

3 АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Скольжение, ЭДС и токи асинхронных двигателей

Задача 3.1. В табл. 3.2 приведены данные следующих параметров трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: основной магнитный поток Φ , число последовательно соединенных витков ω_1 в обмотке статора, номинальное скольжение $s_{ном}$, ЭДС, индуцируемая в обмотке ротора при его неподвижном состоянии E_2 , и ЭДС ротора при его вращении с номинальным скольжением E_{2s} , частота этой ЭДС f_2 при частоте вращения ротора $n_{ном}$. Частота тока в питающей сети 50 Гц. Требуется определить значения параметров, не указанные в таблице в каждом из вариантов.

Таблица 3.2

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Phi, Вб$	0,028	0,032	0,048	-	0,025	-	-	0,028	0,028	-
$\omega_1, витков$	18	-	24	16	-	24	18	-	36	18
$k_{обм1}$	0,95	0,96	0,96	0,98	0,98	0,96	0,95	0,95	0,98	0,98
$s_{ном}$	0,04	-	0,05	0,04	-	0,05	-	-	-	-
$2p$	4	6	2	4	-	8	4	8	-	4
$E_{1\phi}, В$	-	210	-	98	110	200	-	120	-	100
$E_2, В$										
$E_{2s}, В$	-	-	-	-	-	-	0,13	-	-	-
$f_2, Гц$	-	-	-	-	-	-	2,5	3,2	-	2,5
$n_{ном}, об/мин$	-	970	-	-	2920	-	-	-	1470	-

Задача 3.2. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет данные, приведенные в табл. 3.3: максимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре B_δ , диаметр расточки статора D_1 , длина сердечника статора l_1 , равная $0,8D_1$, число полюсов в обмотках статора и ротора $2p$, число последовательно соединенных витков в фазных обмотках статора ω_1 и ротора ω_2 , обмоточные коэффициенты для основной гармонике статора $k_{об1}$ и ротора $k_{об2}$ принять равными $k_{об1} = k_{об2} = 0,93$. Требуется определить фазные значения ЭДС в обмотке статора E_1 и в обмотке фазного ротора при неподвижном его состоянии E_2 и вращающемся со скольжением s , частоту тока в неподвижном и вращающемся роторе. Частота тока в питающей сети $f_1 = 50$ Гц.

Таблица 3.3

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$B_{\delta}, \text{Тл}$	1,5	1,35	1,50	1,40	1,45	1,50	1,38	1,45	1,50	1,38
$D_1, \text{мм}$	180	160	228	235	160	300	280	320	360	290
$l_1, \text{мм}$	141	130	180	190	130	250	250	270	300	250
$2p$	4	4	4	6	4	4	6	4	8	6
ω_1	48	18	24	32	48	36	32	36	12	24
ω_2	8	4	6	10	16	12	16	18	8	12
$s, \%$	8	12	10	6	5	12	8	10	6	8

Задача 3.3. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии 4А имеет технические данные, приведенные в табл. 3.4. Определить высоту оси вращения h , число полюсов $2p$, скольжение при номинальной нагрузке $s_{ном}$, момент на валу $M_{ном}$, начальный пусковой M_n и максимальный M_{max} моменты, потребляемую двигателем из сети активную мощность $P_{I_{ном}}$, суммарные потери при номинальной нагрузке ΣP , номинальный и пусковой токи $I_{I_{ном}}$ и I_n , в питающей сети при соединении обмоток статора «звездой» и «треугольником».

Таблица 3.4

Тип двигателя	$P_{ном}$ кВт	$n_{2ном}$ об/мин	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi$	$I_n / I_{ном}$	$M_n / M_{ном}$	$M_{max} / M_{ном}$	$U_1, \text{В}$
4А100S2У3	4,0	2880	86,5	0,89	7,5	2,0	2,5	220/380
4А160S2У3	15,0	2940	88,0	0,91	7,0	1,4	2,2	220/380
4А200М2У3	37,0	2945	90,0	0,89	7,5	1,4	2,5	380/660
4А112М4У3	5,5	1445	85,5	0,85	7,0	2,0	2,2	220/380
4А132М4У3	11,0	1460	87,5	0,87	7,5	2,2	3,0	220/380
4А180М4У3	30,0	1470	91,0	0,89	6,5	1,4	2,3	380/660
4А200М6У3	22,0	975	90,0	0,90	6,5	1,3	2,4	220/380
4А280М6У3	90,0	985	92,5	0,89	5,5	1,4	2,2	380/660
4А315М8У3	110	740	93,0	0,85	6,5	1,2	2,3	380/660
4А355М10У3	110	590	93,0	0,83	6,0	1,0	1,8	380/660

Задача 3.4. В табл. 3.5 приведены значения следующих параметров трехфазного асинхронного двигателя: односторонний воздушный зазор между статором и ротором δ , число полюсов $2p$, число пазов Z_1 , максимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре B_δ , число витков в одной катушке обмотки статора ω_k (все катушки фазной обмотки соединены последовательно), обмоточный коэффициент обмотки статора для основной гармоники $k_{об1}$, коэффициент магнитного насыщения k_μ , коэффициент воздушного зазора k_δ . Необходимо определить величину намагничивающего тока статора $I_{1\mu}$ при заданном воздушном зазоре, а также определить величину этого тока при увеличении и уменьшении воздушного зазора на 25% относительно заданного; дать заключение о влиянии величины воздушного зазора на величину намагничивающего тока; чем ограничивается применение в асинхронных двигателях слишком малых воздушных зазоров.

Таблица 3.5

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\delta, \text{ мм}$	0,6	0,4	0,8	0,5	0,7	0,3	0,4	0,7	0,5	0,6
$2p$	6	4	8	6	6	2	4	6	4	8
Число пазов Z_1	24	24	48	36	60	18	36	48	32	54
$B_\delta, \text{ Тл}$	0,9	0,8	0,9	1,0	0,7	0,8	0,8	1,0	0,7	0,9
Число витков ω_k	8	7	6	8	5	4	5	5	6	4
$k_{об1}$	0,91	0,95	0,92	0,94	0,96	0,92	0,92	0,94	0,93	0,92
k_μ	1,37	1,35	1,38	1,40	1,35	1,40	1,34	1,37	1,35	1,38
k_δ	1,30	1,35	1,36	1,38	1,34	1,37	1,35	1,36	1,34	1,38

Задача 3.5. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет эффективное число витков в фазных обмотках статора $\omega_1 k_{об1}$ и ротора $\omega_2 k_{об2}$, ЭДС фазной обмотки статора $E_1 = 0,95U_1$, ЭДС фазной обмотки неподвижного ротора E_2 , а вращающегося со скольжением s , равно E_{2s} . Используя приведенные в табл. 3.6 значения параметров, определить неуказанные значения, если напряжение питания двигателя $U_1 = 220/380 \text{ В}$.

Таблица 3.6

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\omega_1 k_{об1}$	18	24	-	32	-	36	-	24	-	48
$\omega_2 k_{об2}$	12	-	18	-	12	-	18	-	16	-
$E_1, \text{ В}$										
$E_2, \text{ В}$	-	93	-	105	-	104	-	98	-	110
$E_{2s}, \text{ В}$	-	5,58	6,5	5,25	5,8	-	4,0	5,8	4,6	-
s	0,05	-	0,04	-	0,07	0,05	0,03	-	0,05	0,04

Потери и КПД, электромагнитный момент, механическая характеристика

Задача 3.6. Трехфазный асинхронный двигатель включен в сеть напряжением 380 В , частотой 50 Гц , обмотка статора соединена «звездой». Статический нагрузочный момент на валу двигателя M_c , полезная мощность двигателя $P_{ном}$, потребляемая из сети мощность $P_{Iном}$. КПД $\eta_{ном}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_1$, величина тока в фазной обмотке статора $I_{Iном}$, число полюсов $2p$, скольжение $s_{ном}$. Некоторые из перечисленных параметров указаны в табл. 3.7. Требуется определить значения недостающих параметров.

