

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

УДК 537(075)
ББК ◀262.5/6я73-5
М717

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент
Доктор технических наук, заместитель директора
по научной работе ГНУ ВИИТиН
А.Н. Зазуля

Составители:
А.В. Мищенко
Н.П. Моторина
С.В. Кочергин

М171 Электромеханика : метод. указ. / сост. : А.В. Мищенко, Н.П. Моторина, С.В. Кочергин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун.-та, 2007. – 32 с. – 100 экз.

Методические указания составлены в соответствии с программами курсов "Электромеханика", "Электрические машины", "Электрические машины и аппараты", "Электрические машины и электропривод".
Приведены варианты заданий для самостоятельного выполнения четырех расчетно-графических работ, общие требования и методические указания к выполнению заданий. Рекомендовано студентам специальностей 140211, 110301, 110302, 140106.

УДК 537(075)
ББК ◀262.5/6я73-5

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2007
Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

Методические указания по выполнению
расчетно-графических работ
для студентов специальностей 140211, 110301, 110302, 140106



Тамбов
◆ Издательство ТГТУ ◆
2007

Учебное издание

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

Методические указания

Составители:

МИЩЕНКО Анатолий Васильевич,
МОТОРИНА Наталья Петровна,
КОЧЕРГИН Сергей Валерьевич

Редактор В.Н. Митрофанова

Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова

Подписано к печати 14.06.2007

Формат 60 × 84 / 16. 1,86 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 432

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета,
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

При выполнении расчетно-графических работ студенты закрепляют материал, изложенный на лекциях, учатся анализировать процессы, происходящие в электрических машинах и трансформаторах, обращаться с их каталожными и паспортными данными.

Количество заданий и распределение их по семестрам зависит от специальности, номер варианта и номер дополнительного задания выдается студенту преподавателем. При выполнении расчетно-графического задания следует:

- на титульном листе указать название университета, кафедры, учебную группу, фамилию, имя, отчество, порядковый номер, название и дату выполнения расчетно-графической работы;
- при вычислениях пользоваться только Международной системой единиц СИ;
- весь графический материал (схемы, таблицы, графики функций, зависимости) выполнять карандашом с помощью чертежных инструментов (или подшивать распечатки выполненных в графических редакторах на ЭВМ), пользуясь при этом стандартными графическими обозначениями элементов схем и стандартными буквенными обозначениями величин (ГОСТ 2.722–82, ГОСТ 2.725–82, ГОСТ 2.729–82);
- характеристики электрических машин и трансформаторов вычерчивать на миллиметровой бумаге (или распечатать построенные на ЭВМ графики).

При выполнении расчетно-графических работ с использованием ЭВМ следует привести в отчете: техническое задание на выполнение работы, расчетные выражения и примеры производимых расчетов, результаты расчетов (при однотипных расчетах результаты сводятся в таблицы), анализ результатов расчета.

Расчетно-графические работы должны содержать выводы.

В конце работы приводится список использованной литературы.

Расчетно-графическая работа 1
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ТРАНСФОРМАТОРОВ

Общие требования к выполнению задания

Перед выполнением расчетно-графической работы необходимо повторить следующие вопросы из раздела "Трансформаторы": холостой ход и короткое замыкание трансформатора, работа трансформатора под нагрузкой, изменение напряжения трансформатора, коэффициент полезного действия трансформатора.

Содержание задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОСТОГО ХОДА
ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

По данным, указанным в табл. 1.1 для однофазного трансформатора, определить потери в стали, ток холостого хода, коэффициент мощности холостого хода и параметры схемы замещения трансформатора в режиме холостого хода при частоте сети $f = 50$ Гц.

Таблица 1.1

№ варианта	Сталь	d_c	l_m	S_M	W_1	U_1
1	3414	0,50	75	28	250	220
2	3414	0,35	80	29	240	220
3	3415	0,35	90	31	220	220
4	1411	0,35	85	30	230	220
5	1412	0,50	95	32	210	220
6	1412	0,35	100	33	200	220
7	1413	0,50	60	20	190	127
8	1413	0,35	65	22	180	127
9	1511	0,50	68	24	170	127
10	1511	0,35	70	26	160	127
11	1512	0,50	72	28	150	127
12	1512	0,35	75	30	140	127
13	1513	0,50	70	22	300	220
14	1513	0,35	75	24	280	220
15	1514	0,50	80	26	260	220
16	1514	0,35	90	28	240	220
17	3411	0,20	85	30	220	220
18	3414	0,50	95	32	200	220
19	3414	0,35	100	35	180	220
20	3415	0,35	105	24	160	127
21	1411	0,35	110	28	140	127
22	1412	0,50	115	32	120	127
23	1412	0,35	120	35	110	127
24	1413	0,50	125	37	100	127
25	1413	0,35	130	40	90	127

Обозначения: Марка электротехнической стали, из которой выполнен магнитопровод трансформатора; d_c – толщина листа электротехнической стали, мм; l_m – длина средней магнитной линии магнитопровода трансформатора, см²; S_M – активное сечение магнитопровода трансформатора, см²; W_1 – число витков первичной обмотки; U_1 – действующее значение напряжения, подводимого к первичной обмотке, В.

Методические указания к выполнению первого задания

Вначале необходимо составить алгоритм расчета коэффициентов аппроксимации кривой намагничивания электротехнической стали (см. прил.). Алгоритм расчета будет иметь вид:

1. Магнитная индукция в сердечнике: $B_m = \frac{U_1}{4,44 f_1 W_1 S_M}$.

2. Удельные потери в стали при амплитудном значении индукции $0,75T_{л} < B_m < 2T_{л}$ можно вычислить по формулам:

– для стали 3414: $P_{уд} = 0,8096B_m^2 - 0,3096B_m$;

– для стали 1411: $P_{уд} = 0,9615B_m^2 + 0,2885B_m$ (или определяется по табл. П1, П2).

3. Потери в стали: $P_0 = P_{уд} B_m^2 \gamma_c l_m S_M$

4. Напряженность магнитного поля: $H_m = dsh\beta B_m$ (можно определить по кривым намагничивания).

5. Ток холостого хода трансформатора: $I_0 = \frac{H_m l_m}{W_1}$.

6. Коэффициент мощности трансформатора при холостом ходе: $\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{10} I_0}$.

7. Параметры намагничивающего контура схемы замещения: $Z_0 = \frac{U_{10}}{I_0}$, $r_0 = z_0 \cos \varphi_0$; $X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}$.

При расчете амплитудного значения магнитного потока следует пренебречь падением напряжения на сопротивлении Z_1 первичной обмотки, т.е. считаем, что $U_1 \approx E_1$.

При расчете потерь в стали магнитопровода трансформатора воспользоваться данными табл. П1, П2 приложения, где указаны удельные потери в стали при амплитудном значении магнитной индукции 1 Тл и частоте 50 Гц.

Ток холостого хода определить по составляющим. При расчете намагничивающей составляющей по закону полного тока воспользоваться данными кривых намагничивания, которые рекомендуется [5] построить в масштабе на миллиметровой бумаге и приложить к оформленной расчетно-графической работе.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

По данным, указанным в табл. 1.2, для однофазного трансформатора определить параметры эквивалентной электрической схемы замещения трансформатора, коэффициент мощности $\cos \varphi_1$ и коэффициент полезного действия.

Таблица 1.2

№ вар.	U_{10}	U_{20}	I_0	P_0	U_k	I_{1k}	P_k	$Z_{2н}$	$\cos \varphi_{2н}$
1	500	100	0,5	25	25	10	50	2,5, а	1
2	500	90	0,6	30	27,5	8	60	5,0, и	0,9
3	500	80	0,7	35	30	6	70	1,5, и	0,8
4	500	70	0,8	40	32,5	4	80	10, и	0,7
5	500	50	0,5	25	30	5	60	5, и	0,5
6	380	220	1	50	20	15	100	10, а	1
7	380	127	2	75	25	30	150	5, е	0,75
8	380	100	1	60	30	25	120	1, и	0,5
9	380	36	0,5	40	20	10	80	0,5, и	0,8
10	380	12	0,25	25	25	5	50	1, а	1
11	1000	380	1	200	50	20	400	6, и	0,9
12	1000	220	0,75	150	55	15	300	4, е	0,8
13	1000	100	0,5	100	50	10	200	1, и	0,5
14	1000	127	0,25	50	55	5	100	2,5, и	0,6
15	1000	36	0,1	20	50	2	40	0,75, а	1
16	220	127	0,5	20	10	10	40	6, а	1
17	220	36	0,25	10	12	5	20	1, и	0,8
18	220	500	0,75	30	15	15	60	70, е	0,75
19	220	1000	0,5	20	10	10	40	500, а	1
20	220	12	0,1	30	15	2	60	0,3, и	0,9
21	127	220	0,25	6	7	5	12	75, е	0,6
22	127	380	0,5	12	8	10	24	100, и	0,95
23	127	500	2,5	60	7,5	50	120	40, и	0,9
24	127	12	0,05	1	6,5	1	2	1,5, и	0,85
25	127	6	0,025	0,5	7	0,5	1	0,6, а	1

Обозначения: U_{10} , U_{20} – напряжения первичной и вторичной обмоток в режиме холостого хода, В; I_0 – ток холостого хода, А; P_0 – потери холостого хода, Вт; U_k – напряжение короткого замыкания, В; I_{1k} – ток первичной обмотки в опыте короткого замыкания, А; P_k – потери короткого замыкания, Вт; $Z_{2н}$ – модуль сопротивления нагрузки с указанием характера, Ом, (а – активная, и – индуктивная, е – емкостная); $\cos \varphi_{2н}$ – коэффициент мощности нагрузки.

