

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Физика и электротехника»

А. В. Козлов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальностей 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2023

УДК 621.313.3(075.8)
ББК 31.261.6я73
К59

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 7 от 29.03.2022 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *В. В. Брель*

Козлов, А. В.
К59 Электрические машины переменного тока : практикум для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / А. В. Козлов. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2023. – 72 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит три практических задания с индивидуальными вариантами, а также 180 тестовых заданий, которые могут быть использованы для контроля знаний на практических занятиях.

Для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.313.3(075.8)
ББК 31.261.6я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2023

1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 1

ТРЕХФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР. РАСЧЕТ, СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ И ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА

Рассматривая физические процессы, возникающие в трансформаторе, необходимо помнить о том, что при изменении нагрузки трансформатора в широком диапазоне (от холостого хода до номинального режима) магнитный поток может считаться практически постоянным и равным магнитному потоку в режиме холостого хода. Это в свою очередь связано с постоянством потерь мощности в стали, которые легко определяются из опыта холостого хода.

При рассмотрении режима «номинального» короткого замыкания следует, что магнитный поток в сердечнике трансформатора настолько мал, что им можно пренебречь, и следовательно, при этом режиме потери в стали трансформатора практически равны нулю, а потери в меди (в обмотках трансформатора) равны потерям при номинальной нагрузке трансформатора. Значение токов, напряжений и мощностей, полученные из опытов холостого хода и короткого замыкания, позволяют определить основные параметры трансформатора. Под номинальными напряжениями понимаются линейные напряжения на зажимах трансформатора в режиме холостого хода, а под номинальными токами – линейные токи независимо от схемы соединения обмоток.

Перед расчётом трёхфазного трансформатора студенты должны изучить конструкцию трансформатора; знать выражение для коэффициента трансформации; уравнения электрического и магнитного равновесия в трансформаторе; понимать назначение опытов холостого хода и короткого замыкания, сущность «приведения» параметров вторичной обмотки к первичной; принципы построения векторных диаграмм для различных нагрузок.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТРЕХФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Исходные данные: для трёхфазного трансформатора мощностью $S_{\text{ном}} = 100$ кВА, соединение обмоток которого $Y/Y_0 = 0$ известно: номинальное напряжение на зажимах первичной обмотки трансформатора $U_{1л} = 6000$ В, напряжение холостого хода на зажимах вторич-

ной обмотки трансформатора $U_{2л} = 400 \text{ В}$, напряжение короткого замыкания $u_K = 5,5 \%$, мощность короткого замыкания $P_K = 2400 \text{ Вт}$, мощность холостого хода $P_0 = 6000 \text{ Вт}$, ток холостого хода $I_0 = 0,07 I_{1л}$.

Определить:

- сопротивление обмоток трансформатора R_1, X_1, R_2, X_2 ;
- эквивалентное сопротивление намагничивающей цепи трансформатора Z_0 и его составляющие R_0, X_0 ;
- угол магнитных потерь δ .

Построить характеристики трансформатора:

1) Зависимость напряжения от нагрузки $U_2 = f(\beta)$ – внешняя характеристика;

- зависимость $\eta = f_2(\beta)$ коэффициента полезного действия от нагрузки, где β - коэффициент нагрузки трансформатора

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1л}} = \frac{I_2}{I_{2л}}$$

- векторную диаграмму трансформатора при нагрузке составляющей 1,0 от номинальной мощности трансформатора; коэффициент мощности принят $\cos \varphi_2 = 0,75$;

- составить Т-образную схему замещения трансформатора.

Определение параметров схемы замещения трансформатора

1. Линейные токи

$$I_{1л} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{1л}} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 9,6 \text{ А}$$

$$I_{2л} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{2л}} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 144,51 \text{ А}$$

2. Фазные напряжения в нашем случае

$$U_{1\phi} = \frac{U_{1Л}}{\sqrt{3}} = \frac{6000}{1,73} = 3468 \text{ В,}$$

$$U_{2\phi} = \frac{U_{2Л}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1,73} = 231,2 \text{ В.}$$

3. Ток холостого хода

$$I_0 = 0,07I_{1Л} = 0,07 \cdot 9,6 = 0,67 \text{ А}$$

4. Коэффициент мощности на холостом ходу

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_{1Л} \cdot I_0} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0,67} = 0,086; \varphi_0 = 85^\circ$$

тогда угол магнитных потерь:

$$\delta = 90^\circ - \varphi_0 = 90^\circ - 85^\circ = 5^\circ.$$

5. Сопротивление намагничивающей цепи (холостой ход)

$$Z_0 = \frac{U_{1Л}}{\sqrt{3} \cdot I_0} = \frac{U_{1\phi}}{I_0} = \frac{3468}{0,67} = 5180 \text{ Ом};$$

$$R_0 = \frac{P_0}{3 \cdot I_0^2} = \frac{600}{3 \cdot 0,67^2} = 447 \text{ Ом};$$

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} = \sqrt{5180^2 - 447^2} = 5160 \text{ Ом}.$$

6. Сопротивление короткого замыкания

$$Z_K = \frac{U_{K\phi}}{I_{K\phi}} = \frac{0,055 \cdot 3468}{9,6} = 19,8 \text{ Ом};$$

$$R_K = \frac{P_K}{3 \cdot I_{1Л}^2} = \frac{2400}{3 \cdot 9,6^2} = 8,7 \text{ Ом};$$

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} = \sqrt{19,8^2 - 8,7^2} = 17,9 \text{ Ом}.$$

7. Сопротивление первичной обмотки

$$R_1 = R_2' = R_K / 2 = 8,7 / 2 = 4,35 \text{ Ом};$$

$$X_1 = X_2' = X_K / 2 = 17,9 / 2 = 8,95 \text{ Ом}.$$

8. Сопротивление вторичной обмотки

$$R_2 = \frac{R_2'}{K^2} = \frac{4,35}{15^2} = 0,0193 \text{ Ом};$$

$$X_2 = \frac{X_2'}{K^2} = \frac{8,95}{15^2} = 0,0398 \text{ Ом}, 3$$

где $K = \frac{U_{1\phi}}{U_{2\phi}} = \frac{3468}{231,2} = 15 A$; K – коэффициент трансформации трансформатора.

Построение характеристик трансформатора

9. Потеря напряжения во вторичной обмотке трансформатора

$$\Delta U_2 \% = \beta (u_a \% \cos \varphi_2 + u_p \% \sin \varphi_2),$$

где $u_a \%$, $u_p \%$ – соответственно активное и реактивное падения напряжений;

$$u_a \% = u_K \cdot \cos \varphi_K, \quad \cos \varphi_K = \frac{R_K}{Z_K}, \quad u_a \% = 5,5 \frac{8,7}{19,8} = 2,4\% ;$$

$$u_p \% = \sqrt{(u_K \%)^2 - (u_a \%)^2} = \sqrt{(5,5)^2 - (2,4)^2} = 4,95\% .$$

10. Напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора определяем по формуле

$$U_2 = \frac{U_{20}(100 - \Delta U_2 \%)}{100} .$$

Например, при $\beta = 0,2$

$$U_2 = \frac{U_{20}(100 - \Delta U_2 \%)}{100} = \frac{400(100 - 1,014)}{100} = 395,94 \text{ В} .$$

Задаваясь различными значениями β , по формулам определяем напряжения U_2 , данные расчёта вносим в табл. 1.

11. Для построения зависимости $\eta = f(\beta)$ расчёт коэффициента полезного действия (КПД) производим по формуле

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{НОМ} \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_{НОМ} \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_K} .$$

Например, при $\beta = 0,2$

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{НОМ} \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_{НОМ} \cdot \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_K} =$$

$$= \frac{0,2 \cdot 100000 \cdot 0,75}{0,2 \cdot 100000 \cdot 0,75 + 600 + 0,75^2 2400} = 0,956.$$

Результаты расчёта сводим также в таблицу 2. По полученным данным строим в масштабе характеристики $U_2 = f(\beta)$, $\eta = f(\beta)$, показанные на рис. 1.

Таблица 1. Данные расчёта η и U_2 в зависимости от β

β	$\Delta U_2, \%$	$U_2, \text{В}$	η
0,01	0	–	0,555
0,025	0	–	0,757
0,1	0,507	397,97	0,924
0,2	1,014	395,94	0,956
0,3	1,521	393,92	0,965
0,4	2,028	391,89	0,967
0,5	2,535	389,86	0,969
0,6	3,042	287,83	0,967
0,7	3,549	385,8	0,966
0,8	4,056	383,78	0,964
0,9	4,563	381,75	0,963
1	5,07	379,72	0,962

12. Нагрузка трансформатора при которой он имеет максимальный КПД

$$\beta |_{\eta=\max} = \sqrt{\frac{P_0}{P_K}} = \sqrt{\frac{600}{2400}} = 0,5.$$

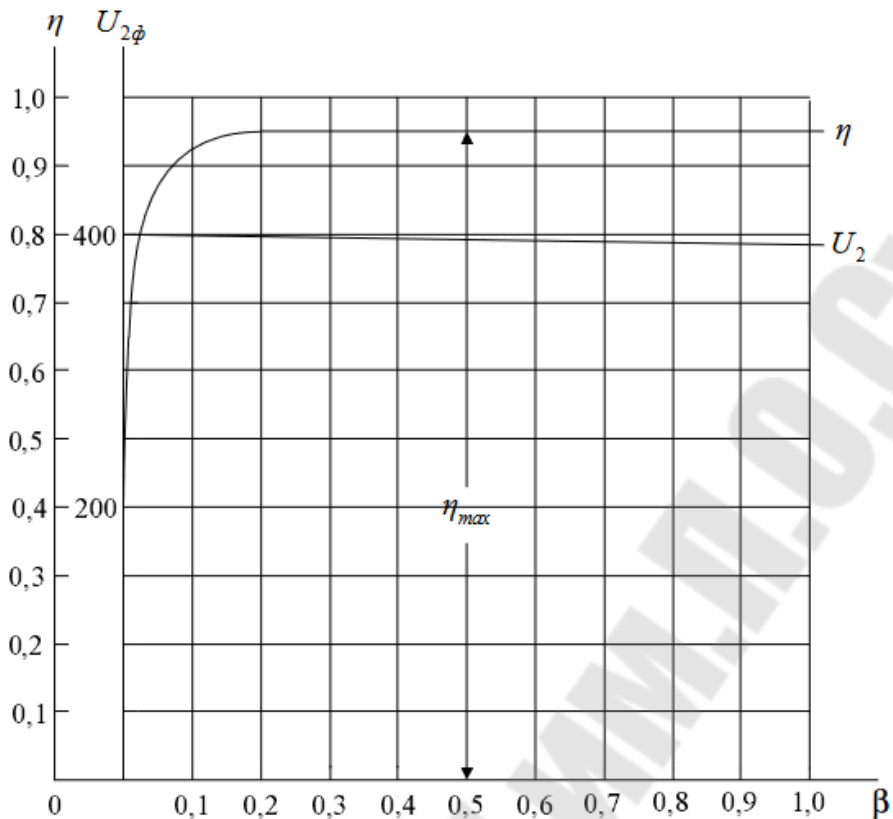


Рис. 1. Зависимости $\eta = f(\beta)$; $U_2 = f(\beta)$

Построение векторной диаграммы

Откладываем горизонтально вектор магнитного потока Φ_m произвольной величины и под углом магнитных потерь $\delta = 5^\circ$ с опережением к нему откладываем вектор тока $I_0 = 0.67$ А. Под углом -90° к вектору Φ_m откладываем векторы $E_1 = E_2'$ и под углом $+90^\circ$ вектор $-E_1$ (рис.2).

