ м.}$$

а також для шестиполюсних машин, $h'_j = h_j$;

отже, беремо

$$h'_j = 0,0163 \text{ м.}$$

8. Індукція в ярмі ротора за (8.122) [1]

$$B_a = \frac{\Phi}{2h_j l_{cm2} k_c} = \frac{0,002206}{2 \cdot 0,0163 \cdot 0,057 \cdot 0,97} = 1,22 \text{ Тл.}$$

9. Напруженість магнітного поля в зубці статора для сталі 2013 за табл. П1.7 [1] для $B_{z1} = 1,35 \text{ Тл}$

$$H_{z1} = 533 \text{ А/м.}$$

10. Напруженість магнітного поля в зубці ротора для сталі 2013 за табл. П1.7 [1] $H_{z2} = 1520 \text{ А/м}$ для $B_{z2} = 1,81 \text{ Тл}$

$$H_{z2} = 1520 \text{ А/м.}$$

11. Висота зубця статора

$$h_{z1} = h_{n1} = 0,00554 \text{ м.}$$

12. Висота зубця ротора

$$h_{z2} = h_{n2} - 0,1b_2 = 0,0110 - 0,1 \cdot 0,0031 = 0,0107 \text{ м.}$$

13. Магнітна напруга зубцевої зони статора

$$F_{z1} = 2h_{z1}H_{z1} = 2 \cdot 0,00554 \cdot 533 = 5,9 \text{ А.}$$

14. Магнітна напруга зубцевої зони ротора

$$F_{z2} = 2h_{z2}H_{z2} = 2 \cdot 0,0107 \cdot 1520 = 32,5 \text{ А.}$$

15. Коефіцієнт насичення зубцевої зони

$$k_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_\delta} = 1 + \frac{5,9 + 32,5}{317,16} = 1,12.$$

16. Напруженість магнітного поля в ярмі статора для сталі 2013 за табл. П1.6 [1] для $B_a = 1,50$

$$H_a = 520 \text{ А/м.}$$

17. Напруженість магнітного поля в ярмі ротора для сталі 2013 за табл. П1.6 [1] для $B_j = 1,22 \text{ Тл}$

$$H_j = 272 \text{ А/м.}$$

18. Довжина середньої магнітної силової лінії в ярмі статора за (8.119) [1]

$$L_a = \frac{\pi(D - h_a)}{2p} = \frac{3,14 \cdot (0,102 - 0,01330)}{2 \times 1} = 0,13926 \text{ м.}$$

19. Довжина середньої магнітної силової лінії в ярмі ротора за (8.127) [1]

$$L_j = \frac{\pi(D_j + h_j)}{2p} = \frac{3,14 \cdot (0,02 + 0,0084)}{2 \times 1} = 0,0446 \text{ м.}$$

20. Магнітна напруга ярма статора за (8.116) [1]

$$F_a = L_a H_a = 0,13926 \cdot 520 = 72,4 \text{ А.}$$

21. Магнітна напруга ярма ротора за (8.121) [1]

$$F_j = L_j H_j = 0,0446 \cdot 272 = 12,1 \text{ А.}$$

22. Магнітна напруга на парі полюсів за (8.128) [1]

$$F = F_\delta + F_{z1} + F_{z2} + F_a + F_j = 317,16 + 5,9 + 32,5 + 72,4 + 12,1 = 440,1 \text{ А.}$$

23. Коефіцієнт насичення магнітного ланцюга за (8.129) [1]

$$k_\mu = \frac{F_y}{F_\delta} = \frac{440,1}{317,16} = 1,39.$$

24. Струм, що намагнічує, за (8.130)

$$I_\mu = \frac{pF_y}{0,9w_1mk_{об1}} = \frac{1 \cdot 440,1}{0,9 \cdot 460 \cdot 3 \cdot 0,955} = 0,37 \text{ А.}$$

25. Відносне значення струму, що намагнічує, по (8.130) [1]

$$I_\mu^* = \frac{I_\mu}{I_{1H}} = \frac{0,37}{0,96} = 0,39.$$

1.2.6. Параметри робочого режиму

1. Активний опір фази обмотки статора

Довжина пазової частини котушки дорівнює конструктивній довжині

сердечника статора:

$$l_{n1} = l_1 = 0,057 \text{ м.}$$

2. Середня ширина котушки, обумовлена по дузі окружності, що проходить по серединах висоти пазів,

$$b_{км} = \pi(D + h_{n1})\beta_1 / 2p = 3,14 \cdot (0,0592 + 0,0081) \cdot 1 / (2 \cdot 1) = 0,1057 \text{ м,}$$

де β_1 - укорочення кроку обмотки.

3. Довжина вильоту прямолінійної частини котушки з паза від торця сердечника до початку відгину лобової частини, згідно стор. 334 [1]

$$B = 0,01 \text{ м.}$$

4. Вибираємо за табл. 8.21 [1] коефіцієнт для $2p = 2$ $K_L = 1,2$, для $2p = 4$ $K_L = 1,3$, отже,

$$K_L = 1,2.$$

5. Довжина лобової частини для котушки всипної обмотки за (8.136) [1]

$$l_{л1} = K_L b_{км} + 2B = 1,2 \cdot 0,1057 + 2 \cdot 0,01 = 0,147 \text{ м.}$$

6. Вибираємо за табл. 8.21 [1] коефіцієнт $K_{вил}$ для $2p = 2$ $K_{вил} = 0,26$, для $2p = 4$ $K_{вил} = 0,4$. Отже,

$$K_{вил} = 0,26.$$

7. Довжина вильоту лобової частини котушки за (8.137) [1]

$$l_{вил} = K_{вил} b_{км} + B = 0,26 \cdot 0,1057 + 0,01 = 0,0375 \text{ м} = 37,5 \text{ мм.}$$