Методические указания к выполнению второго задания

Алгоритм расчета будет иметь вид:

1. Сопротивление короткого замыкания: $Z_k = U_k / I_{1k}$.

2. Активное сопротивление короткого замыкания:

$$r_k = P_k / I_{1k}^2$$

3. Реактивное сопротивление короткого замыкания:

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}$$

4. Активное и индуктивное сопротивления первичной и вторичной обмоток трансформатора: $r_1 = r_2' = r_k / 2$,

$$x_1 = x_2' = x_k / 2.$$

5. Коэффициент трансформации: $k = U_{10} / U_{20}$.

6. Приведенный модуль сопротивления нагрузки: $Z'_{2н} = k^2 Z_{2н}$

7. Активные и реактивные составляющие нагрузки соответственно равны:

$$r'_{2н} = z'_{2н} \cos \varphi_{2н}, \quad x'_{2н} = \sqrt{z'^2_{2н} - r'^2_{2н}}.$$

8. Для расчета $\cos \varphi_1$ и к.п.д. необходимо определить модуль входного сопротивления:

$$R_{п} = (r'_2 + r'_{2н})r_0 - (x'_2 + x'_{2н})x_0, \quad r_0 = \frac{P_0}{I_0^2};$$

$$x_{п} = (x'_2 + x'_{2н})r_0 + (r'_2 + r'_{2н})x_0, \quad z_0 = \frac{U_{10}}{I_0};$$

$$R_{п1} = r'_2 + r'_{2н} + r_0, \quad x_{п1} = x'_2 + x'_{2н} + x_0, \quad x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2};$$

$$r_{вх} = r_1 + \frac{R_{п}R_{п1} + x_{п}x_{п1}}{R_{п1}^2 + x_{п1}^2}.$$

9. Ток, потребляемый первичной обмоткой, $I_1 = U_{10}/Z_{вх}$.

10. Коэффициент мощности: $\cos \varphi_1 = I_0/I_1$.

11. К.п.д. $\eta = \frac{U_{10}I_1 \cos \varphi_1 - P_0 - P_k}{U_{10}I_1 \cos \varphi_1}$.

При определении параметров эквивалентной электрической схемы замещения трансформатора пренебречь падением напряжения в первичной обмотке в режиме холостого хода и намагничивающей составляющей первичного тока в режиме короткого замыкания.

При определении первичного тока при заданном сопротивлении нагрузки воспользоваться расчетом электрической цепи, используя полученную схему замещения трансформатора. Расчет целесообразнее провести в комплексной форме.

Расчет к.п.д. провести также по схеме замещения при заданном сопротивлении нагрузки.

Задание 3. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Для соответствующего номеру задания типа трансформатора (табл. 1.3) и заданных коэффициенте нагрузки, коэффициенте мощности нагрузки и ее характере определить изменение напряжения, оптимальный коэффициент загрузки, максимальное значение к.п.д. и к.п.д., соответствующий номинальной нагрузке. Построить внешнюю характеристику.

Таблица 1.3

№ вар.	Тип трансформатора	S_n	$U_{1н}$	$U_{2н}$	U_k	P_k	P_0	I_0	β	$\cos \varphi_2$
1	ТМ-7500/35	7,5	35	6	7,5	75	24	3,5	0,5	0,8 и
2	ТД-1000/35	10	35	10	7,5	92	29	3	0,6	0,85 и
3	ТД-15000/35	15	35	6	8	122	39	3	0,7	0,9 и
4	ТД-2000/35	20	35	10	8	148	48	2,5	0,8	0,95 и
5	ТД-31500/35	31,5	35	6	8	180	73	2	0,9	1 а
6	ТД-40500/35	40,5	35	10	8,5	222	94	2,3	1	0,8 и
7	ТМГ-5600/110	5,6	110	3	10,5	62	25	4,5	0,5	0,85 и
8	ТМ-630/110	6,3	110	6,6	10,5	54	20	4	0,6	0,9 и
9	ТМГ-7500/110	7,5	110	3	10,5	77	33	4	0,7	0,95 и
10	ТДГ-10000/110	10	110	35	10,5	97	38	3,5	0,8	1 а
11	ТДГ-1500/110	15	110	6	10,5	133	50	3,5	0,9	0,8 и
12	ТД-16000/110	16	110	11	10,5	104	45	2,8	1	0,85 и
13	ТДГ-20000/110	20	110	35	10,5	163	60	3	0,5	0,9 и
14	ТДГ-31500/110	31,5	110	6	10,5	200	86	2,7	0,6	0,95 и
15	ТДГ-40500/110	40,5	110	35	10,5	222	115	2,6	0,7	1 а
16	ТДГ-45000/110	45	110	6	10,8	246	116	2,2	0,8	0,8 и
17	ТДГ-60000/110	60	110	35	11,5	300	150	3,6	0,9	0,85 и
18	ТДГ-70000/110	70	110	6	13	390	135	3,5	1	0,9 и
19	ТДГ-75000/110	75	110	6	10,5	400	165	4	0,5	0,95 и
20	ТДЦГ-90000/110	90	110	10	10,5	410	190	3,6	0,6	1 а
21	ТДЦГ-120000/110	120	110	13,8	10,5	500	220	3,4	0,7	0,8 и
22	ТДЦГ-180000/110	180	110	10	10,5	680	420	3,2	0,8	0,85 и
23	ТДЦГ-240000/110	240	110	18	10,5	700	540	3,5	0,9	0,9 и
24	ТДЦГ-90000/220	90	220	13,8	12,2	400	240	3,8	1	0,95 и
25	ТДЦГ-120000/220	210	220	20	11,5	565	240	3,5	0,9	1 а

О б о з н а ч е н и я : В обозначениях типов трансформаторов буква Т указывает на трехфазное исполнение, буквы М, Д или Ц означают систему охлаждения – соответственно масляное, с дутьем при помощи вентилятора, масляное с циркуляцией масла. Буква Г – грозоупорное исполнение для трансформаторов 110 кВ и выше; S_n – номинальная мощность трансформатора, МВА; $U_{1н}$ – первичное номинальное напряжение, кВ; $U_{2н}$ – вторичное номинальное напряжение, кВ; U_k – напряжение короткого замыкания, %; P_k – потери короткого замыкания, кВт; P_0 – потери холостого хода, кВт; I_0 – ток холостого хода, %; β – коэффициент загрузки трансформатора; $\cos \varphi_2$ – коэффициент мощности нагрузки с указанием ее характера (а – активная, и – индуктивная).

Алгоритм расчета имеет следующий вид:

1. Потребляемый первичный номинальный ток: $I_{1н} = \frac{S_n}{m_1 U_{1нф}}$.

2. Напряжение короткого замыкания: $U_k = U_k U_{1н} / 100$.

3. Коэффициент мощности короткого замыкания

$$\cos \varphi_{1к} = P_k / m_1 I_{1к} U_k$$

4. Активная и реактивная составляющие напряжений U_k

$$U_{ка} = U_k \cos \varphi_{1к}, U_{кр} = \sqrt{U_k^2 - U_{ка}^2}$$

5. Относительное изменение напряжения, %

$$\Delta U = \beta (U_{ка} \cos \varphi_2 + U_{кр} \sin \varphi_2) + \beta^2 \frac{(U_{кр} \cos \varphi_2 - U_{ка} \sin \varphi_2)^2}{200}$$

6. К.п.д.: $\eta = 1 - \frac{\beta^2 P_k + P_0}{\beta S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 P_k + P_0}$.

7. Максимальное значение к.п.д.:

$$\eta_{max} = 1 - (\beta_{опт}^2 P_k + P_{10}) / (\beta_{опт} S_n \cos \varphi_2 + \beta_{опт}^2 P_k + P_0), \beta_{опт} = \sqrt{\frac{P_0}{P_k}}$$

8. Напряжение на нагрузке при $\beta = 0 - 1,5$:

$$U'_2 = U_{1н} \left[1 - \frac{\beta}{100} (U_{ка} \cos \varphi_2 + U_{кр} \sin \varphi_2) - \frac{\beta^2}{20000} (U_{кр} \cos \varphi_2 - U_{ка} \sin \varphi_2)^2 \right]$$

Расчетно-графическая работа 2

РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Общие требования к выполнению работы

Перед выполнением расчетно-графической работы необходимо изучить следующие вопросы раздела "Трехфазные асинхронные машины": устройство трехфазных асинхронных машин; магнитное поле; электродвижущие силы, индуцируемые в обмотках статора и ротора; электромагнитный момент; намагничивающие силы обмоток; активная мощность и к.п.д.; реактивная мощность и коэффициент мощности; схема замещения; механическая характеристика; пуск асинхронных двигателей; способы регулирования частоты вращения.

При повторении рекомендуется использовать лекционный материал по разделу "Асинхронные машины" [1, с. 387 – 416], [2, с. 219 – 256], [4, с. 200 – 211].

Содержание задания

По данным табл. 2.1 и П4 для соответствующего варианта: рассчитать параметры схемы замещения; определить номинальный момент, развиваемый двигателем, определить мощность, потребляемую двигателем из сети, рассчитать и построить естественную механическую характеристику, рассчитать и построить указанную в варианте рабочую характеристику:

1) $I_1 = f(P_2)$; 2) $\cos \varphi_1 = f(P_2)$; 3) $n = f(P_2)$; 4) $M = f(P_2)$; 5) $\eta = f(P_2)$; 6) $M_2 = f(P_2)$.