13. ЭДС в обмотках для построения векторной диаграммы

$$E_1 = E_2' = U_{1\phi} (1 - \Delta U_{2H}^* / 2),$$

где

$$\begin{aligned} \Delta U_{2H}^* &= r_K^* \cdot \cos \varphi_2 + X_K^* \cdot \sin \varphi_2 = \\ &= 0,024 \cdot 0,75 + 0,049 \cdot 0,66 = 0,0504, \end{aligned}$$

где ΔU_{2H}^* , r_K^* , X_K^* – падение напряжения, активное и реактивное сопротивления в относительных единицах;

$$\cos \varphi_2 = 0,75 \quad \varphi_2 = 41,41^\circ \quad \sin \varphi_2 = 0,66;$$

$$r_K^* = \frac{P_K}{S_{НОМ}} = \frac{2400}{100 \cdot 10^3} = 0,024; z_K^* = u_K^* = \frac{u_K \%}{100} = \frac{5,5}{100} = 0,055$$

$$X_K^* = \sqrt{(z_K^*)^2 - (r_K^*)^2} = \sqrt{(0,055)^2 - (0,024)^2} = 0,049$$

Тогда

$$\underline{E}_1 = \underline{E}'_2 = 3468 \left(1 - \frac{0,0504}{2}\right) = 3380 \text{ В}$$

Под углом ψ_2 (с отставанием) к вектору \underline{E}'_2 откладывается ток

$$\underline{I}'_{2Л} = I_{2Л} / K = 144,5 / 15 = 9,6 \text{ А.}$$

14. Угол ψ_2 определяем как

$$\operatorname{tg} \psi_2 = \frac{\sin \varphi_2 + \frac{X_K^*}{2}}{\cos \varphi_2 + \frac{r_K^*}{2}} = \frac{0,66 + \frac{0,049}{2}}{0,75 + \frac{0,024}{2}} = 1,34; \psi_2 = \operatorname{arctg} 1,34 = 53,2^\circ.$$

Далее, согласно уравнения

$$\underline{U}'_2 = \underline{E}'_2 + (-\underline{I}'_2 r'_2) + (-jX'_2 \underline{I}'_2),$$

определяется напряжение \underline{U}'_2 .

Первичный ток получаем из уравнения

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 + (-\underline{I}_2)$$

Из-за малости током холостого хода \underline{I}_0 можно пренебречь и принять

$$\underline{I}_1 = -\underline{I}_2.$$

15. Тогда падения напряжений в первичной обмотке будут

$$R_1 I_1 = 4,35 \cdot 9,6 = 41,76 \text{ В}; X_1 \cdot I_1 = 8,95 \cdot 9,6 = 85,92 \text{ В.}$$

Напряжение первичной обмотки трансформатора \underline{U}_1 определяем из уравнения электрического состояния, составленного по второму закону Кирхгофа для первичной цепи

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + R_1 \underline{I}_1 + jX_1 I_1.$$

Векторная диаграмма трансформатора приведена на рис. 2.

T-образная схема замещения трансформатора изображена на рис. 3

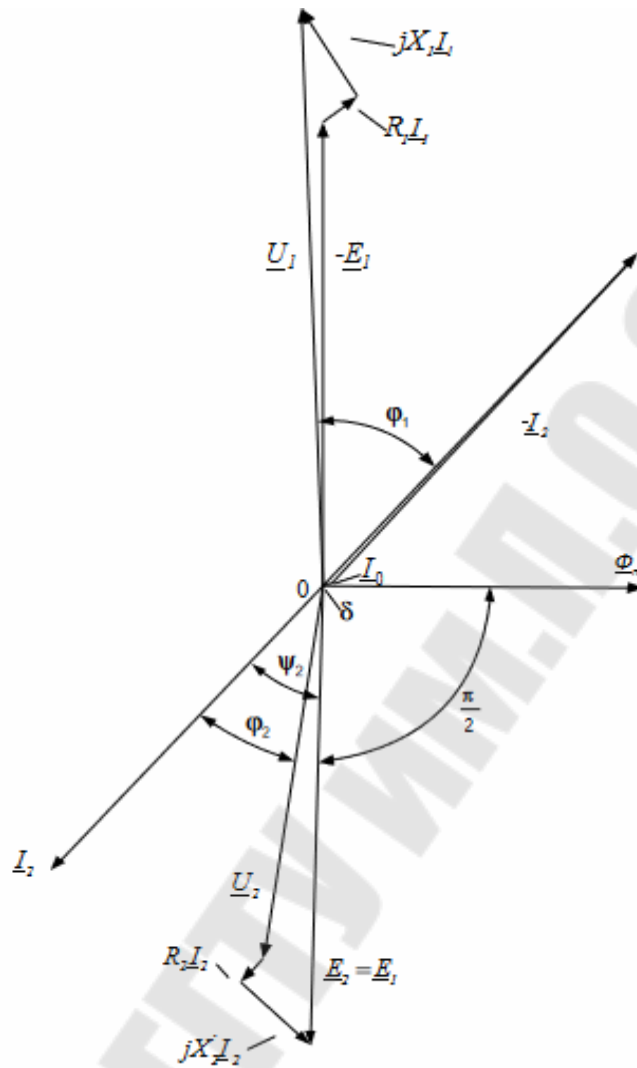


Рис. 2. Векторная диаграмма трехфазного трансформатора

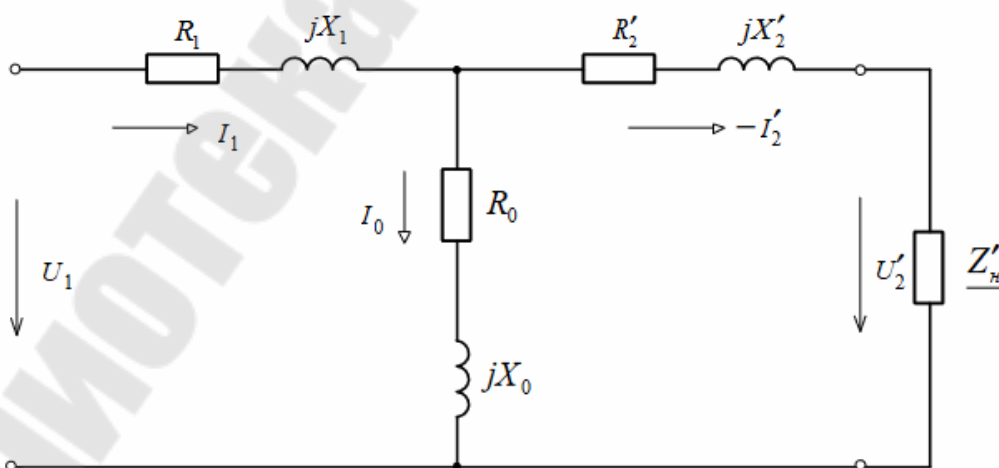


Рис.3. T-образная схема замещения трехфазного трансформатора

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Дан трёхфазный трансформатор, соединение обмоток которого $Y/Y_0 = 0$

Определить:

- сопротивление обмоток трансформатора R_1, X_1, R_2, X_2 ;
- эквивалентное сопротивление намагничивающей цепи трансформатора Z_0 и его составляющие R_0, X_0 ;
- угол магнитных потерь δ .

Построить характеристики трансформатора:

1) Зависимость напряжения от нагрузки $U_2 = f(\beta)$ – внешняя характеристика;

- зависимость $\eta = f_2(\beta)$ коэффициента полезного действия от нагрузки, где β – коэффициент нагрузки трансформатора

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1Л}} = \frac{I_2}{I_{2Л}},$$

- векторную диаграмму трансформатора при нагрузке составляющей 1,0 от номинальной мощности трансформатора; коэффициент мощности принят $\cos \varphi_2 = 0,75$;

- составить Т-образную схему замещения трансформатора.

Исходные данные для расчёта трёхфазного трансформатора приведены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные для расчёта трёхфазного трансформатора

Наименование величины	Номер варианта										
	Первая цифра варианта	Вторая цифра варианта									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальная мощность $S_{ном}$, тыс. кВА	0 – 9	16,0	25,0	1,0	0,25	16,0	0,40	10,0	2,50	6,30	1,0
Номинальное высшее напряжение $U_{1л}$, кВ	0 – 9	38,75	110	6,0	10	121	35	121	110	35	10
Номинальное высшее напряжение $U_{2л}$, кВ	0,2,4,6,8	6,0	21,0	0,69	0,4	35	0,4	35	21	10,5	0,69
	1,3,5,7,9	10	38,5	0,40	0,525	20	0,69	20	15,75	6,3	0,4
Напряжение короткого замыкания U_k , %	0,2,4,6,8	10	10,5	8	8	10,5	6,5	10,5	10,5	7,5	5,5
	1,3,5,7,9	8	9	10	7	7,5	8,5	8	9	10	7
Ток холостого хода i_0 , %	0,1,6,7,9	0,75	0,8	1,5	4	0,85	2,1	0,9	1,5	0,9	2,5
	2,3,4,5,8	1,0	1,2	1,8	5	1,1	2,5	1,2	1,3	1,2	3,0
Мощность короткого замыкания P_k , кВт	0,2,3,5,9	105	120	12,2	4,4	85	5,5	60	22	46,5	1,2
	1,4,6,7,8	95	110	14,0	5,0	99	6,5	80	9	50	14
Мощность холостого хода P_0 , кВт	1,2,5,6,9	17,8	29	2,3	1,1	21	1,15	14	5	8,0	3
	0,3,4,7,8	16	32	6,3	1,3	16	1,3	16	6	9,5	4
Коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi_2$	2,3,4,7,9	0,9	0,86	0,83	0,8	0,75	0,78	0,82	0,85	0,93	0,7
	0,1,5,6,8	0,83	0,8	0,7	0,95	0,85	0,88	0,72	0,9	0,75	0,82

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 2

ТРЕХФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Решение задач по расчёту асинхронных электродвигателей студентам предлагается после изучения теоретического материала по данному разделу.

Приступая к расчёту задач по теме «трехфазные асинхронные электродвигатели», студент должен понимать условия возбуждения вращающегося магнитного поля; знать значения терминов: скольжение, синхронная скорость, короткозамкнутый ротор, приведение параметров обмотки ротора к параметрам обмотки статора, замена трёхфазного асинхронного двигателя с вращающимся ротором эквивалентным двигателем с неподвижным ротором, вид механических и рабочих характеристик.

Эксплуатационные параметры синхронных двигателей демонстрируются механическими и рабочими характеристиками.