8. Середня довжина витка обмотки за (8.135) [1]

$$l_{ср1} = 2(l_{n1} + l_{л1}) = 2 \cdot (0,057 + 0,147) = 0,408 \text{ м.}$$

9. Довжина провідників фази обмотки

$$L_1 = l_{ср} w_1 = 0,408 \cdot 460 = 187,7 \text{ м}$$

10. Для класу нагрівостійкості ізоляції F розрахункова температура $\vartheta_{розр} = 115^\circ\text{C}$. Для міді питомий опір при розрахунковій температурі

$$\rho_{115} = 10^{-6} / 41 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

11. Активний опір фази обмотки статора

$$r_1 = \rho_{115} L_1 / (q_{эф} a) = 10^{-6} \cdot 187,7 / (0,1257 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 41) = 36,4 \text{ Ом,}$$

де a - число паралельних гілок фази обмотки статора.

12. Відносне значення опору фази обмотки статора

$$r_1^* = r_1 \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 36,4 \cdot \frac{0,96}{220} = 0,159 \text{ Ом.}$$

13. Маса трифазної обмотки статора

$$m_{м1} = 8900 \cdot 3 L_1 q_{эф1} = 8900 \cdot 3 \cdot 187,7 \cdot 0,1257 \cdot 10^{-6} = 0,630 \text{ кг.}$$

14. Активний опір фази обмотки ротора.

За фазу обмотки ротора, виконаної у виді білячої клітки, беруть один стрижень і дві ділянки короткозамикаючих кілець.

15. Для литої алюмінієвої обмотки ротора питомий опір при розрахунковій температурі $\vartheta_{розр} = 115^\circ\text{C}$

$$\rho_{115} = \frac{10^{-6}}{20,5} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

16. Активний опір стрижня по (8.169)

$$r_c = \rho_{115} \frac{l_2}{q_c} k_r = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{0,057}{0,00004126} = 67,39 \cdot 10^{-6} \text{ Ом,}$$

де k_r - коефіцієнт збільшення активного опору стрижня від дії ефекту витиснення струму; при розрахунку робочих режимів у межах зміни ковзання від холостого ходу до номінального приймають $k_r = 1$.

17. Активний опір ділянки замикаючого кільця, укладеного між двома сусідніми стрижнями, за (8.170) [1]

$$r_{кл} = \rho_{115} \frac{\pi D_{кл.сп}}{Z_2 q_{кл}} = \frac{10^{-6}}{20,5} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,0449}{18 \cdot 0,000139} = 2,749 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

18. Активний опір фази обмотки ротора за (8.168) [1]

$$r_2 = \left(r_c + \frac{2r_{кл}}{\Delta^2} \right) = 67,39 \cdot 10^{-6} + \frac{2 \cdot 2,749 \times 10^{-6}}{0,35^2} = 112,27 \cdot 10^{-6} \text{ Ом.}$$

19. Приводимо r_2 до числа витків обмотки статора згідно з (8.173) [1]

$$r_2' = r_2 \frac{4m(\omega k_{об1})^2}{Z_2} = 112,27 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (460 \cdot 0,955)^2}{18} = 14,44 \text{ Ом.}$$

20. Відносне значення

$$r_2'^* = r_2' \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 14,44 \cdot \frac{0,96}{220} = 0,06301 \text{ Ом.}$$

21. Індуктивний опір фази обмотки статора.

Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання за табл. 8.24, [1] рис. 8.50,е [1] (рис.5) визначається:

$h_1 = 0$ (провідники закріплені пазовою кришкою);

$$h_2 = h_{нк} - 2b_{u3} = 0,00554 - 2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 5,14 \text{ мм};$$

$$b_1 = 4,63 \text{ мм};$$

$$h_k = 0,5(b_1 - b_{uu1} \cdot 10^3) = 0,5 \cdot (4,63 - 0,0015 \cdot 10^3) = 1,56 \text{ мм};$$

$$k'_\beta = 0,25(1 + 3\beta_1) = 0,25(1 + 3 \cdot 1) = 1;$$

$$k_\beta = 0,25(1 + 3 \cdot k'_\beta) = 0,25(1 + 3 \cdot 1) = 1;$$

$$l'_\delta = l_\delta = 0,057 \text{ м};$$

$$\lambda_n = \frac{h_2}{3b_1} k_\beta + \left(\frac{h_1}{b_1} + \frac{3h_k}{b_1 + 2b_{uu}} + \frac{h_{uu}}{b_{uu}} \right) k'_\beta = \frac{0,00514 \cdot 1}{3 \times 0,00463} +$$

$$\cdot \left(\frac{0}{0,00463} + 3 \cdot \frac{0,00156}{0,00463 + 2 \cdot 0,0015} + \frac{0,0005}{0,0015} \right) \cdot 1 = 1,317.$$

22. Коефіцієнт магнітної провідності лобового розсіювання $\lambda_{л1}$ визначається за (8.159): число пазів на полюс і фазу $q=4$, відносне укорочення кроку $\beta=1$;

$$\lambda_{л1} = 0,34 \frac{q}{l'_\delta} (l_\delta - 0,64\beta\tau) = 0,34 \cdot \frac{4}{0,057} \cdot$$

$$\cdot (0,147 - 0,64 \cdot 1 \cdot 0,093) = 2,087.$$

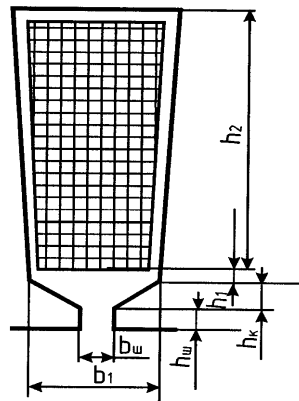


Рис. 5. До розрахунку коефіцієнта магнітної провідності пазового розсіювання статора

23. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання λ_{o1} визначається за (8.160) [1].

