

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку. Робочі характеристики АД

	$I_{1\phi}$	$P_1, \text{В}$	$\cos$	$P_2, \text{В}$	η	M_2	S
Δ							
Y							

Тут $I_{1\phi}$, P_1 , $\cos\varphi$ – по К-540; $S = \frac{n_c - n}{n_c}$;

$$U_{\text{Л}} = \frac{U_A + U_B + U_C}{\sqrt{3}}; I_{\text{Л}} = \frac{I_A + I_B + I_C}{300} \alpha_i; P = (P_A + P_B + P_C) \alpha_i;$$

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3} U_{\text{Л}} I_{\text{Л}}}; U_{\Phi\Delta} = U_{\text{Л}}; U_{\Phi Y} = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}}; I_{\Phi\Delta} = \frac{I_{\text{Л}}}{\sqrt{3}}; I_{\Phi Y} = I_{\text{Л}};$$

$$Z = \frac{U_{\Phi}}{I_{\Phi}}; R = \frac{P}{3 I_{\Phi}^2}; X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$P_2 = 1,01(U_a + 2)I_a + P_{xx} + R_a I_a^2; \eta = \frac{P_2}{P_1}; M_2 = 0,975 \frac{P_2}{n};$$

де $R_a = 4 \text{ Ом}$, $P_{xx} = 100 \text{ Вт}$.

7. Зобразити разом для Δ і Y ; на одному графіку $I_{1\phi}$, $\eta = f(P_2)$, на другому – P_1 , $\cos\varphi = f(P_2)$, на третьому – M_2 , $S = f(P_2)$.

2.3 Тема практичного заняття «Визначення втрат і ККД трифазного асинхронного двигуна з досліду холостого ходу»

АД споживає з мережі електричну активну потужність P_1 , віддає через вал корисну механічну потужність P_2 . У процесі перетворення з P_1 в P_2 частина потужності перетворюється в тепло і розсіюється в навколишнє середовище. Ця частина не може бути використана за призначенням машини, тому називається втратами потужності або просто втратами – $\sum P$:

$$\sum P = P_1 - P_2.$$

Повні втрати складаються з механічних втрат, що залежать від швидкості обертання (тертя в підшипниках, опір навколишнього середовища, вентиляція та ін.), магнітних втрат, які залежать від індукції і частоти перемагнічування (гістерезис, вихрові струми), електричних втрат, що залежать від квадрата струму (джоулеве тепло) і додаткових втрат (в АД приймають рівними 0,5% електричної потужності).

$$\sum P = P_{\text{мех}} + P_{\text{м2}} + P_E + P_{\text{дод}}.$$

Оскільки $P_{\text{мех}}$ і $P_{\text{м2}}$ не залежать від навантаження (навантаженням вважаються величини струмів або потужності), вони легко визначаються в простому досліді холостого ходу. Оскільки швидкість АД змінюється незначно, механічні втрати вважаються $P_{\text{мех}} = \cos\phi$. Оскільки $B = \frac{\Phi}{S} \equiv U$, втрати в сталі $P_{\text{м2}} \equiv U^2$. При $U = 0$ і $P_{\text{м2}} = 0$, а значить, залишаються тільки $P_{\text{мех}}$. Але якщо $U = 0$, АД не буде обертатися і для розділення $P_{\text{мех}}$ і $P_{\text{м2}}$ дослід х.х. проводять на різних напругах, віднімають від P_x електричні втрати в обмотці статора $P_{\text{Е0}} = 3r_1 I_{\text{оф}}^2$ (в обмотці ротора при х.х. струм малий і втратами нехтують) і одержують $P_{\text{м2}} + P_{\text{мех}}$. Залежність $P_{\text{м2}} + P_{\text{мех}} = f(U)$ є параболою. Зате $P_{\text{м2}} + P_{\text{мех}} = f(U^2)$ стає прямою (квадратичність врахована на осі абсцис). Тому будують цю пряму, проводячи її до осі ординат, де $U = 0$ і $P_{\text{м2}} = 0$, і ця ордината дорівнює $P_{\text{мех}} = \text{const}$ (проводять горизонтальну лінію $P_{\text{мех}} = \text{const}$). Відстань між $P_{\text{м2}} + P_{\text{мех}} = f(U^2)$ та $P_{\text{мех}} = \text{const}$ дорівнює втратам у сталі $P_{\text{СТ}} (P_{\text{м2}})$.