Выполнить дополнительное задание:

- определить частоту вращения ротора асинхронного двигателя при уменьшении напряжения на m % при номинальной нагрузке на валу;
- определить момент нагрузки на валу двигателя, если при уменьшении напряжения сети на m % частота вращения двигателя не изменится;
- определить, возможен ли пуск двигателя непосредственным включением в сеть, если напряжение сети уменьшено на m % при номинальной нагрузке на валу;
- определить, при каком напряжении сети двигатель опрокинется при номинальной нагрузке на валу;
- рассчитать и построить искусственную механическую характеристику при увеличении сопротивления в цепи ротора в s раз;
- определить величину сопротивления пускового реостата, соответствующего максимальному пусковому моменту;
- определить установившуюся частоту вращения асинхронного двигателя, если в цепь ротора включено дополнительное сопротивление R_d .

Для всех вариантов принять мощность холостого хода $P_0 = 0,05 P_n$, ток холостого хода $I_0 = 0,2 I_n$, напряжение сети $U_c = 380$ В. При запуске двигателя с контактными кольцами без пускового реостата принять $I_n = 7 I_n$.

Методические указания к выполнению задания

Алгоритм расчета параметров схемы замещения и рабочих характеристик имеет следующий вид:

1. Мощность холостого хода: $P_0 = 0,05P_n$.
2. Ток холостого хода: $I_0 = 0,2I_{ном}$.
3. Номинальный момент на валу: $M_{ном} = 9,55 P_n / n_n$.

Таблица 2.1

№ варианта	Тип двигателя	Рабочая характеристика	m	Номер дополнительного задания
1	4A50A2Y3	1	10	а
2	4A50B2Y3	2	20	б
3	4A56A2Y3	3	30	в
4	4A56B2Y3	4		г
5	4A63A2Y3	5	40	в
6	4A63B2Y3	6	50	а
7	4A71A2Y3	1	10	б
8	4A71B2Y3	2		г
9	4A80A2Y3	3	20	б
10	4A80B2Y3	4	30	в
11	4A90 2Y3	5	40	а
12	4A100 2Y3	6		г
13	4A100 2Y3	1	50	в
14	4A112M2Y3	2	10	б
15	4A132M2Y3	3	20	а
16	4A160M2Y3	4		г
17	4A160M2Y3	5	30	в
18	4A180 2Y3	6	40	а
19	4A180M2Y3	1	50	б
20	4A200M2Y3	2		г
21	4A200 2Y3	3	10	б
22	4A225M2Y3	4	20	а
23	4A250 2Y3	5	30	в
24	4A250M2Y3	6		г
25	4A280 2Y3	1	40	а
26	4A280M2Y3	2	50	б
27	4A315M2Y3	4		г
28	4A315M2Y3	3	10	в
29	4A355 2Y3	5	20	а
30	4A355M2Y3	6	30	б
31	4A50A4Y3	1	40	в
32	4A50B4Y3	2		г
33	4A56A4Y3	3	50	а
34	4A56B4Y3	4	10	б
35	4A63A4Y3	5	20	в
36	4A63B4Y3	6		г
37	4A71A4Y3	1	30	а
38	4A71B4Y3	2	40	б

Продолжение табл. 2.1

№ варианта	Тип двигателя	Рабочая характеристика	m	Номер дополнительного задания
39	4A80A4Y3	3	50	в
40	4A80B4Y3	4		г
41	4A90 4Y3	5	10	а
42	4A100 4Y3	6	20	б
43	4A100 4Y3	1	30	в
44	4A112M4Y3	2		г
45	4A132 4Y3	3	40	а
46	4A132M4Y3	4	50	б
47	4A160 4Y3	5	10	в
48	4A160M4Y3	6		г
49	4A180 4Y3	1	20	а
50	4A180M4Y3	2	30	б
51	4A200M4Y3	3	40	в
52	4A200 4Y3	4		г
53	4A225M4Y3	5	50	а
54	4A250 4Y3	6	10	б
55	4A250M4Y3	1	20	в

56	4A280 4Y3	2		Г
57	4A280M4Y3	3	30	а
58	4A315 4Y3	4	40	б
59	4A315M4Y3	5	50	в
60	4A355 4Y3	6		Г
61	4A63A6Y3	1	10	а
62	4A63B6Y3	2	20	б
63	4A71A6Y3	3	30	в
64	4A71B6Y3	4		Г
65	4A80A6Y3	5	40	а
66	4A80B6Y3	6	50	б
67	4A90 6Y3	1	10	в
68	4A100 6Y3	2		Г
69	4A112M6Y3	3	20	а
70	4A112M6Y3	4	30	б
71	4A132 6Y3	5	10	в
72	4A132M6Y3	6		Г
73	4A160 6Y3	1	50	а
74	4A160M6Y3	2	10	б
75	4A180M6Y3	3	20	в

№ варианта	Тип двигателя	Рабочая характеристика	m	Номер дополнительного задания
76	4A200M6Y3	4		Г
77	4A200 6Y3	5	30	а
78	4A225M6Y3	6	40	б
79	4A250M6Y3	1	50	в
80	4A250M6Y3	2		Г
81	4A280 6Y3	3	10	а
82	4A280M6Y3	4	20	б
83	4A315 6Y3	5	30	в
84	4A315M6Y3	6		Г
85	4A355 6Y3	1	40	а
86	4A355M6Y3	2	50	б
87	4A71B8Y3	3	10	в
88	4A80A8Y3	4		Г
89	4A80B8Y3	5	20	а
90	4A90A8Y3	6	30	б
91	AK-2-81-4	1		д
92	4A90 B8Y3	2	10	а
93	AK-2-82-4	3		е
94	AK-2-91-4	5		ж
95	AK2-92-4	1		д
96	4A112B8Y3	2		Г
97	AK2-81-6	3		е
98	AK2-82-6	5		ж
99	4A132M8Y3	6	50	б
100	AK2-91-6	1		д

4. Пусковой момент: $M_{п} = k_{м} M_{ном}$.

5. Пусковой ток в обмотке статора: $I_{1п} = k_1 I_{ном}$.

6. Активное сопротивление ротора: $r'_2 = (M_{п} 2\pi f_1) / (pm_1 I_{1п}^2)$.

7. Активное сопротивление статора: $r_1 = r'_2$.

8. Модуль сопротивления короткого замыкания: $z_k = U_{1ф} / I_{1п}$

9. Индуктивное сопротивление рассеяния обмоток статора и ротора: $X_1 = X'_2 = 0,5\sqrt{Z_k^2 - (2r_1)^2}$.

10. Модуль сопротивления магнитной цепи: $Z_0 = U_{1ф} / I_{10}$.

11. Коэффициент мощности при холостом ходе асинхронного двигателя: $\cos \varphi_0 = P_0 / m_1 I_{10} U_{1ф}$.

12. Сопротивление, эквивалентное потерям в стали: $r_0 = z_0 \cos \varphi_0$.

13. Индуктивное сопротивление основному магнитному потоку:

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}.$$

14. Для расчета механической характеристики необходимо задаваться скольжением от 0 до 1 и определять момент:

$$M = \frac{PmU_{1ф}^2 r'_2}{S2\pi f [(r_1 + r'_2/S)^2 + (X_1 + X'_2)^2]}.$$

15. Критическое скольжение: $S_{кр} = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}$.

16. Максимальный момент: $M_{max} = \frac{Pm_1 U_{1\phi}^2}{4\pi f_1 \left(r_1 + \sqrt{r_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right)}$

17. Для расчета рабочих характеристик необходимо задаться скольжением от 0 до $S_{кр}$.

18. Полная механическая мощность: $P_2 = M_{п1}(1 - S)/9,55$.

19. Ток статора: $I_1 = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(r_1 + r_2'/S)^2 + (X_1 + X_2')^2}}$.

20. Потери в асинхронном двигателе: $\Delta P = P_0 + m_1 I_1^2 r_k + P_{мех}$.

Механические потери можно определить по универсальным кривым. В диапазоне скольжения $S = 0...2S_{кр}$ их можно принять постоянными, равными механическим потерям при номинальной частоте вращения ротора.

21. К.п.д. асинхронного двигателя: $\eta = (P_2 + P_{мех}) / (P_2 + \Delta P - P_{мех})$.

22. Коэффициент мощности: $\cos \phi_1 = (P_2 + \Delta P - P_{мех}) / m_1 U_{1\phi} I_1$.

23. Механический момент на валу: $M_2 = 9,55(P_2 - P_{мех}) / n_2$.

24. Анализ работы асинхронного двигателя легко проверить, пользуясь Г – образной схемой замещения.

Расчетно-графическая работа 3

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

ЗАДАНИЕ 1 Расчет синхронного генератора

Трехфазный синхронный генератор с явно выраженными полюсами на роторе ($2p = 10$) включен на параллельную работу с сетью напряжением 6000 В частотой 50 Гц. Обмотки статора соединены звездой и содержат в каждой фазе w_1 последовательных витков, обмоточный коэффициент $k_{об1} = 0,92$, индуктивное сопротивление рассеяния обмотки x_1 . Диаметр расточки D_1 , м, расчетная длина сердечника статора l_1 , м, воздушный зазор равномерный $\delta = 2$ мм, коэффициент полюсного перекрытия $\alpha_l = 0,7$, коэффициент воздушного зазора $k_\delta = 1,3$, коэффициент магнитного насыщения $k_\mu = 1,3$. Магнитный поток ротора Φ , Вб.