Механические характеристики $M = f(S)$ или $\omega = f(M)$ могут быть построены по расчётной формуле вращающего (электромагнитного) момента

$$M = \frac{3U_{1\phi}^2 \frac{R'_2}{S}}{\omega_0 \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{S} \right)^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right]}, \quad (1)$$

где $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / p$ - синхронная частота вращения магнитного поля, M – электромагнитный момент АД, $U_{1\phi}$ – фазное напряжение статорной обмотки; S – скольжение; R_1, X_1 – значения сопротивлений статорной обмотки; R'_2, X'_2 – приведённые значения сопротивлений роторной обмотки; f_1 – частота питающего напряжения; p – число пар полюсов.

По зависимости $M = f(S)$ можно построить характеристику $\omega = f(M)$, так как

$$\omega = \omega_0(1 - S), \quad (2)$$

где ω - угловая скорость вращения ротора АД, 1/с.

Механическую характеристику можно построить и по каталожным данным, используя упрощённую формулу Клосса

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S_{кр}}{S} + \frac{S}{S_{кр}}}, \quad (3)$$

где $M_{кр}$ – критический (максимальный) момент АД, $S_{кр}$ – скольжение, при котором двигатель развивает критический момент.

Номинальный момент двигателя из выражения

$$M_{НОМ} = 9550 \frac{P_{НОМ}}{n_{НОМ}}, \quad (4)$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность двигателя, кВт; $n_{НОМ}$ – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

Критическое скольжение

$$S_{кр} = S_{НОМ} (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1}). \quad (5)$$

Зная $M_{кр}$ и $S_{кр}$ и задаваясь значениями S в пределах от 0 до 1, легко построить механическую характеристику $M = f(S)$, ведя расчёт по выражению (3).

Характеристику $\omega = f(M)$ получают из характеристики $M = f(S)$, учитывая при этом, что угловая скорость ротора ω определяется по выражению (2). Вид механических характеристик приведен на рис. 4.

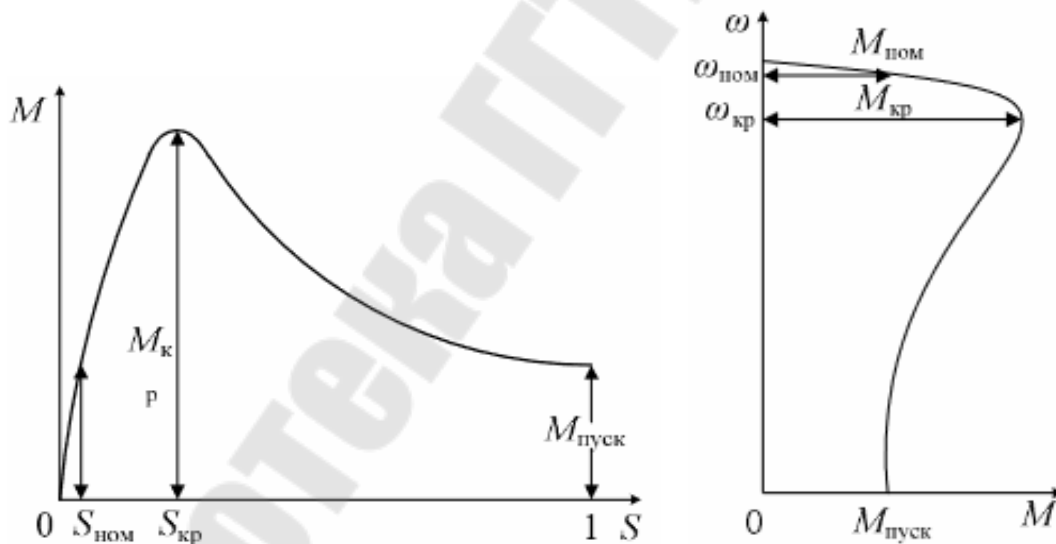


Рис.4. Механические характеристики ТАД $M = f(S)$ и $\omega = f(M)$

Для более полного выявления свойств двигателя служат рабочие характеристики, показывающие зависимость скорость вращения ротора ω , вращающего момента M , КПД η , тока I и коэффициента мощности $\cos\varphi$ от полезной мощности на валу двигателя P_2 . Эти характе-

ристки можно рассчитать по данным каталога или получить в процессе испытания двигателя в лабораторных условиях. Рабочие характеристики ТАД изображены на рис. 5.

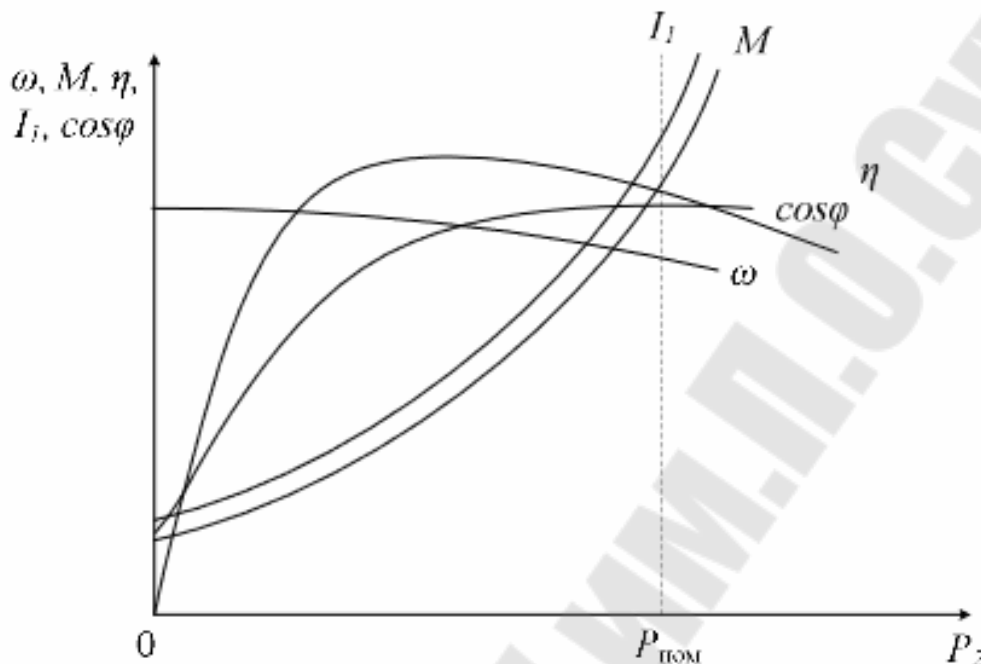


Рис. 5. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Исходные данные: номинальная мощность трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором $P_{НОМ} = 10$ кВт, номинальное напряжение (линейное) $U_{НОМ} = 380$ В, номинальная частота вращения ротора $n_{НОМ} = 1420$ об/мин, номинальный КПД $\eta_{НОМ} = 0.84$ и номинальный коэффициент мощности $\cos\phi_{НОМ} = 0.85$. Кратность пускового тока $I_{пуск} / I_{НОМ} = 6.5$, а перегрузочная способность двигателя $M_{макс} / M_{НОМ} = 1.8$.

Определить: 1. потребляемую мощность ТАД; 2. номинальный и максимальный (критический) вращающие моменты ТАД; 3. пусковой ток ТАД; 4. номинальное и критическое скольжения ТАД. 5. Построить механические характеристики $M = f(S)$ и $\omega = f(M)$.

Расчет

Потребляемая мощность ТАД

$$P_{1НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} = \frac{10}{0,84} = 11,9 \text{ кВт.}$$

Номинальный и максимальный моменты ТАД

$$M_{НОМ} = 9550 \frac{P_{НОМ}}{n_{НОМ}} = 9550 \frac{10}{1420} = 67,3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Номинальный и пусковой токи

$$I_{ПУСК} = 6,5 \cdot I_{НОМ} = 6,5 \cdot 21,2 = 138 \text{ А}$$

Номинальное и критическое скольжение

$$S_{НОМ} = \frac{n_0 - n_{НОМ}}{n_0} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0,053.$$

$$S_{кр} = S_{НОМ} (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1}) = 0,053(1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1}) = 0,175$$

Механическая характеристика строится по уравнению (3)

$$M = \frac{242}{\frac{0,175}{S} + \frac{S}{0,175}}.$$

Задаваясь скольжением S от 0 до 1, подсчитываем электромагнитный момент. Угловая скорость вращения ротора определяется из уравнения (2). Расчётные данные сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Численные данные для построения механических характеристик

S , о.е	ω , 1/с	M , Нм
0,053	149	67,3
0,10	142	104,3
0,175	130	121,0
0,2	126	120,5
0,3	110	105,3
0,4	94	88,8
0,5	79	75,5
0,6	63	65,2
0,7	48	57,0
0,8	31,6	50,5
0,9	15,8	45,5
1,0	0	41,2

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, номинальная мощность которого $P_{\text{ном}}$, включен в сеть на номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ частотой $f = 50$ Гц.

Определить:

- 1) потребляемую мощность ТАД;
- 2) номинальный и максимальный (критический) вращающие моменты ТАД;
- 3) пусковой ток ТАД;
- 4) номинальное и критическое скольжения ТАД;
- 5) Построить механические характеристики $M = f(S)$ и $\omega = f(M)$.
- 6) как изменится пусковой момент двигателя при снижении напряжения на его зажимах на $\Delta U\%$;
- 7) возможен ли пуск двигателя при этих условиях с номинальной нагрузкой и построить механическую характеристику ТАД при пониженном напряжении.

Исходные данные для расчета ТАД с короткозамкнутым ротором (по вариантам) приведены в таблице 4

Таблица 4

Исходные данные для расчета ТАД с короткозамкнутым ротором

Номер варианта	Исходные данные								
	$U_{\text{НОМ}}, \text{В}$	$P_{\text{НОМ}}, \text{кВт}$	$S_{\text{НОМ}}, \%$	$\eta_{\text{НОМ}}$	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	p	$M_{\text{макс}} / M_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{пуск}} / I_{\text{НОМ}}$	$\Delta U_{\%}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	220	0,8	3,0	0,78	0,86	1	2,2	3,0	15
2	220	0,1	3,0	0,795	0,87	1	2,2	3,5	20
3	220	1,5	4,0	0,805	0,88	1	2,2	3,5	25
4	220	2,2	4,5	0,83	0,89	1	2,2	2,5	10
5	220	3,0	3,5	0,845	0,89	1	2,2	2,5	30
6	220	4,0	2,0	0,855	0,89	1	2,2	4,0	15
7	220	5,5	3,0	0,86	0,89	1	2,2	4,5	20
8	220	7,5	3,5	0,87	0,89	1	2,2	5,0	25
9	220	10	4,0	0,88	0,89	1	2,2	5,0	10
10	220	13	3,5	0,88	0,89	1	2,2	3,0	30
11	220	17	3,5	0,88	0,90	1	2,2	3,0	15
12	220	22	3,5	0,88	0,90	1	2,2	2,5	20
13	220	30	3,0	0,88	0,90	1	2,2	3,0	25
14	220	40	3,0	0,89	0,91	1	2,2	3,5	10