Таблица 3.6

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}$, кВт	-	12	-	15	22	-
$P_{Iном}$, кВт	-	14,6	-	-	27,8	35
$\eta_{ном}$, %	82	-	85	89	-	90
$\cos\varphi_1$	0,80	0,78	0,80	-	0,78	-
$I_{Iном}$, А	-	-	18	30	-	62
M_c , Н·м	180	-	105	-	145	-
$s_{ном}$, %	4	3,5	-	3	-	3
$2p$	6	4	-	4	4	6

Задача 3.7. Трехфазный асинхронный двигатель с числом полюсов $2p = 4$ включен в сеть напряжением 380 В , частотой 50 Гц при соединении обмотки статора «треугольником». В табл. 3.8 приведены параметры двигателя, соответствующие его номинальной нагрузке: мощность двигателя $P_{ном}$, КПД $\eta_{ном}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_1$. При нагрузке $P_2 = 0,85P_{ном}$ КПД двигателя имеет наибольшее значение $\eta_{max} = 1,03\eta_{ном}$. Необходимо определить все остальные виды потерь двигателя для режима номинальной нагрузки.

Таблица 3.8

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ном}$, кВт	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37
$\eta_{ном}$, %	81,5	82	85	85,5	86	87,5	88	90	90,5	91
$s_{ном}$, %	5,5	5,0	4,0	3,3	3,0	3,0	2,7	2,5	2,3	2,0
$\cos\varphi_1$	0,76	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,89	0,90	0,90

Задача 3.8. В табл. 3.9 приведены технические данные трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором серии 4АК. Требуется определить все виды потерь при номинальной нагрузке двигателя. Напряжение питания $660 В$, обмотка статора соединена «звездой»; частота тока $50 Гц$; кратность пускового тока $\lambda_i = 5,7$; коэффициент мощности короткого замыкания принять $\cos\varphi_k = 0,5\cos\varphi_1$.

Таблица 3.9

Тип двигателя	$P_{ном}, кВт$	$\eta_{ном}, \%$	$\cos\varphi_1$	$s_{ном}, \%$	$M_{max}/M_{ном}$
Синхронная частота вращения $1500 об/мин$					
4АК160S4У3	11	86,5	0,86	5	3
4АК160М4У3	14	88,5	0,87	4	3,5
4АК180М4У3	18	89	0,88	3,5	4
4АК200М4У3	22	90	0,87	2,5	4
4АК200В4У3	30	90,5	0,87	2,5	4
4АК225М4У3	37	90	0,87	3,5	3
4АК250S4У3	45	91	0,88	3	3
4АК250В4У3	55	90,5	0,9	3	3
4АК250М4У3	71	90,5	0,86	2,5	3
Синхронная частота вращения $1000 об/мин$					
4АК160S6У3	7,5	82,5	0,77	5	3,5
4АК160М6У3	10	84,5	0,76	4,5	3,8

Задача 3.10. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором и числом полюсов $2p$ включен в сеть напряжением $U_{1л} = 380 В$ частотой $f_1 = 50 Гц$ при соединении обмоток статора «звездой». ЭДС ротора в режиме холостого хода, измеренная на контактных кольцах неподвижного ротора, E_{20} . Обмотки статора и ротора обладают сопротивлениями r_1 и x_1 , r_2 и x_2 соответственно (табл. 3.11). Требуется определить: частоту вращения ротора при номинальной нагрузке $n_{ном}$, электромагнитный момент в номинальном режиме $M_{ном}$, перегрузочную способность и номинальную мощность двигателя $P_{ном}$. Механические потери принять $P_{мех} = 3P_{доб}$.

Таблица 3.11

Параметр	Варианты				
	1	2	3	4	5
$r_1, Ом$	0,21	0,04	0,065	0,035	0,055
$x_1, Ом$	0,20	0,09	0,11	0,073	0,16
$r_2, Ом$	0,044	0,031	0,027	0,020	0,033
$x_2, Ом$	0,089	0,082	0,07	0,10	0,082
$E_{20}, В$	270	360	290	250	267
$2p$	8	10	10	10	10
$s_{ном}$	0,04	0,03	0,035	0,03	0,035

Задача 3.12. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии А2, работающий от сети частотой 50 Гц напряжением 380 В при соединении обмотки статора «звездой», имеет номинальные параметры, приведенные в табл. 3.14: полезная мощность $P_{\text{ном}}$, частота вращения $n_{\text{ном}}$, КПД $\eta_{\text{ном}}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_{I_{\text{ном}}}$; кратность пускового тока $I_n/I_{\text{ном}}$, кратности пускового $M_n/M_{\text{ном}}$ и максимального $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$ моментов; активное сопротивление фазной обмотки статора при температуре 20°C $r_{1.20}$. Требуется рассчитать параметры и построить механическую характеристику двигателя $n_2 = f(M)$. Коэффициент мощности в режиме короткого замыкания принять равным $\cos\varphi_k = 0,5\cos\varphi_{I_{\text{ном}}}$

Таблица 3.14

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$ кВт	$n_{\text{ном}}$ об/мин	$\eta_{\text{ном}}$ %	$\cos\varphi_{I_{\text{ном}}}$	$I_n /$ $I_{\text{ном}}$	$M_n /$ $M_{\text{ном}}$	$M_{\text{max}} /$ $M_{\text{ном}}$	$r_{1.20}$, Ом при 20°C
A2-61-2	17	2900	88,0	0,88	7	1,2	2,2	0,1900
A2-62-2	22	2900	89,0	0,88	7	1,1	2,2	0,1540
A2-71-2	30	2900	90,0	0,90	7	1,1	2,2	0,1170
A2-72-2	40	2900	90,5	0,90	7	1,0	2,2	0,0770
A2-81-2	55	2900	91,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0540
A2-82-2	75	2900	92,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0347
A2-91-2	100	2920	93,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0209
A2-92-2	125	2920	94,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0144
A2-61-4	13	1450	88,5	0,88	7	1,3	2,0	0,2700
A2-62-4	17	1450	89,5	0,88	7	1,3	2,0	0,1890
A2-71-4	22	1455	90,0	0,88	7	1,2	2,0	0,1700

Задача 3.13. В табл. 3.15 приведены технические данные трехфазных асинхронных двигателей с фазным ротором серии АК2. Требуется определить номинальное $M_{\text{ном}}$ и максимальное M_{max} значения моментов, номинальное $s_{\text{ном}}$ и критическое $s_{\text{кр}}$ скольжения, а также сопротивление резистора, который следует включить в цепь фазной обмотки ротора, чтобы начальный пусковой момент двигателя был равен максимальному; построить механическую характеристику для этого режима и по ней определить скольжение, соответствующее номинальному моменту $M_{\text{ном}}$. Напряжение сети 380 В , частота 50 Гц ; обмотка статора соединена «звездой». Кратность пускового тока при прямом (безреостатном) включении двигателя в сеть $I_n/I_{\text{ном}} = 7$; коэффициент мощности в режиме короткого замыкания принять равным

$$\cos\varphi_k = 0,5 \cos\varphi_{\text{ном}}$$

Таблица 3.15

Тип двигателя	$P_{ном}$, кВт	$n_{ном}$ об/мин	$\eta_{ном}$, %	$\cos\varphi_{ном}$	$M_{max}/M_{ном}$	$r_{1.20}$, Ом при 20°C
AK2-81-4	40	1440	90,0	0,84	2,0	0,0725
AK2-82-4	55	1440	90,5	0,84	2,0	0,0390
AK2-91-4	75	1450	90,5	0,85	2,0	0,0326
AK2-92-4	100	1450	90,5	0,85	2,0	0,0210
AK2-81-6	30	960	89,0	0,84	1,8	0,0920
AK2-82-6	40	960	89,0	0,85	1,8	0,0605
AK2-91-6	55	960	89,0	0,86	1,8	0,0590
AK2-92-6	75	960	90,5	0,86	1,8	0,0350
AK2-81-8	22	720	87,5	0,79	1,7	0,1570
AK2-82-8	30	720	87,5	0,79	1,7	0,0935