Рассчитать значения электромагнитных моментов и построить графики $M_{осн} = f(\theta)$, $M_p = f(\theta)$ и $M_{рез} = f(\theta)$. Варианты задания приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Параметры	ВАРИАНТЫ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
w_1	310	309	308	307	306	305	304	303	302	301
x_1 , Ом	10	9,99	9,98	9,97	9,96	9,95	9,94	9,93	9,92	9,91
D_1 , м	0,8	0,79	0,79	0,79	0,79	0,8	0,8	0,8	0,8	0,79
l_1 , м	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
$\Phi \cdot 10^{-3}$ Вб	58	57	57	57	57	58	58	58	58	57
Параметры	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
w_1	302	303	304	305	306	307	308	309	310	301
x_1 , Ом	9,91	9,92	9,93	9,94	9,95	9,96	9,97	9,98	9,99	10
D_1 , м	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
l_1 , м	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29
$\Phi \cdot 10^{-3}$ Вб	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5
Параметры	Варианты									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
w_1	309	308	307	306	305	304	303	302	301	310
x_1 , Ом	10,1	10,1	10,1	10,2	10,2	10,2	10,3	10,3	10,3	10,4
D_1 , м	0,79	0,81	0,79	0,81	0,78	0,81	0,78	0,81	0,78	0,81
l_1 , м	0,29	0,27	0,28	0,29	0,27	0,28	0,29	0,27	0,28	0,29
$\Phi \cdot 10^{-3}$ Вб	58,5	58	57,5	58,5	58	57,5	58,5	58	57,5	58

Методические указания к выполнению первого задания

Алгоритм решения:

Полное индуктивное сопротивление реакции якоря определяется по выражению

$$x_\alpha = 2,5m_1 10^{-6} f_1 \frac{D_1 l_1}{\delta k_\delta k_\mu} \left(\frac{w_1 k_{об1}}{p} \right)^2$$

При $\alpha_i = 0,7$ и равномерном зазоре коэффициенты формы поля $k_d = 0,958$ и $k_q = 0,442$.

Индуктивное сопротивление реакции якоря по продольной оси,

$$x_{ad} = x_a k_d$$

по поперечной оси

$$x_{aq} = x_a k_q.$$

Синхронные индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям:

$$x_d = x_{ad} + x_1$$

$$x_q = x_{aq} + x_1.$$

ЭДС обмотки статора в режиме холостого хода

$$E_0 = 4,44 f_1 \Phi w_1 k_{об1}.$$

Напряжение фазы обмотки статора

$$U_{1номФ} = U_{сети} / \sqrt{3}.$$

Угловая скорость вращения ротора

$$\omega_1 = 2\pi f_1 / p.$$

Максимальное значение основной составляющей электромагнитного момента генератора

$$M_{осн. max} = \frac{m_1 U_{1Ф} E_0}{\omega_1 x_d}.$$

Максимальное значение реактивной составляющей электромагнитного момента

$$M_{р. осн} = \frac{m_1 U_{1Ф}^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right).$$

Электромагнитный момент определяем для значений угла θ , изменяющегося от 0 до 180 электрических градусов по выражениям:

$$M_{осн.} = M_{осн. max} \sin \theta,$$

$$M_p = M_{р max} \sin 2\theta,$$

$$M_{рез} = M_{осн} + M_p.$$

Угол $\theta_{кр}$, соответствующий максимальному моменту M_{max} , где

$$\cos \theta_{кр} = \sqrt{\beta^2 + 0,5} - \beta, \quad \beta = E_0 / [4U_1(x_d / x_q - 1)].$$

Критическому углу $\theta_{кр}$ соответствуют моменты:

$$M_{осн.} = M_{осн. max} \sin \theta_{кр};$$

$$M_p = M_{р max} \sin 2\theta_{кр};$$

$$M_{рез} = M_{осн} + M_p.$$

Графики моментов $M_{осн} = f(\theta)$, $M_p = f(\theta)$ и $M_{рез} = f(\theta)$, строятся по результатам расчетов в одной системе координат и определяются $\theta_{кр}$ и $\theta_{ном}$.

ЗАДАНИЕ 2 Расчет синхронного двигателя

Трехфазный синхронный двигатель номинальной мощностью $P_{ном}$ и числом полюсов $2p$ работает от сети напряжением $U_{1ном}$ (обмотки статора соединены звездой). К.п.д. двигателя $\eta_{ном}$, коэффициент мощности $\cos \varphi_{1ном}$ при опережающем токе статора. Перегрузочная способность двигателя λ , а пусковые параметры определены кратностью пускового тока $I_{п}/I_{ном}$ и кратностью пускового момента $M_{п}/M_{ном}$. Значения этих величин приведены в табл. 3.2. Требуется определить: потребляемые из сети двигателем активную мощность P_1 и ток $I_{1ном}$, развиваемый двигателем при номинальной нагрузке вращающий момент $M_{ном}$, суммарные потери $\sum P$, пусковой момент $M_{п}$ и пусковой ток $I_{п}$, а также вращающий момент M , при котором двигатель выпадает из синхронизма.

Таблица 3.2

Вариант	ПАРАМЕТРЫ							
	$P_{2\text{НОМ}}$, кВт	$U_{1\text{НОМ}}$, кВ	$2p$	$\cos\varphi_{1\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$I_{\text{П}}/I_{1\text{НОМ}}$	$M_{\text{П}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{К}}/M_{\text{НОМ}}$
1	575	6,0	6	0,8	93	5	1,4	1,5
2	600	3,0	10	0,9	92	5,5	1,7	1,5
3	325	3,0	8	0,9	90	4,5	1,7	1,6
4	60	0,38	6	0,8	89	4,5	2,2	1,6
5	160	0,38	6	0,8	90	4,8	2,4	1,5
6	575	3	6	0,8	93	5	1,4	1,5
7	600	6	10	0,9	92	5,5	1,7	1,5
8	325	6	8	0,9	90	4,5	1,7	1,6
9	60	0,38	10	0,8	89	4,5	2,2	1,6
10	160	0,38	8	0,8	90	4,8	2,4	1,5
11	575	10	6	0,8	93	5	1,4	1,5
12	600	3,0	8	0,9	92	5,5	1,7	1,5
13	325	6	10	0,9	90	4,5	1,7	1,6
14	60	0,38	8	0,8	89	4,5	2,2	1,6
15	160	0,38	10	0,8	90	4,8	2,4	1,5
Вариант	ПАРАМЕТРЫ							
	$P_{2\text{НОМ}}$, кВт	$U_{1\text{НОМ}}$, кВ	$2p$	$\cos\varphi_{1\text{НОМ}}$	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$I_{\text{П}}/I_{1\text{НОМ}}$	$M_{\text{П}}/M_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{К}}/M_{\text{НОМ}}$
16	575	6,0	6	0,82	93	5	1,4	1,5
17	600	3,0	10	0,89	92	5,5	1,7	1,5
18	325	3,0	8	0,89	90	4,5	1,7	1,6
19	60	0,38	6	0,82	89	4,5	2,2	1,6
20	160	0,38	6	0,82	90	4,8	2,4	1,5
21	575	6,0	6	0,85	93	5	1,4	1,5
22	600	3,0	10	0,88	92	5,5	1,7	1,5
23	325	3,0	8	0,88	90	4,5	1,7	1,6
24	60	0,38	6	0,81	89	4,5	2,2	1,6
25	160	0,38	6	0,81	90	4,8	2,4	1,5

Методические указания к выполнению второго задания

Алгоритм решения:

Потребляемая синхронным двигателем из сети номинальная активная мощность:

$$P_{1\text{НОМ}} = P_{2\text{НОМ}} / \eta_{\text{НОМ}}$$

Потребляемый синхронным двигателем из сети номинальный ток:

$$I_{1\text{НОМ}} = \frac{P_{2\text{НОМ}}}{\sqrt{3} U_{1\text{НОМ}} \eta_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{НОМ}}}$$

Развиваемый синхронным двигателем при номинальной нагрузке вращающий момент:

$$M_{\text{НОМ}} = 9,55 \frac{P_{2\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}}$$

Суммарные потери синхронного двигателя при номинальном режиме работы:

$$\sum P = P_{1\text{НОМ}} - P_{2\text{НОМ}}$$

Пусковой момент определяется через кратность пускового момента синхронного двигателя для асинхронного пуска:

$$M_{\text{П}} = K_{\text{П}} M_{\text{НОМ}}$$

где $K_{\text{П}} = M_{\text{П}}/M_{\text{НОМ}}$ – кратность пускового момента синхронного двигателя.

