

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсового проекту з дисципліни
«Основи автоматизованого проектування електротехнічних
пристроїв та електромеханічних систем»
для студентів спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(спеціалізація «Електричні машини і апарати »
усіх форм навчання

Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни «Основи автоматизованого проектування електротехнічних пристроїв та електромеханічних систем» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (спеціалізація «Електричні машини і апарати» усіх форм навчання /Укл.: І.М. Коцур, О.О. Шлянін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. - 70 с.

Укладачі: І.М. Коцур, доцент, к.т.н.
О.О. Шлянін, старш. викл.

Рецензент: В. Г. Савельєв, доцент.

Відповідальний
за випуск: Г.В. Дьомічева, зав.лаб.

Затверджено
на засіданні кафедри
"Електричні машини"
Протокол № 10
від «11» травня 2018 р.

Рекомендовано до видання
НМК Електротехнічного
факультету
Протокол № 10
від «11» травня 2018 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
Вихідні дані	5
1 Вибір головних розмірів	6
2 Вибір обмотки якоря	10
3 Розрахунок геометрії зубцевої зони	20
4 Розрахунок обмотки якоря	25
5 Визначення розмірів магнітного ланцюга	26
6 Розрахункові перетини магнітного ланцюга	29
7 Середні довжини магнітних ліній	30
8 Індукція в розрахункових перетинах магнітного ланцюга	31
9 Магнітна напруга окремих ділянок магнітного ланцюга	32
10 Розрахунок паралельної обмотки збудження	38
11 Колектор і щітки	40
12 Розрахунок обмотки додаткових полюсів	43
13 Втрати та ККД	45
14 Розрахунок характеристик	48
Література	50
Додаток А Вхідні дані для виконання проекту	51
Додаток Б Приклади конструкцій МПС	55

ВСТУП

Проектування електричних машин - це мистецтво, що з'єднує знання процесів електромеханічного перетворення енергії й досвіду, накопиченого поколіннями інженерів-електромеханіків, що створюють або поліпшують машину, що випускає вже.

У цей час рідко проектується індивідуальна машина, в основному проектуються й випускаються серії електричних машин. На базі серії виконуються різні модифікації машин, що висуває певні вимоги на виконання проекту нової електричної машини. Проектування електричних машин виробляється з урахуванням вимог державних і галузевих стандартів. При проектуванні доводиться враховувати умови експлуатації, вартість активних і конструктивних матеріалів, ККД технологічного виробництва, надійність у роботі й патентній чистоті. Проектування електричних машин (їхній розрахунок і конструювання) невіддільні від технології їхнього виробництва. Тому при проектуванні необхідно враховувати можливість електротехнічних заводів, прагнути до максимального зниження трудомісткості.

Пристаюючи до виконання курсового проекту, студент повинен добре вивчити дисципліни “Теоретичні основи електротехніки” і “Електричні машини”.

Дані методичні вказівки повинні навчити студента правильно розрахувати електричну машину постійного струму, вибрати оптимальний варіант, зіставляючи між собою кілька варіантів.

Методичні вказівки не можуть містити всі дані, необхідні для розрахунку й конструювання електричної машини, тому передбачається, що студент при виконанні проекту буде користуватися довідниками й каталогами.

ВИХІДНІ ДАНІ

Розрахувати й розробити конструкцію машини постійного струму з наступними даними:

- номінальна потужність – P_n , кВт
- номінальна напруга – U_n , В
- номінальна частота обертання – n_n , про/хв.
- висота осі обертання - h , мм

Збудження паралельне без стабілізуючої обмотки. Виконання по ступені захисту - IP22, по способу охолодження - самовентиляція (ICO1). Режим роботи - тривалий. Ізоляція класу -В.

За основу конструкції прийняти машину постійного струму серії П або 2П.

Вхідні данні для виконання курсового проекту надано у Додатку А. Приклади конструктивного виконання машин постійного струму у Додатку Б.

1 ВИБІР ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ

Вибір ведеться в наступному порядку.

1.1 Попереднє значення ККД (η_n) вибирається за рис. 1.1.

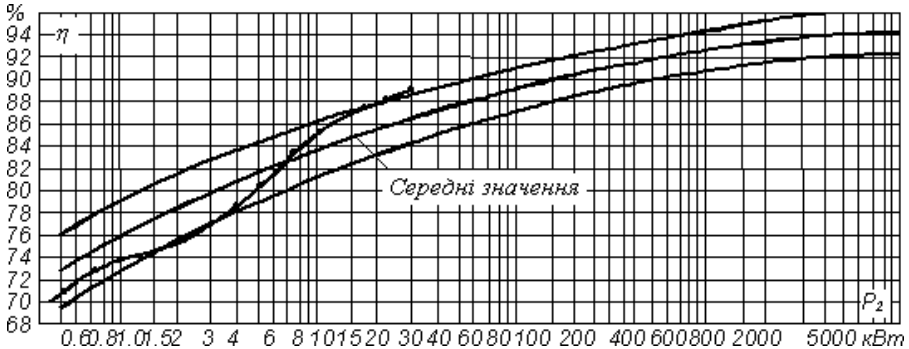


Рисунок 1.1 - Залежність ККД від потужності

1.2 Номінальний струм (попереднє значення) визначається за формулою:

– для генератора
$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{U_n}, \text{ А};$$

– для двигуна
$$I_n = \frac{P_n \cdot 10^3}{\eta_n \cdot U_n}, \text{ А}.$$

1.3 Струм якоря визначається за формулою:

– для генератора
$$I = (1 + k_g) I_n, \text{ А};$$

– для двигуна
$$I = (1 - k_g) I_n, \text{ А}.$$

Значення коефіцієнта k_g вибирається з табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Значення коефіцієнтів k_z , k_d , k_g

Потужність машини, кВт	k_z	k_d	k_g
До 1	1.4–1.15	0.65–0.85	0.2–0.8
1–10	1.2–1.1	0.82–0.95	0.1–0.025
10–100	1.15–1.06	0.85–0.97	0.035–0.02
100–1000	1.06–1.03	0.93–0.98	0.02–0.005

1.4 Електромагнітна потужність для електричних машин загального призначення визначається за формулою:

$$P' = P_n \frac{1 + \eta_n}{2\eta_n}$$

де η_n – ККД за рис. 1.1.

1.5 Діаметр якоря D можна визначити зі співвідношення:

$$\mu = \frac{D_n - D}{D},$$

де μ – визначається з рис. 1.2 залежно від числа полюсів машини $2p$.

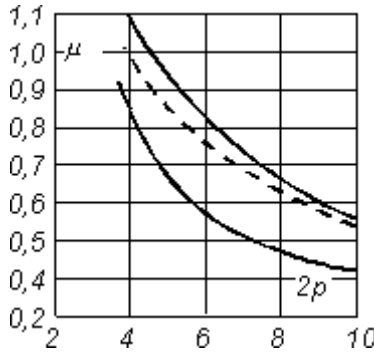


Рисунок 1.2 - До визначення відносини зовнішнього діаметра якоря до внутрішнього діаметра

Зовнішній діаметр машини визначається з рівняння:

$$D_n = 2 \cdot h - (8 \div 10) \cdot 10^3, \text{ м.}$$

Для чотирьохполюсної машини ($2p = 4$) $D \approx h$.

1.6 Лінійне навантаження якоря A' , А/м, вибирається за рис. 1.3.

1.7 Індукція в повітряному зазорі B'_δ , Тл, вибирається з рис. 1.4.

Розрахунковий коефіцієнт полюсної дуги a_δ вибирається з рис. 1.5.

Для машин загального призначення з додатковими полюсами $a_\delta = 0.55 \div 0.72$, без додаткових полюсів – $a_\delta = 0.6 \div 0.85$.

1.8 Розрахункова довжина якоря:

$$l_\delta = \frac{6.1 \cdot P'}{a_\delta \cdot A' \cdot B'_\delta \cdot D^2 \cdot n_n} 10^3, \text{ м.}$$

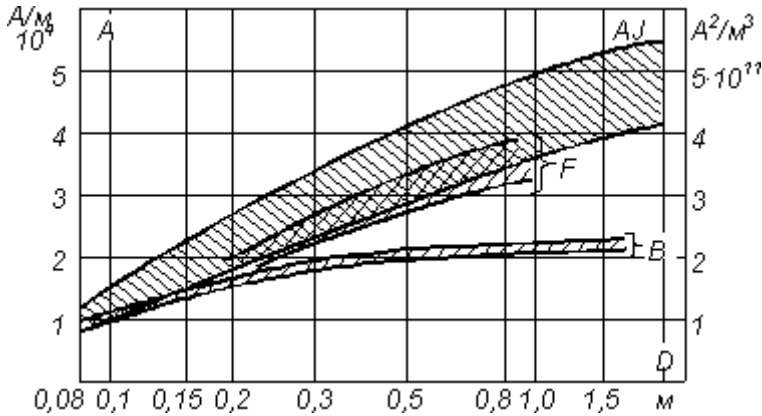


Рисунок - 1.3 - Залежність лінійного навантаження від діаметра якоря

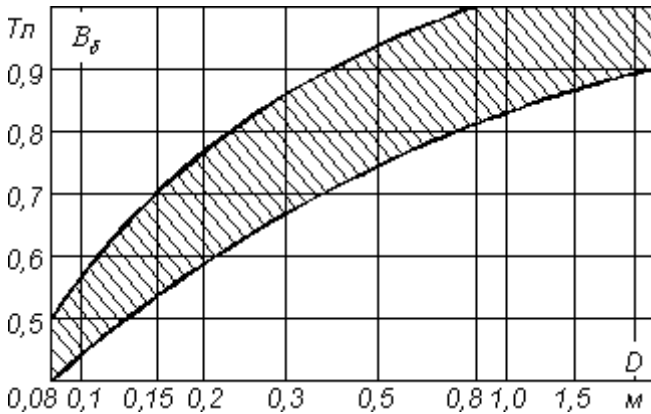


Рисунок 1.4 - Залежність індукції в повітряному зазорі від діаметра якоря

1.9 Відношення довжини магнітопровода якоря до його діаметра:

$$\lambda = l_{\delta} / D .$$

Для машин загального промислового застосування рекомендовані значення λ перебувають у межах $0.4 \leq \lambda \leq 1.25$.

1.10. Число полюсів машини вибирається з рис. 1.6.

1.11 Полюсний розподіл:

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p}, \text{ м.}$$

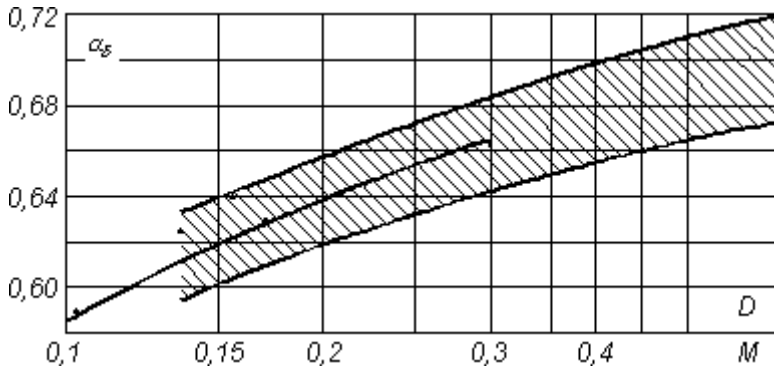


Рисунок 1.5 - Залежність $a_\delta = f(D)$

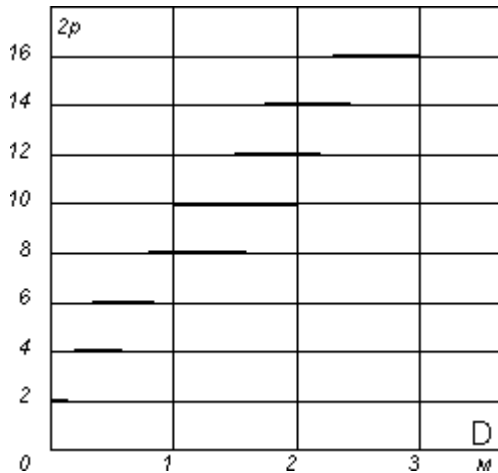


Рисунок 1.6 - Залежність числа полюсів від діаметра якоря

1.12 Розрахункова ширина полюсного наконечника:

$$b_\delta = a_\delta \cdot \tau, \text{ м.}$$

1.13 Дійсна ширина полюсного наконечника при ексцентричному зазорі під головними полюсами $b_p = b_\delta$ й при концентричному зазорі $b_p = b_\delta + 2s$.

2 ВИБІР ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Вибір ведеться в наступному порядку.

2.1 Тип і число паралельних гілок обмотки визначають, виходячи із прийнятого числа головних полюсів $2p$ і струму паралельної гілки I_a . Число головних полюсів можна вибрати з рис. 1.6. При відомій висоті осі обертання двигуна можна приймати: $2p = 2$ при D до 0.1 м, $2p = 4$ при $D = (0.112 \div 0.5)$ м.

Виходячи із прийнятого числа головних полюсів $2p$, попереднього значення струму якоря I (п. 1.3) і припустимого струму паралельної гілки $I_a = (250 \div 300)$ А приймається тип обмотки. Струм паралельної гілки $I_a = \frac{I}{2 \cdot a}$, А.

При струмах якоря до 600 А допускається вибір простої хвильової обмотки ($2a=2$), від 500 до 1400 А - простої петльової обмотки ($2p = 2$), понад 1400 А - двоходової петльової обмотки ($2p = 4$).

2.2 Попереднє загальне число ефективних провідників обмотки якоря:

$$N = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_a}$$

2.3 Крайні межі чисел пазів якорі визначаються рівняннями:

$$Z_{\min} = \pi \cdot D / t_{1\max}, \quad Z_{\max} = \pi \cdot D / t_{1\min},$$

де t_1 – крок зубців, крайні межі якого визначаються для різних висот обертання з наступних співвідношень:

h, мм	80–200	225–315	355–500
t, мм	10–20	15–35	18–40

Орієнтовно число пазів можна визначити по формулі:

$$Z = 2p \left(\frac{Z}{2p} \right),$$

відношення $Z/2p$ визначається по табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Число пазів на полюс залежно від діаметра якоря

D, м	0.08–0,5	0.5–1.0	>1.0
Z/2p	8–12	10–17	17–25

При обраному Z

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{Z}, \text{ м.}$$

2.4 Число ефективних провідників у пазу $N_n = N/Z$, при симетричній двошаровій обмотці це число повинне бути парним. Для цього отримане значення N_n округляється до парного й визначається остаточне значення $N = N_n \cdot Z$.

2.5 Вибір конструкції пазів якоря.

При діаметрах якоря до 200 мм пази якоря виконуються напівзакритими овальної форми, зубці з паралельними стінками (дивись рис. 3.2).

Це пояснюється тим, що обмотка якоря таких машин виконується всипною з емальованих мідних провідників круглого перетину, що утворюють м'які секції, які легко можна укласти в пази через порівняно вузькі шліци.

При потужності понад 30 кВт застосовують відкриті пази (таблиця 2.2), обмотка якоря виконана із прямокутного обмотувального проводу у вигляді формованих твердих секцій. Всі секції, що належать одній котушці, ізолюються загальною пазовою ізоляцією.

2.6 Вибір числа колекторних пластин K .

Мінімальне значення $D_{\text{до}}$ обмежується припустимим значенням напруги між сусідніми колекторними пластинами $U_{\text{к.сер}} = \frac{2p \cdot U_H}{K}$.

Для серійних машин без компенсаційної обмотки допускається $U_{\text{к.сер}}$ до 16 В, для машини з компенсаційною обмоткою $U_{\text{к.сер}} \leq 20$ В, для машин малої потужності (до 1 кВт) $U_{\text{к.сер}} \leq 25 \div 30$ В.