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	220	55	3,0	0,9	0,92	1	2,2	3,5	30
16	220	75	3,0	0,9	0,92	1	2,2	2,5	15
17	220	100	2,5	0,915	0,92	1	2,2	2,5	20
18	380	10	3,0	0,885	0,87	1	2,2	4,0	25
19	380	13	3,0	0,885	0,89	2	2,0	4,5	10
20	380	17	3,0	0,89	0,89	2	2,0	5,0	30
21	380	22	3,0	0,9	0,90	2	2,0	2,5	15
22	380	30	3,0	0,91	0,91	2	2,0	2,5	20
23	380	40	3,0	0,925	0,92	2	2,0	3,0	25
24	380	55	3,0	0,925	0,92	2	2,0	3,0	10
25	380	75	3,0	0,925	0,92	2	2,0	3,0	30
26	220	65	2,0	0,805	0,87	3	2,3	5,0	15
27	220	55	3,5	0,83	0,88	3	2,3	5,0	20
28	220	45	3,5	0,845	0,89	3	2,3	5,0	25
29	220	30	3,5	0,855	0,89	3	2,3	5,0	10
30	220	25	2,0	0,86	0,89	3	2,3	5,0	30
31	380	20	2,0	0,87	0,89	3	2,3	5,0	15
32	380	10	2,5	0,88	0,89	3	2,3	5,0	20

ПРИМЕР РАСЧЕТА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Исходные данные: У трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором сопротивления фаз обмоток статора и ротора следующие: $R_1 = 0.46$ Ом, $R_2 = 0.02$ Ом, $X_1 = 2.24$ Ом, $X_2 = 0.08$ Ом. Фазы статора соединены треугольником. ТАД С ФР работает при напряжении $U_{НОМ} = 220$ В с частотой $f_1 = 50$ Гц. Число витков на фазу обмоток $W_1 = 187$, $W_2 = 36$. Число пар полюсов $p = 3$. Заданное скольжение $S_{зад} = 0.03$.

Определить:

- 1) пусковые токи статора и ротора электродвигателя $I_{1ПУСК}$, $I_{2ПУСК}$;
- 2) пусковой вращающий момент $M_{ПУСК}$;
- 3) коэффициент мощности при пуске двигателя с замкнутой обмоткой ротора накоротко $\cos \varphi_{ПУСК}$;
- 4) ток статора и вращающий момент при работе двигателя с заданным скольжением $S_{зад}$;
- 5) критическое скольжение $S_{кр}$ и критический (максимальный) момент $M_{макс}$;
- 6) величину сопротивления фазы пускового реостата R_p для получения пускового момента, равного максимальному, а также пусковые токи статора и ротора $I_{1ПУСК}$, $I_{2ПУСК}$ при этом сопротивлении R_p .

Расчет

Для приведения сопротивления обмотки ротора к обмотке статора определяем коэффициент трансформации

$$K = \frac{W_1}{W_2} = \frac{187}{36} = 5,2.$$

Приведенные значения сопротивлений роторной обмотки к статорной обмотке

$$R_2' = K^2 R_2 = 5,2^2 \cdot 0,02 = 0,54 \text{ Ом}$$

$$X_2' = K^2 X_2 = 5,2^2 \cdot 0,08 = 2,16 \text{ Ом}$$

Сопротивления короткого замыкания

$$R_K = R_1 + R_2' = 0,46 + 0,54 = 1,0 \text{ Ом}$$

$$X_K = R_1 + X_2' = 2,24 + 2,16 = 4,4 \text{ Ом}$$

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} = \sqrt{1,0^2 + 4,4^2} = 4,51 \text{ Ом.}$$

Пусковые токи, пусковой момент и пусковой коэффициент мощности при пуске двигателя с замкнутым накоротко ротором

$$I_{1\text{ПУСК}} = \frac{U_\phi}{Z_K} = \frac{220}{4,51} = 48,8 \text{ А;}$$

$$I_{2\text{ПУСК}} = K \cdot I_{1\text{ПУСК}} = 5,2 \cdot 48,8 = 254 \text{ А;}$$

$$M_{\text{ПУСК}} = \frac{3R_2 I_{2\text{ПУСК}}^2}{\omega_0} = \frac{3 \cdot 0,02 \cdot 254^2}{104,5} = 37 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

где

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60}; n_0 = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ об/мин;}$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000}{60} = 104,5 \text{ 1/с.}$$

Коэффициент мощности при пуске

$$\cos \varphi_{\text{ПУСК}} = \frac{R_K}{Z_K} = \frac{1,0}{4,51} = 0,222.$$

Токи и вращающий момент при работе двигателя с заданным скольжением $S_{\text{зад}} = 0,03$:

$$Z = \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_K)^2} = \sqrt{\left(0,46 + \frac{0,54}{0,03}\right)^2 + 4,4^2} = 18,9 \text{ Ом;}$$

$$I_1 = \frac{U_\phi}{Z} = \frac{220}{18,9} = 11,6 \text{ А.}$$

Критическое скольжение и критический (максимальный) момент:

$$S_{\text{кр}} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_K^2}} = \frac{0,54}{\sqrt{0,46^2 + 4,4^2}} = 0,122;$$

$$M_{\text{макс}} = \frac{3U_\phi^2}{2\omega_0 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_K^2} \right]} = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104,5 \left[0,46 + \sqrt{0,46^2 + 4,4^2} \right]} = 141 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Определяем сопротивление пускового реостата.

Так как пусковой вращающий момент должен быть равен максимальному значению при $S = 1$, т. е.

$$S_{кр} = \frac{R_2' + R_p'}{X_K} = 1,0,$$

где R_p' – приведённое значение сопротивления пускового реостата;

Тогда сопротивление реостата

$$R_p' = X_K - R_2' = 4,4 - 0,54 = 3,86 \text{ Ом.}$$

Пусковые токи при пуске двигателя с реостатом

$$Z_{ПУСК} = \sqrt{(R_2' + R_p')^2 + X_K^2} = \sqrt{(1 + 3,86)^2 + 4,4^2} = 6,55 \text{ Ом;}$$

$$I_{1ПУСК} = \frac{U_\phi}{Z_{ПУСК}} = \frac{220}{6,55} = 33,6 \text{ А;}$$

$$I_{2ПУСК} = K \cdot I_{1ПУСК} = 5,2 \cdot 33,6 = 174,7 \text{ А.}$$

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

У трехфазного асинхронного электродвигателя с фазным ротором сопротивления фаз обмоток статора и ротора R_1, R_2, X_1, X_2 . Фазы статора соединены треугольником. ТАД С ФР работает при напряжении $U_{ном}$ с частотой $f_1 = 50$ Гц. Число витков на фазу обмоток W_1, W_2 . Число пар полюсов p .

Определить:

- 1) пусковые токи статора и ротора электродвигателя $I_{1ПУСК}, I_{2ПУСК}$;
- 2) пусковой вращающий момент $M_{ПУСК}$;
- 3) коэффициент мощности при пуске двигателя с замкнутой обмоткой ротора накоротко $\cos \varphi_{ПУСК}$;
- 4) ток статора и вращающий момент при работе двигателя с заданным скольжением $S_{зад}$;
- 5) критическое скольжение $S_{кр}$ и критический (максимальный) момент $M_{макс}$;
- 6) величину сопротивления фазы пускового реостата R_p для получения пускового момента, равного максимальному, а также пусковые токи статора и ротора $I_{1ПУСК}, I_{2ПУСК}$ при этом сопротивлении R_p .
- 7) Построить естественные механические характеристики $M=f(S)$ и $\omega=f(M)$ электродвигателя и для случая с полностью введенным пусковым реостатом в ротор.

Исходные данные для расчета ТАД с фазным ротором (по вариантам) приведены в таблице 5

Таблица 5. Исходные данные для расчета ТАД с фазным ротором

Номер варианта	Исходные данные								
	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$X_1, \text{Ом}$	$X_2, \text{Ом}$	W_1	W_2	p	$S_{\text{зад}}, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	220	0,46	0,07	1,52	0,22	190	64	2	3,0
2	220	0,58	0,06	2,32	0,35	260	82	2	3,5
3	380	0,62	0,04	1,84	0,42	362	72	2	3,5
4	380	0,74	0,07	3,52	0,37	216	48	3	2,5
5	380	0,78	0,06	4,12	0,62	424	74	3	2,5
6	220	0,36	0,045	3,62	0,48	358	62	3	4,0
7	220	0,42	0,05	2,82	0,34	184	42	2	4,5
8	220	0,64	0,06	3,12	0,65	412	82	2	5,0
9	220	0,82	0,7	3,82	0,48	362	65	2	5,0
10	380	0,84	0,06	4,24	0,52	254	46	3	3,0
11	380	0,78	0,04	3,64	0,48	228	42	3	3,0
12	380	0,86	0,05	3,48	0,78	316	54	2	2,5
13	380	0,76	0,065	2,24	0,54	272	78	2	2,5
14	220	0,48	0,03	3,48	0,62	458	92	2	2,5
15	220	0,52	0,055	2,94	0,36	162	43	2	3,0
16	220	0,56	0,045	4,42	0,64	288	54	3	3,0
17	380	0,62	0,06	3,54	0,46	204	62	3	3,0
18	380	0,76	0,045	3,72	0,54	356	72	3	5,0

Окончание таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19	380	0,66	0,05	2,92	0,64	384	68	2	5,0
20	220	0,58	0,035	2,56	0,48	452	82	2	5,0
21	220	0,60	0,055	2,64	0,56	412	68	2	2,0
22	220	0,68	0,075	3,48	0,32	282	54	3	2,0
23	220	0,42	0,065	1,82	0,45	368	48	3	4,0
24	220	0,82	0,07	2,52	0,64	180	45	2	4,0
25	380	0,36	0,07	2,32	0,37	190	42	2	3,5
26	220	0,42	0,06	1,84	0,62	260	82	3	2,5
27	220	0,64	0,045	3,52	0,48	362	65	3	2,5
28	220	0,82	0,05	4,12	0,34	216	46	3	4,0
29	220	0,84	0,06	3,62	0,65	424	42	2	4,5
30	380	0,78	0,7	2,82	0,48	358	54	2	5,0
31	380	0,86	0,06	3,12	0,52	184	78	2	5,0
32	380	0,76	0,04	3,82	0,48	412	92	3	3,0

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 3

СИНХРОННЫЙ ТУРБОГЕНЕРАТОР

Синхронной называется электрическая машина, частота вращения которой связана постоянным соотношением с частотой сети переменного тока, в которую эта машина включена.

Синхронная машина состоит из двух частей: статора (неподвижная часть) и ротора (вращающаяся часть). На роторе машины расположена обмотка возбуждения, к которой через контактные кольца и щетки подводится постоянное напряжение от постороннего источника или возбудителя. В качестве возбудителя, как правило, используются генераторы постоянного тока. Обмотка возбуждения служит для создания основного магнитного поля в машине. В пазах сердечника статора синхронной машины расположена трехфазная обмотка переменного тока, которая также называется обмоткой якоря. Она может быть соединена либо в звезду, либо - в треугольник.

Как и все электрические машины, синхронные машины обратимы: они могут эксплуатироваться как в двигательном, так и в генераторном режиме.

Особенностью синхронной машины, работающей в энергетической системе, является возможность регулирования ее коэффициента мощности по величине и характеру.