Оскільки скіс пазів відсутній, $\beta_{ск1} = 0$, по кривих рис.8.51,д [1] залежно від $t_2 / t_1 = 0,0102 / 0,0077 = 1,32$ і $\beta_{ск} = 0$ визначаємо значення

$$k'_{ck} = 1,4;$$

коефіцієнт за (8.176)

$$\begin{aligned}\xi &= 2k'_{ck} k_{\beta} - k_{\sigma\delta 1}^2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 (1 + \beta_{ck}) = 2 \cdot 1,4 \cdot 1 - \\ &- 0,955^2 \cdot \left(\frac{0,0102}{0,0077} \right)^2 \cdot (1 + 0) = 1,211; \\ \lambda_{\sigma 1} &= \frac{t_1}{12\delta k_{\delta}} \xi = \frac{0,0077 \cdot 1,211}{12 \cdot 0,0003 \cdot 1,22} = 2,548.\end{aligned}$$

24. Індуктивний опір фази обмотки статора за (8.152) [1]

$$\begin{aligned}x_1 &= 15,8 \frac{f_1}{100} \left(\frac{w_1}{100} \right)^2 \frac{l'_{\delta}}{pq} (\lambda_n + \lambda_n + \lambda_{\sigma}) = 15,8 \cdot \frac{50}{100} \cdot \left(\frac{460}{100} \right)^2 \cdot \\ &\cdot \frac{0,057}{1 \times 4} \cdot (1,317 + 2,087 + 2,548) = 14,18 \text{ Ом}.\end{aligned}$$

25. Відносне значення

$$x_1^* = x_1 \frac{I_{1H}}{U_{1H}} = 14,18 \cdot \frac{0,96}{220} = 0,062.$$

26. Індуктивний опір фази обмотки ротора.

Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання за табл. 8.25 [1], рис. 8.52,а,ж [1] (див. рис.б) визначається:

$$\begin{aligned}h_1 &= 0,0063 \text{ м}; b_1 = 0,0053 \text{ м}; b_{III} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}, b_{III} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм}, \\ h'_{III} &= 0,0 \text{ м}, q_C = 0,00004126 \text{ м}^2, k_{\sigma} = 1 \text{ (для робочого режиму),}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{n2} &= \left[\frac{h_1 + 0,4b_2}{3b_1} \left(1 - \frac{\pi b_1^2}{8q_C} \right) + 0,66 - \frac{b_{uu}}{2b} \right] k_{\sigma} + \frac{h_{uu}}{b_{uu}} + 1,12 \frac{h'_{uu} \cdot 10^6}{I_2} = \\ &= \left[\frac{0,0063 + 0,4 \cdot 0,0031}{3 \times 0,0053} \cdot \left(1 - \frac{3,14 \cdot 0,0053^2}{8 \cdot 0,00004126} \right) + 0,66 - \frac{1,5 \cdot 0,001}{2 \times 0,0053} \right] \cdot 1 + \\ &+ \frac{0,510^{-3}}{1,510^{-3}} + 1,12 \cdot \frac{0,0 \cdot 10^6}{124,8} = 1,106.\end{aligned}$$

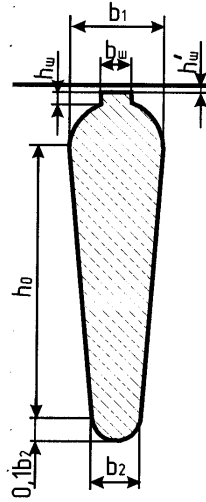


Рис. 6. До розрахунку коефіцієнта магнітної провідності пазового розсіювання обмотки статора

27. Коефіцієнт магнітної провідності лобового розсіювання $\lambda_{л2}$ визначається за (8.178) [1]:

$$\lambda_{л2} = \frac{2,3D_{клер}}{Z_2 l'_\delta \Delta^2} \lg \frac{4,7D_{клер}}{2b_{кл} + h_{кл}} = \frac{2,3 \cdot 0,0449}{18 \cdot 0,057 \cdot 0,35^2} \cdot \lg(0,773) = 0,635,$$

де

$$x = \frac{4,7D_{клер}}{2b_{кл} + h_{кл}} = \frac{4,7 \cdot 0,0449}{2 \cdot 0,0101 + 0,0138} = 6,21;$$

$$\lg x = \lg(6,21) = 0,773;$$

28. Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання $\lambda_{\partial 2}$ визначається за (8.181) [1]:

$$\xi = 1 + \frac{1}{5} \left(\frac{\pi p}{Z_2} \right)^2 - \frac{\Delta z}{1 - \left(\frac{p}{Z_2} \right)^2} \approx 1,$$

тому що для великого числа пазів ротора, що припадають на пари полюсів

$$\left(\frac{z_2}{p} \geq 10 \right), \frac{1}{5} \left(\frac{\pi p}{Z_2} \right)^2 \approx 0 \text{ і } \Delta z \approx 0;$$

$$\lambda_{\partial 2} = \frac{t_2}{12 \delta k_\delta} \xi = \frac{0,0102 \cdot 1}{12 \cdot 0,0003 \cdot 1,22} = 2,787.$$

29. Для зменшення шуму і паразитних моментів у двигунів з короткозамкненим ротором застосовується скіс пазів на роторі, рівний одному зубцевому розподілу статора

$$b_{ck2} = t_1 = 0,0077 \text{ м,}$$

b_{ck2} - скіс пазів, відлічений по дузі окружності ротора, м.