Пусковой ток синхронного двигателя определяется через кратность пускового тока:

$$I_{\text{П}} = (I_{\text{П}}/I_{\text{НОМ}}) I_{\text{НОМ}}$$

Максимальный вращающий момент синхронного двигателя (двигатель выпадает из синхронизма при превышении

M_{max}):

$$M_{\text{max}} = \lambda M_{\text{НОМ}}$$

Задание 3. РАСЧЕТ СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА

Потребитель, включенный в сеть переменного тока напряжением U_c , потребляет мощность $S_{\text{потр}}$, при коэффициенте мощности $\cos\varphi$. Определить мощность синхронного компенсатора, необходимого для повышения коэффициента мощности в сети до $\cos\varphi'$ и потребляемую из сети полную мощность после компенсации. Определить также ток нагрузки в сети до и после компенсации. Построить векторную диаграмму токов сети до и после включения синхронного компенсатора, определить угол между векторами напряжения и тока после включения компенсатора. Варианты задания приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Параметры	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_c , кВ	6,0	10,0	20,0	35,0	6,0	10,0	20,0	35,0	6,0	10,0
$S_{порт}$, МВ·А	0,66	4,5	1,8	2,4	0,8	1,7	1,5	1,7	1,5	3,5
$\cos\varphi$	0,70	0,72	0,70	0,75	0,70	0,72	0,75	0,74	0,78	0,72
$\cos\varphi'$	0,90	0,92	0,88	0,90	0,85	0,80	0,83	0,85	0,90	0,85
Параметры	ВАРИАНТЫ									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_c , кВ	6,0	10,0	20,0	35,0	6,0	10,0	20,0	35,0	6,0	10,0
$S_{порт}$, МВ·А	0,60	4,2	1,6	2,2	0,7	1,5	1,3	1,5	1,3	3,2
$\cos\varphi$	0,72	0,74	0,72	0,77	0,73	0,74	0,77	0,76	0,8	0,74
$\cos\varphi'$	0,92	0,94	0,90	0,92	0,88	0,82	0,84	0,87	0,92	0,87
Параметры	Варианты									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U_c , кВ	6,0	10,0	20,0	35,0	6,0	10,0	20,0	35,0	6,0	10,0
$S_{порт}$, МВ·А	0,7	4,8	2,0	2,6	1,0	1,9	1,7	1,9	1,8	3,8
$\cos\varphi$	0,68	0,70	0,67	0,73	0,67	0,69	0,73	0,71	0,75	0,70
$\cos\varphi'$	0,93	0,95	0,91	0,93	0,91	0,88	0,86	0,91	0,94	0,90

Методические указания к выполнению третьего задания

Алгоритм решения:

До включения синхронного компенсатора реактивная мощность сети определяется по выражению $Q = S \sin \varphi$, ток нагрузки в сети $I_c = S / (\sqrt{3} U_c)$, активная составляющая этого тока $I_{c,a} = I_c \cos \varphi$.

После включения синхронного компенсатора реактивная мощность уменьшается до $Q' = S \sin \varphi'$.

Таким образом, для повышения коэффициента мощности установки от $\cos \varphi$ до $\cos \varphi'$ требуется включить синхронный компенсатор мощностью $Q_{c,k} = Q - Q'$.

При этом активная составляющая тока сети не изменится ($I_{c,a}$), а реактивная составляющая этого тока станет равной $I'_{c,p} = Q' / (\sqrt{3} U_c)$.

Следовательно, ток в сети после включения синхронного компенсатора $I'_c = \sqrt{I_{c,a}^2 + I_{c,p}^2}$.

Полная мощность, потребляемая из сети после включения синхронного компенсатора $S' = \sqrt{3} U_c I'_c$.

Обычно коэффициент мощности увеличивается до 0,92...0,95, так как экономия, получаемая от повышения коэффициента мощности до единицы, не оправдывает увеличивающихся расходов, обусловленных возросшей мощностью синхронного компенсатора.

Расчетно-графическая работа 4

РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Общие требования к выполнению задания

Перед выполнением расчетно-графической работы необходимо самостоятельно повторить следующие вопросы из раздела "Машины постоянного тока": устройство машин постоянного тока и получение постоянной э.д.с., режимы работы машины постоянного тока, электродвижущая сила якоря, электромагнитный момент, магнитное поле машины при нагрузке, способа возбуждения машин постоянного тока, генераторы с самовозбуждением.

При повторении рекомендуется использовать лекционный материал по разделу "Машины постоянного тока".

Содержание задания

По каталожным и паспортным данным машины постоянного тока, приведенным в табл. 4.2, выполнить:

Задание 1. РАСЧЕТ ГЕНЕРАТОРА

- Начертить общую схему установки.
- Перестроить кривую намагничивания (см. табл. 4.1), заданную в относительных единицах $\Phi / \Phi_n = f(I_v / I_{vн})$ в характеристику холостого хода.
- По полученной характеристике холостого хода построить внешнюю характеристику генератора при постоянном сопротивлении цепи возбуждения и постоянной частоте вращения (реакцией якоря и падением напряжения в контактах щеток пренебречь).
- По внешней характеристике определить относительное изменение напряжения на зажимах генератора при переходе от номинального режима к режиму холостого хода.
- Построить рабочий участок внешней характеристики при независимом возбуждении и определить относительное изменение напряжения на его зажимах при переходе от номинального режима к режиму холостого хода.
- Определить моменты приводного двигателя при двух токах нагрузки генератора: при $0,5 I_n$, при $1,5 I_n$ (полагая в первом приближении, что частота вращения номинальная).

- 7) Определить при каком значении $r_{дв}$ сопротивление цепи возбуждения становится критическим.
- 8) Расшифровать обозначение типа машины.

Методические указания к выполнению первого задания

1. Относительное изменение напряжения, %

$$\Delta U = \frac{U(I_{я} = 0) - U(I_{я} = I_{н})}{U(I_{я} = 0)} \cdot 100.$$

Если генератор имеет последовательное возбуждение, то для расчета внешней характеристики необходимо задаваться током $I_{я} = I_{в} = I_{н}$, но в отличие от рассмотренного алгоритма напряжение рассчитывать из уравнения $U_{н} = E_{н} - I_{я} r_{я}$.

Вычисление относительного изменения напряжения рекомендуется сделать графически по построенной внешней характеристике.

При вычерчивании схемы установки показать пусковой, нагрузочный и регулировочный реостаты, а также обозначить токи и напряжения, используемые в расчете.

Для построения внешней характеристики генератора параллельного возбуждения следует задаваться рядом значений $I_{в}/I_{вн}$, по которым определить $U = U_{н} I_{в}/I_{вн}$, а затем по характеристике холостого хода найти соответствующие величины э.д.с. E и по формуле $I = (E - U)/r_{я}$ рассчитать величины токов нагрузки.

Для определения величины тока $I_{кр}$ следует к характеристике холостого хода провести касательную, параллельную зависимости падения напряжения от тока возбуждения.

ЗАДАНИЕ 2 Расчет двигателя

- 1) начертить общую схему установки;
- 2) перестроить кривую намагничивания (табл. 4.1), заданную в относительных единицах $\Phi/\Phi_{н} = f(I_{в}/I_{вн})$ в характеристику холостого хода;
- 3) построить естественную механическую характеристику;
- 4) построить три искусственные механические характеристики при включений в цепь якоря дополнительного сопротивления $R_{дв} = 1; 0,8$ и $0,6$ Ом;
- 5) построить искусственную механическую характеристику при включении добавочного сопротивления в цепь возбуждения $R_{дв} = 0,5 R_{в}$ Ом;
- 6) определить потери мощности в обмотке якоря, в цепи возбуждения и к.п.д. двигателя;
- 7) рассчитать механическую и рабочие характеристики двигателя.

Кривая намагничивания в относительных единицах задается в табл. 4.1.

Таблица 4.1

$I_{в}/I_{вн}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$\Phi/\Phi_{н}$	0,07	0,33	0,59	0,78	0,91	1,0	1,07	1,13	1,17	1,2

Методические указания для выполнения второго задания

Свойства двигателей постоянного тока (ДПТ) в основном определяются способом питания обмотки возбуждения. В связи с этим необходимо рассматривать алгоритм расчета механических и рабочих характеристик.

Математическая модель ДПТ определяется следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} U_{н} = E + I_{я} r_{я}; \\ E = C_e \Phi n; \\ M = C_m \Phi I_{я}; \\ E = A \arctg B I_{в}. \end{cases}$$

где $U_{н}$ – напряжение питания ДПТ; $I_{я}$ – ток якоря; $r_{я}$ – суммарное сопротивление якоря; E – э.д.с., которая наводится в якоря ДПТ; C_e ; C_m – коэффициенты пропорциональности, которые зависят от конструктивных параметров ДПТ; Φ – магнитный поток; n – частота вращения якоря ДПТ.

Рассмотрим алгоритм расчета механической и рабочих характеристик с параллельным или независимым возбуждением, при этом будем пренебрегать реакцией якоря. Для построения указанного алгоритма техническое задание должно содержать номинальные данные: $U_{н}$ – напряжение; $I_{н}$ – потребляемый ток; $I_{вн}$ – ток возбуждения; $n_{н}$ – частоту вращения ротора; $M_{н}$ – момент на валу; $r_{я}$ – сопротивление якоря.

Алгоритм расчета имеет следующий вид:

1. Задаемся потребляемым из сети током в диапазоне $(0,1 - 1,3) I_{н} = I$.
2. Определяем ток якоря $I_{я} = I - I_{вн}$ (при независимом возбуждении $I_{я} = I$).
3. Определяем э.д.с. при номинальном режиме:
 $E_{н} = U_{н} + (I_{н} - I_{вн}) r_{я}$.
4. Частота вращения ротора:
 $n = (U - I_{я} r_{я}) / C_e \Phi = n_{н} (U - I_{я} r_{я}) / E_{н}$.
5. Мощность, потребляемая из сети: $P_1 = UI$.

$$6. \text{ Потери энергии } \Delta P = I_{\text{я}}^2 r_{\text{я}} + U_{\text{н}} I_{\text{вн}} + P_{\text{мех}}.$$

В машинах постоянного тока мощность 10...500 кВт механические потери составляют соответственно около 2...0,5 % от номинальной мощности машины.

$$7. \text{ Механическая мощность на валу ДПТ } P_2 = P_1 - \Delta P.$$

$$8. \text{ Вращающий момент на валу } M = 9,55 P_2 / n$$

$$9. \text{ К.п.д. } \eta = (P_1 / P_2) 100 \%.$$

Алгоритм расчета двигателя с последовательным возбуждением имеет свои особенности. В этом двигателе ток возбуждения $I_{\text{в}} = I_{\text{я}}$, поэтому магнитный поток Φ является функцией тока якоря $I_{\text{я}}$. Используя вышеприведенную систему уравнений, составим алгоритм расчета механической и рабочих характеристик ДПТ.