Режим работы синхронной машины определяется взаимодействием магнитных полей, создаваемых токами в обмотках статора и ротора. Синхронная машина переходит от режима генератора к режиму двигателя в зависимости от того, действует ли на ее вал вращающий (генераторный) или тормозной (двигательный) момент. При отсутствии момента на валу синхронной машины она работает в режиме холостого хода.

Синхронные машины в основном применяются в качестве преобразователей механической энергии вращения в трехфазную электрическую. В настоящее время основными источниками электроэнергии остаются синхронные турбо- и гидрогенераторы на тепловых, атомных и гидроэлектростанциях (ТЭС, АЭС, ГЭС).

Трехфазные синхронные генераторы – самые мощные электрические машины. Единичная мощность синхронных генераторов, устанавливаемых на гидроэлектростанциях, достигла 640 МВт, а на тепловых электростанциях – 800 – 1200 МВт.

Синхронные двигатели также являются самыми мощными среди всех электродвигателей. Так, единичная мощность синхронных двигателей для крупных насосов, компрессоров достигает нескольких десятков МВт.

Синхронные машины применяются в качестве двигателей, особенно в крупных установках, не требующих регулирования частоты вращения.

Для улучшения коэффициента мощности крупных электроустановок на электрических подстанциях устанавливают специальные синхронные двигатели, работающие в режиме холостого хода с опережающим по фазе током. Их называют компенсаторами реактивной мощности. Мощность крупных синхронных компенсаторов составляет 50, 100, 160 МВт.

В зависимости от типа приводной турбины синхронные генераторы подразделяются по конструкции на турбогенераторы и гидрогенераторы. Синхронные турбогенераторы – это высокоскоростные машины с числом пар полюсов $p = 1 - 2$, а гидрогенераторы – относительно тихоходные с большим числом пар полюсов.

Мощность, подводимая к валу турбогенератора, может быть определена по его коэффициенту полезного действия и его номинальной электрической мощности

$$P_{MEX} = \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}}. \quad (6)$$

Механический момент, развиваемый приводной турбиной, определяется следующим выражением:

$$M_{MEX} = \frac{P_{MEX}}{\Omega}, \quad (7)$$

где $\Omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$.

Уравнение электрического состояния якорной обмотки синхронного генератора определяется по формуле

$$\underline{U}_{НОМ} = \underline{E}_0 - jx_d \underline{I}_{НОМ}, \quad (8)$$

где \underline{E}_0 – электродвижущая сила, наводимая в обмотке статора полем возбуждения; x_d – синхронное индуктивное сопротивление генератора.

Схема замещения фазы синхронного турбогенератора показана на рисунке 6. Векторная диаграмма фазы синхронного турбогенератора представлена на рис. 7.

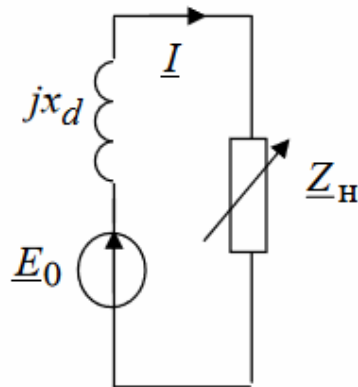


Рис.6. Схема замещения синхронного турбогенератора

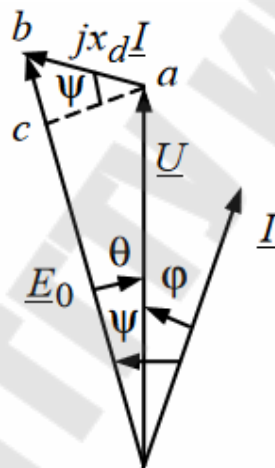


Рис.7 Векторная диаграмма синхронного турбогенератора

Число пар полюсов синхронного турбогенератора при стандартной частоте электродвижущей силы $f = 50$ Гц рассчитывается по следующей формуле

$$p = \frac{60 \cdot f}{n} \quad (9)$$

Электромагнитный момент, создаваемый на валу синхронным турбогенератором

$$M = \frac{m U_{НОМ} E_0}{\Omega \cdot x_d} \sin \theta \quad (10)$$

Зависимость $M = f(\theta)$ (10) называется угловой характеристикой синхронной машины.

При работе синхронного турбогенератора параллельно с мощной сетью появляется возможность регулирования генерируемой реактивной мощности. Такую возможность отражает U – образная характеристика синхронного турбогенератора $I = f(I_B)$, снимаемая при номинальном напряжении питающей сети $U_{\text{ном}}$ и постоянном моменте на валу турбогенератора $M = \text{const}$, где I – ток обмотки статора турбогенератора, а I_B – ток обмотки возбуждения.

К исходным данным синхронной машины относятся следующие величины:

- тип синхронного турбогенератора;
- номинальная частота вращения ротора синхронного турбогенератора $n_{\text{ном}}$;
- номинальная полная мощность синхронного турбогенератора $S_{\text{ном}}$;
- номинальная активная мощность синхронного турбогенератора $P_{\text{ном}}$;
- номинальное линейное напряжение обмотки статора турбогенератора $U_{\text{ном}}$;
- номинальный коэффициент мощности синхронного турбогенератора $\cos\varphi_{\text{ном}}$;
- номинальный ток статора $I_{\text{ном}}$;
- способ соединения обмоток статора (звезда или треугольник);
- номинальный коэффициент полезного действия синхронного турбогенератора $\eta_{\text{ном}}$;
- синхронное индуктивное сопротивление x_d в относительных единицах.

ПРИМЕР РАСЧЕТА СИНХРОННОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Исходные данные:

- тип синхронного турбогенератора: Т-6-2У3;
- номинальная синхронная частота вращения ротора турбогенератора $n_{\text{ном}} = 3000$ об./мин.;
- номинальная полная мощность синхронного турбогенератора $S_{\text{ном}} = 7,5$ МВА;
- номинальная активная мощность синхронного турбогенератора $P_{\text{ном}} = 6$ МВт;

- номинальное линейное напряжение обмотки статора турбогенератора $U_{НОМ} = 6,3$ кВ;
- номинальный коэффициент мощности (нагрузка – активноиндуктивная) $\cos\varphi_{НОМ} = 0,8$;
- номинальный ток обмотки статора $I_{НОМ} = 0,68$ кА;
- номинальный коэффициент полезного действия синхронного турбогенератора $\eta_{НОМ} = 0,976$;
- синхронное индуктивное сопротивление в относительных единицах $x_d^* = 1,651$ о.е.

Определить:

1. Рассчитать механическую мощность и момент, развиваемый приводной турбиной.
2. Определить число пар полюсов синхронного турбогенератора, полагая, что он вырабатывает электродвижущую силу промышленной частоты $f = 50$ Гц.
3. Считая, что характеристика холостого хода синхронного турбогенератора линейна, рассчитать и построить семейство угловых характеристик $M = f(\theta)$ при различных токах возбуждения.
4. Построить семейство векторных диаграмм синхронного турбогенератора при постоянном номинальном моменте приводной турбины и различных токах возбуждения.
5. На основании векторных диаграмм построить в относительных единицах U -образную характеристику синхронного турбогенератора $I = f(I_B)$. Проанализировать возможности регулирования реактивной мощности синхронного турбогенератора, работающего параллельно с мощной сетью.

Расчет

Механическая мощность, подводимая к валу турбогенератора, определяется следующим выражением

$$P_{МЕХ} = \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} = \frac{6 \cdot 10^6}{0,976} = 6,148 \cdot 10^6 \text{ Вт.}$$

Тогда момент, развиваемый турбиной,

$$M_{МЕХ} = \frac{P_{МЕХ}}{\Omega} = \frac{6,148 \cdot 10^6}{314} = 1,958 \cdot 10^4 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

где Ω – синхронная частота вращения ротора синхронного турбогенератора, выраженная в рад./сек.

$$\Omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад./сек.}$$

При частоте напряжения сети равной $f = 50$ Гц число пар полюсов синхронного турбогенератора при заданной частоте вращения ротора определится по следующей формуле

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

Абсолютное значение синхронного индуктивного сопротивления определим через базовое сопротивление турбогенератора и синхронное индуктивное сопротивление в относительных единицах

$$x_d = x_d^* \cdot Z_{\sigma} = 1,651 \cdot 5,355 = 8,842 \text{ Ом,}$$

где базовое сопротивление

$$Z_{\sigma} = \frac{U_{\phi,НОМ}}{I_{НОМ}} = \frac{6,3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,68 \cdot 10^3} = 5,355 \text{ Ом}$$

По второму закону Кирхгофа из уравнения равновесия напряжений статорного контура определим электродвижущую силу синхронного турбогенератора, наводимую в статорной обмотке обмоткой возбуждения,

$$\underline{U}_{НОМ} = \underline{E}_0 - jx_d \underline{I}_{НОМ},$$

$$\underline{E}_0 = \underline{U}_{НОМ} + jx_d \underline{I}_{НОМ}.$$

В расчетах принимаем начальную фазу номинального фазного напряжения $\psi_u = 90^\circ$. Тогда электродвижущая сила, наводимая в обмотке статора синхронного турбогенератора, определится следующим образом

$$\begin{aligned} \underline{E}_0 &= \underline{U}_{НОМ} + jx_d \underline{I}_{НОМ} = \\ &= \frac{6,3 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} e^{j90^\circ} + 8,842 e^{j90^\circ} \cdot 0,68 \cdot 10^3 \cdot e^{j(90^\circ - \varphi_{НОМ})} = 8690 e^{j114^\circ} \text{ В,} \end{aligned}$$

где $\varphi_{НОМ} = \arccos 0,8 = 36,5^\circ$

Угловая характеристика синхронного турбогенератора $M(\theta)$ запишется следующим выражением

$$M = \frac{3U_{НОМ}E_0}{\Omega \cdot x_d} \sin \theta = \frac{3 \cdot 3,642 \cdot 10^3 \cdot 8,960 \cdot 10^3}{314 \cdot 8,842} \sin \theta = 34,15 \cdot 10^3 \sin \theta$$

Максимальный электромагнитный момент, характеризующий предел статической устойчивости синхронного генератора, выражается амплитудным значением угловой характеристики

$$M_{\max} = \frac{3U_{\phi.НОМ}E_0}{\Omega \cdot x_d} = 34,15 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Номинальный момент при номинальном угле нагрузки

$$\theta_{НОМ} = \Psi_{E_0} - \Psi_{U_{НОМ}} = 114^\circ - 90^\circ = 24^\circ$$

определяется следующим числом

$$M_{НОМ} = M_{\max} \sin \theta_{НОМ} = 34,15 \cdot 10^3 \cdot \sin 24^\circ = 13,89 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

В предположении, что в ненасыщенном режиме характеристика холостого хода синхронного турбогенератора линейна, т.е.

$$E_0 = kI_B,$$

построим семейство угловых характеристик для различных токов возбуждения при постоянном номинальном моменте на валу.

Угловые характеристики синхронного турбогенератора при различных токах возбуждения приведены в таблице 6 и на рисунке 8.