Скіс пазів у частках зубцевого розподілу ротора

$$\beta_{ck} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{0,0077}{0,0102} = 0,755,$$

тоді центральний кут скосу пазів ротора

$$\alpha_{ck} = \frac{2pb_{ck2}}{(D-2\delta)} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 0,0077}{0,0592 - 2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}} = 0,2624 \text{ рад.}$$

Коефіцієнт скосу паза враховує зменшення э.д.с., наведеної в одній з обмоток головним потоком іншої обмотки, тому він визначається аналогічно обмотувальному коефіцієнтові розподілу обмотки ротора

$$k_{op} = k_{ck}.$$

Коефіцієнт скосу розраховується

$$k_{ck} = \frac{2 \sin \frac{\alpha_{ck}}{2}}{\alpha_{ck}} = \frac{2 \sin \frac{0,2624}{2}}{0,2624} = 1,00;$$

тому що синус малого аргументу (у радіанах) дорівнює малому аргументові.

Обмотувальний коефіцієнт обмотки ротора $k_{p2} = k_{ck} = 1,0$. При скошених пазах трохи зростає диференціальне розсіювання, тому що вищі гармоніки поля в цьому випадку менше заглушаються.

Коефіцієнт магнітної провідності скосу, що враховує вплив на ЕРС обмотки ротора скосу пазів

$$\lambda_{ck} = \frac{t_2}{12\delta k_{\delta} k_{\mu}} \beta_{ck}^2 = \frac{0,0102 \cdot 0,755^2}{12 \cdot 0,0003 \cdot 1,22 \cdot 1,39^2} = 1,143.$$

Якщо скіс пазів, відсутній $\lambda_{ck} = 0$.

Беремо

$$\lambda_{ck} = 0.$$

30. Індуктивний опір фази обмотки ротора x_2 за (8.177) [1]

$$\sum \lambda_2 = \lambda_{n2} + \lambda_{л2} + \lambda_{\delta 2} + \lambda_{ck} = 1,106 + 0,635 + 2,787 + 0 = 4,528;$$

тоді індуктивний опір фази обмотки ротора

$$x_2 = 7,9 f_1 l'_{\delta} (\lambda_{n2} + \lambda_{л2} + \lambda_{\delta 2} + \lambda_{ck}) \cdot 10^{-6} =$$

$$=7,9 \cdot 50 \cdot 0,057 \cdot 4,528 \cdot 10^{-6} = 0,00010195 \text{ Ом.}$$

31. Приводимо x_2 до числа витків статора за (8.172) і (8.183)

$$x'_2 = x_2 \frac{4m(\omega_1 k_{об1})^2}{Z_2} = \frac{0,00010195 \cdot 4 \cdot 3 \cdot (460 \cdot 0,955)^2}{18} = 13,117 \text{ Ом.}$$

Відносне значення

$$x'_2 * = x'_2 \frac{I_{1н}}{U_{1н}} = 13,117 \cdot \frac{0,96}{220} = 0,057.$$

1.2.7. Втрати в сталі

1. Втрати в сталі основні.

Для сталі 2013 питомі втрати (табл.8.26) [1] при індукції 1 Тл і частоті перемагнічування 50 Гц $p_{1,0/5,0} = 2,5$ Вт/кг.

2. Коефіцієнт β – показник ступеня, що враховує залежність втрат у сталі від частоти перемагнічування; для більшості сталей $\beta = 1,3 \dots 1,5$, беремо $\beta = 1,5$ [1] с. 348.

3. Коефіцієнти $k_{\partial a}$ і $k_{\partial z}$ враховують вплив на втрати в сталі нерівномірності розподілу магнітного потоку по перетинах ділянок магнітопроводу і технологічних факторів, для машин потужністю менш 250 кВт $k_{\partial a} = 1,6$, $k_{\partial z} = 1,8$ [1] с. 348.

4. Питома маса сталі $\gamma_c = 7800$ кг/м³.

5. Висота ярма статора за (8.177) [1]

$$h_a = 0,5(D_a - D) - h_{n1} = 0,5 \cdot (0,102 - 0,0592) - 0,00554 = 0,01586 \text{ м.}$$

6. Маса сталі ярма статора за (8.188) [1]

$$m_a = \pi(D_a - h_a)h_a l_{cm} k_c \gamma_c = 3,14 \cdot (0,102 - 0,01586) \cdot 0,01586 \cdot 0,057 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 1,850 \text{ кг.}$$

7. Маса сталі зубців статора за (8.189) [1]

$$m_{z1} = h_{z1} b_{z1cp} Z_1 l_{cm1} k_c \gamma_c = 0,00554 \cdot 0,00385 \cdot 24 \cdot 0,057 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 0,221 \text{ кг.}$$

8. Втрати в сталі основні за (8.187) [1]

$$P_{ст.осн} = P_{1.0/5.0} \left(\frac{f_1}{50} \right)^\beta \left(k_{\delta a} B_a^2 m_a + k_{\delta z} B_{zcp}^2 m_{z1} \right) =$$

$$= 2,5 \cdot \left(\frac{50}{50} \right)^{1,5} \cdot (1,6 \cdot 1,50^2 \cdot 1,850 + 1,8 \cdot 1,35^2 \cdot 0,221) = 18,46 \text{ Вт.}$$

9. Поверхневі втрати в сталі ротора від зубців статора (втрати у поверхневому шарі ротора від пульсацій магнітної індукції в повітряному зазорі).