Максимальне число колекторних пластин $K = u_n \cdot Z$ повинне оцінюватися по мінімальному припустимому значенню колекторного розподілу, що залежно від діаметра колектора повинне бути не менш:

$D_{\text{до}}$, мм	125	140–280	315–500
$t_{\text{до}}$, мм	3.0	3.5	3.8

Колекторний розподіл

$$t_k = \frac{\pi \cdot D_k}{K},$$

де D_k – діаметр колектора:

– при відкритих пазах $D_k = (0.65 \div 0.7) D$;

– при напівзакритих пазах $D_k = (0.65 \div 0.85) D$.

Потім необхідно вибрати діаметр колектора з наступного стандартного пазу: 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560 мм.

Звичайне число колекторних пластин уточнюють шляхом порівняння варіантів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Порівняння варіантів

№ вар.	u_n	$K = u_n \cdot Z$	$W_c = \frac{N}{2 \cdot K}$	$U_{к.сер}$	$t_k = \frac{\pi \cdot D_k}{K}$
1	1				
2	2				
3	3				

Примітка. u_n – число елементарних пазів в один реальному, повинне бути не більше 3-х; W_c – число витків у секції повинне бути мінімальним – число ціле; $U_{к.сер}$ – напруга між колекторними пластинами не більше $(15 \div 16)$ В; t_k – колекторний розподіл не більше припустимого значення, мм.

Уточнене значення лінійного навантаження

$$A = \frac{N \cdot I_a}{\pi \cdot D}, \text{ А/м.}$$

Для цього, вибравши варіант, уточнюють:

$$N = 2 \cdot K \cdot W_c.$$

2.7 Скоректована довжина якоря:

$$l_\delta = l_\delta'' \frac{A''}{A}, \text{ м.}$$

2.8 Зовнішній діаметр колектора D_k з п. 2.6.

2.9 Окружна швидкість колектора

$$U_{\kappa} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa} \cdot n_n}{60}, \text{ м/с.}$$

2.10 Колекторний розподіл t_{κ} з п. 2.6.

2.11 Повний струм паза

$$I_n = I_a \cdot N_n, \text{ А.}$$

де N_n з п. 2.4.

2.12 Попереднє значення щільності струму в обмотці якоря

$$J_a = \frac{AJ}{A}, \text{ А/м}^2,$$

де AJ приймаємо попередньо по рис. 1.3.

2.13 Попередній перетин ефективного проводу

$$q_a = \frac{I_a}{J_a}, \text{ м}^2,$$

де I_a – струм паралельної гілки з п. 1.

Для висипних обмоток якоря з напівзакритими пазами з табл. 2.2 варто вибрати круглий провід марки ПЕТВ при класі ізоляції В або ПЕТ – 155 при класі F. Діаметр ізольованого проводу не повинен перевищувати 1.8 мм. Ефективні провідники висипних обмоток звичайно складаються з декількох елементарних провідників обраного діаметра. Число елементарних провідників n_{el} і перетин елементарного провідника q_{ae} визначиться з рівності $q_0 = n_{el} \cdot q_{el}$. Число n_{el} – повинне бути цілим.

Перетин і розміри прямокутних провідників обмотки якоря з відкритими пазами визначають при розрахунку по розмірах паза й зубця. Вибір стандартного обмотувального проводу виробляється: для круглих проводів по табл. 2.4, для прямокутних проводів по табл. 2.5.

Таблиця 2.4 - Діаметр і площі поперечного переріза круглих мідних емальованих проводів марок ПЕТВ і ПЕТ-155

Номинальний діаметр неізолюваного проводу, мм	Середнє значення діаметра ізолюваного проводу, мм	Площа поперечного перетина неізолюваного проводу, мм	Номинальний діаметр неізолюваного проводу, мм	Середнє значення діаметра ізолюваного проводу, мм	Площа поперечного переріза неізолюваного проводу, мм
0.08	0.10	0.00502	0.71	0.77	0.396
0.09	0.11	0.00636	0.75	0.815	0.442
0.10	0.122	0.00785	0.80	0.865	0.503
0.112	0.134	0.00985	0.85	0.915	0.567
0.125	0.147	0.01227	0.90	0.965	0.636
(0.132)	0.154	0.01368	0.95	1.015	0.709
0.14	0.162	0.01539	1.00	1.08	0.785
0.15	0.18	0.01767	1.06	1.14	0.883
0.16	0.19	0.0201	1.12	1.20	0.985
0.17	0.20	0.0227	1.18	1.26	1.094
0.18	0.21	0.0255	1.25	1.33	1.227
(0.19)	0.22	0.0284	1.32	1.405	1.368
0.20	0.23	0.0314	1.40	1.485	1.539
(0.212)	0.242	0.0353	1.50	1.585	1.767
0.224	0.259	0.0394	1.60	1.685	2.011
(0.236)	0.271	0.0437	1.70	1.785	2.27
0.25	0.285	0.0491	1.80	1.895	2.54
(0.265)	0.300	0.0552	1.90	1.995	2.83
0.28	0.315	0.0616	2.00	2.095	3.14
(0.30)	0.335	0.0707	2.12	2.22	3.53
0.315	0.350	0.0779	2.24	2.34	3.94
0.335	0.370	0.0881	2.36	2.46	4.36
0.355	0.395	0.099	2.50	2.60	4.91
0.375	0.415	0.1104	Примітки: Проводи, розміри яких вказані в дужках, варто застосовувати тільки в окремих випадках при обґрунтуванні техніко-економічної доцільності.		
0.40	0.44	0.1257			
0.425	0.465	0.1419			
0.45	0.49	0.1590			
(0.475)	0.515	0.1772			

Таблиця 2.5 - Розміри й площі поперечного переріза прямокутного дроту

Номинальний розмір дроту по більшій стороні b , мм	Номинальний розмір дроту по меншій стороні a , мм															
	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.06	1.12	1.18	1.25	1.32	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90
Розрахунковий перетин дроту, мм ²																
2.00	1.463	1.545	1.626	1.706	1.785	1.905	2.025	2.145	2.265	2.425	2.585	-	-	-	-	-
2.12	1.559	-	1.734	-	1.905	-	2.160	-	2.435	-	2.753	-	-	-	-	-
2.24	1.655	1.749	1.842	1.934	2.025	2.160	2.429	2.429	2.585	2.742	2.921	3.145	3.369	-	-	-
2.36	1.751	-	1.950	-	2.145	-	2.429	-	2.755	-	3.089	-	3.561	-	-	-
2.50	1.863	1.970	2.076	2.181	2.285	2.435	2.585	2.736	2.910	3.085	3.285	3.535	3.785	3.887	4.137	-
2.65	1.983	-	2.211	-	2.435	-	2.753	-	3.098	-	3.495	-	4.025	-	4.407	-
2.80	2.103	2.225	2.346	2.466	2.585	2.753	2.921	3.089	3.285	3.481	3.705	3.985	4.265	4.397	4.677	4.957
3.00	2.263	-	2.526	-	2.785	-	3.145	-	3.535	-	3.985	-	4.585	-	5.038	-
3.15	2.363	2.522	2.661	2.799	2.935	3.124	3.313	3.502	3.723	3.943	4.195	4.510	4.825	4.992	5.307	5.622
3.35	2.543	-	2.841	-	3.135	-	3.537	-	3.973	-	4.475	-	5.145	-	5.667	-
3.55	2.703	2.862	3.021	3.179	3.335	3.548	3.761	3.974	4.223	4.471	4.755	5.110	5.465	5.672	6.027	6.382
3.75	2.863	-	3.201	-	3.535	-	3.985	-	4.473	-	5.035	-	5.785	-	6.387	-
4.00	3.063	3.245	3.426	3.606	3.785	4.025	4.265	4.505	4.785	5.065	5.385	5.785	6.185	6.437	6.837	7.237
4.25	3.263	-	3.651	-	4.035	-	4.545	-	5.098	-	5.735	-	6.385	-	7.287	-
4.50	3.463	3.670	3.876	4.081	4.285	4.555	4.825	5.095	5.410	5.725	6.085	6.535	6.985	7.287	7.737	8.187
4.75	3.663	-	4.101	-	4.535	-	5.105	-	5.723	-	6.435	-	7.385	-	8.188	-
5.00	3.863	4.095	4.326	4.556	4.785	5.085	5.385	5.685	6.035	6.385	6.785	7.285	7.885	8.137	8.637	9.137
5.30	4.103	-	4.596	-	5.085	-	5.721	-	6.410	-	7.205	-	8.265	-	9.177	-
5.60	4.343	4.605	4.866	5.126	5.385	5.721	6.057	6.393	6.785	7.177	7.625	8.185	8.745	9.157	9.717	10.28
6.00	4.663	-	5.226	-	5.785	-	6.505	-	7.285	-	8.185	-	9.385	-	10.44	-
6.30	4.903	5.200	5.496	5.791	6.085	6.463	6.841	7.219	7.660	8.101	8.605	9.235	9.865	10.35	10.98	11.61
6.70	-	-	5.856	-	6.485	-	7.289	-	8.160	-	9.165	-	10.51	-	11.70	-
7.10	-	-	6.216	6.551	6.885	7.311	7.737	8.163	8.660	9.157	9.725	10.44	11.15	11.71	12.42	13.14
7.50	-	-	-	-	7.285	-	8.185	-	9.160	-	10.29	-	11.79	-	13.14	-
8.00	-	-	-	-	7.785	8.265	8.745	9.225	9.785	10.35	10.99	11.79	12.59	13.24	14.04	14.84
8.50	-	-	-	-	-	-	9.305	-	10.41	-	11.69	-	13.39	-	14.94	-
9.00	-	-	-	-	-	-	9.865	10.41	11.04	11.67	12.39	13.29	14.19	14.94	15.84	16.74
9.50	-	-	-	-	-	-	-	-	11.66	-	13.09	-	14.99	-	16.74	-
10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	12.29	12.99	13.79	14.79	15.79	16.64	18.64	19.64
10.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.63	-	16.57	-	18.72	-
11.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.47	16.59	17.71	18.68	19.80	20.92
11.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.67	-	20.88	-
12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.79	20.89	22.14
														23.39	24.62	26.14

Продовження табл. 2.5

Номинальний розмір дроту по більшій стороні b_1 , мм	Номинальний розмір дроту по меншій стороні a , мм													
	3,28	3,35	3,53	3,55	3,75	3,80	4,00	4,10	4,25	4,40	4,50	4,70	4,75	
Розрахунковий перетин дроту, мм ²														
10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,2	-	37,97	-	39,21	41,14	-	43,94	-	46,74	-	49,54	-	52,34	-
11,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,8	-	-	-	41,34	-	-	46,34	-	-	-	52,24	-	-	-
12,5	-	41,33	-	43,83	46,02	-	49,14	-	52,27	-	55,39	-	58,52	-
13,2	-	-	-	46,31	-	-	51,94	-	-	-	58,54	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14,0	-	46,35	-	49,15	51,95	-	55,14	-	58,64	-	62,14	-	65,64	-
14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	52,70	-	-	59,14	-	-	-	66,64	-	-	-
15,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,0	-	53,05	-	56,25	59,14	-	63,14	-	67,14	-	71,14	-	75,14	-
16,8	54,62	-	58,82	-	-	63,36	-	68,02	-	73,06	-	78,10	-	-
18,0	58,56	-	63,06	-	-	67,92	-	72,94	-	78,34	-	83,74	-	-
19,5	63,48	-	68,35	-	-	73,62	-	79,09	-	84,94	-	90,79	-	-
20,0	-	-	-	-	-	-	79,52	-	-	-	-	-	-	-
22,0	71,68	-	77,18	-	-	83,12	-	89,34	-	95,94	-	102,54	-	-
25,0	81,52	-	87,77	-	-	94,52	99,52	101,64	-	109,14	-	116,40	-	-
26,3	-	-	92,36	-	-	99,46	-	106,97	-	114,86	-	122,75	-	-
28,0	-	-	-	-	-	105,92	111,94	113,94	-	122,34	-	130,74	-	-
30,0	-	-	-	-	-	113,52	119,52	122,14	-	131,14	-	140,14	-	-
32,0	-	-	-	-	-	-	-	130,34	-	139,94	-	149,54	-	-

Продовження табл. 2.5

Номинальний розмір дроту по більшій стороні <i>b</i> , мм	Номинальний розмір дроту по меншій стороні <i>a</i> , мм													
	5,00	5,10	5,30	5,50	5,60	6,00	6,50	7,00	8,00	9,00	10,0	11,0	12,5	
Розрахунковий перетин дроту, мм²														
10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	96,34	-	-	-	
11,2	55,14	-	58,50	-	61,86	-	-	-	-	-	-	-	-	
11,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	103,54	-	-	-	
11,8	58,14	-	-	-	65,22	-	-	-	-	-	-	-	-	
12,5	61,64	-	65,39	-	69,14	-	-	-	99,14	111,64	124,14	136,66	-	
13,2	65,14	-	-	-	73,06	-	-	-	-	-	-	-	-	
13,5	-	-	-	-	-	-	-	93,64	107,14	120,64	-	-	-	
14,0	69,14	-	73,34	-	77,54	-	-	-	-	-	-	-	-	
14,5	-	-	-	-	-	-	93,39	100,64	115,14	129,64	-	-	-	
15,0	74,14	-	-	-	83,14	-	-	-	-	-	-	-	-	
15,6	-	-	-	-	-	-	100,54	108,34	123,94	139,54	154,14	-	-	
16,0	79,14	-	83,94	-	88,74	95,14	-	-	127,14	-	-	-	-	
16,8	-	84,82	-	91,54	-	99,94	108,34	116,74	133,54	-	-	-	-	
18,0	-	90,94	-	98,14	-	107,14	116,14	125,14	143,14	-	-	-	-	
19,5	-	98,59	-	106,39	-	116,14	125,89	135,64	155,14	-	-	-	-	
20,0	99,14	-	-	-	-	119,14	-	-	159,14	-	-	-	-	
22,0	-	111,34	-	120,14	-	131,14	142,14	153,14	-	-	-	-	-	
25,0	124,14	126,64	-	136,64	-	149,14	161,64	174,14	-	-	-	-	-	
26,3	-	133,27	-	143,79	-	158,94	170,09	183,24	-	-	-	-	-	
28,0	-	141,94	-	153,14	-	167,14	181,14	195,14	-	-	-	-	-	
30,0	149,14	152,14	-	164,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
32,0	-	162,34	-	175,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Примітка. Дріт з розмірами, розташованими в межах обмежених зверху й знизу жирною лінією, може виготовлятися у вигляді обмотувального проводу марок ПЭТВП ПЭТП-155 з награвостійкою високоміцною емалевою ізоляцією, у межах обмежених тонкою лінією, марок ПСД і ПСДК з ізоляцією з безлужного скловолокна з підклеюванням і просоченням награвостійким або кремнійорганичним лаком, у межах обмежених штрих пунктирною лінією, марки ПСДКТ з уточненою ізоляцією з безлужного скловолокна з підклеюванням

3 РОЗРАХУНОК ГЕОМЕТРІЇ ЗУБЦЕВОЇ ЗОНИ

Розрахунок ведеться в наступному порядку.

3.1 Площа поперечного перетину обмотки, покладеної в один напівзакритий паз, м^2 :

$$S_0 = \frac{2 \cdot d_{iz}^2 \cdot n_{el} \cdot u_n \cdot W_c}{K_3}$$

де d_{iz} – діаметр одного ізолюваного проводу, м^2 ; n_{el} – число елементарних провідників в одному ефективному; W_c – число витків у секції; u_n – число елементарних пазів в одному реальному; K_3 – коефіцієнт заповнення паза ізолюваними провідниками $K_3 = 0.68 \div 0.72$.