Таблица 6. Угловые характеристики синхронного турбогенератора при различных токах возбуждения

θ	град	$I_B^* = \frac{I_B}{I_{ВНОМ}}$	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
$M \times 10^3$	Н·м	$I_B^* = 1,0$	0	17,08	29,57	34,15	29,57	17,08	0
		$I_B^{**} = 0,54$	0	9,22	15,97	18,44	15,97	9,22	0
		$I_B^{***} = 0,43$	0	7,34	12,72	14,68	12,72	7,34	0

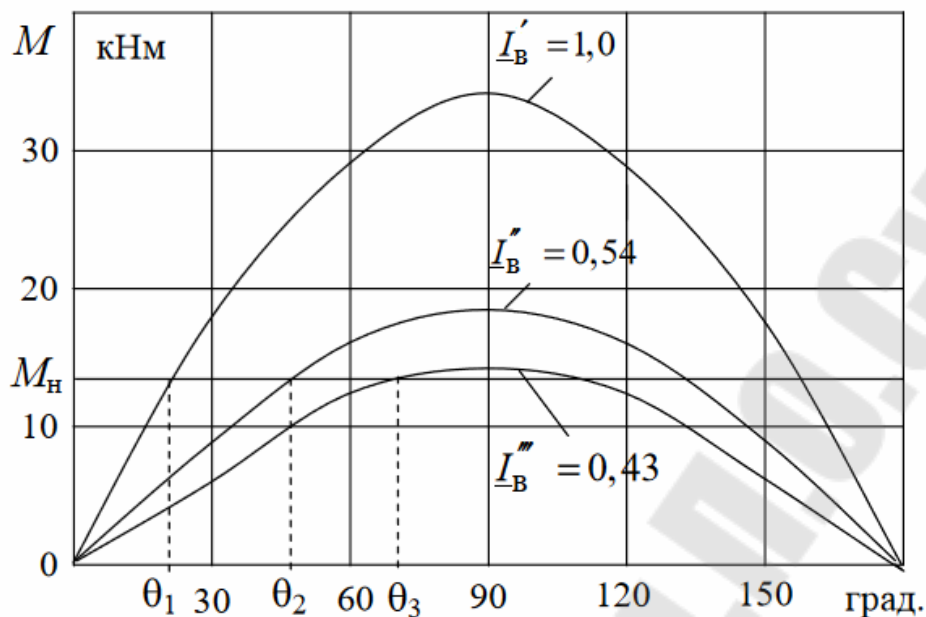


Рис 8. Угловые характеристики синхронного турбогенератора

Регулирование реактивной мощности синхронного турбогенератора при работе его параллельно с мощной сетью путем изменения тока обмотки возбуждения при постоянном моменте на валу турбогенератора осуществляется по следующим условиям:

$$I \cos \varphi = const, E_0 \sin \theta = const.$$

Построим на комплексной плоскости семейство векторных диаграмм синхронного турбогенератора, соответствующих этим условиям. Семейство векторных диаграмм синхронного турбогенератора при различных токах возбуждения и постоянном моменте на валу представлено на рисунке 9.

Принимая ток обмотки статора I и ток обмотки возбуждения I'_B за единицу, построим на основании векторных диаграмм U -образную характеристику синхронного турбогенератора. Вид U -образной характеристики представлен на рисунке 10.

На U -образной характеристике (рис.10) минимум указывает на коэффициент мощности равный единице. В этом режиме синхронный турбогенератор отдает в сеть только активную мощность ($\varphi = 0^\circ$). Левая ветвь характеристики соответствует выработке синхронным генератором активно-емкостной мощности ($\varphi < 0^\circ$), правая ветвь – активно-индуктивной мощности ($\varphi > 0^\circ$).

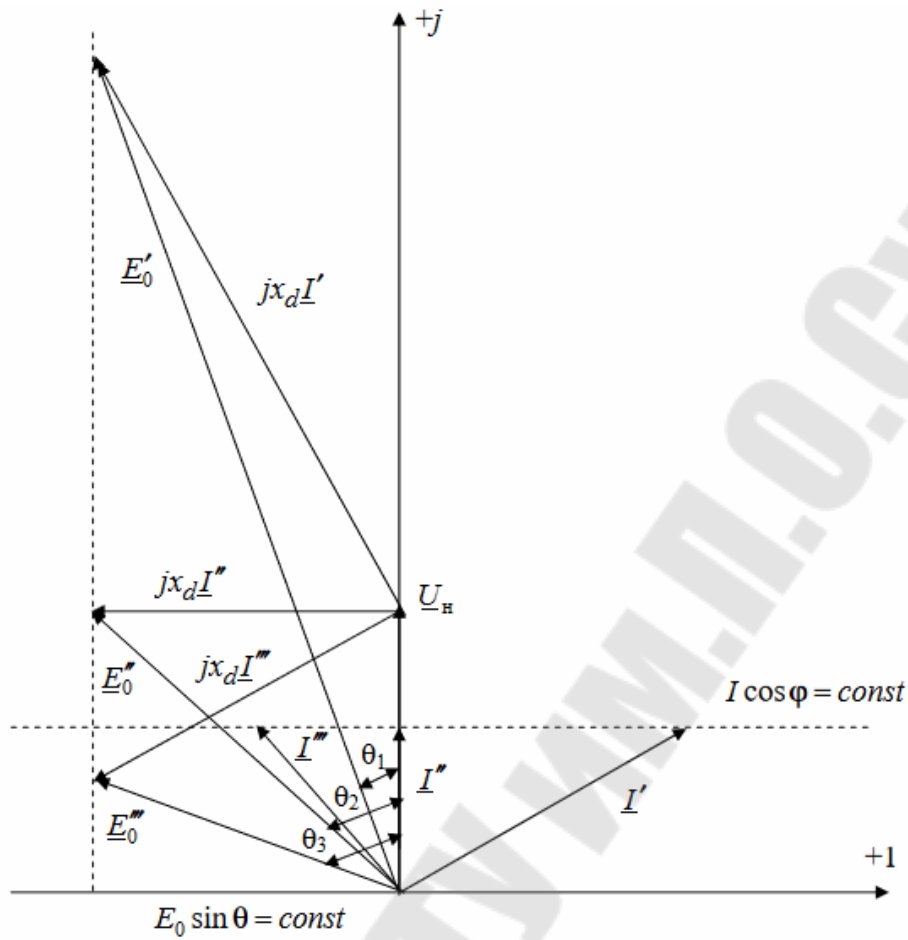


Рис.9. Семейство векторных диаграмм синхронного турбогенератора при различных токах возбуждения

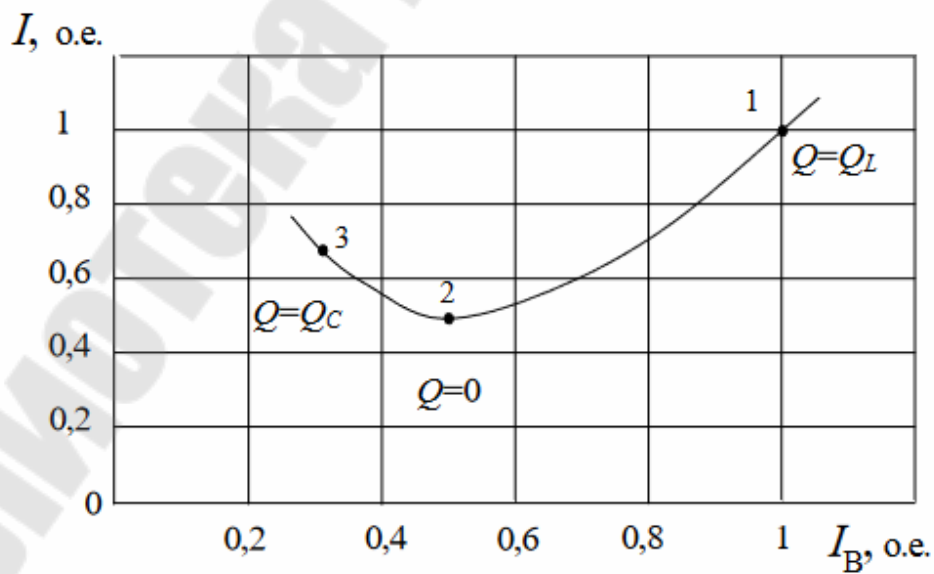


Рис.10. U – образная характеристика синхронного турбогенератора

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. В соответствии с вариантом задания выбрать из таблицы 7 синхронный турбогенератор и выписать его номинальные данные.

2. Рассчитать механическую мощность и момент, развиваемый приводной турбиной.

3. Определить число пар полюсов синхронного турбогенератора, полагая, что он вырабатывает электродвижущую силу промышленной частоты $f = 50$ Гц.

4. Считая, что характеристика холостого хода синхронного турбогенератора линейна, рассчитать и построить семейство угловых характеристик $M = f(\theta)$ при различных токах возбуждения.

5. Построить семейство векторных диаграмм синхронного турбогенератора при постоянном номинальном моменте приводной турбины и различных токах возбуждения.

6. На основании векторных диаграмм построить в относительных единицах U -образную характеристику синхронного турбогенератора $I = f(I_B)$. Проанализировать возможности регулирования реактивной мощности синхронного турбогенератора, работающего параллельно с мощной сетью.

Таблица 7

Технические данные синхронных турбогенераторов

№ п/ п	Тип турбогенератора	$n_{\text{НОМ}}$, об./МИН	$S_{\text{НОМ}}$, МВА	$P_{\text{НОМ}}$, МВт	$U_{\text{ЛНОМ}}$, кВ	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{НОМ}}$, кА	x_d^* о.е.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
01	Т-6-2У3	3000	7,5	6,0	6,3	0,8	0,68	1,651
02	Т-6-2У3	3000	7,5	6,0	10,5	0,8	0,412	1,71
03	Т-12-2У3	3000	15	12	6,3	0,8	1,376	1,85
04	Т-12-2У3	3000	15	12	10,5	0,8	0,825	2,07
05	Т-20-2У3	3000	25	20	6,3	0,8	2,295	2,07
06	Т-20-2У3	3000	25	20	10,5	0,8	1,375	2,07
07	ТВС-32-2У3	3000	40	32	6,3	0,8	3,67	2,46
08	ТВС-32-2У3	3000	40	32	10,5	0,8	2,2	2,65
09	ТВС-32-Т3	3000	31,25	25	10,5	0,8	1,718	2,21
10	ТВФ-63-2ЕУ3	3000	78,75	63	10,5	0,8	4,33	1,51
11	ТВФ-63-2У3	3000	78,75	63	6,3	0,8	7,21	1,92
12	ТВФ-63-2У3	3000	78,75	63	10,5	0,8	4,33	1,20
13	ТВФ-110-2ЕУ3	3000	137,5	110	10,5	0,8	7,56	2,04
14	ТВФ-120-2У3	3000	125	100	10,5	0,8	6,875	1,907
15	ТВВ-160-2ЕУ3	3000	188	160	18	0,85	5,67	1,713
16	ТВВ-220-ЕУ3	3000	258,3	220	15,75	0,85	8,625	1,88
17	ТВВ-220-АУ3	3000	235,3	200	15,75	0,85	8,625	2,106
18	ТГВ-200-2У3	3000	235,3	200	15,75	0,85	8,625	1,84
19	ТГВ-200-2Д	3000	235,3	200	15,75	0,85	7,55	1,896

Окончание таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	ТГВ-200-МТ	3000	241,3	210	15,75	0,85	9,06	2,00
21	ТГВ-200-МУ3	3000	247	210	20	0,85	9,06	2,00
22	ТВВ-320-ЕУ3	3000	375	320	20	0,85	10,9	1,698
23	ТГВ-300-2У3	3000	353	300	20	0,85	10,2	2,195
24	ТВМ-300-У3	3000	353	300	20	0,85	10,19	2,11
25	ТВВ-500-ЕУ3	3000	588	500	20	0,85	17	2,56
26	ТГВ-500-2У3	3000	588	500	20	0,85	17	2,413
27	ТГВ-500-4У3	1500	588	500	20	0,85	17	2,158
28	ТВМ-500-У3	3000	588,2	500	36,75	0,85	9,24	2,158
29	ТГВ-800-2У3	3000	941	800	24	0,85	22,65	2,482
30	ТВВ-800-ЕУ3	3000	888,9	800	24	0,9	21,4	2,33
31	Т3В-800-2У3	3000	941	800	24	0,85	22,65	2,33
32	ТВВ-1000-4У3	1500	1111	1000	24	0,9	26,73	2,41

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО МАШИНАМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ТРАНСФОРМАТОРЫ

1 Какой режим работы трансформатора позволяет определить коэффициент трансформации?