Задача 3.14. Трехфазный асинхронный двигатель номинальной мощностью $P_{ном}$ включен в сеть напряжением 380 В, частотой 50 Гц, обмотка статора соединена «звездой». Вращаясь с частотой $n_{ном}$, двигатель потребляет ток $I_{ном}$ при коэффициенте мощности $\cos\varphi_1$. При работе в режиме холостого хода двигатель потребляет из сети мощность P_{10} при токе I_{10} ; активное сопротивление фазной обмотки статора при рабочей температуре r_1 (табл. 3.16). Определить все виды потерь двигателя в режиме номинальной нагрузки, приняв величину механических потерь $P_{мех}$.

Таблица 3.16

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}$, кВт	15	7,0	75	100	7,0	10
$I_{ном}$, А	32	14	140	180	11	19
$n_{ном}$, об/мин	1455	2910	960	1460	1450	2920
r_1 , Ом	0,25	0,58	0,036	0,015	0,52	0,33
$\cos\varphi_1$	0,85	0,90	0,88	0,91	0,86	0,91
P_{10} , Вт	820	400	1270	2000	300	330
I_{10} , А	7,0	4,0	31	43	4,5	5,0
$P_{мех}$, Вт	160	170	250	450	120	220

Круговая диаграмма и рабочие характеристики

Задача 3.15. По рабочим характеристикам трехфазных асинхронных двигателей, приведенным в Приложении 2, и данным табл. 3.17 по каждому из предлагаемых вариантов требуется определить:

- а) параметры двигателя в номинальном режиме работы - ток статора $I_{ном}$, КПД $\eta_{ном}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном}$, скольжение $s_{ном}$, частоту вращения $n_{ном}$, потребляемую мощность $P_{ном}$;
- б) максимальное значение КПД η_{max} и соответствующие этому КПД нагрузке P_2 , выразив ее в долях от номинальной $P_{ном}$;
- в) отношение переменных потерь $P_{пер.ном}$ к постоянным потерям $P_{пост}$ при номинальной нагрузке;
- г) активное сопротивление фазы обмотки статора r_1 .

Таблица 3.17

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
Рисунок (см. приложение 2)	П. 2.1	П. 2.2	П. 2.3	П. 2.4	П. 2.5	П. 2.6
$P_{ном}, кВт$	250	2,8	7,5	160	4,0	45
Напряжение сети $U_{лв}, В$	660	220	380	380	220	380
Схема соединения обмотки статора	Y	Δ	Y	Δ	Δ	Y
$2p$	4	4	4	4	4	4

Задача 3.16. Построить упрощенную круговую диаграмму трехфазного асинхронного двигателя и определить параметры, соответствующие его номинальному режиму работы. Необходимые для построения диаграммы данные приведены в табл. 3.18: номинальная мощность $P_{ном}$; напряжение на обмотке статора (фазное) $U_{1ф}$; номинальный ток статора (фазный) $I_{1ф}$; число полюсов $2p$; активное сопротивление фазной обмотки статора при рабочей температуре r_1 ; ток холостого хода (фазный) $I_{0ф}$; мощность холостого хода P_0 ; мощность идеального холостого хода $P'_0 = P_0 - 3I_{0ф}r_1$; механические потери $P_{мех}$; коэффициент мощности холостого хода $\cos\varphi_0$; мощность короткого замыкания P_K ; напряжение короткого замыкания (фазное) U_K ; коэффициент мощности короткого замыкания $\cos\varphi_K$; частота тока $50 Гц$.

Таблица 3.18

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}, кВт$	3,0	12	70	22	250	16
$U_{1ф}, В$	220	220	220	220	1730	220
$I_{1ф}, А$	6,3	25	190	54	60	40
$2p$	4	4	4	8	6	8
$r_1, Ом$	1,7	0,32	0,035	0,15	0,68	0,15
$I_{0ф}, А$	1,83	9,7	55	32,8	17,5	9,6
$P_0, Вт$	300	565	6500	1340	10750	950
$P'_0, Вт$	283	475	6180	1120	10125	890
$P_{мех}, Вт$	200	250	600	370	1350	270
$\cos\varphi_0$	0,24	0,10	0,20	0,064	0,12	0,15
$P_{к}, Вт$	418	1780	9500	2360	12160	1740
$U_{кф}, В$	59,5	57,8	58,0	44,0	360	42,0
$\cos\varphi_{к}$	0,37	0,34	0,30	0,33	0,25	0,34

Задача 3.17. Используя значения параметров трехфазных асинхронных двигателей, приведенные в задаче 3.16 (см. табл. 3.18), рассчитать параметры и построить рабочие характеристики асинхронного двигателя: I_1 , M_2 , n_2 , $\cos\varphi_1$, $\eta = f(P_2)$. При этом можно воспользоваться либо упрощенной круговой диаграммой, построенной при решении задачи 3.16, либо применить аналитический метод расчета рабочих характеристик.

Пуск и регулирование частоты вращения

Задача 3.18. Для асинхронного двигателя с фазным ротором, данные которого приведены в табл. 3.20, номинальная мощность $P_{ном}$, номинальное скольжение $s_{ном}$, перегрузочная способность $\lambda_{м}$, число полюсов $2p$. Требуется рассчитать сопротивления резисторов трехступенчатого пускового реостата ПР (рис. 3.13).

Таблица 3.20

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}, кВт$	15	75	22	5,5	14	7,5
$2p$	8	4	8	8	4	6
$s_{ном}, \%$	5	3,3	4	5,3	5	5
$r_2, Ом$	0,37	0,014	0,053	0,150	0,095	0,130
$\lambda_{м} = M_{max}/M_{ном}$	3,0	2,0	2,0	1,7	1,7	1,7

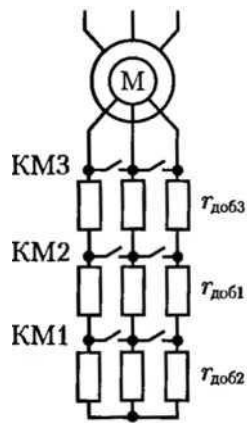


Рис. 3.13 - Трехступенчатый пусковой реостат

Задача 3.19. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором работает с нагрузкой на валу $M_2 = 0,75M_{ном}$. Определить величину сопротивления резистора $r_{доб}$, который следует включить в каждую фазную обмотку ротора, чтобы частота вращения при указанной нагрузке составляла $n_2 = 0,5n_1$. Необходимые данные двигателя приведены в табл. 3.21: номинальная мощность $P_{ном}$, напряжение статора фазное $U_{1ф}$, число полюсов $2p$, скольжение при номинальной нагрузке $s_{ном}$, сопротивление обмотки ротора при рабочей температуре r_2 .