Рассматриваемый алгоритм имеет следующий вид:

$$1. \text{ Задаем потребляемым из сети током в диапазоне } I = (0,1 - 1,3) I_{\text{н}}. \text{ Необходимо иметь в виду, что } I = I_{\text{я}} = I_{\text{вн}}.$$

$$2. \text{ Э.д.с. якоря } E = A_1 \arctg B_1.$$

$$3. \text{ Частота вращения ротора } n = (U_{\text{н}} - r_{\text{я}} I_{\text{я}}) / E_{\text{н}} \Phi / \Phi_{\text{н}}.$$

Необходимо для расчета n аппроксимировать кривую намагничивания в виде: $\Phi / \Phi_{\text{н}} = A_1 \arctg B_1 I_{\text{в}} / I_{\text{вн}}$. Связь между коэффициентами A и A_1 , B и B_1 дана в приложении.

$$4. \text{ Мощность, потребляемая из сети: } P_1 = UI.$$

$$5. \text{ Потери энергии } \Delta P = I_{\text{я}}^2 r_{\text{я}} + P_{\text{мех}} + I_{\text{в}}^2 r_{\text{в}}.$$

$$6. \text{ Механическая мощность на валу ДПТ } P_2 = P_1 - \Delta P.$$

$$7. \text{ Вращающий момент на валу двигателя } M = 9,55 P_2 / n.$$

$$8. \text{ Коэффициент полезного действия } \eta = P_2 / P_1$$

При необходимости по рассмотренным выше алгоритмам может быть построена моментная $M = f(I)$ и скоростная $n = f(I)$ характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, Н.Н. Электрические машины и микромашины / Н.Н. Александров. – М. : Колос, 1983. – 384 с.
2. Брускин, Д.Э. Электрические машины / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. – М. : Высшая школа, 1979. Ч. 1, 288 с.; Ч. 2, 304 с.
3. Вольдек, А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л., «Энергия», 1966. – 782 с.
4. Кацман, М.М. Электрические машины / М.М. Кацман. – М. : Высшая школа, 2003. – 469 с.

АППРОКСИМАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХОЛОСТОГО ХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

К уравнению, выражающему характеристику холостого хода, следует предъявить следующие требования:

1. Уравнение должно возможно точно выражать зависимость э.д.с. машины от тока возбуждения.
2. Не должно приводить к слишком сложным для производства вычислениям.
3. Уравнение не должно содержать большого количества постоянных.

Из всего многообразия аппроксимационных зависимостей для выполнения РГР рекомендуется следующая:

$$E = A \arctg B I_B. \quad (1)$$

Для расчета коэффициентов A и B необходимо составить два уравнения. При этом нужно взять точку и характеристики холостого хода и номинального режима. Получится система из двух уравнений:

$$\begin{aligned} E_0 &= A \arctg B I_{B0}; \\ E_H &= A \arctg B I_{BH}, \end{aligned} \quad (2)$$

где E_0, E_H – соответственно э.д.с. для режимов холостого хода и номинального режима; I_{B0}, I_{BH} соответственно ток в обмотке возбуждения для режимов холостого хода и нагрузки.

Если кривая намагничивания задается в относительных единицах и таблицей, например: $\Phi/\Phi_H = \psi(I_B/I_{BH})$, то необходимо взять из табл. 4.1 две точки, например,

$$I_B/I_{BH} = 1; \Phi/\Phi_H = 1 \text{ и } I_B/I_{BH} = 1,4; \Phi/\Phi_H = 1,13$$

и составить аналогичную систему:

$$\begin{aligned} 1 &= A_1 \arctg B_1 \cdot 1; \\ 1,13 &= A_1 \arctg B_1 \cdot 1,14. \end{aligned} \quad (3)$$

После нахождения A и B из системы (3) необходимо провести зависимость к виду (1). С этой целью необходимо вычислить E_H и I_{BH} и определить A и B по формулам: $B = B_1/I_{BH}$, $A = A_1 E_H$.

Для расчета основных параметров трансформаторов на ЭВМ необходимо также аппроксимировать кривую намагничивания электротехнической стали, из которой изготовлен магнитопровод трансформатора. Для этой цели рекомендуется следующая зависимость: $H = \alpha S h \beta B$.

Коэффициенты аппроксимации α и β определяются аналогичным способом.

При решении систем уравнений типа (2) рекомендуется первое уравнение разделить почленно на второе. При этом получим:

$$\frac{E_0}{E_H} = \frac{\arctg B I_{B0}}{\arctg B I_{BH}}. \quad (4)$$

Уравнения (4) можно решать одним из численных методов.

Рассмотрим решение уравнения (3). С этой целью приведем его к виду:

$$\frac{\arctg B_1 \cdot 1,4}{\arctg B_1 \cdot 1} = 1,13. \quad (5)$$

Уравнение (5) решим методом Ньютона:

$$B_1^{[n+1]} = B_1^{[n]} - \frac{f(B_1^{[n]})}{f'(B_1^{[n]})}. \quad (6)$$

При последовательных уточнениях $\lim_{n \rightarrow \infty} B_1^{[n+1]} = B_1$; где n – число приближений.

$$f'(B_1) = \arctg B_1 \cdot 1,4 - 1,13 \cdot \arctg B_1 \cdot 1 = 0. \quad (7)$$

Результаты расчетов сведем в табл. П1.

Таблица П1

n	0	1	2	3	4
(B_1)	0,06305	0,036478	0,01866	0,008817	
(B_1)	-0,22716	-0,191163	-0,16670	-0,1535	
(B_1)	1	1,2775	1,4683	1,58	1,6374

Уже при третьем уточнении погрешность решения уравнения (7) $\varepsilon = 0,88\%$. Эта величина вполне допустима при решении данного круга электротехнических задач.

Из любого уравнения системы (3) можно найти величину коэффициента A_1 . Например, из первого уравнения имеем:

$$A_1 = \frac{1}{\arctg B_1} = \frac{1}{\arctg 1,6374} = 0,978.$$

Для представления зависимостей в виде (1) необходимо провести дополнительные вычисления для конкретного варианта.

В качестве примера рассмотрим вариант:

$$E_H = U_H + I_H r_{\gamma} = 115 + 33 \cdot 0,58 = 134,14 \text{ В,}$$

$$I_{\text{вн}} = \frac{U_{\text{н}}}{r_{\text{в}}} = \frac{115}{95} = 1,21 \text{ А,}$$

$$B = \frac{B_1}{I_{\text{вн}}} = \frac{1,6374}{1,21} = 1,3526,$$

$$A = A_1 E_{\text{н}} = 0,978 \cdot 134,14 = 131,18.$$

Таким образом, для рассмотренного варианта уравнение характеристики холостого хода имеет вид:

$$E = 134,14 \arctg 1,3526 I_{\text{в}}.$$

Таблица П2

Марка стали	Толщина, мм	Удельные потери Вт/кг, не более		Магнитная индукция B , Тл при напряженности магнитного поля, А/м не менее				
		$P_{1,0/50}$	$P_{1,5/50}$	B_{1000}	B_{2500}	B_{5000}	B_{10000}	B_{30000}
1211	1,00	5,8	3,4	—	1,53	1,63	1,76	2,00
	0,50	3,3	7,7	—	1,53	1,64	1,76	2,00
1212	1,00	5,4	12,5	—	1,53	1,62	1,76	2,00
	0,65	3,4	8,0	—	1,50	1,62	1,72	1,98
1213	1,00	4,7	10,7	—	1,50	1,62	1,75	1,98
	0,65	3,2	7,5	—	1,50	1,62	1,75	1,98
	0,50	2,8	6,5	—	1,50	1,62	1,75	1,98
1311	0,50	2,5	6,1	—	1,48	1,59	1,73	1,95
1312	0,50	2,2	5,3	—	1,48	1,59	1,73	1,95
1313	0,50	2,1	4,6	—	1,48	1,59	1,73	1,95
1411	0,50	2,0	4,4	—	1,46	1,57	1,72	1,94
	0,35	1,6	3,6	—	1,46	1,57	1,71	1,92
1412	0,50	1,8	3,9	—	1,46	1,57	1,71	1,92
	0,35	1,4	3,2	—	1,46	1,57	1,71	1,92
1413	0,50	1,55	3,5	—	1,48	1,59	1,73	1,94
	0,35	1,35	3,0	—	1,48	1,59	1,73	1,94
1411	0,50	1,55	3,5	1,30	1,46	1,57	1,70	1,90
	0,35	1,35	3,0	1,30	1,46	1,57	1,70	1,90
1512	0,50	1,40	3,1	1,29	1,45	1,56	1,69	1,89
	0,35	1,20	2,8	1,29	1,45	1,56	1,69	1,89
1513	0,50	1,25	2,9	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89
	0,35	1,05	2,5	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89
1514	0,50	1,15	2,7	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89
	0,35	0,90	2,2	1,29	1,44	1,55	1,69	1,89

Примечание: плотность стали марок 1211, 1212, 1213 составляет $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$; 1311, 1312, 1313, – 7750 кг/м^3 ; 1411, 1412, 1413 – 7650 кг/м^3 ; 1511, 1512, 1513, 1514 – 7550 кг/м^3 .