Для визначення $P_{\text{м2}}$ і P_E можна користуватися наближеною Г-подібною схемою заміщення, що складається із двох паралельних віток: намагнічуючою із струмом I_0 та навантажувальною зі струмом I_0' та опорами X_K і $r_i + r_2' / S$. У робочих режимах S мале і $r_2' / S \gg X_K$, тому струм обмотки ротора можна вважати чисто активним:

$$I_2' = \frac{U_{\phi n}}{r_i + r_2' / S}.$$

У такому разі струм обмотки статора $I_{1\phi}$ дорівнює $I_1 = I_0 + I_2'$, тоді виходить:

$$I_{1\phi} = \sqrt{(I_{1\phi} \cos \varphi_0 + I_{1\phi}')^2 + (I_{1\phi} \sin \varphi_0)^2}.$$

Електричні втрати в обмотках статора і ротора:

$$P_{\text{Е1}} = 3r_{1\phi} I_{1\phi}^2; P_{\text{Е2}} = 3r_2 I_{2\phi}'^2$$

Корисна потужність:

$$P_2 = \frac{1-S}{S} P_{E2} - P_{\text{мех}}$$

Споживана потужність:

$$P_1 = 1,005(P_2 + P_{E1} + P_{E2} + P_{M2} + P_{\text{мех}}),$$

де 1,005 – врахування 0,5% додаткових втрат.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані асинхронного двигуна в режимі холостого ходу

Схеми		α_i	U_A	I_A	P_A	U_B	I_B	P_B	U_C	I_C	P_C
трансф.	А.Д.										
Y/Y	Y	2,5	75	36	17	72	40	18	76	40	19
Y/ Δ	Y	2,5	44	46	13	42	44	14	43	44	15
Δ /Y	Y	2,5	142	54	27	142	52	28	142	52	29
Δ /Y	Δ	10	140	62	12	140	60	12	140	60	12

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку. Втрати в сталі і механічні

$U_{1\phi}$	$I_{0\phi}$	$\cos\phi$	P_X	$P_{\Sigma C}$	$P_{M2} + P_{\text{мех}}$	$P_{\text{мех}} = \text{const}$	$P_{\text{ст}}(P_{M2})$
B	A	-	B _T	B _T	B _T	B _T	B _T

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку. Втрати і ККД

S	$P_{M2} = \text{const}$	$P_{\text{мех}} = \text{const}$	I_1	I_2	P_{E1}	P_{E2}	P_2	P_1	H
-	B _T	B _T	A	A	B _T	B _T	B _T	B _T	-
0,02									
0,04									
0,06									
0,08									
0,1									

Середні параметри розраховують за наступними формулами:

$$U_L = \frac{U_A + U_B + U_C}{\sqrt{3}}; I_L = \frac{I_A + I_B + I_C}{300} \alpha_i; P = (P_A + P_B + P_C) \alpha_i;$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} U_L I_L}; U_{\Phi\Delta} = U_L; U_{\Phi Y} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}; I_{\Phi\Delta} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}; I_{\Phi Y} = I_L;$$

$$Z = \frac{U_{\Phi}}{I_{\Phi}}; R = \frac{P}{3 I_{\Phi}^2}; X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

2.4 Тема практичного заняття «Розв'язання задач»

Задача 2.1

Багатополюсний двигун при номінальному навантаженні працює з ковзанням $s = 4\%$. Частота мережі $f_1 = 50$ Гц. Визначити швидкість обертання двигуна. Вихідні дані наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

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 2.2

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 2.9.

Таблиця 2.9

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 2.3

Двигун з контактними кільцями включений до мережі з напругою U_n , 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 2.10.

Таблиця 2.10

Параметр	Варіант завдання										
	К	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_n , 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 2.4

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 2.11.

Таблиця 2.11

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

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

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

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 2.5

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 2.12.

Таблиця 2.12

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 питання 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?