Таблица 3.21

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}, кВт$	10	75	22	5,5	14	7,5
$U_{1ф}, В$	220	220	220	220	220	220
$2p$	4	4	8	8	4	6
$s_{ном}, \%$	5	3,3	4	5,3	5	5
$r_2, Ом$	0,115	0,014	0,053	0,150	0,095	0,130

Задача 3.20. Определить сопротивление резисторов $r_{доб}$, которые необходимо включить в цепь обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, чтобы снизить в два раза величину начального пускового тока статора; определить, насколько при этом уменьшится пусковой момент двигателя. Требуемые для этого значения параметров двигателя приведены в табл. 3.22: номинальная мощность двигателя $P_{ном}$; напряжение питающей сети (фазное) $U_{1ф}$; КПД $\eta_{ном}$; кратность пускового тока $I_{1п}/I_{1ном}$; кратность пускового момента $M_{п}/M_{ном}$; коэффициенты мощности двигателя в режимах номинальной нагрузки $\cos\varphi_{ном}$ и короткого замыкания $\cos\varphi_к$; частота тока $50 Гц$.

Таблица 3.22

Параметр	Тип двигателя							
	АИР 90L4	АИР 100S4	АИР 100L4	АИР 112M2	АИР 132S4	АИР 80A4	АИР 132S8	АИР 80B4
$P_{ном}, кВт$	2,2	3,0	4,0	7,5	5,5	1Д	4,0	1,5
$U_{1ф}, В$	220	220	220	220	220	220	220	220
$\eta_{ном}, \%$	81	82	85	87,5	87,5	75	83	78
$\cos\varphi_{ном}$	0,83	0,83	0,84	0,88	0,88	0,81	0,70	0,83
$I_{1н}/I_{1ном}$	6,5	7,0	7,5	5,0	7,0	5,5	6,0	5,5
$M_{н}/M_{ном}$	2,1	2,0	2,0	2,2	2,0	2,2	1,8	2,2
$\cos\varphi_{к}$	0,86	0,84	0,85	0,74	0,75	0,88	0,85	0,86

Задача 3.21. Трехфазные асинхронные двигатели с фазным ротором серии 4А имеют следующие данные каталога, приведенные в табл. 3.23: номинальная мощность $P_{ном}$; номинальное скольжение $s_{ном}$; КПД $\eta_{ном}$; коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном}$; ток ротора $I_{2ном}$; ЭДС ротора E_2 ; перегрузочная способность $\lambda_m = M_{max}/M_{ном}$.

Определить: номинальный $M_{ном}$ и максимальный M_{max} моменты, критическое скольжение $s_{кр}$ в режиме естественной механической характеристики; сопротивление пускового реостата $R_{ПР}$, необходимое для получения кратности пускового момента $M_{н}/M_{ном} = 1,5$, и сопротивление $r_{доб}$, требуемое для получения частоты вращения $n_2 = 0,5n_1$ при номинальном нагрузочном моменте.

Таблица 3.23

Тип двигателя	$P_{ном}, кВт$	$2p$	$s_{ном}, \%$	$\eta_{ном}, \%$	$\cos\varphi_{ном}$	$I_{2ном}, А$	$E_2, В$	$M_{max}/M_{ном}$
4АНК225M8	30	8	5	86,5	0,80	165	120	1,8
4АНК250SM8	37	8	5,5	87,5	0,150	190	115	2,2
4АНК250B8	45	8	4	89	0,82	190	140	2,2
4АНК250M8	55	8	3,5	89,5	0,83	185	190	2,2
4АНК280S8	75	8	4	90,5	0,84	257	190	1,9
4АНК280M8	90	8	4	90,5	0,84	267	214	1,9
4АНК315S8	110	8	3,5	91,5	0,84	311	225	1,9
4АНК315M8	132	8	3,5	92	0,84	364	247	1,9
4АНК355S8	160	8	2,7	92,5	0,86	353	285	1,7
4АНК355M8	200	8	2,7	92,5	0,86	359	350	1,7

Задача 3.22. Трехфазный асинхронный двигатель серии 4А, включенный в сеть с линейным напряжением $U_{лн} = 380 В$ при соединении обмотки статора «треугольником», имеет номинальные данные: мощность $P_{ном}$, частоту вращения $n_{ном}$, КПД $\eta_{ном}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_{I_{ном}}$, кратности пускового тока λ_i , пускового момента λ_n , максимального момента λ_m (табл. 3.24).

Требуется определить:

- 1) вращающие моменты двигателя - номинальный, пусковой, максимальный;
- 2) потребляемые мощность и ток статора при номинальной нагрузке;
- 3) пусковые ток статора и момент, а также перегрузочную способность двигателя при соединении обмотки статора «звездой» при прежнем напряжении питающей сети;
- 4) при каком фазном напряжении статора двигатель утрачивает перегрузочную способность, т.е. $\lambda'_m = 1$.

Таблица 3.24

Тип двигателя	$P_{ном}, кВт$	$n_{ном}, об/мин$	$\eta_{ном}, \%$	$\cos\varphi_{I_{ном}}$	λ_i	λ_n	λ_m
4АН160S4	18,5	1450	88,5	0,87	6,5	1,3	2,1
4АН200М4	45	1475	91	0,89	6,5	1,3	2,5
4ЛН280М4	160	1470	93,5	0,90	6,0	1,2	2,0
4ЛН200М6	30	975	90	0,88	6,0	1,3	2,1
4АН280М6	110	980	92,5	0,89	6,0	1,2	2,0
4АН280М8	90	735	92,5	0,86	5,5	1,2	1,9

4 СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Синхронные генераторы

Задача 4.1. Параметры трехфазного синхронного генератора (табл. 4.1): номинальное (линейное) напряжение на выходе $U_{I_{ном}}$ при частоте тока 50 Гц , обмотка статора соединена «звездой», номинальный ток статора $I_{I_{ном}}$, КПД генератора при номинальной нагрузке $\eta_{ном}$, число полюсов $2p$, мощность на входе генератора $P_{I_{ном}}$, полезная мощность на выходе генератора $P_{ном}$, суммарные потери в режиме номинальной нагрузки $\sum P_{ном}$, полная номинальная мощность на выходе $S_{2ном}$, коэффициент мощности нагрузки, подключенной к генератору, $\cos\varphi_{I_{ном}}$, вращающий момент первичного двигателя при номинальной загрузке генератора $M_{I_{ном}}$. Требуется определить параметры, значения которых в табл. 4.1 не указаны.

Таблица 4.1

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ном}, \text{кВА}$	330	-	270	470	-	600	780	450	700	500
$U_{I_{ном}}, \text{В}$	6,3	3,2	0,4	-	0,7	3,2	6,3	0,4	-	3,2
$\eta_{ном}, \%$	92	-	-	91	90	93	-	-	93	92
$2p$	6	8	-	6	10	12	6	-	6	10
$P_{ном}, \text{кВт}$	-	-	206	-	-	-	667,4	369,5	-	-
$\sum P_{ном}, \text{кВт}$	-	27	18							
$\cos\varphi_{I_{ном}}$	0,9	-	0,85	0,9	-	0,92	-	0,9	0,92	0,85
$I_{I_{ном}}, \text{А}$	-	72,2	-	43,1	190	-	-	-	64,2	-
$P_{I_{ном}}, \text{кВт}$	-	340	-	-	190	-	717,6	-	-	-
$M_{I_{ном}}, \text{Н}\cdot\text{м}$	-	-	-	-	-	-	-	7735	-	-

Задача 4.6. Трехфазный синхронный генератор мощностью $S_{ном}$ работает параллельно с сетью напряжением U_1 в режиме точки с координатами I_{1*} и I_{e*} на U-образной характеристике (рис. 4.6), построенной в относительных единицах.