Таблица П3

Марка стали	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг, не более			Магнитная индукция при напряженности магнитного поля А/м, не менее		
		$P_{1,0/50}$	$P_{1,5/50}$	$P_{1,7/50}$	B_{100}	B_{250}	B_{2500}
3411	0,5		2,45	3,20			1,75
	0,35		1,75	2,50			1,75
3412	0,5		2,10	2,80			1,85
	0,35	1,10	1,50	2,20			1,85
3413	0,5	0,80	1,75	2,50			1,85
	0,35	0,95	1,30	1,90			1,85
	0,30	0,70	1,19	1,75			1,85
3414	0,5	0,80	1,50	2,20	1,60	1,70	1,88
	0,35	0,60	1,10	1,60	1,60	1,70	1,88
	0,30		1,03	1,50	1,60	1,70	1,88
3415	0,28	0,70	1,05	1,55			1,85
	0,35	0,50	1,03	0,50	1,61	1,71	1,90
	0,30		0,97	1,40	1,61	1,71	1,90
3416	0,28		0,95	1,38	1,61	1,71	1,90
	0,28		0,89	1,30	1,61	1,70	1,90

Примечание. Плотность стали марок 3411, 3412, 3413, 3414, 3416 составляет $\gamma = 7650 \text{ кг/м}^3$; плотность стали марок 3421, 3422, 3424, 3425 составляет $\gamma = 7650 \text{ кг/м}^3$.

Технические данные асинхронных двигателей трехфазного тока единой серии 4А, $U_{\text{н}} = 380 \text{ В}$.

Таблица П4

Тип двигателя	Мощность, кВт	При номинальной мощности				$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$
		Частота вращения, об/мин	Ток статора, А	К.п.д., %	cosφ				
4A50A2У3	0,09	2740	0,32	60,0	0,70	4,0	2,0	1,8	2,2
4A50B2У3	0,12	2710	0,32	63,0	0,70	4,0	2,0	1,8	2,2
4A56A2У3	0,18	2800	0,54	66,0	0,76	4,0	2,0	1,5	2,2
4A56B2У3	0,25	2770	0,74	68,0	0,77	4,0	2,0	1,5	2,2
4A63A2У3	0,37	2750	0,93	70,0	0,86	4,5	2,0	1,5	2,2
4A63B2У3	0,55	2740	1,33	73,0	0,86	4,5	2,0	1,5	2,2
4A71A2У3	0,75	2840	1,7	77,0	0,87	5,5	2,0	1,5	2,2
4A71B2У3	1,1	2810	2,5	77,5	0,87	5,5	2,0	1,5	2,2
4A80A2У3	1,5	2850	3,3	81,0	0,85	6,5	2,1	1,4	2,6
4A80B2У3	2,2	2850	4,7	83,0	0,87	6,5	2,1	1,4	2,6
4A902У3	3,0	2840	6,1	84,5	0,88	6,5	2,1	1,6	2,5
4A1002У3	4,0	2880	7,8	86,5	0,89	7,5	2,0	1,6	2,5

Продолжение табл. П4

Тип двигателя	Мощность, кВт	При номинальной мощности				$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$
		Частота вращения, об/мин	Ток статора, А	К.п.д., %	cosφ				
4A1002У3	5,5	2860	10,5	87,5	0,91	7,5	2,0	1,6	2,5
4A112M2У3	7,0	2900	14,9	87,5	0,88	7,5	2,0	1,8	2,8
4A132M2У3	11,0	2900	21,2	88,0	0,90	7,5	1,7	1,5	2,8
4A160 2У3	15,0	2940	28,4	88,0	0,91	7,0	1,4	1,0	2,2
4A315M6У3	132	985	239	93,5	0,90	6,5	1,4	0,9	2,2
4A355 6У3	160	985	291	93,5	0,90	6,5	1,4	0,9	2,2
4A355M6У3	200	985	362	94,0	0,90	6,5	1,4	0,9	2,2
4A71B8У3	0,25	680	1,05	56,0	0,65	3,0	1,6	1,4	1,7
4A80A8У3	0,37	675	1,4	61,5	0,65	3,5	1,6	1,2	1,7
4A80B8У3	0,55	700	2,0	64,0	0,65	3,5	1,6	1,2	1,7
4A90A8У3	0,75	700	2,7	68,0	0,62	3,5	1,6	1,4	1,9
4A90B8У3	1,1	700	3,5	70,0	0,68	3,5	1,6	1,4	1,9
4A100 8У3	1,5	700	4,7	74,0	0,65	4,0	1,6	1,3	1,9
4A112MA8У3	2,2	700	6,18	76,5	0,71	5,0	1,9	1,5	2,2
4A112MB8У3	3,0	700	7,8	79,8	0,74	5,0	1,9	1,5	2,2
4A132 8У3	4,0	720	10,3	83,0	0,70	5,5	1,9	1,7	2,6
4A132M8У3	5,5	720	13,6	83,0	0,74	5,5	1,9	1,7	2,6
4A160 8У3	7,5	730	17,7	86,0	0,75	6,0	1,4	1,0	2,2
4A160M8У3	11,0	730	25,6	87,0	0,75	6,0	1,4	1,0	2,2
4A180M8У3	15,0	730	32,0	87,0	0,82	6,0	1,2	1,0	2,0
4A200M8У3	18,5	735	37,8	88,5	0,84	5,5	1,2	1,1	2,2
4A200 8У3	22,0	730	45,0	88,5	0,84	5,5	1,2	1,1	2,0
4A225M8У3	30,0	735	62,4	90,0	0,81	6,0	1,3	1,2	2,1
4A250 8У3	37,0	735	75,0	90,0	0,83	6,0	1,2	1,0	2,0
4A250M8У3	45,0	740	89,6	91,0	0,84	6,0	1,2	1,0	2,0
4A280 8У3	55,0	735	108	92,0	0,84	5,5	1,2	1,0	2,0
4A63B6У3	0,25	890	1,04	59,0	0,62	3,0	2,2	1,5	2,2
4A71A6У3	0,37	910	1,26	64,5	0,69	4,0	2,0	1,8	2,2
4A71B6У3	0,55	900	1,74	67,5	0,71	4,0	2,0	1,8	2,2
4A80A6У3	0,75	915	2,24	69,0	0,74	4,0	2,0	1,6	2,2
4A80B6У3	1,1	920	3,05	74,0	0,74	4,0	2,0	1,6	2,2
4A90 6У3	1,5	935	4,1	75,0	0,74	4,5	2,0	1,7	2,2
4A100 6У3	2,2	950	5,65	81,0	0,73	5,0	2,0	1,6	2,2
4A112MA6У3	3,0	955	7,4	81,0	0,76	6,0	2,0	1,8	2,5
4A112MB6У3	4,0	950	9,23	82,0	0,81	6,0	2,0	1,8	2,5
4A132 6У3	5,5	965	12,2	85,0	0,80	6,5	2,0	1,8	2,5
4A132M6У3	7,5	870	16,5	85,5	0,81	6,5	2,0	1,8	2,5
4A160 6У3	11,0	975	22,6	86,0	0,86	6,0	1,2	1,0	2,0
4A160M6У3	15,0	975	30,0	87,5	0,87	6,0	1,2	1,0	2,0
4A180M6У3	18,5	975	36,6	88,0	0,87	5,0	1,2	1,0	2,0
4A200M6У3	22,0	975	41,3	90,0	0,90	6,5	1,3	1,0	2,4