Визначимо за рис. 8.53 [1] для

$$\frac{b_{ш}}{\delta} = \frac{0,0015}{0,0003} = 6,00;$$

$$\beta_{02} = 0,33.$$

10. Амплітуда пульсації індукції в повітряному зазорі над коронками зубців ротора за (8.190) [1]

$$B_{02} = \beta_{02} k_{\delta} B_{\delta} = 0,33 \cdot 1,22 \cdot 0,654 = 0,263 \text{ Тл.}$$

11. Коефіцієнт k_{02} , що враховує вплив обробки поверхні головок зубців статора на питомі втрати в роторі; якщо поверхня не обробляється (двигуни потужністю до 160 кВт) $k_{02} = 1,4 - 1,8$ беремо $k_{02} = 1,5$

12. Питомі поверхневі втрати в сталі ротора, що припадають на 1 м^2 поверхні головок зубців ротора, за (8.192) [1]

$$p_{нов2} = 0,5 k_{02} \left(\frac{Z_1 n_1}{10000} \right)^{1,5} \left(B_{02} t_1 \cdot 10^3 \right)^2 = 0,5 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{24 \cdot 3000}{10000} \right)^{1,5} \times$$

$$\times (0,263 \cdot 0,0077 \cdot 1000)^2 = 59,423 \text{ Вт/м}^2.$$

13. Повні поверхневі втрати в сталі ротора за (8.194)

$$P_{нов2} = p_{нов2} (t_2 - b_{ш2}) Z_2 l_{cm2} = 59,423 \cdot (0,0102 - 1,5 \cdot 10^{-3}) \times$$

$$\times 18 \cdot 0,057 = 0,530 \text{ Вт.}$$

14. Пульсаційні втрати в зубцях ротора (втрати від пульсацій індукції в зубцях).

Амплітуда пульсацій індукції в середньому перерізі зубців $B_{нул2}$:
 $\gamma_1 = 3,27$ за п. 1.2.5.1 розрахунку;

$$B_{нул2} = \frac{\gamma_1 \delta}{2t_2} B_{z2cp} = \frac{3,27 \cdot 0,0025 \cdot 1,81}{2 \cdot 0,0102} = 0,073 \text{ Тл,}$$

де B_{z2cp} - за п. 1.2.5.5 розрахунку.

15. Маса сталі зубців ротора за (8.201) [1]

$$m_{z2} = Z_2 h_{z2} b_{z2cp} l_{cm2} k_c \gamma_c = 18 \cdot 0,0107 \cdot 0,0038 \cdot 0,057 \cdot 0,97 \cdot 7800 = 0,316 \text{ кг.}$$

16. Пульсаційні втрати в зубцях ротора за (8.200) [1]

$$P_{нул2} = 0,11 \left(\frac{Z_1 n}{1000} B_{нул2} \right)^2 m_{z2} = 0,11 \cdot \left(\frac{24 \cdot 3000}{1000} \cdot 0,073 \right)^2 \cdot 0,316 = 0,960 \text{ Вт.}$$

17. Сума додаткових втрат у сталі

$$P_{ст.доб} = P_{нов2} + P_{нул2} = 0,530 + 0,960 = 1,49 \text{ Вт.}$$

18. Повні втрати в сталі

$$P_{ст} = P_{ст.осн} + P_{ст.доб} = 18,46 + 1,49 = 20,0 \text{ Вт.}$$

19. Механічні втрати за (8.200) [1]:

для двигунів $2p=2$ коефіцієнт $K_T = 1$,

отже,

$$P_{мех} = K_T \left(\frac{n}{10} \right)^2 D_a^4 = 1 \cdot \left(\frac{3000}{10} \right)^2 \cdot 0,102^4 = 9,742 \text{ Вт.}$$

20. Холостий хід двигуна.

Електричні втрати в статорі при холостому ході за (8.219) [1]

$$P_{\epsilon 1xx} = m I_{\mu}^2 r_1 = 3 \cdot 0,37^2 \cdot 36,4 = 14,95 \text{ Вт.}$$

21. Активна складового струму холостого ходу за (8.218) [1]

$$I_{xxa} = \frac{P_{ст} + P_{мех} + P_{\epsilon 1xx}}{m \cdot U_{1H}} = \frac{20,0 + 9,742 + 14,95}{3 \cdot 220} = 0,068 \text{ А.}$$

22. Струм холостого ходу за (8.217) [1]

$$I_{xx} = \sqrt{I_{xxa}^2 + I_{\mu}^2} = \sqrt{0,068^2 + 0,37^2} = 0,38 \text{ А.}$$

1.2.8. Розрахунок робочих характеристик

1. Методи розрахунку характеристик базуються на системі рівнянь струмів і напруг асинхронної машини, якій відповідає Г-подібна схема заміщення (рис. 7). Активні й індуктивні опори схеми заміщення є параметрами машини.

2. Активний опір взаємної індукції обмоток статора і ротора за (8.184) [1]

$$r_{12} \approx \frac{P_{ст.осн}}{mI_{\mu}^2} = \frac{18,46}{3 \cdot 0,37^2} = 44,9 \text{ Ом.}$$

3. Індуктивний опір взаємної індукції обмоток статора і ротора за (8.185)

$$x_{12} \cong \frac{U_{1H}}{I_{\mu}} - x_1 = \frac{220}{0,37} - 14,18 = 580,4 \text{ Ом.}$$

4. Коефіцієнт c_1 за (8.223) [1]

$$c_1 = 1 + \frac{x_1}{x_{12}} = 1 + \frac{14,18}{580,4} = 1,024.$$

5. Активна складового струму синхронного холостого ходу

$$I_{0a} = \frac{P_{ст.осн} + 3I_{\mu}^2 r_1}{3U_{1H}} = \frac{18,46 + 3 \cdot 0,37^2 \cdot 36,4}{3 \cdot 220} = 0,051 \text{ А.}$$