3.2 Висота паза h_n попередньо вибирається по рис 3.1, ширина шліца $b_{ш}$ повинна бути більше суми максимального діаметра ізолюваного провідника й двосторонньої товщини пазової ізоляції. Висота шліца $h_{ш} = (0.5 \div 0.8) \text{мм}$.

3.3. Ширина зубця:

$$b_z = \frac{B_\delta \cdot t_1}{B_z \cdot k_c}, \text{ м},$$

де B_z – припустиме значення індукції в зубцях по табл. 3.1; k_c – коефіцієнт заповнення пакета якоря сталлю, $k_c = 0.95$.

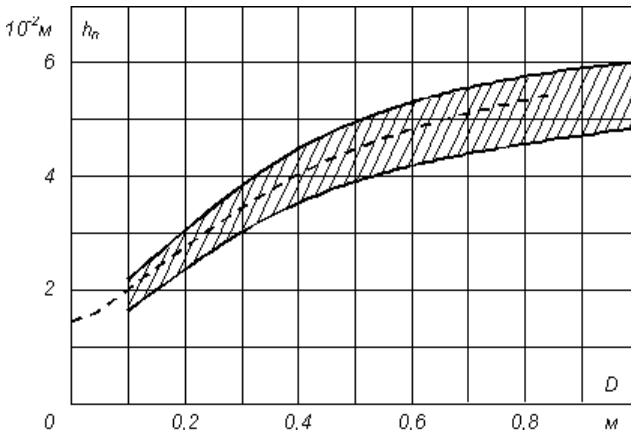


Рисунок 3.1 - Залежність висоти паза від діаметра якоря

Таблиця 3.1 - Значення магнітної індукції в зубцях якорів з овальними пазами

Виконання машини	Магнітна індукція B_z , Тл, при частоті перемагнічування, Гц			
	100	75	50	25 і нижче
IP22, IC01, IC17, IP44, IC37	1.65–1.85	1.75–1.95	1.85–2.05	1.9–2.1
IP44, IC0141	1.4–1.6	1.5–1.7	1.55–1.75	1.6–1.8
IP44, IC0041	1.3–1.5	1.3–1.6	1.5–1.7	1.55–1.75

3.4 Великий радіус паза:

$$h_1 = h_n - h_{uu} - r_1 - r_2, \text{ м.}$$

3.5. Мінімальний перетин зубців якоря:

$$S_z = \frac{Z}{2 \cdot p} \alpha_\delta \cdot b_z \cdot l_\delta \cdot k_c.$$

$$r_1 = \frac{\pi \cdot (D - 2 \cdot h_{uu}) - Z \cdot b_z}{2 \cdot (Z + \pi)}, \text{ м.}$$

3.6 Менший радіус паза:

$$r_2 = \frac{\pi \cdot (D - 2 \cdot h_n) - Z \cdot b_z}{2 \cdot (Z - \pi)}, \text{ м.}$$

3.7 Відстань між центрами радіусів:

Складається ескіз пазів овальної форми по рис. 3.2.

При прямокутній формі паза (рис. 3.3) попередньо необхідно задатися висотою паза h_i по рис. 3.1. Ширина зубця в мінімальному перетині b_{z3} (у основи паза) визначається припустимою індукцією $B_{z \max}$, значення якої можна прийняти по табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Індукція в мінімальному перетині зубців якорів із прямокутними пазами

Виконання двигунів по ступені захисту й способу охолодження	Магнітна індукція B_z , Тл, при частоті перемагнічування, Гц			
	100	75	50	25 і нижче
IP22, IC01, IC17, IP44, IC37	1.9–2.1	2.0–2.2	2.1–2.3	2.2–2.4
IP44, IC0141	1.6–1.8	1.7–1.9	1.8–2.0	1.9–2.1
IP44, IC0041	1.5–1.7	1.6–1.8	1.7–1.9	1.8–2.0

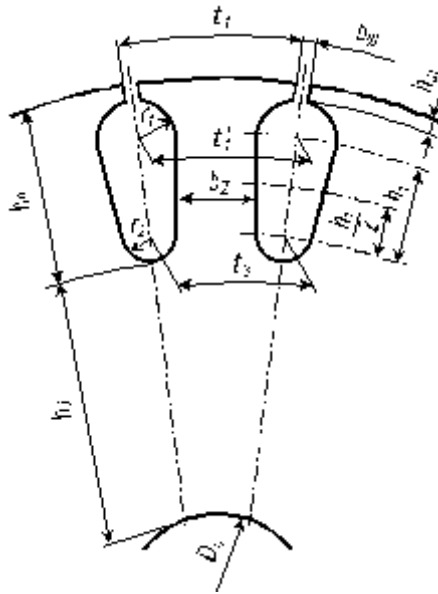


Рисунок 3.2 - Напівзакриті пази овальної форми з паралельними сторонами зубців

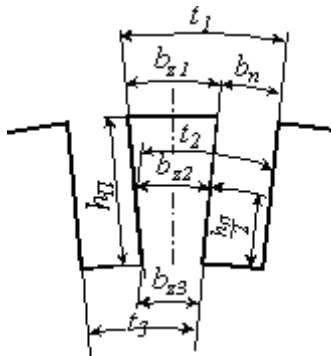


Рисунок 3.3 - Відкриті пази з паралельними стінками
при кріпленні обмоток бандажем

Якоря машин постійного струму загального призначення із прямокутними пазами при діаметрах понад 0.2 м мають аксіальні вентиляційні канали. При діаметрах до 0.3 м досить виконати один ряд каналів діаметром від 15 до 22 мм при числі каналів від 18 до 25. При

діаметрах вище 0.3 м (до 0.5 м) виконують два ряди каналів діаметром від 24 до 34 мм із числом каналів від 24 до 30.

При діаметрах якоря до 0.5 м пакет магнітопроводу насаджується безпосередньо на вал. Внутрішній діаметр сердечника в цьому випадку приймається рівним:

$$D_0 \approx 0.3 \cdot D \text{ або } D_0 \approx 273 \sqrt{\frac{P_n}{n_n}},$$

де P_n – номінальна потужність машини, кВт; n_n – номінальна частота обертання, об/хв.

Розміри паза h_n і b_n і спинки якоря h_j уточнюються після перевірки індукції в спинці якоря B_j , що не повинна перевищувати меж значень, наведених у табл. 3.3.

Таблиця 3.3- Гранично припустимі значення магнітної індукції в спинці якоря

Виконання машини	Магнітна індукція B_j , Тл, при частоті переманічування, Гц	
	50–100	До 50
IP22, IC01, IP22, IC17, IP44, IC37	1.4	1.45
IP44, IC0141	1.15	1.2
IP43, IC0041	1.05	1.1

Після вибору розмірів паза й зубця встановлюються по розміщенню в пазу провідників і ізоляції (див. табл. 2.3) ширина й висота провідників.

Максимальна ширина провідника з ізоляцією:

$$b_{np} = \frac{b_n - b_{i3}}{u_n}, \text{ м (мм)}.$$

Гранично припустима висота провідника з ізоляцією:

$$a_{np} = \frac{h_n - h_{i3} - h_k}{2 \cdot W_c},$$

де h_k – висота клина.

Кріплення клинами застосовується при $D > 0.33$ м.

При кріпленні обмоток бандажами ($D = 0.22 \div 0.33$) замість h_k підставляють $h_g \approx 0.01 \cdot D$ – висота бандажів канавки.

З метою зменшення ефекту витиснення струму в провідниках обмотки якоря й зниження додаткових втрат висота елементарного провідника повинна бути не більше 4 мм при $f > 100$ Гц, 7 мм при $f = 50$, 10 мм при $f < 25$ Гц.

У цьому випадку допускається ефективний провідник підрозділяти по висоті на два елементарних провідників, кожний з яких має висоту не більше припустимої для даної частоти.

По розмірах $a_{np} \times b_{np}$ по табл. 2.5 вибирається стандартний провідник марки ПЕТВП при класі ізоляції В і ПЕТП–155 при класі ізоляції F.

Після перевірки розміщення всіх провідників обмотки якоря в пазу з урахуванням клина, пазової виткової ізоляції уточнюються розміри паза, які округляються до найближчої десятої частки міліметра.

Мінімальний перетин зубців при прямокутних пазах:

$$S_{z \min} = \frac{Z}{2 \cdot p} \alpha_{\delta} \cdot b_{z3} \cdot l_{\delta} \cdot k_c, \text{ м}^2.$$

3.8 Попереднє значення ЕРС:

$$E_n = K_e \cdot U_n - \text{для генератора};$$

$$E_n = K_o \cdot U_n - \text{для двигуна};$$

де K_e і K_o по табл. 1.1.

3.9 Попереднє значення магнітного потоку на полюс:

$$\Phi_{\delta.n} = \frac{60 \cdot E_n}{p \cdot N \cdot n_n}, \text{ Вб.}$$

3.10 Для магнітопроводу якоря приймається сталь марки 2312. Індукція в перетині зубців:

$$- \text{при овальних пазах } B_z = \frac{\Phi_{\delta.n}}{S_z}, \text{ Тл};$$

$$- \text{при прямокутних пазах } B_{z \max} = \frac{\Phi_{\delta.n}}{S_{z \min}}, \text{ Тл.}$$

4 РОЗРАХУНОК ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Розрахунок ведеться в наступній послідовності:

4.1 Довжина лобової частини витка

$$l_{\text{л}} \approx (1.2 \div 1.35) \cdot \tau, \text{ м, при } 2p = 4;$$

$$l_{\text{л}} \approx 0.9 \cdot \tau, \text{ м, при } 2p = 2.$$

4.2 Середня довжина напіввитка обмотки якоря

$$l_{a.\text{сеп}} = l_n + l_{\text{л}}, \text{ м,}$$

де l_n – довжина якоря, приблизно для машин без радіальної вентиляції $l_i \approx l_{\delta}$.

4.3 Повна довжина провідників обмотки якоря $L_{\text{ма}} = N \cdot l_{a.\text{сеп}}$.

4.4 Опір обмотки якоря при температурі $\nu = 20^{\circ}\text{C}$

$$R_a = \frac{L_{\text{ма}}}{57 \cdot 10^6 \cdot q_a \cdot (2 \cdot a)^2}, \text{ Ом.}$$

4.5 Опір обмотки якоря при температурі $\nu = 75^{\circ}\text{C}$

$$R_{a.\text{н}} = 1.22 \cdot R_a, \text{ Ом}$$

4.6 Маса міді обмотки якоря

$$M_{\text{ма}} = 8900 \cdot l_{a.\text{сеп}} \cdot N \cdot q_a, \text{ кг.}$$

4.7 Розрахунок кроків обмотки.

Крок по колекторі y_k :

- проста петльова обмотка $y_k = +1$;

– проста хвильова обмотка $y_k = \frac{K-1}{p}$.

Результуючий крок $y = y_k$.

Перший частковий крок $y_1 = \frac{K}{2 \cdot p} \pm \alpha$, де α – дробове число, за

допомогою якого y_1 округляється до цілого числа.

Другий частковий крок y_2 :

- проста петльова обмотка $y_2 = y_1 - y$;

– проста хвильова обмотка $y_2 = y - y_1$.

5 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ МАГНІТНОГО ЛАНЦЮГА

Розміри магнітного ланцюга визначаються в наступній послідовності:

5.1 Попереднє значення внутрішнього діаметра якоря й діаметра валу

$$D_0 = 27 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_n}{n_n}}, \text{ м.}$$

5.2 Висота спинки якоря (див. рис. 3.2)

$$h_j = \frac{D - D_0}{2} - h_n, \text{ м.}$$

Магнітна індукція в спинці якоря:

$$B_j = \frac{\Phi_{\delta.n}}{2 \cdot S_j},$$

де $S_j = l \cdot (h_j - 2/3 \cdot d) k_c$ – площа поперечного переріза спинки якоря з урахуванням аксіальних каналів діаметром d ; $k_c = 0.95$; $l \approx l_\delta$.

Гранично припустиме значення магнітної індукції в спинці якоря $B_j = (1.4 \div 1.45) \text{ Тл.}$

5.3 Для осердя головних полюсів приймається сталь марки 3411 товщиною 0.5 мм з коефіцієнтом розсіювання σ_e , коефіцієнтом заповнення сталлю $k_c = 0.95$.

Довжина осердя $l_e \approx l_\delta$. Ширина виступу полюсного наконечника $b_{m.e}$.

Приймають $\sigma_{\bar{a}} = 1.15$ при $2p = 2$, $\sigma_e = 1.2$ при $2p = 4$ і $\sigma_e = 1.25$ при $2p = 6$.

Ширина виступу полюсного наконечника

$$b_{e.e} = (0.1 \div 0.2) \cdot b_p,$$

де b_p з п. 1.13.

5.4 Ширина осердя головного полюса $b_e = b_p - 2 \cdot b_{e.e}$, м.

5.5 Індукція осердя

$$B_z = \frac{\sigma_z \cdot \Phi_{\delta.H}}{k_c \cdot b_z \cdot l_z}, \text{ Тл.}$$

Для сталі 3411 гранично припустима індукція $B_z = (1.6 \div 1.7)$ Тл.

5.6 Перетин станини

$$S_c = \frac{\sigma_z \cdot \Phi_{\delta.H}}{2 \cdot B_c},$$

де B_c – індукція в станині, $B_c = 1.3$ Тл.

5.7 Довжина станини

$$l_c = l_z + 0.4 \cdot D, \text{ м,}$$

де l_z з п. 5.3.

5.8 Висота станини

$$h_c = \frac{S_c}{l_c}, \text{ м.}$$

5.9 Зовнішній діаметр станини

$$D_H = 2 \cdot h - (8 \div 10) \cdot 10^{-3}, \text{ м.}$$

5.10 Внутрішній діаметр станини

$$d_c = D_H - 2 \cdot h_c, \text{ м.}$$

5.11 Висота головного полюса

$$h_z = \frac{d_c - D}{2} - 2 \cdot S, \text{ м.}$$

де δ – повітряний зазор по рис. 5.1.

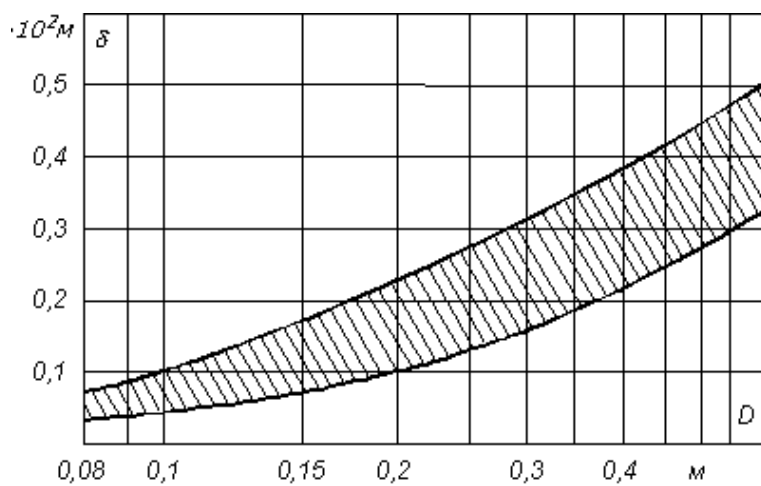


Рисунок 5.1 - Попереднє визначення повітряного зазору по діаметру якоря

6 РОЗРАХУНКОВІ ПЕРЕТИНИ МАГНІТНОГО ЛАНЦЮГА

6.1 Перетин повітряного зазору:

$$S_s = b_p \cdot l_s,$$

де b_p з п. 1.13; l_s з п. 1.8.