Продолжение табл. П4

Тип двигателя	Мощность, кВт	При номинальной мощности				$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$
		Частота вращения, об/мин	Ток статора, А	К.п.д., %	cosφ				
4A225M6Y34	30,0	980	56,0	90,5	0,90	6,5	2,3	1,0	2,4
A200 6Y3	37,0	980	69,4	91,0	0,89	6,5	1,2	1,0	2,3
4A250 6Y3	45,0	985	84,0	91,5	0,89	6,5	1,2	1,0	2,1
4A250M6Y3	55,0	985	103	91,5	0,89	6,5	1,2	1,0	2,1
4A280 6Y3	75,0	985	139	92,2	0,89	5,5	1,4	1,2	2,2
4A280M6Y3	90,0	985	165	92,5	0,89	5,5	1,4	1,2	2,2
4A315M6Y3	110	985	199	93,0	0,90	6,5	1,4	0,9	2,2
4A80B4Y3	1,5	1415	3,57	77,0	0,83	5,0	2,0	1,6	2,2
4A90 4Y3	2,2	1425	5,02	80,0	0,83	6,0	2,1	1,6	2,4
4A100 4Y3	3,0	1435	6,7	82,0	0,83	6,0	2,0	1,6	2,4
4A100 4Y3	4,0	1430	8,6	84,0	0,84	6,0	2,0	1,6	2,4
4A112M4Y3	5,5	1445	11,5	85,5	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2
4A132 4Y3	7,5	1455	11,1	87,5	0,86	7,5	2,2	1,7	3,0
4A132M4Y3	11,0	1460	22,0	87,5	0,87	7,5	2,2	1,7	3,0
4A160 4Y3	15,0	1465	29,3	88,5	0,88	7,0	1,4	1,0	2,3
4A160M4Y3	18,5	1465	35,7	89,5	0,88	7,0	1,4	1,0	2,3
4A180 4Y3	22,0	1470	41,3	90,0	0,90	6,5	1,4	1,0	2,3
4A180M4Y3	30,0	1470	56,0	91,0	0,89	6,5	1,4	1,0	2,3
4A200M4Y3	37,0	1470	68,8	91,0	0,90	7,0	1,4	1,0	2,5
4A200 4Y3	45,0	1470	82,6	92,0	0,90	7,0	1,4	1,0	2,5
4A225M4Y3	55,0	1480	100	92,5	0,90	7,0	1,3	1,0	2,5
4A250 4Y3	75,0	1480	136	93,0	0,90	7,0	1,2	1,0	2,3
4A250M4Y3	90,0	1480	162	93,0	0,91	7,0	1,2	1,0	2,3
4A280 4Y3	110	1470	201	92,5	0,90	5,5	1,2	1,0	2,0
4A280M4Y3	132	1480	240	93,0	0,90	5,5	1,3	1,0	2,0
4A315 4Y3	160	1480	285	93,5	0,91	6,0	1,3	0,9	2,2
4A315M4Y3	200	1480	351	94,0	0,92	6,0	1,3	0,9	2,2
4A355 4Y3	250	1485	438	94,5	0,92	7,0	1,2	0,9	2,0
4A355M4Y3	315	1485	549	94,5	0,92	7,0	1,2	0,9	2,0
4A63A6Y3	0,18	885	0,78	56,0	0,62	3,0	2,2	1,5	2,2
4A160M2Y3	18,5	2940	34,5	88,5	0,92	7,0	1,4	1,0	2,2
4A180 2Y3	22,0	2945	41,6	88,5	0,91	7,5	1,4	1,1	2,5
4A180M2Y3	30,0	2945	56,0	90,5	0,90	7,5	1,4	1,1	2,5
4A200M2Y3	37,0	2945	70,0	90,0	0,89	7,5	1,4	1,0	2,5
4A200 2Y3	45,0	2945	83,8	91,0	0,90	7,5	1,4	1,0	2,5
4A225M2Y3	55,0	2945	100	91,0	0,92	7,5	1,4	1,2	2,5
4A250 2Y3	75,0	1960	140	91,0	0,89	7,5	1,2	1,0	2,5
4A250M2Y3	90,0	2960	165	92,0	0,90	7,5	1,2	1,0	2,5

Таблица 4.2

№ вар.	Тип	Режим генератора				Режим двигателя			Сопротивление при 20°C, Ом	
		$P_{н}$, кВт	$I_{н}$, А	$U_{н}$, В	$n_{н}$, об/мин	$P_{д}$, кВт	$U_{д}$, В	$n_{д}$, об/мин	$r_{я}$	$r_{в}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2ПН112М	4,8	41,7	115	2850	3,6	110	3000	0,58	95
2	2ПБ160М	7,7	66	-//-	-//-	6,0	-//-	-//-	0,25	120
3	2ПФ132	14,0	122	-//-	-//-	11,0	-//-	-//-	0,11	46
4	2ПБ160М	9,2	80	-//-	-//-	7,1	-//-	-//-	0,20	82
5	2ПН132	19,0	166	-//-	-//-	14,0	-//-	-//-	0,09	44
6	2ПО132	4,3	37,4	-//-	1450	3,4	-//-	1500	0,55	60
7	2ПБ160	6,6	57,6	-//-	-//-	5,3	-//-	-//-	0,50	150
8	2ПО160М	7,3	6,4	115	-//-	6,0	-//-	-//-	0,28	100
9	2ПБ180	10,2	89	-//-	-//-	8,5	-//-	-//-	0,11	50
10	2ПН180М	13,6	118	-//-	-//-	11,0	-//-	-//-	0,10	50
11	2ПН180М	17,6	153,4	-//-	-//-	15	-//-	-//-	0,90	50
12	2ПН200М	28	122,6	230	-//-	22	220	-//-	0,06	115
13	2ПН112М	4,90	21,4	-//-	2850	3,6	-//-	3000	1,5	306
14	2ПО132	8,6	37,3	-//-	-//-	6,7	-//-	-//-	0,95	230
15	2ПБ160М	8,9	39	-//-	-//-	7,1	-//-	-//-	0,9	114
16	2ПФ132	13,7	59,5	-//-	-//-	11,0	-//-	-//-	0,2	115
17	2ПН132	17,3	75	-//-	-//-	14,0	-//-	-//-	0,45	115
18	2ПН160М	22	96	-//-	-//-	18,0	-//-	-//-	0,22	144
19	2ПН160	29	125	-//-	-//-	24,0	-//-	-//-	0,085	153
20	2ПО132М	4	17,4	-//-	1450	2,8	-//-	1500	1,2	290
21	2ПО132	4,6	20	-//-	-//-	3,4	-//-	-//-	1,15	380
22	2ПБ160	7	30,7	230	1450	5,3	220	1500	0,74	290
23	2ПО180М	13	57,2	-//-	-//-	10,0	-//-	-//-	0,52	290
24	2ПО200	22,4	97,2	-//-	-//-	17,0	-//-	-//-	0,31	115
25	2ПФ180	12,5	54,3	-//-	740	10	-//-	750	0,36	92,5
26	2ПФ200	18,5	80,5	-//-	-//-	15	-//-	-//-	0,24	92

№ вар.	Тип	Режим генератора				Режим двигателя			Сопротивление при 20°C, Ом	
		$P_{н}$, кВт	$I_{н}$, А	$U_{н}$, В	$n_{н}$, об/мин	$P_{д}$, кВт	$U_{д}$, В	$n_{д}$, об/мин	$r_{я}$	$r_{в}$
27	2ПБ180М	5,8	25	-//-	-//-	4,5	-//-	1000	0,63	184
28	2ПФ160М	7,4	32	-//-	-//-	6,0	-//-	-//-	0,49	158
29	2ПФ160	9,8	43	-//-	-//-	8,0	-//-	-//-	0,32	136
30	2ПН180	12	50	-//-	-//-	10,0	-//-	-//-	0,38	85
31	2ПФ180М	15	66	-//-	980	12,0	-//-	-//-	0,01	108
32	2ПН112М	2	8,8	-//-	1450	1,5	-//-	1500	2,45	470
33	2ПН112	2,9	13	-//-	-//-	2,2	-//-	-//-	1,2	358
34	2ПБ132	4	18	-//-	-//-	3,2	-//-	-//-	1,03	198
35	2ПБ160М	5,6	24	-//-	-//-	4,2	-//-	-//-	0,78	228
36	2ПО160М	7,7	33	-//-	-//-	6,0	-//-	-//-	0,47	132
37	2ПБ112М	1,9	8,4	230	2850	1,4	220	3000	1,99	600
38	2ПН100	3	13	-//-	-//-	2,2	-//-	-//-	1,03	712
39	2ПН112М	4,8	21	-//-	-//-	3,6	-//-	-//-	0,64	285
40	2ПБ132М	5,9	25,7	-//-	-//-	4,5	-//-	-//-	0,35	270
41	2ПО132М	7	30,4	-//-	-//-	5,5	220	-//-	0,36	280
42	2ПФ200	35	152	-//-	1450	30	-//-	1500	0,5	57,5
43	Д-814	67	291	-//-	570	55	-//-	550	0,04	28
44	Д-816	84	367	-//-	540	70	-//-	535	0,03	24
45	Д-806	20	87	-//-	735	16	-//-	710	0,16	73,3
46	Д-810	37	160	-//-	578	29	-//-	600	0,10	44
47	Д-806	24	104	-//-	560	19	-//-	640	0,2	44
48	Д-808	30	130	-//-	-//-	24	-//-	615	0,11	48,4
49	Д-812	57	248	-//-	540	47	-//-	560	0,02	32,5
50	Д-810	42	182	-//-	580	35	-//-	610	0,02	31,8

Таблица 9

Тип	P_n , кВт	n_n , об/мин	η_n , %	$\cos \varphi$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	I_{2n} , А	U_{2x} , В	Сопротивление фаз при 20 °С, Ом	
								r_1	r_2
АК2-81-4									
АК2-82-4	40	1440	90,0	0,84	2,0	225	110	0,0725	0,00865
АК2-91-4	55	1440	90,5	0,84	2,0	200	160	0,0390	0,00895
АК2-92-4	75	1450	90,5	0,85	2,0	260	185	0,0326	0,01150
АК2-81-6	100	1450	90,5	0,85	2,0	275	235	0,0210	0,01240
АК2-82-6	30	960	89,0	0,84	1,8	150	125	0,0920	0,0110
АК2-91-6	40	960	89,0	0,85	1,8	155	165	0,0605	0,0125
АК2-92-6	55	960	89,0	0,86	1,8	240	150	0,0590	0,0119
АК2-81-8	75	960	90,5	0,86	1,8	220	215	0,0350	0,0135
АК2-82-8	22	720	87,5	0,79	1,7	150	95	0,1570	0,0109
АК2-91-8	30	720	87,5	0,79	1,7	150	130	0,0935	0,0126
АК2-92-8	40	720	87,5	0,81	1,7	225	120	0,0860	0,0113
АОК2-61-4	55	720	90,0	0,81	1,7	200	160	0,0510	0,0136
АОК2-61-6	10	1420	85,0	0,82	2,0	40	160	0,270	0,078
АОК2-62-6	7	960	84,0	0,82	1,8	35	140	0,495	0,076
АОК2-61-8	10	960	85,0	0,83	1,8	36	100	0,340	0,085
	5	710	82,0	0,72	1,7	32	115	0,645	0,071