Требуется определить: силу тока в цепи статора I_1 и его активную и реактивную составляющие; мощность S_2 , отдаваемую генератором в сеть, и ее активную и реактивную составляющие; коэффициент мощности генератора $\cos\varphi_2$. Необходимые для решения задачи значения параметров приведены в табл. 4.6.

Ответить на вопросы:

а) в каких случаях целесообразна работа синхронного генератора, включенного на параллельную работу с сетью, с перевозбуждением, а в каких - с недо возбуждением?

б) почему с возрастанием активной мощности генератора увеличивается значение тока возбуждения, соответствующее $\cos\varphi_2 = 1$?

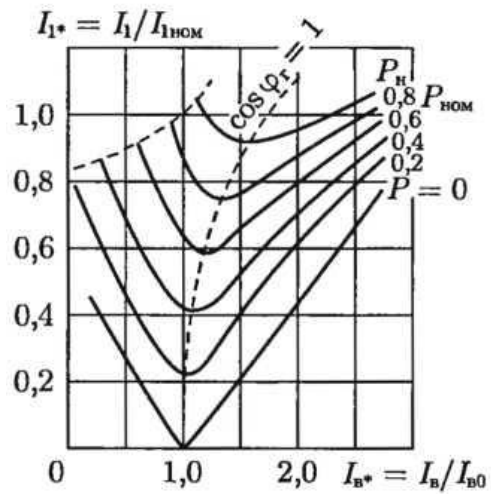


Рис. 4.6. U-образные характеристики трехфазного генератора, включенного на параллельную работу с сетью

Таблица 4.6

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$S_{ном}$, кВА	500	1000	1300	300	800	2000
U_c , кВ	0,4	6,3	10,5	0,4	6,3	10,5
I_{1*}	0,6	0,8	0,5	0,8	0,88	0,6
$I_{в*}$	1,9	2,0	1,4	1,15	2,0	1,9

5 КОЛЛЕКТОРНЫЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Обмотка якоря, ЭДС, реакция якоря

Задача 5.2. Обмотка якоря машины постоянного тока состоит из N активных сторон при числе полюсов $2p = 4$, основной магнитный поток Φ , ЭДС обмотки якоря E_a при коэффициенте c_e , частота вращения якоря n . Используя данные табл. 5.3, определить недостающие параметры.

Таблица 5.3

Параметр	Варианты для типов обмоток				
	1	2	3	4	5
	ПВ	ПП	ПВ	ПВ	ПП
n , об/мин	1500	1200	-	-	1500
N	500	-		120	240
c_e	-	12	20	-	-
E_a , В	-	-	400	200	120
Φ , Вб	0,008	0,14	0,020	0,025	-

Задача 5.3. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения номинальной мощностью $P_{ном}$ включен в сеть с напряжением U_c ; КПД двигателя $\eta_{ном}$, обмотка якоря простая волновая ($2a = 2$), с числом полюсов $2p = 4$, число активных проводников в обмотке N ; ток в обмотке возбуждения $I_b = 0,02I_{аном}$, величина одностороннего воздушного зазора δ , магнитная индукция в зазоре B_δ , магнитная индукция в зубцах якоря B_z , коэффициент воздушного зазора $k_\delta = 1,3$, коэффициент магнитного насыщения магнитопровода двигателя $k_\mu = 1,35$. Значения перечисленных параметров приведены в табл. 5.4.

Требуется определить МДС реакции якоря по поперечной оси F_{qd} и число витков в полюсной катушке возбуждения $\omega_{к.в}$, необходимое для компенсации реакции якоря по поперечной оси при номинальной нагрузке двигателя.

Таблица 5.4

Параметр	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
$P_{ном}$, кВт	100	120	85	30	45	90	75
U_c , В	440	440	220	220	440	440	220
$\eta_{ном}$, %	89	90	87	85	85	87	86
N	280	300	150	120	260	240	120
δ , мм	2,0	2,0	1,8	1,8	1,6	1,8	1,6
B_z , Тл	2,2	2,3	1,8	1,9	1,7	1,9	2,0
B_δ , Тл	0,82	0,85	0,80	0,83	0,80	0,83	0,82

Задача 5.4. Генератор постоянного тока независимого возбуждения с номинальным напряжением $U_{ном}$ и номинальной частотой вращения $n_{ном}$ имеет на якоре простую волновую обмотку, состоящую из N проводников. Число полюсов генератора $2p = 4$, сопротивление обмоток в цепи якоря при рабочей температуре Σr , щетки угольно-графитовые $\Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$, основной магнитный поток Φ . Значения перечисленных параметров приведены в табл. 5.5. Требуется определить для номинального режима работы генератора: ЭДС якоря E_a , ток нагрузки $I_{ном}$ (размагничивающим влиянием реакции якоря пренебречь), полезную мощность $P_{ном}$, электромагнитную мощность $P_{эм}$ и электромагнитный момент $M_{ном}$.

Таблица 5.5

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{ном}, \text{В}$	230	230	460	460	460	115	460	230	230	230
$n_{ном}, \text{об/мин}$	1500	2300	3000	2300	1500	1000	2300	1000	3000	2300
$\Sigma r, \text{Ом}$	0,175	0,08	0,17	0,3	0,7	0,09	0,27	0,25	0,08	0,14
N	100	118	280	240	200	80	270	114	100	138
$\Phi, 10^{-2}, \text{Вб}$	4,8	2,6	1,7	2,6	4,8	4,5	2,4	6,1	2,4	2,3

Генераторы постоянного тока

Задача 5.5. Генератор постоянного тока независимого возбуждения мощностью $P_{ном}$ и напряжением $U_{ном}$ имеет сопротивление обмоток в цепи якоря, приведенное к рабочей температуре, Σr ; в генераторе применены электрографитированные щетки марки ЭГ ($\Delta U_{щ} = 2,5 \text{ В}$). Определить номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки. Значения параметров приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Параметр	Варианты						
	1	2	3	4	5	6	7
$P_{ном}, \text{кВт}$	20	45	15	90	80	30	18
$U_{ном}, \text{В}$	230	460	230	460	460	230	230
$\Sigma r, \text{Ом}$	0,12	0,22	0,15	0,12	0,11	0,08	0,13

Задача 5.6. Генератор постоянного тока параллельного возбуждения имеет номинальные данные: мощность $P_{ном}$, напряжение $U_{ном}$, частота вращения $n_{ном}$, сопротивление обмоток в цепи якоря, приведенное к рабочей температуре, Σr , падение напряжения в щеточном контакте пары щеток $\Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$, сопротивление цепи обмотки возбуждения r_b , КПД в номинальном режиме $\eta_{ном}$, ток генератора $I_{ном}$, ток в цепи возбуждения ток в цепи якоря $I_{аном}$, ЭДС якоря $E_{аном}$, электромагнитная мощность $P_{эм}$, электромагнитный момент при номинальной нагрузке $M_{ном}$, мощность приводного двигателя $P_{Iном}$.

Значения перечисленных параметров приведены в табл. 5.7. Требуется определить значения параметров, не указанных в таблице.