6.2 Довжина стали якоря:

$$l_c = l_s \cdot k_c,$$

де $k_c = 0.95$.

6.3 Мінімальний перетин зубців якоря S_z з п. 3.7.

6.4 Перетин спинки якоря:

$$S_j = l_c \cdot h_j,$$

де l_c з п. 6.2; h_j з п. 5.2.

6.5 Перетин сердечників головних полюсів:

$$S_e = k_c \cdot l_e \cdot b_e,$$

де $k_c = 0.95$; l_e з п. 5.3; b_e з п. 5.4.

6.6 Перетин станини: S_c з п. 5.6.

7 СЕРЕДНІ ДОВЖИНИ МАГНІТНИХ ЛІНІЙ

7.1 Повітряний зазор δ з п. 5.11 або по рис. 5.2.

7.2 Коефіцієнт повітряного зазору, що враховує наявність пазів на якорі:

$$K\delta_a = \frac{t_1 + 10 \cdot \delta}{t_1 - b_{iu} + 10 \cdot \delta} - \text{для паза овальної форми;}$$

$$K\delta_a = \frac{t_1 + 10 \cdot \delta}{b_{z1} + 10 \cdot \delta} - \text{для паза прямокутної форми,}$$

де $b_{z1} = t_1 - b_n$.

7.3 Розрахункова довжина повітряного зазору

$$L_\delta = K\delta_a \cdot \delta, \text{ м.}$$

7.4 Зубці якоря

$$L_z = h_n - 0.2 \cdot r_1 - \text{для пазів овальної форми;}$$

$$L_z = h_i - \text{для пазів прямокутної форми,}$$

де r_1 з п. 3.4, h_n з п. 3.2.

7.5 Спинка якоря

$$L_j = \frac{\pi(D_0 + h_j)}{4 \cdot p} + \frac{h_j}{2},$$

де D_0 з п. 3.7; h_j з п. 5.2.

7.6 Сердечник головного полюса

$$L_e = h_e,$$

де h_e з п. 5.11.

7.7 Повітряний зазор між головним полюсом і станиною

$$L_{c.n} = 2 \cdot l_e \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-4}, \text{ м.}$$

7.8 Станина

$$L_c = \frac{\pi(D_n + h_c)}{4 \cdot p} + \frac{h_c}{2},$$

де D_n з п. 5.9; h_c із п. 5.8.

8 ІНДУКЦІЯ В РОЗРАХУНКОВИХ ПЕРЕТИНАХ МАГНІТНОГО ЛАНЦЮГА

8.1 Індукція в повітряному зазорі

$$B_{\delta,n} = \frac{\Phi_{\delta,n}}{S_{\delta}}, \text{Тл},$$

де $\Phi_{\delta,n}$ з п. 3.9; S_{δ} з п. 6.1.

8.2 Індукція в перетині зубців якоря

$$B_z = \frac{\Phi_{\delta,n}}{S_z}, \text{Тл},$$

де S_z з п. 6.3.

8.3 Індукція в спинці якоря

$$B_j = \frac{\hat{O}_{\delta,n}}{S_j}, \text{Тл},$$

де S_j з п. 6.4.

8.4 Індукція в сердечнику головного полюса

$$B_{\sigma} = \frac{\delta_{\sigma} \cdot \Phi_{\delta,n}}{S_{\sigma}}, \text{Тл},$$

де S_{σ} з п. 6.5. Для сталі 3411 припустиме значення $B_{\sigma} \leq 1.5$ Тл.

8.5 Індукція в станині

$$B_c = \frac{\sigma_{\sigma} \cdot \Phi_{\delta,n}}{2 \cdot S_c}, \text{Тл},$$

де S_c із п. 6.6.

9 МАГНІТНА НАПРУГА ОКРЕМИХ ДІЛЯНОК МАГНІТНОГО ЛАНЦЮГА

9.1 Магнітна напруга повітряного зазору

$$F_{\delta} = 1.6 \cdot B_{\delta} \cdot L_{\delta} \cdot 10^6, \text{ А.}$$

9.2 Коефіцієнт витиснення потоку

$$K_z = \frac{t_1 \cdot l_{\delta}}{b_z \cdot l_c}.$$

9.3 Магнітна напруга зубців якоря

$$F_z = 2 \cdot H_z \cdot L_z, \text{ А,}$$

де H_z – визначається по B_z з табл. 9.1 для сталі 2312.

9.4 Магнітна напруга спинки якоря

$$F_j = H_j \cdot L_j, \text{ А,}$$

де H_j – визначається по B_j з табл. 9.1 для сталі 2312.

Таблиця 9.1 - Основна крива намагнічування, сталь 2211 і 2312

B, Тл	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
H, А/м										
0.4	68	69	70	71	72	73	73	74	75	75
0.5	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
0.6	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
0.7	96	99	103	108	113	118	123	126	131	135
0.8	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185
0.9	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235
1.0	240	246	252	258	264	270	276	282	288	294
1.1	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
1.2	400	410	420	430	440	450	460	470	500	520
1.3	550	580	610	650	690	730	780	830	880	940
1.4	1000	1060	1120	1180	1240	1300	1360	1420	1480	1540
1.5	1600	1750	1900	2050	2200	2350	2500	270	2900	3100
1.6	3400	3600	3800	4100	4400	4700	5300	5900	6500	7100
1.7	7700	8200	8900	9400	10000	10600	11100	11700	12200	12800
1.8	13400	14000	14600	15200	15800	16400	17000	17600	18200	18800
1.9	19400	20000	21800	23700	25700	27800	30000	32200	34400	36600
2.0	38800	41000	43200	45400	47600	49800	52000	54500	57500	60500
2.1	65500	72500	80000	88000	96000	104000	112000	120000	128000	136000
2.2	144000	152000	160000	168000	176000	184000	192000	200000	208000	216000
2.3	224000	232000	240000	248000	256000	264000	272000	280000	288000	296000
2.4	304000	312000	320000	328000	336000	344000	352000	360000	368000	376000

9.5 Магнітна напруга сердечника головного полюса

$$F_z = 2 \cdot H_z \cdot L_z, \text{ А},$$

де H_z – визначається по B_z із табл. 9.2 для сталі 3413.

9.6 Магнітна напруга повітряного зазору між головним полюсом і станиною.

$$F_{c,n} = 1.6 \cdot B_z \cdot L_{c,n}, \text{ А}.$$

9.7 Магнітна напруга станини (сталь Ст.3).

$$F_c = H_c \cdot L_c, \text{ А},$$

де H_c - визначається по B_c із табл. 9.3.

9.8 Сумарна МРС на парі полюсів:

$$F_\alpha = F_\delta + F_z + F_j + F_z + F_{c,n} + F_c, \text{ А}.$$

9.9 МРС перехідного шару.

$$F_{\delta,zj} = F_z + F_j + F_\delta.$$

Аналогічним образом вироблятися розрахунок для потоків, рівних 0.5; 0.75; 1.1; 1.15; номінального значення. Результати розрахунку зводяться в табл. 9.4. Будуються характеристика намагнічування $B_\delta = f(F_\alpha)$ і перехідна характеристика $B_\delta = f(F_{\delta,zj})$.

Таблиця 9.2 - Листова електротехнічна сталь (холоднокатана) марки 3413

В, Тл	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
	H, А/м									
0.6	81	83	85	87	89	91	93	95	97	99
0.7	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128
0.8	130	132	134	136	138	140	142	144	146	149
0.9	152	155	158	161	164	167	170	173	176	179
1.0	182	185	188	192	195	198	201	204	207	210
1.1	213	216	219	222	225	228	231	234	237	240
1.2	243	246	249	252	255	258	261	264	267	271
1.3	275	279	283	287	291	295	300	305	310	315
1.4	320	326	332	338	344	350	358	366	374	382
1.5	390	402	414	426	438	450	464	478	492	506
1.6	520	544	566	588	610	632	665	698	732	766
1.7	800	840	890	940	990	1040	1132	1224	1316	1408
1.8	1500	1542	1700	1922	2144	2366	2588	2820	3080	3450
1.9	3825	4200	4600	5200	5800	7000	8200	9400	10900	13400
2.0	16000	20000	25000	30000	-	-	-	-	-	-

Таблиця 9.3 - Лита сталь, товсті листи (Ст3), кування

В, Тл	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
	Н, А/м									
0	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72
0.1	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152
0.2	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232
0.3	240	248	250	264	272	280	288	296	304	312
0.4	320	328	336	344	352	360	368	376	384	392
0.5	400	404	417	426	434	443	452	461	470	479
0.6	488	497	506	516	525	535	544	554	564	574
0.7	584	593	603	613	623	632	642	652	662	672
0.8	682	693	703	724	734	745	755	766	776	787
0.9	798	810	823	835	848	850	873	885	898	911
1.0	924	938	953	969	986	1004	1022	1039	1056	1073
1.1	1090	1108	1127	1147	1167	1187	1207	1227	1248	1269
1.2	1290	1315	1340	1370	1400	1430	1460	1490	1520	1555
1.3	1590	1630	1670	1720	1760	1810	1860	1920	1970	2030
1.4	2090	2160	2230	2300	2370	2440	2530	2620	2710	2800
1.5	2890	2990	3100	3210	3320	3430	3560	3700	3830	3960
1.6	4100	4250	4400	4550	4700	4870	5000	5150	5300	5500

Таблиця 9.4 - Розрахунок характеристики намагнічування машини

№ п.п.	Розрахункова величина	Розрахункова формула	Одиниці виміру	$F_{\delta H}^{0.5}$	$F_{\delta H}^{0.75}$	$F_{\delta H}^{0.9}$	$F_{\delta H}$	$F_{\delta H}^{1.1}$	$F_{\delta H}^{1.15}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ЕРС	Е	В						
2	Магнітний потік	$\Phi_{\delta} = \frac{60 \cdot a \cdot E}{p \cdot N \cdot n}$	Вб						
3	Магнітна індукція в повітряному зазорі	$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{\alpha_{\delta} \cdot \tau_{\delta}}$	Тл						
4	МРС повітряного зазору	$F_{\delta} = 1.6 \cdot B_{\delta} \cdot L_{\delta} \cdot 10^6$	А						
5	Магнітна індукція в зубцях якоря	$H_{z1} = k_{z1} \cdot B_{\delta}$ $H_{z2} = k_{z2} \cdot B_{\delta}$ $H_{z3} = k_{z3} \cdot B_{\delta}$	Тл Тл Тл						

Продовження таблиця 9.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Напруженість магнітного поля в зубцях якоря	H_{z1} H_{z2} H_{z3}	А/м						
7	Середня напруженість магнітного поля в зубцях	$H_{z.cep} = \frac{H_{z1} + 4 \cdot H_{z2} + H_{z3}}{6}$	А/м						
8	Магнітна напруга зубців	$F_z = 2 \cdot L_z \cdot H_{z.cep}$	А						
9	Магнітна індукція в спинці якоря	$B_j = \Phi_\delta / 2S_j$	Тл						
10	Напруженість магнітного поля в спинці якоря	H_j	А/м						
11	Магнітна напруга в спинці якоря	$F_j = L_j \cdot H_j$	А						
12	Магнітний потік головного полюса	$\Phi_\epsilon = \sigma_\epsilon \cdot \Phi_\delta$	Вб						
13	Магнітна індукція в сердечнику головного полюса	$B_\epsilon = \frac{\Phi_\epsilon}{S_\epsilon}$	Тл						
14	Напруженість магнітного поля в сердечнику головного полюса	H_ϵ	А/м						
15	Магнітна напруга сердечника головного полюса	$F_\epsilon = 2 \cdot L_\epsilon \cdot H_\epsilon$	А						

Продовження таблиця 9.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	Магнітна індукція в зубцях наконечника головного полюса (компенсаційної обмотки)	$B_{zk} = \frac{\sigma_z \cdot \Phi_\delta}{S_{k.n}}$	Тл						
17	Напруженість магнітного поля в зубцях компенсаційної обмотки	H_{zk}	А/м						
18	Магнітна напруга зубців наконечника головного полюса	$F_{n.k} = L_{n.k} \cdot H_{zk}$	А						
19	Магнітна індукція в повітряному зазорі між головним полюсом і станиною	$B_{c.n} = B_z$	Тл						
20	Магнітна напруга повітряного зазору між станиною й головним полюсом	$F_{c.n} = 1.6 \cdot B_z \cdot L_{c.n}$	А						
21	Магнітна індукція в станині	$B_c = \frac{\sigma_z \cdot \Phi_\delta}{2 \cdot S_c}$	Тл						
22	Напруженість магнітного поля в станині	H_c	А/м						
23	Магнітна напруга станини	$F_c = L_c \cdot H_c$	А						
24	Сума магнітних напруг всіх ділянок магнітного ланцюга	$F_\delta + F_z + F_j + F_z + F_{zk} + F_{c.n} + F_c = F_\Sigma$	А						
25	Сума магнітних напруг ділянок перехідного шару	$F_z + F_j + F_\delta = F_{\delta.zj}$	А						

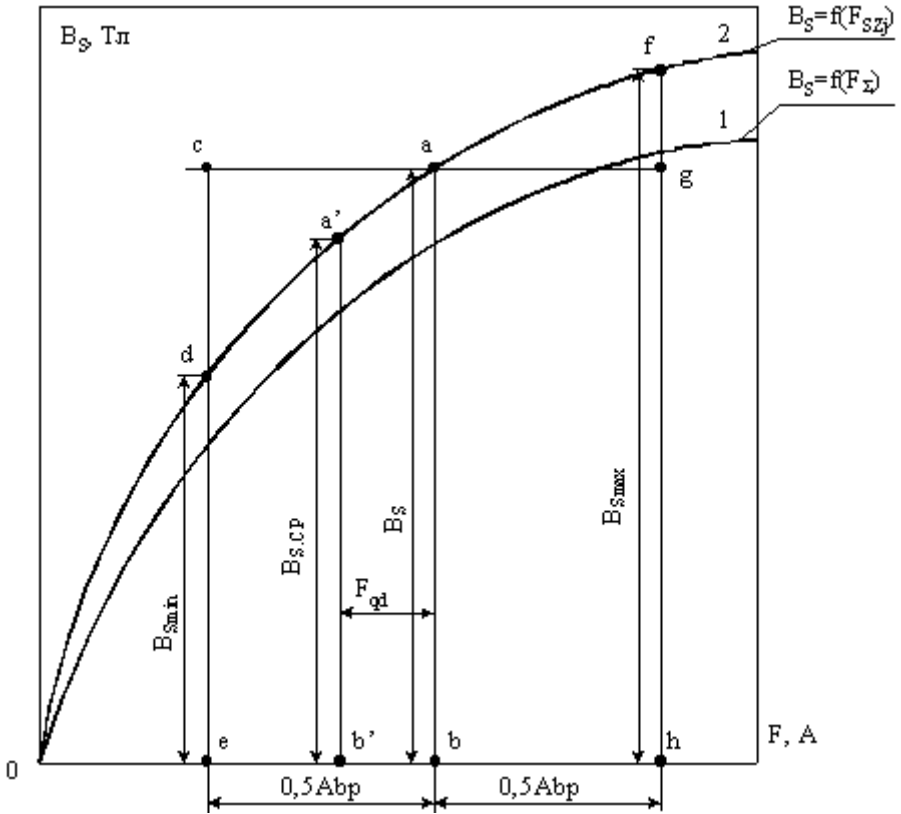


Рисунок 9.1 - Характеристика холостого хода

1 - $B_s = f(F_z)$, 2 - переходна характеристика $B_s = f(F_{s,zj})$

10 РОЗРАХУНОК ПАРАЛЕЛЬНОЇ ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ

10.1 Розмагнічуюча дія реакції якоря F_{qd} визначається з перехідної характеристики $B_{\delta} = f(F_{\delta.zj})$ рис. 9.1 (2).