6. Реактивна складового струму синхронного холостого ходу

$$I_{0p} \approx I_{\mu} = 0,37 \text{ А.}$$

7. Коефіцієнти:

$$a' = c_1^2 = 1,024^2 = 1,049;$$

$$b = 0;$$

$$a = c_1 r_1 = 1,024 \times 36,4 = 37,274;$$

$$b = c_1 (x_1 + c_1 x'_2) = 1,02 \cdot (14,18 + 1,024 \cdot 13,117) = 28,274.$$

8. Втрати, що не змінюються при зміні ковзання,

$$P_{cm} + P_{mex} = 20,0 + 9,742 = 29,742 \text{ Вт} = 0,03 \text{ кВт.}$$

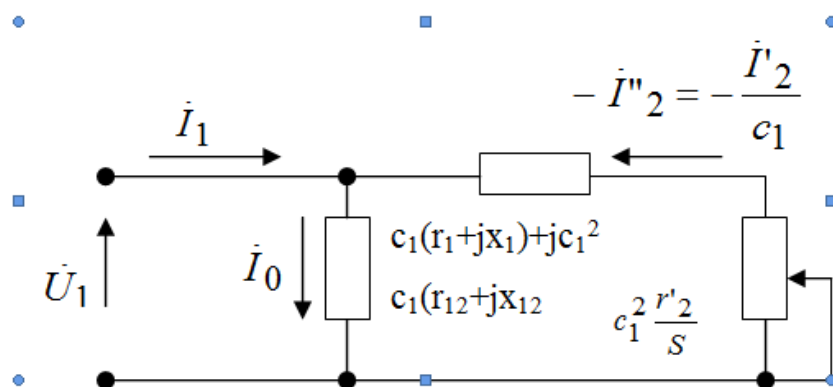


Рис. 7. Г-подібна схема заміщення приведеної асинхронної машини

9. Застосовуємо аналітичний метод розрахунку робочих характеристик (формули для розрахунку наведені в табл. 2). Розрахунок характеристик проводимо, задаючи значеннями ковзань $S = (0,2 \div 1,5)S_H$. Номінальне ковзання попередньо беремо $S_H \approx r_2^* = 0,06301$. Для побудови характеристик досить розрахувати значення необхідних величин для п'яти-шести різних ковзань, обраних у зазначеному діапазоні приблизно через рівні інтервали. Результати розрахунку наведені в табл. 2. Робочі характеристики побудовані на рис. 8.

Таблиця 2

Робочі характеристики асинхронного двигуна

№ п/п	Розрахункова формула	Од.	Ковзання ротора					
			0,0015	0,013244	0,026488	0,039732	0,052976	0,06622
1	$a'r_2' / s$	Ом	10098,37	1143,73	571,865	381,2433	285,9325	228,746
2	$b'r_2' / s$	Ом	0	0	0	0	0	0
3	$R = a + a'r_2' / s$	Ом	10135,65	1181,004	609,139	418,5173	323,2065	266,02

4	$X = b + b'r'_2 / s$	OM	28,274	28,274	28,274	28,274	28,274	28,274
5	$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$	OM	10135,69	1181,342	609,7948	419,4713	324,4408	267,5183
6	$I''_2 = U_1 / Z$	A	0,021705	0,186229	0,360777	0,52447	0,67809	0,822374
7	$\cos \varphi'_2 = R / Z$	—	0,999996	0,999714	0,998924	0,997726	0,996195	0,994399
8	$\sin \varphi'_2 = X / Z$	—	0,00279	0,023934	0,046366	0,067404	0,087147	0,10569
9	$I_{1a} = I_{0a} + I''_2 \cos \varphi'_2$	A	0,072705	0,237175	0,411389	0,574277	0,72651	0,868768
10	$I_{1p} = I_{0p} + I''_2 \sin \varphi'_2$	A	0,370061	0,374457	0,386728	0,405351	0,429093	0,456917
11	$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}$	A	0,377135	0,44325	0,564623	0,702925	0,843764	0,981596
12	$I'_2 = c_1 I''_2$	A	0,022226	0,190698	0,369436	0,537057	0,694364	0,842111
13	$P_1 = 3U_1 I_{1a} \cdot 10^{-3}$	кВт	0,047986	0,156536	0,271517	0,379023	0,479497	0,573387
14	$P_{\vartheta 1} = 3I_1^2 r_1 \cdot 10^{-3}$	кВт	0,015532	0,021455	0,034813	0,053956	0,077744	0,105217
15	$P_{\vartheta 2} = 3I_2'^2 r_2' \cdot 10^{-3}$	кВт	2,14E-05	0,001575	0,005912	0,012495	0,020886	0,03072
16	$P_{\partial\partial\partial} = 0,005 \cdot P_1$	кВт	0,00024	0,000783	0,001358	0,001895	0,002397	0,002867
17	$\sum P = P_{cm} + P_{Mex} + P_{\vartheta 1} + P_{\vartheta 2} + P_{\partial\partial\partial}$	кВт	0,045535	0,053555	0,071825	0,098088	0,130769	0,168547
18	$P_2 = P_1 - \sum P$	кВт	0,002451	0,102981	0,199692	0,280935	0,348727	0,40484
19	P_2 / P_{2H}		0,006449	0,271003	0,525505	0,739302	0,917703	1,065368
20	I_1 / I_{1H}		0,410376	0,482318	0,614389	0,76488	0,918133	1,068113
21	$\eta = 1 - \sum P / P_1$	—	0,05107	0,657876	0,735468	0,741208	0,727278	0,70605
22	$\cos \varphi = I_{1a} / I_1$	—	0,192783	0,535083	0,728608	0,816982	0,861034	0,885057
23	10s		0,015	0,13244	0,26488	0,39732	0,52976	0,6622