Таблица 5.7

Параметр	Варианты				
	1	2	3	4	5
$P_{ном}, \text{ кВт}$	10	-	-	18	45
$U_{ном}, \text{ В}$	230	230	460	230	-
$n_{ном}, \text{ об/мин}$	1450	-	-	1500	1000
$\Sigma r, \text{ Ом}$	0,3	0,15	-	-	-
$r_b, \text{ Ом}$	150	100	-	-	92
$\eta_{ном}, \%$	86,5	-	88	-	88
$I_{ном}, \text{ А}$	-	87	-	-	97,8
$I_b, \text{ А}$	-	-	4	-	-
$I_{аном}, \text{ А}$	-	-	-	75	-
$E_a, \text{ В}$	--	-	480	240	477
$P_{эм \cdot ном}, \text{ кВт}$	-	-	55	-	-
$M_{ном}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	-	280	525	-	-
$P_{Iном}, \text{ кВт}$	-	23	-	21	-

Двигатели постоянного тока

Задача 5.7. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет следующие данные: номинальная мощность $P_{ном}$, напряжение питания $U_{ном}$, номинальная частота вращения $n_{ном}$, сопротивление обмоток в цепи якоря Σr , сопротивление цепи возбуждения r_b , падение напряжения в щеточном контакте щеток $\Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$. Значения перечисленных параметров приведены в табл. 5.8.

Требуется определить потребляемый двигателем ток в режиме номинальной нагрузки $I_{ном}$, сопротивление пускового реостата $R_{п.р}$, при котором начальный пусковой ток в цепи якоря двигателя был бы равен $2,5I_{аном}$, начальный пусковой момент M_n , частоту вращения n_0 и ток I_0 в режиме холостого хода, номинальное изменение частоты вращения якоря двигателя при сбросе нагрузки. Влиянием реакции якоря пренебречь.

Таблица 5.8

Параметр	Варианты				
	1	2	3	4	5
$P_{ном}, кВт$	25	15	45	4,2	18
$U_{ном}, В$	440	220	440	220	220
$n_{ном}, об/мин$	1500	1000	1500	1500	1200
$\eta_{ном}, \%$	85	83,8	88	78	84
$\Sigma r, Ом$	0,15	0,12	0,13	0,15	0,12
$r_{\epsilon}, Ом$	88	73	88	64	73

Задача 5.8. В табл. 5.9 даны значения параметров двигателя постоянного тока независимого возбуждения: номинальная мощность двигателя $P_{ном}$, напряжение питания цепи якоря $U_{ном}$, напряжение питания цепи возбуждения U_{ϵ} , частота вращения якоря в номинальном режиме $n_{ном}$, сопротивления цепи якоря Σr и цепи возбуждения r_{ϵ} , приведенные к рабочей температуре, падение напряжения в щеточном контакте при номинальном токе $\Delta U_{щ} = 2 В$, номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки $\Delta n_{ном} = 8,0\%$, ток якоря в режиме холостого хода I_0 . Требуется определить все виды потерь и КПД двигателя.

Таблица 5.9

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}, кВт$	25	40	53	75	16	11
$U_{ном}, В$	440	440	440	440	220	220
$U_{\epsilon}, В$	220	220	220	220	220	110
$I_0, А$	6,0	7,5	8,0	10,8	8,7	5,8
$\Sigma r, Ом$	0,30	0,17	0,12	0,70	0,18	0,27
$r_{\epsilon}, Ом$	60	55	42	40	60	27
$n_{ном}, об/мин$	2200	1000	2360	3150	1500	800

Задача 5.9. В табл. 5.10 приведены данные каталога на двигатели постоянного тока независимого возбуждения серии 2П: номинальная мощность $P_{ном}$, номинальное напряжение, подводимое к цепи якоря, $U_{ном}$, номинальная частота вращения $n_{ном}$, КПД двигателя $\eta_{ном}$, сопротивление цепи якоря, приведенное к рабочей температуре, Σr .

Требуется определить сопротивление добавочного резистора r_{∂} , который следует включить в цепь якоря, чтобы при номинальной нагрузке двигателя частота вращения якоря составила $0,5n_{ном}$; построить естественную и искусственную механические характеристики двигателя.

Таблица 5.10

Тип двигателя	$P_{ном}$, кВт	$U_{ном}$, В	$n_{ном}$, об/мин	$\eta_{ном}$, %	Σr , Ом
2ПО200L	7,1	220	750	83,5	0,48
2ПО200М	20	440	2200	90	0,28
2ПФ200М	30	440	2200	90	0,22
2ПФ200L	20	220	1000	85,5	0,18
2ПН225М	37	220	1500	86,5	0,07
2ПФ225М	10	220	500	74,5	0,58
2ПО180М	17	440	3000	90	0,31

Задача 5.11. Рассчитать *трехступенчатый* пусковой реостат для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, технические данные которого приведены в табл. 5.10.

Задача 5.13. Крановый двигатель постоянного тока последовательного возбуждения серии Д, работающий от сети напряжением 220 В , имеет номинальные данные, приведенные в табл. 5.16 (мощность $P_{ном}$; ток $I_{ном}$; частота вращения $n_{ном}$).

Требуется рассчитать и построить естественную ($r_{доб} = 0$) и искусственную ($r_{доб} = 2\Sigma r$) механические характеристики двигателя.

Решение варианта с двигателем Д12.

Для получения данных, необходимых для построения механических характеристик двигателя последовательного возбуждения, воспользуемся универсальными естественными характеристиками двигателей постоянного тока последовательного возбуждения (см. рис. 5.5). С этой целью задаемся рядом относительных значений тока (не менее пяти значений) и по универсальным характеристикам определяем соответствующие относительные значения момента M^* и частоты вращения n^* . Затем, используя номинальные значения этих величин, определяют именованные значения указанных величин по формулам:

$$I = I_{ном} I^*; n_e = n_{ном} n^*; M = M_{ном} M^*.$$

Таблица 5.16

Параметр	Значения параметра двигателей типа				
	Д12	Д21	Д22	Д31	Д32
$P_{ном}$, кВт	2,5	4,5	6,0	8,0	12,0
$I_{ном}$, А	16	28	36	45	69
$n_{ном}$, об/мин	1100	900	850	800	675

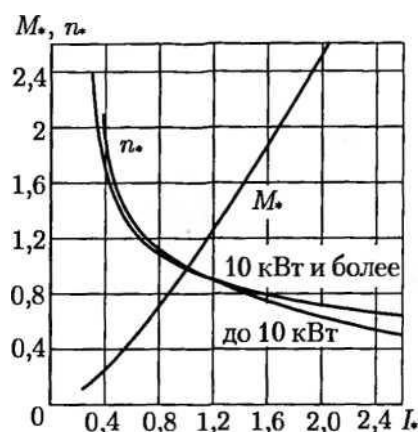


Рис. 5.5. Универсальные естественные характеристики двигателей постоянного тока последовательного возбуждения краново-металлургических серий МП, ДП и Д

Таблица 5.17

I^*	0,4	0,6	1	1,6	2,0
M^*	0,23	0,55	1,0	1,9	2,58
n_e^*	1,83	1,32	1,0	0,73	0,62
I, A	6,4	9,6	16	25,6	32
$M, Н·м$	5	11,9	21,7	41,2	56
$n_e, об/мин$	2013	1452	1100	803	682
E_{ae}, B	201	191	172	143	124
E_{au}, B	162	134	76	-10	-68
E_{au}/E_{ae}	0,80	0,70	0,44	-0,06	-0,55
$n_n, об/мин$	1610	1016	484	-48	-68

Задача 5.14. Двигатель постоянного тока последовательного возбуждения включен в сеть напряжением $U_{ном}$ и в режиме номинальной нагрузки потребляет ток $I_{ном}$, падение напряжения в щеточном контакте $\Delta U_{щ} = 2 B$.