При навантаженні під дією реакції якоря магнітне поле в повітряному зазорі спотворюється: під одним краєм полюса індукція зменшується, під іншим зростає. Точки **d** і **f** відкладаються від ординати **ab** на відстані $0.5A \cdot b_p$ (b_p – ширина полюсної дуги з п. 1.13). Ордината **ab** дорівнює B_{δ} для $\Phi_{\delta.n}$ з табл. 9.4.

Ординатою **ae** визначається $B_{\delta.min}$, а ординатою **fh** – $B_{\delta.max}$.

Середнє значення індукції визначається рівнянням

$$B_{\delta.cep} = \frac{B_{\delta.min} + 4 \cdot B_{\delta} + B_{\delta.max}}{6}, \text{ Тл.}$$

Потім на перехідній характеристиці відкладається ордината **a'b'**, рівна $B_{\delta.cep}$.

Абсциса **bb'** визначить дія, що розмагнічує, реакції якоря F_{qd} .

10.2 Необхідна МРС паралельної обмотки

$$F_{\text{зб}} = F_{\alpha} + F_{dq}, \text{ А.}$$

10.3 Середня довжина витка котушки паралельної обмотки

$$l_{\text{зб.cep}} = 2(l_z + b_z) + \pi(b_{\text{кт.зб}} + 2 \cdot \Delta_z), \text{ м,}$$

де l_z з п. 5.3; b_z з п. 5.4.

Ширина котушки $b_{\text{кт.зб}}$ з таблиці 10.1

Таблиця 10.1 - Розміри катушок обмотки

D, м	0.09	0.106	0.110	0.132	0.156	0.18
$b_{\text{кт.зб}}, \text{ кг}$	0.02	0.0032	0.024	0.025	0.025	0.03
$\times h, \text{ кг}$	$\times 0.019$	$\times 0.018$	$\times 0.035$	$\times 0.03$	$\times 0.038$	$\times 0.04$

Товщина ізоляції Δ_{iz} приймається приблизно $(0.5 \div 0.8) \cdot 10^{-3}$ м при діаметрах якоря до 0.5 м.

10.4 Перетин міді паралельної обмотки:

$$q_{\text{зб}} = \frac{K_{\text{з.зб}} \cdot m \cdot p \cdot F_{\text{зб}} \cdot l_{\text{зб.cep}}}{57 \cdot 10^6 \cdot U_n}, \text{ м}^2,$$

де $K_{3\phi} = 1.1$ – коефіцієнт запасу; $m = 1.22$ – коефіцієнт, що враховує збільшення опору міді при збільшенні температури до 75°C .

По табл. 2.4 приймається стандартний круглий мідний провід марки ПЕТВ із перетином $q_{3\phi}$, діаметром без ізоляції d і діаметром з ізоляцією d_{i3} .

10.5 Номінальна густина струму приймається $J_{3\phi} = 4.45 \cdot 10^6$ А/м².

10.6 Число витків на парі полюсів

$$W_{3\phi} = \frac{F_{3\phi}}{J_{3\phi} \cdot q_{3\phi}}.$$

10.7 Номінальний струм збудження

$$I_{3\phi.n} = \frac{F_{3\phi}}{W_{3\phi}}, \text{ А.}$$

10.8 Повна довжина обмотки

$$L_{3\phi} = p \cdot l_{3\phi.сер} \cdot W_{3\phi}, \text{ м.}$$

10.9 Опір обмотки збудження при температурі $\vartheta = 20^{\circ}\text{C}$.

$$R_{3\phi} = \frac{L_{3\phi}}{57 \cdot 10^6 \cdot q_{3\phi}}, \text{ Ом.}$$

10.10 Опір обмотки збудження при температурі $\vartheta = 75^{\circ}\text{C}$.

$$R_{3\phi 75^{\circ}\text{C}} = 1.22 \cdot R_{3\phi}, \text{ Ом.}$$

10.11 Маса міді паралельної обмотки

$$m_{м.3\phi} = 8900 \cdot l_{3\phi.сер} \cdot W_{3\phi} \cdot q_{3\phi}, \text{ кг.}$$

11 КОЛЕКТОР І ЩІТКИ

11.1 Ширина нейтральної зони

$$b_{н.з} = \tau - b_p, \text{ м},$$

де τ з п. 1.11., b_p з п. 1.13.

11.2 Приймається ширина щітки

– при простій хвильовій обмотці $b_{щ} = (2 \div 4)t_k$, де t_k з п. 2.6;

– при простій петльовій обмотці $b_{щ} = (u_n + 0.5)t_k$;

- при двоходової петльовій обмотці $b_{щ} \succ 3 \cdot t_k$.

Прийняте значення ширини щітки округляється до найближчого стандартного розміру $b_{щ}$ (див. табл. 11.1).

Таблиця 11.1 - Шкала розмірів електрощіток (у міліметрах), $b_{щ} \times l_{щ} \times h_{щ}$

Тангенціальний розмір $b_{щ}$	Осьовий розмір $l_{щ}$										
	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	32	40	50
4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	12.5	12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	16	16	16	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	20	20	20	20	-	-	-	-	-
5	-	12.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	16	16	16	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	20	20	20	20	-	-	-	-	-
	-	-	25	25	25	25	25	-	-	-	-
	-	-	-	-	32	32	32	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-	-
6.3	-	-	20	20	20	-	-	-	-	-	-
	-	-	25	25	25	25	25	-	-	-	-
	-	-	-	32	32	32	32	32	32	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	40	40	-	-
8	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	25	25	25	25	25	-	-	-
	-	-	-	32	32	32	32	32	32	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	40	40	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	50	50	-	-
10	-	-	-	-	25	25	25	-	-	-	-
	-	-	-	-	32	32	32	32	32	-	-
	-	-	-	-	-	-	40	40	40	40	-
	-	-	-	-	-	-	-	50	50	50	-

Продовження таблиці 11.1

Тангенціальний розмір $b_{\text{ц}}$	Осьовий розмір $l_{\text{ц}}$										
	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	32	40	50
12.5	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	32	32	32	32	-	-
	-	-	-	-	-		40	40	40	40	-
	-	-	-	-	-	-	-	50	50	50	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	32	32	32	-	-
	-	-	-	-	-	-	40	40	40	40	-
	-	-	-	-	-	-	50	50	50	50	50
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	64
20	-	-	-	-	-	-	-	32	32	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	40	40	40	-
	-	-	-	-	-	-	-	50	50	50	50
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	64
25	-	-	-	-	-	-	-	-	40	40	40
	-	-	-	-	-	-	-	-	50	50	50
	-	-	-	-	-	-	-	-	64	64	64
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	50
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	64
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100

Примітка. Щітки шириною 25 мм і вище підрозділяються на дві

Марку щітки визначають відповідно до умов роботи. Для генераторів і двигунів із середніми й утрудненими умовами комутації беруться щітки марки ЕГ14, із густиною струму $I_{\text{ц}} = 11 \text{ А/мм}^2$, швидкістю по колектору $V_k = 40 \text{ м/с}$.

11.3 Поверхня зіткнення щітки з колектором $S_{\text{ц}} = b_{\text{ц}} \cdot l_{\text{ц}}$, м².

11.4 При припустимій густині струму $J_{\text{ц}} = 11 \cdot 10^4$, А/м², число щіток на болт

$$N_{\text{ц}} = \frac{I_{\text{н}}}{p \cdot S_{\text{ц}} \cdot J_{\text{ц}}},$$

де $I_{\text{н}}$ з п. 1.2.

11.5 Поверхня зіткнення всіх щіток з колектором

$$\alpha S_{щ} = 2p \cdot N_{щ} \cdot S_{щ}, \text{ м}^2.$$

11.6 Густина струму під щітками

$$J_{щ} = \frac{2 \cdot I_n}{\sum S_{щ}}, \text{ А/м}^2.$$

11.7 Активна довжина колектора

$$l_k = N_{щ} (l_{щ} + 8 \cdot 10^{-3}) + 10 \cdot 10^{-3}, \text{ м.}$$

12 РОЗРАХУНОК ОБМОТКИ ДОДАТКОВИХ ПОЛЮСІВ

12.1 МРС обмотки додаткових полюсів для машин постійного струму без компенсаційної обмотки перебуває в межах

$$F_{\delta} = (1.2 \div 1.4) \cdot A \cdot \frac{\tau}{2}, \text{ А.}$$

12.2 Число витків на один полюс

$$W_{\delta} = \frac{F_{\delta} \cdot a_{\delta}}{I},$$

де a_{δ} – число паралельних гілок обмотки додаткових полюсів, $a_{\delta} = 1$.

12.3 Попередній перетин провідників

$$q_{\delta} = \frac{I}{a_{\delta} \cdot J_{\delta}},$$

де J_{δ} – густина струму може бути прийнята:

– при виконанні машини IP44 $J_{\delta} = (2 \div 3) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$;

– при IP23 $J_{\delta} = (4.5 \div 6.5) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$.

12.4 Приймаємо провідник обмотки додаткових полюсів із проводу ПСД стандартного перетину з табл. 10.1.

12.5 Приймаємо сердечник додаткового полюса довжиною l_{δ} , м:

– при $D \leq 0.132 \text{ м}$ – $l_{\delta} = l_a - (5 \div 10) \cdot 10^{-3}$;

– при $D > 0.132$ рівній довжині якоря $l_{\delta} = l_y$.

Ширина сердечника b_{δ} береться з рис. 12.1.

12.6 Середня довжина витка обмотки додаткового полюса

$$l_{\delta, \text{сеп}} = 2(b_{\delta} + l_{\delta}) + \pi(b_{\kappa, \delta} + 2\Delta_3)$$

де b_{δ} і l_{δ} – з п. 12.5; $b_{\kappa, \delta}$ – ширина котушки додаткового полюса; $b_{\kappa, \delta} \approx 1.6 \cdot b_{\delta}$; Δ_3 – однобічний розмір зазору між сердечником додаткового полюса й котушкою з урахуванням ізоляції сердечника; $\Delta_3 = (1.7 \div 2.2) \cdot 10^{-3}$ при діаметрах якоря D до 0.5 м.

12.7 Повна довжина провідників обмотки

$$L_{\delta} = 2p \cdot l_{\delta, \text{сеп}} \cdot W_{\delta}, \text{ м.}$$

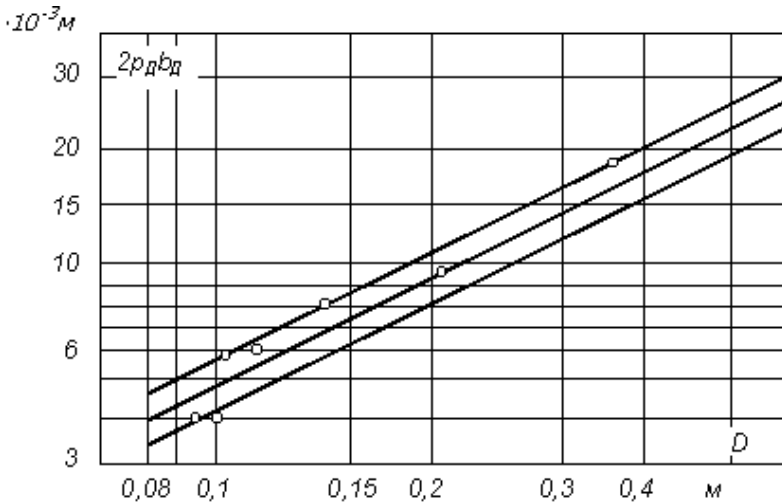


Рисунок 12.1 - Залежність ширини додаткових полюсів від діаметра якоря

12.8 Опір обмотки додаткових полюсів при температурі 20 °C

$$R_{\partial} = \frac{L_{\partial}}{57 \cdot 10^6 \cdot a_{\partial}^2 \cdot q_{\partial}}, \text{ м.}$$

12.9 Опір при температурі 75 °C

$$R_{\partial 75^{\circ}\text{C}} = 1.22 \cdot R_{\partial}, \text{ Ом.}$$

12.10 Маса міді обмотки додаткових полюсів

$$m_{\partial} = 8.9 \cdot 10^3 \cdot l_{\partial, \text{сер}} \cdot W_{\partial} \cdot 2p \cdot q_{\partial}, \text{ кг.}$$

13 ВТРАТИ ТА ККД

13.1 Електричні втрати в обмотці якоря:

$$P_{ma} = I^2 \cdot R_{da},$$

де I – струм якоря з п. 1.3; R_{da} – опір обмотки якоря з п. 4.5.

13.2 Електричні втрати в обмотці додаткових полюсів:

$$P_{m\partial} = I^2 \cdot R_{\partial 75^\circ C}$$

де $R_{\partial 75^\circ C}$ з п. 12.9.

13.3 Електричні втрати в паралельній обмотці збудження:

$$P_{m.зб} = I_{зб.н}^2 \cdot R_{зб 75^\circ C},$$

де $R_{зб 75^\circ C}$ – опір обмотки збудження з п. 10.10; $I_{зб.н}$ – струм збудження з п. 10.7.

13.4 Електричні втрати в перехідному контакті щіток на колекторі:

$$P_{e.щ} = I \cdot 2\Delta U_{щ},$$

де $2\Delta U_{щ}$ – втрати напруги в перехідних контактах $2\Delta U_{щ} = 2$ В.

13.5 Втрати на тертя щіток об колектор:

$$P_{m.щ} = a \cdot S_{щ} \cdot P_{щ} \cdot f_m \cdot V_k$$

де $P_{щ}$ – тиск на щітку $P_{щ} = 3 \cdot 10^4$ Па; f_m – коефіцієнт тертя щітки $f_m = 0.2$; V_k з п.2.9; $S_{щ}$ з п.11.5.

13.6 Втрати в підшипниках і на вентиляцію $P_{mn} + P_{вент}$ визначаються по рис. 13.1.

13.7 Маса стали ярма якоря, кг:

$$m_j = 7.8 \cdot 10^3 \frac{\pi \left[(D - 2 \cdot h_n)^2 - D_0^2 \right]}{4} l_{cm} \cdot k_c,$$

де D з п. 1.5.; h_n з п. 3.2; $k_c = 0.95$; D_0 з п. 5.7; $l_{cm} = l_d$ з п. 1.8.

13.8 Маса стали зубців якоря з овальними пазами, кг:

$$m_z = 7800 \cdot z \cdot b_z \left(h_1 + \frac{r_1 + r_2}{2} \right) \cdot l_d \cdot k_c$$

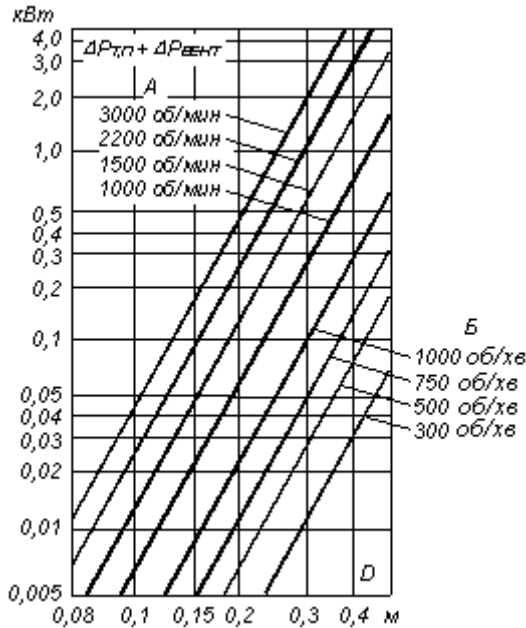


Рисунок 13.1 - Втрати на вентиляцію й у підшипниках

13.9 Магнітні втрати в ярмі якоря

$$P_j = m_j \cdot P_j,$$

де P_j – питомі втрати в ярмі якоря:

$$P_j = 2.3 \cdot P_{1.0/50} \cdot \left(\frac{f}{50} \right)^\beta \cdot B_j^2,$$

де $P_{1.0/50} = 1.75$ Вт/кг – питомі втрати в сталі для $B = 1.0$ Тл і

$f = 50$ Гц; $f = \frac{p \cdot n}{60}$ – частота перемагнічування; $\beta = 2$; B_j з п. 8.3.