1. Режим холостого хода.
2. Режим короткого замыкания.
3. Нагрузочный режим.
- 4 Режим трансформатора при максимальном КПД.
5. Нет правильного ответа.

2. Чем принципиально отличается автотрансформатор от трансформатора?

1. Малым коэффициентом трансформации.
2. Возможностью изменения коэффициента трансформации.
3. Электрическим соединением первичной и вторичной цепей.
4. Отсутствием магнитной связи первичной и вторичной обмоток.
5. Нет правильного ответа.

3 В каких режимах может работать силовой трансформатор?

1. В режиме холостого хода.
2. В нагрузочном режиме.
3. В режиме короткого замыкания.
4. Во всех перечисленных режимах.
5. В номинальном режиме.

4. Какие трансформаторы позволяют плавно изменять напряжение на выходных зажимах?

1. Силовые трансформаторы.
2. Измерительные трансформаторы.
3. Автотрансформаторы.
4. Сварочные трансформаторы.
5. Нет правильного ответа.

5. На какие режимы работы рассчитаны измерительные трансформаторы напряжения?

1. Холостой ход.
2. Короткое замыкание.
3. На холостой ход и короткое замыкание.
4. Нагрузочный режим.
5. Продолжительный режим.

6. На какие режимы работы рассчитаны измерительные трансформаторы тока?

1. Холостой ход.
2. Короткое замыкание.
3. На холостой ход и короткое замыкание.
4. Нагрузочный режим.
5. Продолжительный режим.

7. В каком режиме работают измерительные трансформаторы тока (ТТ) и измерительные трансформаторы напряжения (ТН) ? Найти только одно верное утверждение.

1. ТТ в режиме максимального КПД.
2. ТН в режиме холостого хода.
3. ТТ в режиме холостого хода.
4. ТН в кратковременном режиме.
5. ТН в продолжительном режиме.

8. Какие существуют способы соединения обмоток трехфазных трансформаторов?

1. Звезда, треугольник, зигзаг.
2. Последовательный.
3. Параллельный.
4. Обмотки разных фаз между собой соединять нельзя.
5. Последовательно-параллельный.

9. Чем определяется группа соединений обмоток трансформатора?

1. Углом сдвига одноименных линейных напряжений первичной и вторичной обмоток.
2. Цифровым обозначением.
3. Углом сдвига напряжений двух любых фаз первичной обмотки.
4. Углом сдвига напряжений двух любых фаз вторичной обмотки.
5. Нет правильного ответа.

10. Что понимают под режимом холостого хода?

1. Режим, когда на первичную обмотку подано номинальное напряжение номинальной частоты и вторичный ток равен нулю.
2. Режим, когда на первичную обмотку подано номинальное напряжение номинальной частоты и вторичное напряжение равно нулю.
3. Режим, когда на первичную обмотку подано номинальное напряжение номинальной частоты и первичный ток равен нулю.
4. Указанный режим в трансформаторе неосуществим.
5. Режим, когда сопротивление нагрузки равно нулю.

11. Какие потери в трансформаторе называют постоянными?

1. Магнитные потери в трансформаторе, не зависящие от нагрузки.
2. Потери в первичной обмотке при неизменной нагрузке.
3. Потери во вторичной обмотке при неизменной нагрузке.
4. Добавочные потери от потоков рассеяния.
5. Нет правильного ответа.

12. Какой трансформатор называют трехобмоточным?

1. Трансформатор, имеющий одну первичную и две вторичных обмотки.
2. Трансформатор, имеющий трехфазную первичную обмотку.
3. Трансформатор, имеющий трехфазную вторичную обмотку.
4. Трансформатор, имеющий трехфазные первичную и вторичную обмотки.
5. Нет правильного ответа.

13. Какой трехфазный трансформатор называется групповым?
1. Трехфазный трансформатор, состоящий из трех однофазных с магнитно несвязанной магнитной системой.
 2. Трансформатор, работающий в группе из не менее, чем двух трансформаторов.
 3. Трансформатор на параллельной работе с включенными параллельно первичными обмотками других трансформаторов.
 4. Трансформатор на параллельной работе с включенными параллельно вторичными обмотками других трансформаторов.
 5. Нет правильного ответа.
14. При каком соединении первичной и вторичной обмоток трансформатор имеет нечетную группу соединений?
1. Звезда/треугольник.
 2. Треугольник/треугольник.
 3. Звезда/звезда.
 4. Зигзаг/зигзаг.
 5. Нет правильного ответа.
15. Что понимают под напряжением короткого замыкания?
1. Напряжение на клеммах первичной обмотки, когда токи в обеих обмотках номинальные при коротком замыкании на клеммах вторичной обмотки.
 2. Напряжение на клеммах вторичной обмотки, когда токи в обеих обмотках номинальные при коротком замыкании на клеммах вторичной обмотки.
 3. Напряжение на клеммах первичной обмотки, когда токи в обеих обмотках номинальные при коротком замыкании на клеммах первичной обмотки.
 4. При коротком замыкании напряжение равно нулю.
 5. Нет правильного ответа.
16. При каком соединении первичной и вторичной обмоток трансформатор имеет четную группу соединений?
1. Звезда/треугольник.
 2. Треугольник/звезда.
 3. Звезда/звезда.
 4. Зигзаг/треугольник.
 5. Нет правильного ответа.
17. За счет чего осуществляют регулирование вторичного напряжения трансформатора?
1. Изменением числа витков обмотки высшего напряжения при помощи специального переключателя.
 2. Изменением числа витков вторичной обмотки при помощи специального переключателя.
 3. Изменением числа фаз обмотки высшего напряжения при помощи специального переключателя.
 4. Изменением чередования фаз обмотки высшего напряжения при помощи специального переключателя.
 5. Нет правильного ответа.

18. При какой нагрузке трансформатора возникают токи напряжений обратной и нулевой последовательностей?
1. При несимметричной нагрузке трансформатора.
 2. При нагрузке больше номинальной.
 3. При нагрузке меньше номинальной.
 4. При отсутствии нагрузки.
 5. При коротком замыкании.
19. Какой трансформатор называют приведенным?
1. Трансформатор, у которого число витков первичной и вторичной обмоток равны.
 2. Трансформатор с concentрическими обмотками.
 3. Трансформатор с регулированием напряжения без возбуждения.
 4. Трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой.
 5. Трансформатор в режиме короткого замыкания.
20. Какие параметры схемы замещения получают из опыта холостого хода?
1. Параметры цепи намагничивания схемы замещения Z_m, X_m, R_m .
 2. Активные сопротивления R_1, R_2 .
 3. Индуктивные сопротивления X_1, X_2 .
 4. Параметры цепи первичной обмотки схемы замещения Z_1, X_1, R_1 .
 5. Параметры цепи первичной и вторичной обмоток схемы замещения $Z_1, X_1, R_1, Z_2, X_2, R_2$.
21. При каких условиях наблюдается максимальное значение КПД трансформатора?
1. При равенстве постоянных и переменных потерь.
 2. При равенстве электрических потерь в первичной и вторичной обмотках трансформатора.
 3. При номинальном напряжении на обмотках в режиме холостого хода.
 4. При номинальных токах в обмотках в режиме короткого замыкания.
 5. Нет правильного ответа.
22. Что понимают под коэффициентом трансформации трансформатора?
1. Отношение ЭДС (чисел витков) обмоток высшего и низшего напряжения.
 2. Отношение входной мощности к выходной.
 3. Отношение токов первичной обмотки к токам вторичной обмотки в режиме холостого хода.
 4. Отношение токов первичной обмотки к токам вторичной обмотки в режиме короткого замыкания.
 5. Отношение напряжений первичной обмотки к напряжениям вторичной обмотки в номинальном режиме.
23. Какие параметры схемы замещения получают из опыта короткого замыкания?
1. Параметры цепи намагничивания схемы замещения Z_m, X_m, R_m .
 2. Активные сопротивления R_1, R_2 .
 3. Индуктивные сопротивления X_1, X_2 .
 4. Параметры цепи первичной обмотки схемы замещения Z_1, X_1, R_1 .
 5. Параметры цепи первичной и приведенной вторичной обмоток схемы замещения $Z_1, X_1, R_1, Z_2, X_2, R_2$.
24. Какую роль в трансформаторе играет трансформаторное масло?

1. Трансформаторное масло в мощных силовых трансформаторах играет роль изоляции и охлаждающей среды.
 2. Трансформаторное масло в мощных силовых трансформаторах играет роль герметика от окружающей среды.
 3. Трансформаторное масло в мощных силовых трансформаторах играет роль антикоррозийной среды.
 4. Трансформаторное масло в мощных силовых трансформаторах играет роль герметика тепловых потоков от обмоток.
 5. Все ответы правильные.
25. Почему коэффициент мощности трансформатора в режиме КЗ остается неизменным при изменении подводимого напряжения?
1. Так как магнитная цепь трансформатора в опыте короткого замыкания является ненасыщенной.
 2. Так как магнитная цепь трансформатора в опыте короткого замыкания является насыщенной.
 3. Так как полезная мощность в опыте короткого замыкания равна нулю.
 4. Так как КПД в опыте короткого замыкания равен нулю.
 5. Нет правильного ответа.
26. Перечислите условия включения однофазных трансформаторов на параллельную работу.
1. При включении на параллельную работу трансформаторов необходимо выполнить 3 условия: а) $K_1=K_2$ б) $U_{K1}=U_{K2}$ в) должны принадлежать к одной группе соединений обмоток.
 2. При включении на параллельную работу трансформаторов необходимо выполнить 3 условия: а) $K_1=K_2$ б) $U_{K1}=U_{K2}$ в) группы соединений обмоток должны быть нечетными.
 3. При включении на параллельную работу трансформаторов необходимо выполнить 3 условия: а) $K_1 > K_2$ б) $U_{K1} > U_{K2}$ в) должны принадлежать к одной группе соединений обмоток.
 4. При включении на параллельную работу трансформаторов необходимо выполнить 3 условия: а) $K_1 < K_2$ б) $U_{K1} > U_{K2}$ в) должны принадлежать к одной группе соединений обмоток.
 5. При включении на параллельную работу трансформаторов необходимо выполнить 3 условия: а) $K_1 < K_2$ б) $U_{K1} > U_{K2}$.
27. В чем состоит отличие автотрансформатора от трансформатора?
1. Автотрансформатор в отличие от трансформатора имеет электрическую и магнитную связь между обмотками.
 2. Автотрансформатор в отличие от трансформатора применяется только на автотранспорте и называется катушкой зажигания.
 3. В автотрансформаторе коэффициент трансформации всегда равен 1.
 4. В автотрансформаторе регулирование напряжения невозможно.
 5. В автотрансформаторе только три обмотки.
28. Чему равен коэффициент мощности трансформатора?
1. Отношению активной мощности к полной.
 2. Отношению реактивной мощности к полной.