Используя рабочие характеристики двигателя (см. приложение 2) и значения параметров, приведенные в табл. 5.18, определить:

- сопротивление цепи якоря Σr и построить естественную механическую характеристику двигателя $n = f(M_2)$;
- рассчитать данные и построить искусственную механическую характеристику при включений последовательно в цепь якоря резистора сопротивлением $r_{доб} = 3\Sigma r$.

При решении задачи считать, что магнитные и механические потери двигателя во всем диапазоне изменения частоты вращения остаются неизменными; добавочными потерями пренебречь.

Таблица 5.18

Параметр	Варианты			
	1 (рис. П.2.7)	2 (рис. П.2.8)	3 (рис. П.2.9)	4 (рис. П.2.10)
$U_{ном}, В$	220	440	220	440
$I_{а.ном}, А$	160	240	250	500

Таблица 5.19

Параметр	Значения параметра				
$I_a, А$					
$n, об/мин$					
$P_2, Вт$					
$M_2, Н·м$					

Таблица 5.20

Параметр	Значения параметра				
$I_a, А$					
$I_a^* = I_a/I_{а.ном}$	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
$n_n, об/мин$					
$P_{2u}, Вт$					
$M_{2u}, Н·м$					

Синхронные двигатели и компенсаторы

Задача 4.8. Трехфазный синхронный двигатель серии СДН2 имеет данные каталога: номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, число полюсов $2p$, КПД $\eta_{\text{ном}}$; кратности - пускового тока $I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}$, пускового момента $M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}$, максимального синхронного момента $M_{\text{max}} / M_{\text{ном}}$, асинхронного момента при скольжении $s = 5\%$ (момент входа в синхронизм) $M_{5\%} / M_{\text{ном}}$; соединение обмоток статора «звездой». Значения перечисленных величин приведены в табл. 4.8.

Определить: частоту вращения, номинальный и пусковой токи в цепи статора, номинальный, максимальный синхронный, пусковой моменты и асинхронный момент входа в синхронизм (при $s = 5\%$). Напряжение питающей сети $U_c = 10$ кВ при частоте 50 Гц, коэффициент мощности $\cos\varphi_1 = 0,8$.

Таблица 4.8

Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$, кВт	$2p$	$\eta_{\text{ном}}$, %	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{5\%}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$
16-36-12	500	12	93,7	1,9	1,3	1,0	5,2
16-44-12	630	12	94,2	1,9	1,3	1,0	5,1
17-31-12	800	12	94,3	1,9	1,1	1,0	4,7
17-39-12	1000	12	94,9	1,8	1,0	1,0	4,5
17-49-12	1250	12	95,3	1,9	1,2	1,1	5,2
18-64-12	2500	12	96,2	1,8	1,4	1,2	6,5
16-36-10	630	10	94,4	1,8	1,4	0,75	5,0
16-44-10	800	10	94,9	1,8	1,3	0,75	5,0
17-44-10	1250	10	95,5	1,9	1,2	1Д	5,4
17-51-10	1600	10	95,9	1,8	1,2	1,0	5,2

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Единицы механических, электрических и магнитных величин, используемые в книге

Величина	Обозначение величины	Наименование единицы измерения величины	Обозначение единицы измерения
Длина, высота, ширина	l, h, b	метр	$м$
Площадь	S	метр в квадрате	$м^2$
Объем	V	метр в кубе	$м^3$
Масса	m	килограмм	$кг$
Сила, вес, сила тяжести	G	ньютон	$Н$
Момент силы, вращающий или тормозящий момент	M	ньютон-метр	$Н·м$
Момент инерции, динамический момент, маховый момент	J, GD^2	килограмм-метр в квадрате	$кг·м^2$
Скорость поступательного движения	v	метр в секунду	$м/с$
Угловая скорость	ω	радиан в секунду	$рад/с$
Частота вращения*	n	оборот в минуту	$об/мин$
Электрический потенциал, электрическое напряжение, электродвижущая сила (ЭДС)	φ, U, E	вольт	$В$
Сила электрического тока	I, i	ампер	$А$
Электрическое сопротивление: активное, реактивное, полное	R, r, x, z	ом	$Ом$
Мощность:			
активная	P	ватт	$Вт$
реактивная	Q	вар	$вар$
полная	S	вольт-ампер	$ВА$
Электрическая емкость	C	фарада	$Ф$
Индуктивность, взаимная индуктивность	L, M	генри	$Гн$
Частота переменного тока	f	герц	$Гц$
Плотность тока	A	ампер на миллиметр в квадрате	$А/мм^2$
Удельное электрическое сопротивление	ρ	ом-метр	$Ом·м$
Магнитный поток	Φ	вебер	$Вб$
Магнитная индукция	B	тесла	$Тл$
Напряженность магнитного поля	H	ампер на метр	$А/м$
Магнитодвижущая сила (МДС)	F	ампер	$А$
Абсолютная магнитная проницаемость	μ	генри на метр	$Гн/м$

* Внесистемная единица.

Рабочие характеристики электродвигателей

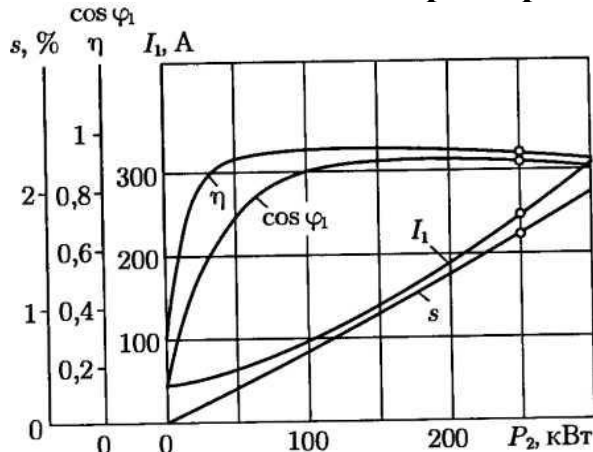


Рис. П.2.1. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя мощностью $P_{ном} = 250$ кВт

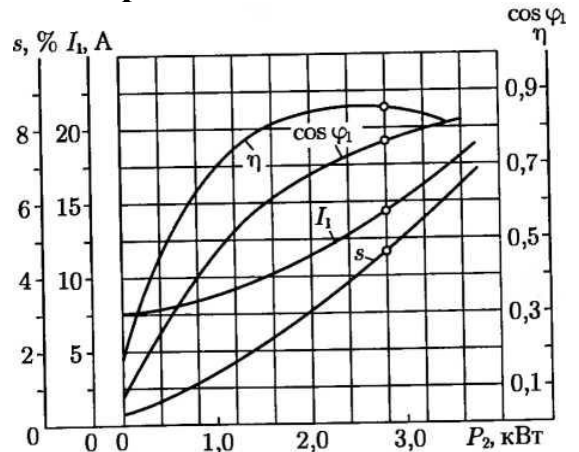


Рис. П.2.2. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя мощностью $P_{ном} = 2,8$ кВт

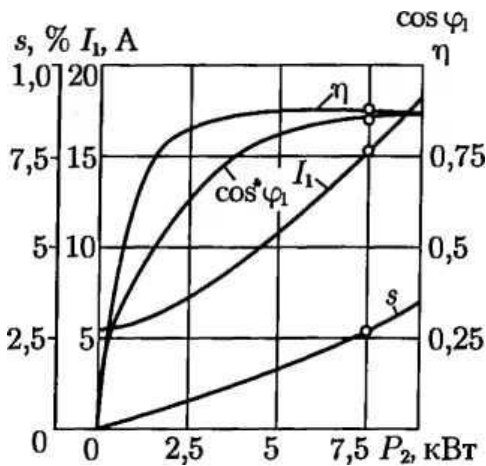


Рис. П.2.3. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя мощностью $P_{ном} = 7,5$ кВт