13.10 Магнітні втрати в зубцях якоря

$$P_z = m_z \cdot P_z,$$

де $P_z = 2.3 \cdot P_{1.0/50} \cdot \left(\frac{f}{50} \right)^\beta \cdot B_z^2$; B_z з п. 8.2.

13.11 Додаткові втрати

$$P_{\partial\partial\partial} = 0.01 \frac{P_H}{\eta_H},$$

де η_H - попереднє значення ККД по рис. 1.1.

13.12 Сума втрат

$$\sum P = P_{та} + P_{м\partial} + P_{м.зб} + P_{е.щ} + P_{т.щ} + (P_{тп} + P_{вент}) + P_J + P_z + P_{\partial\partial\partial}$$

13.13 ККД машин

– для генератора $\eta = \frac{U \cdot I}{U \cdot I + \sum P};$

– для двигуна $\eta = \frac{U \cdot I - \sum P}{U \cdot I}.$

14 РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК

Залежності M , n , η , I від корисної потужності на валу P_2 визначають робочі характеристики двигуна.

При розрахунку робочих характеристик генераторів приймається частота обертання якоря $n = \text{const}$.

Напруга на виводах генератора, визначається з основного рівняння напруги

$$U = E - I(R_a + R_k + R_c + R_d) - 2\Delta U_{\text{щ}}$$

де E - ЕРС обмотки якоря;

R_a , R_k , R_c , R_d — опори;

$2\Delta U_{\text{щ}}$ — спадання напруги в щітковому контакті.

Однак E є складною функцією струму якоря I , струму збудження I_e й стану магнітного ланцюга машини. Для визначення ЕРС E необхідно задатися струмом збудження I_e і струмом якоря I , розрахувати результуючу МРС:

$$F_{\Sigma} = F_e - F_{qd} \pm F_d + F_c$$

По характеристиці намагнічування, побудованої згідно табл. 9.4, визначається ЕРС E .

Якщо при зазначених розрахунках напруга на виводах генератора $U = \text{const}$, а розраховується залежність струму порушення від струму навантаження $I_e = f(I)$, то отримана характеристика називається регульовальною.

Якщо приймається повний опір у ланцюзі обмотки збудження $r_{e\Sigma} = \text{const}$ і визначається залежність напруги U на виводах машини від струму навантаження: $U = f(I)$, то отримана характеристика є зовнішньою характеристикою генератора. У цьому випадку МРС

$$F_e = \frac{U}{r_{e\Sigma}} w_e,$$

де w_e - число витків обмотки збудження.

Шляхом розрахунку серії зовнішніх характеристик для декількох значень $r_{e\Sigma}$ можна побудувати навантажувальну характеристику, що дає залежність напруги U на виводах машини від струму збудження I_e для прийнятого значення струму навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек – Л.: Энергия, 1978.
2. Виноградов, Н.В. Производство электрических машин / Н.В. Виноградов – М.: Энергия, 1970.
3. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980.
4. Копылов, И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
5. Проектирование электрических машин. / Под ред. Копылова И.П. – М.: Энергия, 1980.
6. Власенко, Р. В. Аналіз енергетичних процесів в трифазному силовому активному фільтрі з використанням спектрального моделювання / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 12-18.
7. Ярымбаш, Д. С. Розрахунок параметрів головних шинних пакетів секцій печей графітації змінного струму [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш – Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. ISBN 978-617-529-171-9 Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/2682>
8. Міщенко, Т. М. Перспективи схемотехнічних рішень і моделювання підсистем електричної тяги при високошвидкісному русі поїздів / Т. М. Міщенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 19-28.
9. Трушевський, В. Е. Застосування автоматичних стрілок тролейбусу як детекторів в системах світлофорного авторегулювання / В. Е. Трушевський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 29-31.
10. Ершов, А. В. Конвективный и лучистый теплообмен при плавлении проволоки в струе дуговой плазмы / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 37-42.
11. Крисан, Ю. О. Модернізація лабораторного стенда дослідження асинхронного електропривода / Ю. О. Крисан // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 49-54.
12. Ярымбаш, Д. С. Повышение энергоэффективности электротехнического комплекса графитации при модернизации боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 132/2012. Серія: Механіка, енергетика, екологія. 2012. С. 93–100
13. Сивокобыленко, В. Ф. Совершенствование пусковых органов бавр в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой / В. Ф. Сивокобыленко

ко, С. В. Деркачев // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 61-67.

14. Килимник, И.М. Повышение эффективности обработки информации при регистрации контролируемых параметров в системах автоматического управления / И.М. Килимник, Д.С. Ярымбаш // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. 2007. - № 1. - С. 68 - 73

15. Ткаченко, С. Н. Энергосистема будущего. Концепция smart grid. Специфика реализации на Украине / С. Н. Ткаченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 68-73.

16. Ярымбаш, Д.С. Повышение эффективности управления режимами электрического обогрева при прессовании заготовок подовых блоков / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрудный // Електротехніка та електроенергетика. - Запорожье: ЗНТУ, 2006. - № 2. - С. 56 - 60.

17. Немудрый, И. Ю. Повышение эффективности преобразования энергии в ветроэлектрических установках с аэродинамической мультипликацией / И. Ю. Немудрый // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 79-86.

18. Андриенко, П.Д. Особенности моделирования температурного состояния технологической системы как объекта управления / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // Електромашинобудування та електрообладнання, 2006. №66 - С. 291-293.

19. Морозов, Д. І. Вентильний двигун постійного струму на базі синхронної машини оберненої конструкції / Д. І. Морозов, І. С. Шевченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 6-12.

20. Власенко, Р. В. Порівняння методів компенсації неактивної потужності трифазним силовим активним фільтром з адаптивним релейним регулятором струму / Р. В. Власенко, О. В. Бялобжеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 20-27.

21. Ярымбаш, С. Т. Идентификация характеристик системы резистивно-индукционного нагрева для транспортировки хлора методами математического моделирования / С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, Д. С. Ярымбаш, Д. А. Литвинов // Материали МНТК «ПАЭП. Теория и практика». - Харьков, 2010. - С. 320-324.

22. Михайленко, В. В. Аналіз електромагнітних процесів у дванадцяти-пульсному напівпровідниковому перетворювачі з п'ятизонним регулюванням вихідної напруги / В. В. Михайленко, В. І. Чибеліс, Ю. П. Орлиця, О. Р. Трофименко // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 28-31.

23. Андриенко, П. Д. Особенности непрерывного контроля характеристик влагосодержания изоляции маслонаполненного электрооборудования / П. Д. Андриенко, А. А. Сахно, С. П. Конограй, Л. С. Скрупская // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 32-40.

24. Ярымбаш, Д. С. Анализ электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах Ачесона / Д. С. Ярымбаш // Энергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, 2014. №6 – С. 11 – 21.

25. Ярымбаш, Д. С. Визначення параметрів короткого замикання силового трансформатора засобами математичного моделювання [Текст] / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, Д. О. Літвінов // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2017. – № 26(102). – С. 110–119.

26. Задорожня, И. Н. Анализ свойств систем автоматического управления двухмассовым электроприводом при синтезе параметров на основе стандартных характеристических полиномов / И. Н. Задорожня, Н. А. Задорожний // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 54-58.

27. Ярымбаш, Д. С. Численно-полевой анализ электромагнитных и электротепловых процессов в шинных пакетах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Ползуновский вестник. – 2013. – №4–2. – С. 216–222

28. Тиховод, С. М. Моделирование переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 59-68.

29. Кулинич, Э. М. Уточнение модели автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием технологического процесса приготовления газобетона / Э. М. Кулинич // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 69-76.

30. Волков, В. А. Оценка возможности осуществления гидроаккумуляции на существующих гидроэлектростанциях днепровского каскада Украины / В. А. Волков // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 77-82.

31. Ярымбаш, Д.С. Особенности определения параметров электрической схемы замещения печной петли печи графитации переменного тока [Текст] / Д.С. Ярымбаш, И.М. Килимник, С.Т. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. №2. – С. 36 – 43.

32. Ярымбаш, Д.С. Особенности электротепловых режимов главных шинных пакетов секций печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш, И.М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. – 2011. – №1. – С. 64 – 69.

33. Ярымбаш, Д.С. Особенности измерения переменного тока в токопроводах печей графитации / Д.С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2005. - №1. – с. 74 – 76.

34. Ярымбаш, Д. С. Исследование электромагнитных и термоэлектрических процессов в печах графитации переменного и постоянного тока / Д. С. Ярымбаш // Науковий вісник НГУ – 2015. – №3. – С.95–102.

35. Ярымбаш, Д.С. Повышение энергоэффективности бокового шинопакета печей графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, С.Т. Ярымбаш //

Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність. – 2011, С. 229 – 233.

36. Ярымбаш, Д. С. Особенности моделирования электромагнитных процессов в индукторе калибра мундштука прессы / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник // Вісник кременчуцького державного політехнічного університету. – 2007. – №4 (45) Частина 1. – С. 53–55.

37. Ярымбаш, Д. С. Особливості розподілення магнітних потоків у режимі неробочого ходу силових трансформаторів / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. – 2016. – № 2. – С. 5-12.

38. Ярымбаш, Д. С. Особливості визначення параметрів короткого замикання силових трансформаторів засобами польового моделювання / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, Т. Є. Дівчук, І. М. Килимник // Електротехніка та електроенергетика. – 2016. – № 1. – С. 12-17.

39. Yarymbash, D.S. On specific features of modeling electromagnetic field in the connection area of side busbar packages to graphitization furnace current leads / D.S.Yarymbash, A.M. Oleinikov // Russian Electrical Engineering, 2015, Vol.86, Issue 2, pp. 86 – 92.

40. Ярымбаш, Д.С. Моделирование температурных режимов электро-технологической системы «индукторы - мундштуки» на подготовительном этапе тура прессования / Д.С. Ярымбаш, А.В. Тютюнник, О.Л. Загрунный // Електротехніка та електроенергетика. 2006. № 1. – С. 56-60.

41. Коцур, М.И. Оценка теплового состояния изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором с модифицированной системой импульсного регулирования / М.И. Коцур, // Електротехніка та електроенергетика. – 2013 – №1 – С.31-36.

42. Коцур, М. И. Особенности ударного теплового воздействия на асинхронный двигатель с модифицированной системой импульсного регулирования в условиях частых пусков / М. И. Коцур, // Електротехніка та електроенергетика. – 2014 – №1 – С. 32 – 36.

43. Коцур, М. И. Повышение эффективности режима торможения противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. В. Близняков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2015. – №1/8(73). – С.27-30.

44. Андриенко, П.Д. Применение методов математического моделирования для определения параметров индуктора / П.Д. Андриенко, И.М. Коцур, Д.С. Ярымбаш // Вестник СевНТУ – Севастополь, 2008. – Вып. 88. – С. 117 – 120.

45. Коцур, М. И. Повышение эффективности электропривода вентиляторных установок / М. И. Коцур, И. М. Коцур, Н. С. Иваницкий, Д. А. Кра-

вченко, В. Г. Савельев // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. – 2017. №25(101) – С. 9 – 16.

46. Ярымбаш, Д. С. Применение адаптированных схемных моделей для расчета токов короткой сети мощных электротехнических комплексов / Д. С. Ярымбаш // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. – 2012. №2. – С. 72–76.

47. Kotsur, M.I. Converter for frequency-current slip-power recovery scheme / M.I. Kotsur, P.D. Andrienko, I. M. Kotsur, O.V Bliznyakov // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. - №4 – С. 49-54.

48. Ярымбаш, Д. С. Особенности трехмерного моделирования электромагнитных полей асинхронного двигателя / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // *Електротехніка та електроенергетика* – 2016. – №2 – С. 43 – 50.

49. Ярымбаш, Д.С. Особенности идентификации интенсивности солнечной радиации при проектировании солнечных электростанций / Д. С. Ярымбаш, Ю.В. Даус // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2014 - № 1 - С. 74-78.

50. Yarymbash, D., Kotsur, M., Subbotin, S., Oliinyk, A. A New Simulation Approach of the Electromagnetic Fields in Electrical Machines. IEEE: The International Conference on Information and Digital Technologies, July 5th - 7th, Zilina, 2017, Catalog Number CFP17CDT-USB, pp. 452-457.

51. Ярымбаш, Д. С. Особенности определения параметров схемы замещения асинхронного двигателя для режима короткого замыкания / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Коцур // *Електротехніка та електроенергетика* – 2017. – №1 – С. 24 – 30.

52. Дивчук, Т. Э. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Э. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, И. М. Коцур, Ю. С. Безверхняя // *Електротехніка та електроенергетика*. – 2017. – № 2. - С. 56-66.

53. Kotsur, M. A New Approach of the Induction Motor Parameters Determination in Short-Circuit Mode by 3D Electromagnetic Field Simulation [Text] / M. Kotsur, D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kotsur // *International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF)*, October 17th - 20th, Lviv, Ukraine, 2017, pp. 207-210

54. Kotsur, M. I. Increasing of Thermal Reliability of a Regulated Induction Motor in Non-Standard Cycle Time Conditions [Text] / M. I. Kotsur, I.M. Kotsur, Yu. Bezverkhnia, D. Andrienko // *IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2017, pp. 88-91

55. Ярымбаш, Д. С. Идентификация электрических параметров шихтованных шинных пакетов мощных коротких сетей / Д. С. Ярымбаш, И. М. Ки-

лимник, С. Т. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. – 2012. – № 2. – С. 55 – 61.

56. Yarymbash, D. Features of Defining Three-Phase Transformer No-Load Parameters by 3D Modeling Methods [Text] / D. Yarymbash, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk, D. Litvinov // IEEE: International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017, pp. 132-135. DOI: 10.1109/MEES.2017.8248870

57. Kotsur, M. Speed Synchronization Methods of the Energy-Efficient Electric Drive System for Induction Motors / M. Kotsur, D. Yarymbash, I. Kotsur, Yu. Bezverkhnia // IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018.

58. Yarymbash, D. An Application of Scheme and Field Models for Simulation of Electromagnetic Processes of Power Transformers [Text] / D. Yarymbash, M. Kotsur, S. Yarymbash, I. Kylymnyk, T. Divchuk // IEEE: 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), 2018. P. 308–313. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336209

59. Дивчук, Т.Е. Особенности определения параметров силовых трансформаторов методами схемно-полевого моделирования / Дивчук, Т.Е., Д. К. Мимоход, С. А. Кутилин, А. Е. Кузнецов, Ю. В. Гуразда, И. С. Сирых // Електротехніка та електроенергетика. – 2017. – № 1. – С. 61-70.

60. Ярымбаш, Д.С. Идентификация электрических параметров печной петли мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // «Електротехніка та електромеханіка». – 2012. №1. – С. 49 – 54.

61. Ярымбаш, Д.С. Особенности контроля электрических параметров, мощности и энергопотребления во время кампании графитации в печи переменного тока / Ярымбаш Д.С., Ярымбаш С.Т., Тютюнник О.В. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006, Вип. 3/2006(38), – С. 53 – 55.

62. Малюшевская, А.П. Дослідження впливу підвищених температур на експлуатаційні властивості трансформаторного масла Т-1500 в плівкових ізоляційних системах / АП Малюшевская, АЯ Дмитришин, СО Топоров // Електротехніка та електроенергетика – 2015. - №1. – С. 21-25.