Номінальні дані спроектованого двигуна визначаються за побудованими робочими характеристиками:

$$P_{2H} = 0,38 \text{ кВт}; \quad U_{1нф} = 220 \text{ В}; \quad I_{1H} = 0,919 \text{ А}; \quad \cos \varphi = 0,876;$$

$$\eta = 0,716; \quad S_H = 0,0602.$$

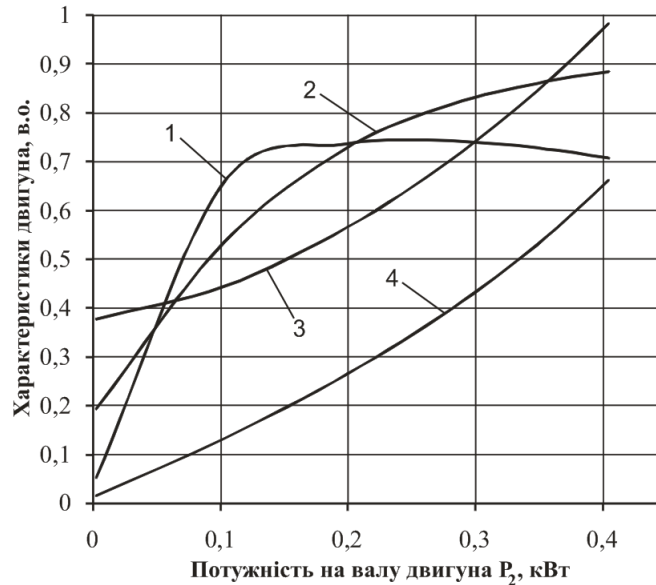


Рис. 8. Робочі характеристики:

- 1 – коефіцієнт корисної дії $\eta = f(P_2)$; 2 – $\cos \varphi = f(P_2)$;
 3 – струм, що споживається $I_1 = f(P_2)$; 4 – ковзання $S = f(P_2)$

Номінальна частота обертання вала

$$n_H = n_1 \cdot (1 - S_H) = 3000 \cdot (1 - 0,0602) = 2819 \text{ об/хв};$$

Номінальний момент на валу двигуна

$$M_H = 9575 \frac{P_{2H}}{n_H} = 9575 \cdot \frac{0,38}{2819} = 1,291 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

1.2.9. Розрахунок механічної характеристики

Для побудови механічної характеристики $\omega = f(M)$ використовуємо формулу:

$$M = \frac{m_1 U_{\phi}^2 R'_2 / S}{\omega_1 ((R_1 + R'_2 / S)^2 + (X_1 + X'_2)^2)},$$

де m_1 - число фаз; U_ϕ - фазна напруга, В; ω_1 - кутова швидкість обертання магнітного поля статора, рад/с; R_1 - активний опір обмотки статора, Ом; R'_2 - активний опір обмотки ротора, Ом; X_1 - індуктивний опір обмотки статора, Ом; X_2 - індуктивний опір обмотки ротора, Ом; S - ковзання.

Змінюючи величину ковзання від 1 до 0 з кроком $\Delta S = 0,01$ і підставляючи у вираз, розраховуємо значення M . Результати розрахунку наведені в табл. 3.

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{m_1 U_\phi^2 R'_2 / S}{\omega_1 ((R_1 + R'_2 / S)^2 + (X_1 + X_2)^2)} = \\
 &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 14,44 / S}{314,13 \cdot ((36,4 + 14,44 / S)^2 + (14,18 + 13,117)^2)} = \\
 &= \frac{2096688 / S}{314,13 \cdot ((36,4 + 14,44 / S)^2 + 745,13)} \text{ Н} \cdot \text{м}.
 \end{aligned}$$

Таблиця 3

Параметри механічної характеристики асинхронного двигуна

S	ω , рад/с	M, Н·м	S	ω , рад/с	M, Н·м	S	ω , рад/с	M, Н·м	S	ω , рад/ с	M, Н·м
0,00	314	0,00	0,25	236	2,7778	0,50	157	2,67	0,75	79	2,32
0,01	311	0,30	0,26	232	2,7910	0,51	154	2,65	0,76	75	2,30
0,02	308	0,58	0,27	229	2,8016	0,52	151	2,64	0,77	72	2,29
0,03	305	0,83	0,28	226	2,8097	0,53	148	2,63	0,78	69	2,28
0,04	302	1,05	0,29	223	2,8156	0,54	144	2,61	0,79	66	2,26
0,05	298	1,25	0,30	220	2,8195	0,55	141	2,60	0,80	63	2,25
0,06	295	1,44	0,31	217	2,8215	0,56	138	2,58	0,81	60	2,24
0,07	292	1,60	0,32	214	2,8219	0,57	135	2,57	0,82	57	2,22
0,08	289	1,75	0,33	210	2,8208	0,58	132	2,56	0,83	53	2,21
0,09	286	1,88	0,34	207	2,8183	0,59	129	2,54	0,84	50	2,20
0,10	283	2,00	0,35	204	2,8145	0,60	126	2,53	0,85	47	2,18
0,11	280	2,10	0,36	201	2,8096	0,61	123	2,51	0,86	44	2,17
0,12	276	2,20	0,37	198	2,8036	0,62	119	2,50	0,87	41	2,16
0,13	273	2,28	0,38	195	2,7967	0,63	116	2,48	0,88	38	2,15
0,14	270	2,36	0,39	192	2,7890	0,64	113	2,47	0,89	35	2,13
0,15	267	2,43	0,40	188	2,7804	0,65	110	2,46	0,90	31	2,12
0,16	264	2,49	0,41	185	2,7712	0,66	107	2,44	0,91	28	2,11
0,17	261	2,54	0,42	182	2,7614	0,67	104	2,43	0,92	25	2,10
0,18	258	2,58	0,43	179	2,7509	0,68	101	2,41	0,93	22	2,09
0,19	254	2,63	0,44	176	2,7400	0,69	97	2,40	0,94	19	2,07
0,20	251	2,66	0,45	173	2,7286	0,70	94	2,39	0,95	16	2,06
0,21	248	2,69	0,46	170	2,7168	0,71	91	2,37	0,96	13	2,05
0,22	245	2,72	0,47	166	2,7046	0,72	88	2,36	0,97	9	2,04
0,23	242	2,74	0,48	163	2,6921	0,73	85	2,34	0,98	6	2,03
0,24	239	2,76	0,49	160	2,6794	0,74	82	2,33	0,99	3	2,02
									1,00	0	2,00