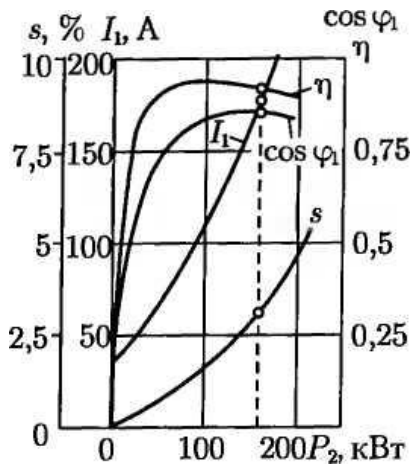


Рис. П.2.4. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя мощностью $P_{ном} = 160$ кВт

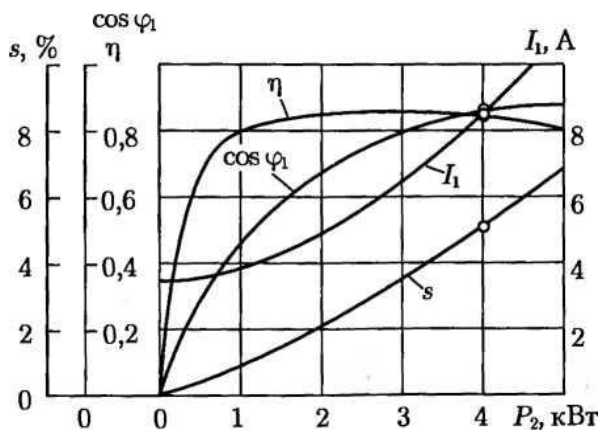


Рис. П.2.5. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя мощностью $P_{ном} = 4,0$ кВт

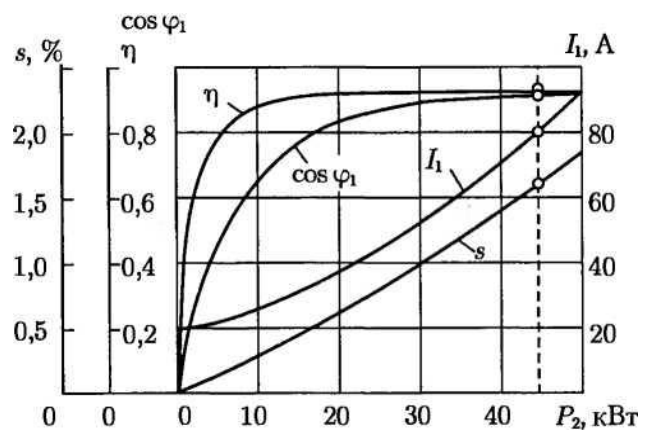


Рис. П.2.6. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя мощностью $P_{ном} = 45$ кВт

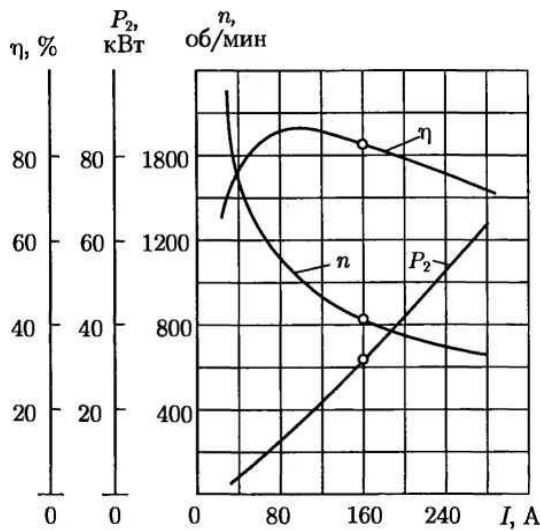


Рис. П.2.7. Рабочие характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения с номинальным током $I_{ном} = 160 \text{ A}$

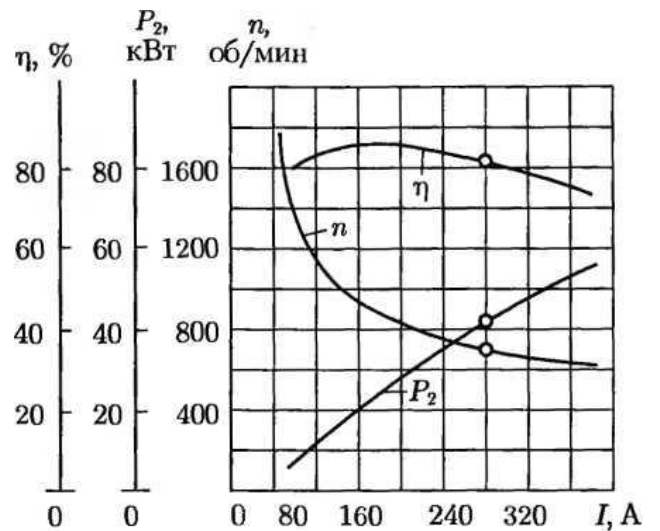


Рис. П.2.8. Рабочие характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения с номинальным током $I_{ном} = 240 \text{ A}$

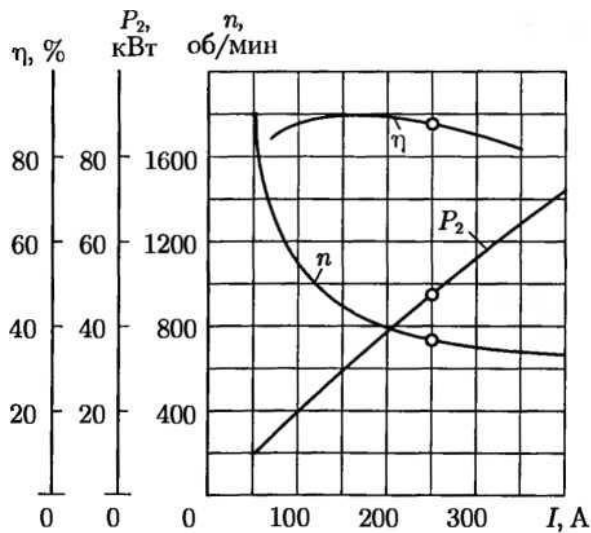


Рис. П.2.9. Рабочие характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения с номинальным током $I_{ном} = 250 \text{ A}$

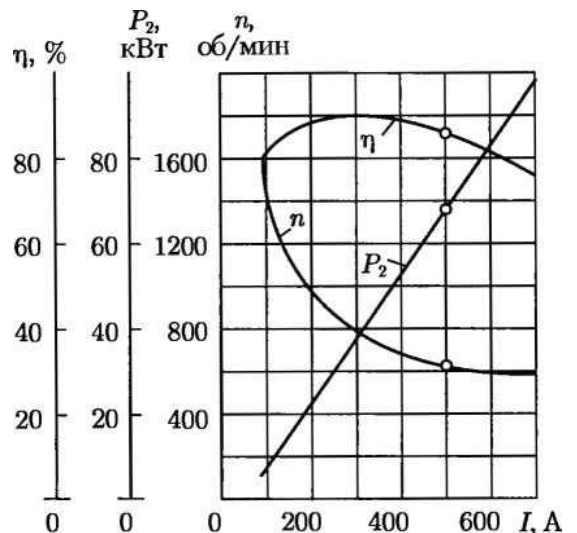


Рис. П.2.10. Рабочие характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения с номинальным током $I_{ном} = 500 \text{ A}$