63. Верещаго, Е.Н. Модель электрической дуги в MATLAB/SIMULINK / Е.Н. Верещаго, В.И. Костюченко // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. - №2. – С. 40-46.

64. Ярымбаш, Д. С. Анализ энергоэффективности конструкции торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д. С. Ярымбаш, А. М. Олейников // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 26-34.

- 65.Иванков, В. Ф. Електротеплові розрахункові моделі елементів конструкції трансформаторного обладнання / В. Ф. Иванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 2. - С. 41-53
- 66.Ярымбаш, Д.С. Особливості розрахунку електродинамічної стійкості шихтованих шинних пакетів короткої мережі печі графітації / Д.С. Ярымбаш // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Механіка. Енергетика. Екологія. 2014. – С. 131 – 136.
- 67.Ярымбаш, Д. С. Вплив розташування заготовок електродів на розподіл питомої потужності в сердечнику печі Ачесона / Д. С. Ярымбаш // Електротехніка та електроенергетика. - 2014. - № 1. - С. 5-11
- 68.Ivankov, V. F. Calculation of CFD-thermal models of oil-cooled transformer equipment / V. F. Ivankov, A. V. Basova // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 19-32.
- 69.Ципленков, Д. В. Методи та засоби зниження технічних втрат електроенергії в елементах систем електропостачання / Д. В. Ципленков, П. Ю. Красовський // Електротехніка та електроенергетика. 2015. № 1. С. 77–82.
- 70.Костін, М. О. Енергетичні спектри випадкових процесів тягових напруг і струмів електротранспорту / М. О. Костін // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 71-80
- 71.Літвінов, Д. О. Схемно-польове моделювання теплових процесів в асинхронних двигунах / Д. О. Літвінов, О. О. Шлянін, Т. В. Бондарчук, О. В. Стремідловська, Ріхам Матар // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 71-78
- 72.Остренко, М. В. Расчет потерь в элементах конструкции силовых трансформаторов и реакторов методом конечных элементов с граничными условиями импедансного типа / М. В. Остренко, С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 33-42.
- 73.Курись, Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. № 1. - С. 4–10.
- 74.Лебедев, В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 11–16.
- 75.Волкова, О. Г. Методика определения температуры поверхности силовых разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 17–20.
- 76.Мельников, В. О. Компенсація впливу несиметрії обмоток статора асинхронного двигуна у системах векторного керування / В. О. Мельников, А. П. Калінов, І. М. Кочуров // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 26–33.

77. Остренко, В. С. Оцінка часу експлуатації IGBT4 модулів в режимі циклічного навантаження / В. С. Остренко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 34–38.

78. Курись, Л. В. Схема тягового електротехнічного комплексу транспортного засобу з накопичувачем енергії / Л. В. Курись, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. № 1. - С. 4–10.

79. Ярымбаш, Д.С. Анализ энергоэффективности торцевых соединений боковых шинных пакетов и токоподводов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – № 2. – С. 23 – 30.

80. Лебедев, В. А. Электропривод малой мощности для сварочного оборудования / В. А. Лебедев // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 11–16.

81. Волкова, О. Г. Методика определения температуры поверхности сильноточных разрывных контактов в процессе коммутации / О. Г. Волкова // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 17–20.

82. Мельников, В. О. Компенсація впливу несиметрії обмоток статора асинхронного двигуна у системах векторного керування / В. О. Мельников, А. П. Калінов, І. М. Кочуров // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 26–33.

83. Остренко, В. С. Оцінка часу експлуатації IGBT4 модулів в режимі циклічного навантаження / В. С. Остренко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 34–38.

84. Тиховод, С. М. Усовершенствование итерационных методов решения систем нелинейных уравнений / С. М. Тиховод // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 46–49.

85. Шкрабець, Ф. П. Техніко-економічна оцінка оптимального рівня напруги для електроживлення робочих горизонтів глибоких шахт / Ф. П. Шкрабець, О. В. Остапчук, А. В. Кожевников, А. В. Акулов // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 50–54.

86. Волков, В. А. Совершенствование частотного пуска гидроагрегата гидроаккумулирующей электростанции в насосном режиме / В. А. Волков, Д. В. Довбищук // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 55–61.

87. Літвінов, В. В. Удосконалення методу оцінювання надійності схем релейного захисту / В. В. Літвінов, Я. С. Саченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 62–69.

88. Дьяченко, В. В. Формирование программы энергосбережения для систем электроснабжения / В. В. Дьяченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2015. - № 1. - С. 70–76.

89. Тиховод, С. М. Расчет переходных процессов в трансформаторах на основе магнитоэлектрических схем замещения с использованием полиномов

Чебышёва / С. М. Тиховод // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 5-14.

90. Коваленко, М. А. Автономный экспериментальный стенд для випробування уніполярного крокового двигуна на базі мікроконтролера / М. А. Коваленко, Д. С. Мацюк // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 15-20.

91. Іванков, В. Ф. Верифікація методів електротеплових розрахунків електричних реакторів без сталі / В. Ф. Іванков, А. В. Басова, Н. В. Шульга // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 26-34

92. Токмаков, И. В. Моделирование электромеханических переходных процессов в асинхронных двигателях на основе использования полиномов чебышёва / И. В. Токмаков // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 35-41.

93. Сидорец, В. Н. Особенности анализа распределения тока высокой частоты в осесимметричных электродах электрохирургических инструментов / В. Н. Сидорец, А. Г. Дубко // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 42-47.

94. Тиховод, С. М. Метод ускоренного численного расчета переходных процессов в электрических цепях на основе аппроксимации решения алгебраическими полиномами / С. М. Тиховод, Т. М. Корнус, Д. Г. Паталах // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 48-54.

95. Андриенко, П.Д. Моделирование электромагнитных и тепловых процессов при индукционном нагреве мундштука пресса / П.Д. Андриенко, Д.С. Ярымбаш // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог, 2008. – Вып. 92. – С. 163 – 167.

96. Ярымбаш, Д.С. Особенности моделирования электромагнитного поля в зоне подключения боковых шинных пакетов к токоподводам печи графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Электротехника. – М.: Знак. – №2. 2015. – С. 44 – 50.

97. Ярымбаш, Д. С. Динамическая адаптация схемных моделей короткой сети / Д. С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 65-70.

98. Міщенко, Т. М. Геометричне трактування реактивної потужності та його зв'язок зі спектральним складом тягових напруги та струму швидкодієльних електровозів / Т. М. Міщенко // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 81-86.

99. Скалько, Ю. С. Удосконалення групового регулювання гідроагрегатів дніпровської гес за допомогою нечіткої логіки / Ю. С. Скалько // Электротехника та електроенергетика. - 2015. - № 2. - С. 95-99.

100. Коцур, М. И. Определение оптимальной частоты коммутации вентилей преобразователя по схеме частотно-токового асинхронно-вентильного

каскада / М. И. Коцур, И. М. Коцур, А. А. Андриенко, Д. С. Андриенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 5-11.

101. Малюшевська, А. П. Вплив складу і морфології конденсаторних полімерних плівок на термостабільність їх короткочасної електричної міцності / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 18-24.

102. Цабенко, М. В. Системи антипомпажного керування відцентровим компресором / М. В. Цабенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 35-41.

103. Слободенюк, Ю. О. Модель розрахунку миттєвих параметрів режиму системи тягового електропостачання при русі електровозу / Ю. О. Слободенюк, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 42-48.

104. Ярымбаш, Д.С. Особенности обработки данных регистрации электрических параметров электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2014. №2 – С. 59 – 65.

105. Ярымбаш, Д. С. Оценка погрешности сенсоров тока автоматизированной системы управления технологическим процессом графитации / Д.С. Ярымбаш, И. М. Килимник, С. Т. Ярымбаш // «Електротехнічні та комп'ютерні системи». – № 03(79) – 2011

106. Чередник, Н. Г. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки при паралельній та автономній роботі з урахуванням явища насичення магнітної системи генератора / Н. Г. Чередник, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 49-56.

107. Ярымбаш, Д.С. Идентификация параметров электродинамической стойкости короткой сети мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. Вип. 3/2012 (19). – С. 487 – 490

108. Власенко, Р. В. Корекція алгоритму визначення заданого струму силового активного фільтра на основі теорії фрізе в умовах несиметрії / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 1. - С. 57-63.

109. Ярымбаш, Д.С. Особенности оптимизации электрических режимов графитации / Д.С. Ярымбаш // Электротехнические и компьютерные системы. – Одесса, 2014. – №15 (91). – С. 215 – 219.

110. Малюшевська, А. П. Вплив морфологічних особливостей конденсаторних полімерних плівок на їх деформаційні властивості / А. П. Малюшевська, Г. М. Ющишина // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 13-18.

111. Ярымбаш, Д.С. Идентификация электрических параметров торцевых ошинок печей сопротивления прямого действия / Д.С. Ярымбаш, А. М.Олейников, С. Т. Ярымбаш, И.М. Килимник // Вестник НТУ «ХПИ», 2013. №36. –С. 466–470
112. Андрієнко, П. Д. Дослідження динамічних режимів електродвигуна послідовного збудження з імпульсними схемами регулювання електроприводу / П. Д. Андрієнко, С. І. Шило, О. О. Каплієнко // Електротехніка та електроенергетика. - 2016. - № 2. - С. 51-58.
113. Золотаревский, А. И. Исследование спектральной зависимости диэлектрической проницаемости некоторых полярных диэлектриков в диапазоне низких частот / А. И. Золотаревский, С. П. Лушин // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 6-11.
114. Малюшевська, А. П. Довготривала електрична міцність полімерних плівок під дією електричного поля / А. П. Малюшевська, С. О. Топоров, В. І. Гунько // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 12-17.
115. Ярымбаш, Д.С. Повышение эффективности использования фотопанелей на солнечных электростанциях / Д. С. Ярымбаш, Ю. В. Даус // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. - 2015. - № 1. - С. 22-28
116. Ярымбаш, Д.С. Исследование электромагнитных и электротепловых процессов в области торцевых шинных пакетов печей графитации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. №11. – С. 60–68.
117. Качан, Ю. Г. Застосування просторових електричних полів задля створення теплових перешкод у камерних печах / Ю. Г. Качан, А. А. Візер, А. В. Сибір // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 18-23.
118. Василенко, О. В. Модель крокового двигуна для дослідження систем автоматичного позиціонування в ECAD / О. В. Василенко, Є .Л. Жавжаров // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 31-38.
119. Ярымбаш, Д.С. Особенности распределения электрической мощности нагрева в керне печи графитации переменного тока / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2013. – вип.. 37. – С. 94 – 100
120. Дзензерский, В. А. Разработка алгоритма автоматизированного контроля электрохимических накопителей энергии / В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, В. В. Лисунова // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 1. - С. 39-47.
121. Ярымбаш, Д.С. Идентификация температурных зависимостей удельных электрических сопротивлений керна в процессе графитации / Д.С. Ярымбаш // Електротехніка та електромеханіка. – 2014. №2. – С. 66 – 70.
122. Алексеевский, Д. Г. Определение рабочей области иппн в составе электромеханической системы взу с переменной скоростью вращения / Д. Г.

Алексеевский, П. Д. Андриенко, К. О. Турышев, О. О. Панкова // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 1. - С. 79-85.

123. Ярымбаш, Д.С. Особенности расчета токов короткого замыкания мощных электротехнических комплексов графитации переменного тока / Д. С. Ярымбаш // *Электротехника та електроенергетика*. - 2012. - № 1. - С. 23-30

124. Зиновкин, В. В. Влияние нестационарных электромагнитных процессов на электромеханические параметры в синхронном электроприводе / В. В. Зиновкин, Н. Л. Антонов, Ю.А. Крисан // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 6-17.

125. Zirka, S. E. Topological transient models of three-phase five-limb transformer / S. E. Zirka, Y. I. Moroz, C. M. Arturi, D. Bonnman // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 18-25.

126. Ярымбаш, Д.С. Метод частотной адаптации уравнений Максвелла для переменного тока к рекуррентным уравнениям в формулировках для постоянного тока / Д.С. Ярымбаш // *Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 146/2014. Серія: Автоматизація процесів та управління*. – Севастороль. 2014. – С. 203 – 206

127. Мацуй, А. М. Теоретичне і експериментальне дослідження магнітоелектричної системи, що сприймає крупність пісків односпірального класифікатора / А. М. Мацуй, В. О. Кондратець // *Електротехніка та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 38-49.

128. Ярымбаш, Д.С. Выбор критерия энергоэффективности боковых шинных пакетов мощных печей графитации / Д.С. Ярымбаш // *Технічна електродинаміка. Тематичний вип. Силова електроніка і енергоефективність* – 2012.

129. Паталах, Д. Г. Численный безытерационный метод моделирования электромеханических процессов в асинхронных двигателях / Д. Г. Паталах, С. М. Тиховод, Т. М. Корнус // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 50-55.

130. Ярымбаш, Д.С. Особенности идентификации электрических параметров контура печи графитации переменного тока методами полевого моделирования и оптимизации / Д.С. Ярымбаш, А.М. Олейников // *Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр. Вип. 15/2014*. – Севастороль. 2014. – С. 108 – 112.

131. Дивчук, Т. Е. Подход к определению токов холостого хода силовых трехфазных трансформаторов с плоскими стержневыми магнитными системами / Т. Е. Дивчук, Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник, М. И. Коцур, Ю. Безверхняя // *Электротехника та електроенергетика*. - 2017. - № 2. - С. 56-66. DOI: 10.15588/1607-6761-2017-2-6

132. Лаврич, Ю. М. Методологічний підхід до побудови енергоощадної системи аварійного освітлення / Ю. М. Лаврич, Л. М. Погоріла, А. Ю. Подчасов // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 67-73.
133. Шутенко, О. В. Анализ динамики изменения критериев, используемых для интерпретации результатов арг, в исправных высоковольтных трансформаторах негерметичного исполнения / О. В. Шутенко // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 74-83.
134. Лобов, В. Й. Управління газоповітряною енергетичною установкою промислового підприємства / В. Й. Лобов, К. В. Лобова, А. В. Даць // Електротехніка та електроенергетика. - 2017. - № 2. - С. 84-95.
135. Милых, В. И. Анализ гармонического состава переменного магнитного поля, связанного с вращающимся ротором турбогенератора, в режимах холостого хода и короткого замыкания / В. И. Милых, Н. В. Полякова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 5-13.
136. Китаев, А. В. Схемы замещения электрических машин / А. В. Китаев, В. Л. Агбомассу, В. И. Глухова // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 14-26.
137. Верещаго, Е. Н. Модель электрической дуги в MATLAB / SIMULINK / Е. Н. Верещаго, В. И. Костюченко // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 40-46.
138. Ершов А. В. Влияние магнитного поля проводника на течение металла на торце проволоки в дуговом разряде / А. В. Ершов, Е. А. Зеленина // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 62-65.
139. Пожуєв, В. І. Визначення ефективності існуючих гідроенергетичних систем / В. І. Пожуєв, В. В. Радченко, Ф. П. Шкрабець, В. Г. Кучер, В. П. Кобець // Електротехніка та електроенергетика. - 2013. - № 2. - С. 71-76.
140. Олейников, А.М. Математическая модель автономной безредукторной ветроэлектрической установки на генераторе с постоянными магнитами / А.М. Олейников, Л.Н. Канов, Ю.В. Матвеев, Е.И. Зарицкая // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – № 2. – С.62 – 67.
141. Гребеников, В.В. Исследование влияния конфигурации магнитной системы на моментные характеристики электродвигателей с постоянными магнитами / В.В. Гребеников, М.В. Приймак // Електротехніка та електроенергетика. – 2009. - №2. - С. 57-60
142. Голубцов В. А. Модифицирование стали для отливок и слитков / В. А. Голубцов, В. В. Лунев. Челябинск-Запорожье: ЗНТУ, 2009 . 356 с.
143. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / Богуслаев В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф. — К.: Манускрипт, 1993. — 333 с.