За результатами розрахунку будемо механічну характеристику $\omega = f(M)$ (рис. 9), де ω – кутова швидкість обертання ротора $\omega = \omega_1(1 - S)$.

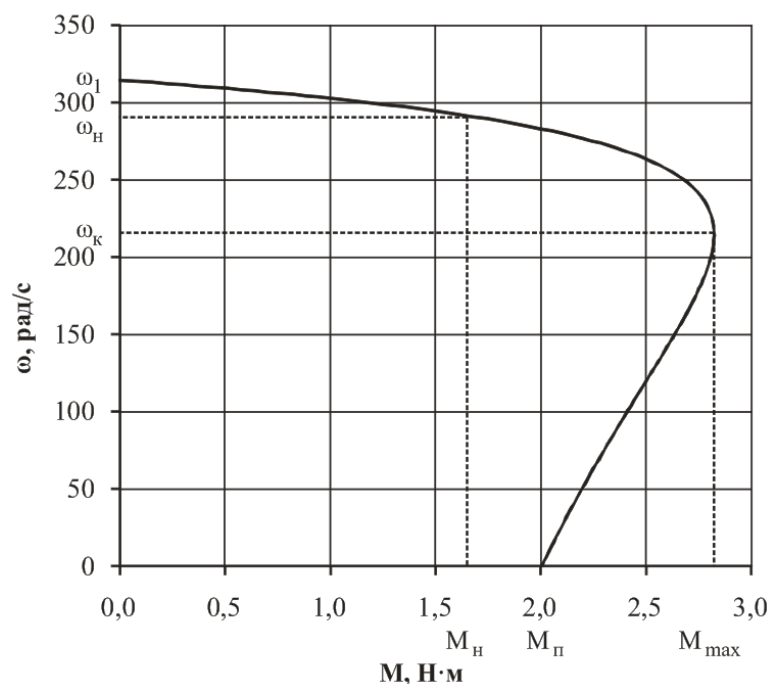


Рис. 9. Механічна характеристика

$M_0 = 0$ Н; $\omega_1 = 314,13$ рад/с; $M_n = 2,0$ Н; $\omega_n = 0$ рад/с;

$M_{max} = 2,82$ Н; $\omega_{кр} = 213,61$ рад/с; $M_h = 1,29$ Н; $\omega_h = 295,18$ рад/с

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Проектирование* электрических машин: учебное пособие для вузов. - В 2-х кн.: кн. 1 /И. П. Копылов, Б. К. Клоков В. П. Морозкин и др; Под ред. И. П. Копылова. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 464 с.
2. *Лопухина Е. М., Сомихина Г. С.* Расчет асинхронных микродвигателей однофазного и трехфазного тока. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1961.–312 с.
3. *Асинхронные* двигатели серии 4А: справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин и др.–М.: Энергоатомиздат,1982. – 504 с.
4. *Гольберг О. Д., Гурин Я. С., Свириденко И. С.* Проектирование электрических машин: учебник для ВТУЗов. / Под ред. О. Д. Гольберга. – М.: Высш. шк., 1984. – 431 с.
5. *Кацман М. М.* Расчет и конструирование электрических машин: учебное пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 360 с.
6. *Справочник* по электрическим машинам в 2-х т. / под общ. ред. И. П. Копылова и Б. К. Ключева – Т.І. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 456 с.
7. *Костенко М. П., Пиотровский Д. М.* Электрические машины. – в 2-х ч; Ч.2. Машины переменного тока: учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений. – Изд. 3-е. Перераб. – Л.: Энергия, 1973. – 648 с.
8. *Иванов – Смоленский А. З.* Электрические машины: учебник для ВУЗов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
9. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах ГОСТ 2.721.74.* - ГОСТ 2.758-81. Издание официальное. – М., 1983. – 496 с.
10. *Міліх В.І.* Електротехніка та електромеханіка: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Освіта – К.: Каравела, 2005.–375 с.
11. *Тищеренко М.В.* Електротехніка: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів – К.: Конзор, 2004. – 237 с.

Для нотаток

Навчально методичне видання

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

Методичні вказівки

та завдання до виконання розрахунково-графічної роботи
для студентів, які навчаються за напрямом підготовки
6.050202 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Укладачі: **ГОЛЕНКОВ** Геннадій Михайлович
БОНДАР Роман Петрович
ПАРХОМЕНКО Дмитро Ігорович

Комп’ютерне верстання *А.П Морозюк*

Підписано до друку 2012. Формат 60x84

Ум. друк. арк. 2,79. Обл.-вид. арк. 3,0,

Тираж 40 прим. Вид. № 83/III-11 Зам. №

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

E-mai: red_isdat@ua.fm

Надруковано в редакційно-видавничому відділі

Київського національного університету будівництва і архітектури

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб’єктів видавничої справи

ДК № 808 від 13.02.2002р.