Додаток А

Вхідні дані для виконання проекту

Таблиця А.1 – Вхідні дані для виконання проекту - Двигуни

№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв	№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв
1	19.0	110	600	31	2.20	110	1000
2	25.0	110	600	32	3.20	110	1000
3	32.0	110	600	33	4.50	110	1000
4	42.0	110	600	34	6.0	110	1000
5	55.0	110	600	35	8.0	110	1000
6	0.2	110	750	36	11.0	110	1000
7	0.3	110	750	37	14.0	110	1000
8	0.45	110	750	38	19.0	110	1000
9	0.7	110	750	39	25.0	110	1000
10	1.0	110	750	40	32.0	110	1000
11	1.5	110	750	41	55.0	110	1000
12	2.2	110	750	42	0.30	110	1500
13	3.2	110	750	43	0.45	110	1500
14	4.5	110	750	44	1.00	110	1500
15	6.0	110	750	45	1.50	110	1500
16	8.0	110	750	46	2.20	110	1500
17	11.0	110	750	47	3.20	110	1500
18	14.0	110	750	48	4.50	110	1500
19	19.0	110	750	49	6.00	110	1500
20	25.0	110	750	50	8.00	110	1500
21	32.0	110	750	51	11.0	110	1500
22	42.0	110	750	52	14.0	110	1500
23	55.0	110	750	53	19.0	110	1500
24	0.13	110	1000	54	25.0	110	1500
25	0.20	110	1000	55	32.0	110	1500
26	0.30	110	1000	56	0.7	110	3000
27	0.45	110	1000	57	1.0	110	3000
28	0.70	110	1000	58	1.5	110	3000
29	1.00	110	1000	59	2.2	110	3000
30	1.50	110	1000	60	3.2	110	3000

Продовження таблиці А.1

№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв	№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв
61	4.5	110	3000	94	0.7	220	1000
62	6.0	110	3000	95	1.0	220	1000
63	8.0	110	3000	96	1.5	220	1000
64	19.0	220	600	97	2.2	220	1000
65	25.0	220	600	98	3.2	220	1000
66	32.0	220	600	99	4.5	220	1000
67	42.0	220	600	100	6.0	220	1000
68	55.0	220	600	101	8.0	220	1000
69	70.0	220	600	102	11.0	220	1000
70	0.2	220	750	103	14.0	220	1000
71	0.3	220	750	104	19.0	220	1000
72	0.45	220	750	105	25.0	220	1000
73	0.7	220	750	106	32.0	220	1000
74	1.0	220	750	107	42.0	220	1000
75	1.5	220	750	108	55.0	220	1000
76	2.2	220	750	109	75.0	220	1000
77	3.2	220	750	110	100.0	220	1000
78	4.5	220	750	111	125.0	220	1000
79	6.0	220	750	112	03	220	1500
80	8.0	220	750	113	0.45	220	1500
81	11.0	220	750	114	0.7	220	1500
82	14.0	220	750	115	1.0	220	1500
83	19.0	220	750	116	1.5	220	1500
84	25.0	220	750	117	2.2	220	1500
85	32.0	220	750	118	3.2	220	1500
86	42.0	220	750	119	4.5	220	1500
87	55.0	220	750	120	6.0	220	1500
88	75.0	220	750	121	8.0	220	1500
89	85.0	220	750	122	11.0	220	1500
90	0.13	220	1000	123	14.0	220	1500
91	0.2	220	1000	124	19.0	220	1500
92	0.3	220	1000	125	25.0	220	1500
93	0.45	220	1000	126	32.0	220	1500

Продовження таблиці А.1

№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв	№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв
127	42.0	220	1500	149	32	400	750
128	55.0	220	1500	150	42	400	750
129	75.0	220	1500	151	55	400	750
130	100.0	220	1500	152	75	400	750
131	125.0	220	1500	153	85	400	750
132	160.0	220	1500	154	19	400	1000
133	200.0	220	1500	155	25	400	1000
134	0.7	220	3000	156	32	400	1000
135	0.1	220	3000	157	42	400	1000
136	1.5	220	3000	158	55	400	1000
137	2.2	220	3000	159	75	400	1000
138	3.2	220	3000	160	95	400	1000
139	4.5	220	3000	161	125	400	1000
140	6.0	220	3000	162	32	400	1500
141	8.0	220	3000	163	42	400	1500
142	11.0	220	3000	164	55	400	1500
143	14.0	220	3000	165	75	400	1500
144	19.0	220	3000	166	100	400	1500
145	25.0	220	3000	167	125	400	1500
146	32.0	220	3000	168	160	400	1500
147	42.0	220	3000	169	180	400	1500
148	22	400	750	170	18.5	400	1500

Таблиця А.2 – Вхідні дані для виконання проекту - Генератори

№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв	№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв
171	19	115	980	179	0.6	115	1450
172	25	115	980	180	1.0	115	1450
173	32	115	980	181	1.5	115	1450
174	42	115	980	182	2.7	115	1450
175	55	115	980	183	3.2	115	1450
176	70	115	980	184	5.0	115	1450
177	90	115	980	185	6.5	115	1450
178	0.37	115	1450	186	9.0	115	1450

Продовження таблиці А.2

№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв	№ вар.	Р _н , кВт	U _н , В	п _н , об/хв
187	11.5	115	1450	220	16.0	230	1450
188	16.0	115	1450	221	21.0	230	1450
189	21.0	115	1450	222	27.0	230	1450
190	27.0	115	1450	223	35.0	230	1450
191	35.0	115	1450	224	50.0	230	1450
192	50.0	115	1450	225	70.0	230	1450
193	85.0	115	1450	226	90.0	230	1450
194	1.25	115	2850	227	110.0	230	1450
195	1.6	115	2850	228	150.0	230	1450
196	2.6	115	2850	229	190.0	230	1450
197	3.8	115	2850	230	1.25	230	2850
198	6.2	115	2850	231	1.6	230	2850
199	7.2	115	2850	232	2.6	230	2850
200	11.0	115	2850	233	3.8	230	2850
201	14.0	115	2850	234	6.2	230	2850
202	19	230	980	235	7.2	230	2850
203	25	230	980	236	11.0	230	2850
204	32	230	980	237	14.0	230	2850
205	42	230	980	238	18.0	230	2850
206	55	230	980	239	25.0	230	2850
207	70	230	980	240	25	400	980
208	90	230	980	241	32	400	980
209	115	230	980	242	42	400	980
210	0.37	230	1450	243	55	400	980
211	0.6	230	1450	244	65	400	980
212	1.0	230	1450	245	90	400	980
213	1.5	230	1450	246	110	400	980
214	2.7	230	1450	247	27	400	1450
215	3.2	230	1450	248	35	400	1450
216	5.0	230	1450	249	50	400	1450
217	6.5	230	1450	250	65	400	1450
218	9.0	230	1450	251	90	400	1450
219	11.5	230	1450	252	110	400	1450

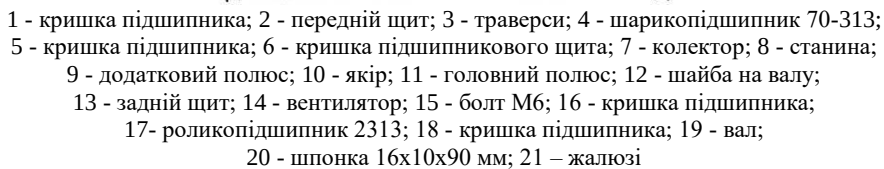
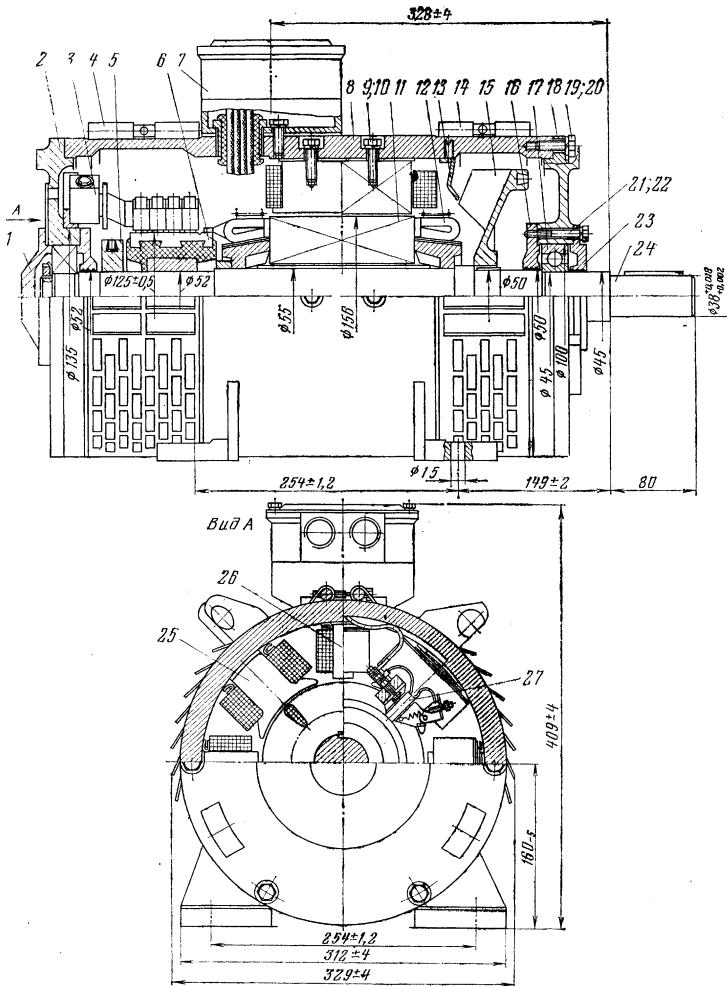


Рисунок Б.1 - Машина постійного струму типу П-92



- 1 - кришка підшипника; 2 - щит підшипниковий; 3 - траверси; 4 - стрічка захисна;
 5 - балансувальне кільце; 6 - колектор; 7 - коробка виводів, - станина; 9 - болт;
 10 - шайба М10; 11 -- якір; 12 - обмотка якоря; 13- дифузор; 14 - захисна стрічка;
 15 - вентилятор; 16 - кришка підшипника; 17 - шарикопідшипник 309;
 18 - підшипниковий щит; 19 - болт М10Х32; 20 - шайба М10; 21 - болт М6Х60;
 22 - шайба М6; 23 - кришка підшипника; 24 - вал; 25 - головний полюс;
 26 - додатковий полюс; 27 - щітки.

Рисунок Б.2 - Машина постійного струму типу 2П-160М

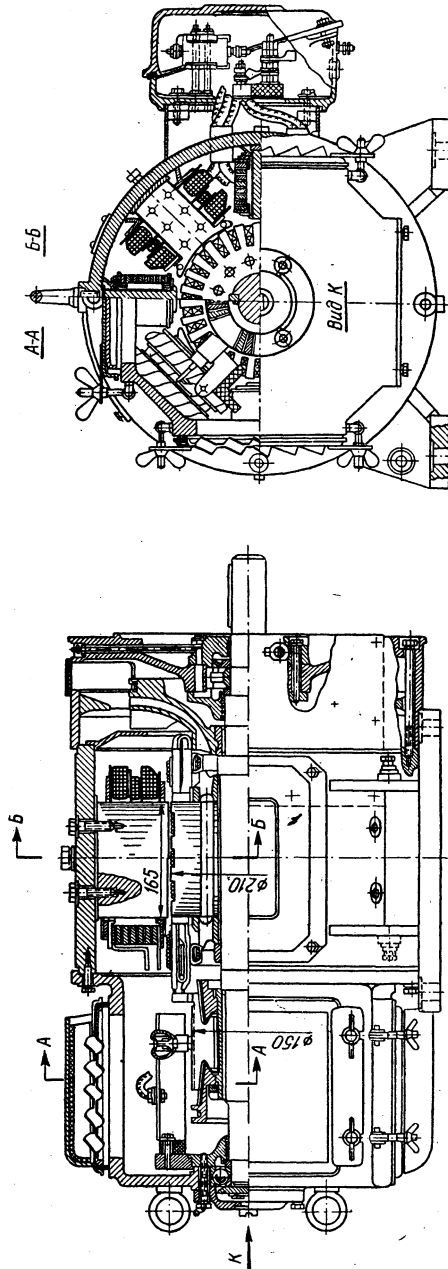


Рисунок Б.3 - Электродвигун вертикальний 33 кВт, 220 в, 3000 об/хв, із глушителями шуму

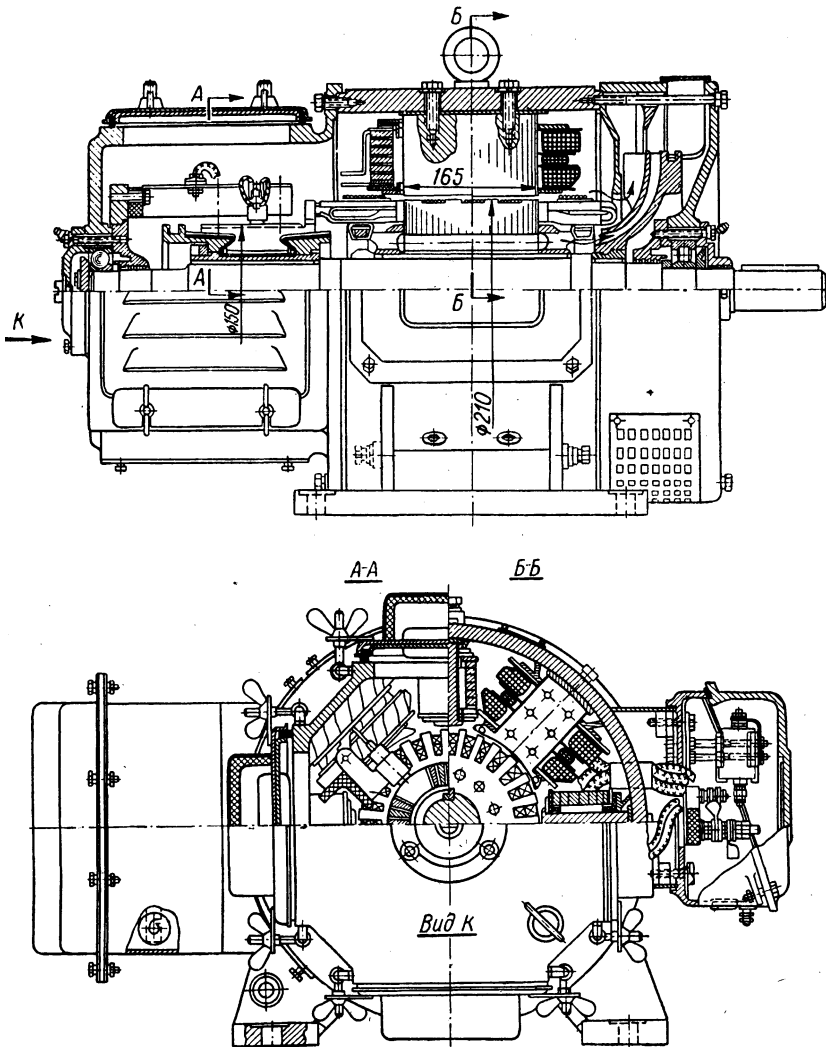


Рисунок Б.4 - Двигун загально-промислового застосування 25 кВт, 220 В, 1500 об/хв