3. Отношению активной мощности к реактивной.
 4. Отношению полной мощности к активной.
 5. Нет правильного ответа.
29. Укажите преимущества автотрансформатора перед трансформатором
1. Меньший расход активных материалов, более высокий КПД, меньшие размеры и стоимость.
 2. Более высокий КПД.
 3. Более высокий коэффициент трансформации.
 4. Отсутствие тока холостого хода и возможность работы в режиме короткого замыкания.
 5. Более высокий коэффициент мощности.
30. Укажите недостатки автотрансформатора по сравнению с трансформатором
1. Большие токи короткого замыкания, наличие электрической связи между обмотками, повышенные требования по технике безопасности.
 2. Меньший КПД.
 3. Невозможность регулирования вторичного напряжения.
 4. Невозможность включения на параллельную работу.
 5. Меньший коэффициент мощности.
31. Каковы способы регулирования напряжения в силовых трехфазных трансформаторах?
1. Регулирование «переключением без возбуждения» - ПБВ, или «регулированием под нагрузкой» - РПН.
 2. Переключением первичной обмотки с соединения фаз «звезда» на соединение «треугольник».
 3. Изменением группы соединения обмоток.
 4. Переключением первичной обмотки с соединения фаз «треугольник» на соединение «звезда».
 5. Все ответы правильные.
32. Чему равен КПД трансформатора?
1. Отношению активной мощности вторичной обмотки к активной мощности первичной обмотки.
 2. Отношению активной мощности вторичной обмотки к полной мощности вторичной обмотки.
 3. Отношению активной мощности первичной обмотки к активной мощности вторичной обмотки.
 4. Отношению активной мощности первичной обмотки к полной мощности первичной обмотки.
 5. Нет правильного ответа.
33. Перечислить потери мощности в трансформаторе. Указать один самый точный ответ.
1. Потери электрические в первичной и вторичной обмотках и потери магнитные.
 2. Потери активные, потери реактивные.
 3. Потери электрические, потери механические.
 4. Потери холостого хода, потери нагрузочные, потери короткого замыкания.
 5. Потери постоянные и реактивные.

34. Каким образом магнитные потери от гистерезиса зависят от частоты перемагничивания?

1. Прямо пропорционально.
2. Квадратично.
3. Не зависят от частоты перемагничивания.
4. В степени $1/3$.
5. Обратно пропорционально.

35. Каким образом магнитные потери от вихревых токов зависят от частоты перемагничивания?

1. Квадратично.
2. Не зависят от частоты перемагничивания.
3. Прямо пропорционально.
4. В степени $1/3$.
5. Обратно пропорционально.

36. Каким образом магнитные потери от гистерезиса и вихревых токов зависят от величины магнитной индукции в магнитопроводе трансформатора?

1. Квадратично.
2. Не зависят от магнитной индукции.
3. Прямо пропорционально.
4. Обратно пропорционально.
5. В степени $1/3$.

37. Изменится ли магнитный поток трансформатора, если при неизменном напряжении на первичной обмотке частота напряжения увеличится вдвое?

1. Уменьшится в 2 раза.
2. Увеличится в 2 раза.
3. Не изменится.
4. Уменьшится в 4 раза.
5. Увеличится в 4 раза.

38. Изменяются ли магнитные потери трансформатора, если при неизменном напряжении на первичной обмотке нагрузка трансформатора увеличится вдвое?

1. Не изменяются.
2. Увеличатся в 2 раза.
3. Уменьшатся в 2 раза.
4. Увеличатся в 4 раза.
5. Уменьшатся в 4 раза.

39. Почему трансформаторы не работают от сети постоянного тока?

1. Не выполняется закон электромагнитной индукции.
2. Отсутствуют сети постоянного тока.
3. Из-за отсутствия индуктивного сопротивления отсутствует магнитный поток.
4. Нет правильного ответа.
5. Не выполняется закон Джоуля-Ленца.

40. Почему сердечник трансформатора выполняется из ферромагнитного материала?

1. Для уменьшения магнитных потерь.

2. Для улучшения технологии изготовления магнитопровода.
 3. Для снижения стоимости трансформатора.
 4. Потому, что ферромагнитный материал хороший изолятор.
 5. Потому, что ферромагнитный материал хороший охладитель.
41. Если W_1 – число витков первичной обмотки, а W_2 – число витков вторичной обмотки, то трансформатор является понижающим, когда:
1. $W_1 > W_2$.
 2. $W_1 < W_2$.
 3. $W_1 + W_2 = 0$.
 4. $W_1 = W_2$.
 5. Нет правильного ответа.
42. Если W_1 – число витков первичной обмотки, а W_2 – число витков вторичной обмотки, то трансформатор является повышающим, когда:
1. $W_1 > W_2$.
 2. $W_1 < W_2$.
 3. $W_1 + W_2 = 0$.
 4. $W_1 = W_2$.
 5. Нет правильного ответа.
43. На каком законе основан принцип действия трансформатора:
1. Закон Ома.
 2. Закон Джоуля-Ленца.
 3. Закон электромагнитной индукции.
 4. Закон Кулона.
 5. Закон Архимеда.
44. Магнитопровод трансформатора изготавливается из:
1. Алюминия.
 2. Электротехнической стали.
 3. Меди.
 4. Чугуна.
 5. Графита.
45. Какие потери мощности в силовом трансформаторе зависят от его нагрузки:
1. Потери с сердечнике.
 2. Потери в обмотках.
 3. Потери на гистерезис.
 4. Потери на вихревые токи.
 5. Потери в стали.
46. Какие потери мощности в силовом трансформаторе не зависят от его нагрузки:
1. Потери с сердечнике.
 2. Потери в обмотках.
 3. Потери короткого замыкания.
 4. Потери во вторичной обмотке трансформатора.
 5. Потери в первичной обмотке трансформатора.

47. Единицей измерения магнитного потока в сердечнике трансформатора является:
1. Ампер.
 2. Вебер.
 3. Ампер/метр.
 4. Тесла.
 5. Вольт.
48. Единицей измерения намагничивающей силы обмоток трансформатора является:
1. Ампер.
 2. Вебер.
 3. Ампер/метр.
 4. Тесла.
 5. Вольт.
49. В паспортных данных трансформатора указана одиннадцатая группа соединения обмоток трансформатора, это соответствует что угол сдвига фаз между векторами ЭДС первичной и вторичной обмотками составляем
- 1 330 эл. гр
 - 2 30 эл. гр
 - 3 0 эл. гр
 - 4 180 эл. гр
 - 5 60 эл. гр
50. Какие условия необходимо соблюдать при включении трансформаторов на параллельную работу?
1. Равенство коэффициентов трансформации, напряжений короткого замыкания, одинаковые группы соединений обмоток.
 2. Равенство коэффициентов трансформации, напряжений короткого замыкания, одинаковые схемы соединений обмоток.
 3. Равенство коэффициентов трансформации, напряжений вторичных обмоток, одинаковые группы соединений обмоток.
 4. Равенство коэффициентов трансформации, напряжений вторичных обмоток, одинаковые схемы соединений обмоток.
 5. Нет правильного ответа.
51. Может ли напряжение на зажимах вторичной обмотки трансформатора превышать ее ЭДС ?
1. Не может.
 2. Может при чисто активной нагрузке.
 3. Может при активно-емкостной нагрузке.
 4. Может при активно-индуктивной нагрузке.
 5. Может при чисто индуктивной нагрузке.
52. По какой величине определяется группа соединения трансформатора?
1. величина E_1 .
 2. не меняется.
 3. величина E_2 .
 4. зависит от ЭДС.

5. по углу между соответствующими линейными ЭДС первичной и вторичной обмоток.
53. Какое из требований, предъявляемых при включении трансформаторов на параллельную работу, должно выполняться точно, без всяких отклонений?
1. Равенство коэффициентов трансформации.
 2. Принадлежность к одной группе соединения.
 3. Равенство напряжений короткого замыкания.
 4. Определённое соотношение мощностей.
 5. Равенство номинальных мощностей.
54. Назовите неправильный ответ в вопросе: «По каким признакам можно отличить обмотку высшего напряжения от обмотки низшего напряжения в трансформаторе?»
1. По сечению обмоточного провода.
 2. По материалу обмоточного провода (медь, алюминий).
 3. По сопротивлению обмоток постоянному току.
 4. По числу витков обмоток.
 5. Все ответы правильные.
55. Для чего листы сердечника трансформатора изолируются друг от друга?
1. Для уменьшения потерь в обмотках.
 2. Для увеличения напряжения короткого замыкания.
 3. Для уменьшения напряжения короткого замыкания.
 4. Для уменьшения потерь на гистерезис.
 5. Для уменьшения потерь на вихревые токи.
56. Как изменится отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора, если его обмотки переключить со схемы Y/Y с nN на Y/ Δ ?
1. Уменьшится в $\sqrt{3}$ раз.
 2. Не изменится.
 3. Увеличится в $\sqrt{3}$ раз.
 4. Увеличится в 3 раза.
 5. Уменьшится в 3 раза.
57. Почему трансформаторы не работают от сети постоянного тока ?
1. Трансформатор может работать от сети постоянного тока, но будет очень маленький КПД.
 2. Постоянный ток не создает в магнитопроводе магнитный поток.
 3. Магнитный поток в магнитопроводе трансформатора будет постоянным как по величине, так и по направлению, поэтому в обмотках трансформатора не будет наводиться ЭДС.
 4. Потому что магнитопровод трансформатора набран из листов электротехнической стали.
 5. Трансформатор может работать от сети постоянного тока, но будет очень маленький коэффициент мощности.
58. Как называется трехфазный трансформатор, составленный из трех однофазных?
1. Стержневой.

2. Однофазный.
3. Групповой.
4. Многофазный.
5. Броневой.

59. Для какой цели не служат измерительные трансформаторы?

1. Повышения точности измерительных приборов.
2. Расширение пределов измерения приборов и обеспечение безопасности измерений в высоковольтных сетях.
3. Расширение пределов измерения приборов в сетях 110 кВ.
4. Нет правильного ответа.
5. Повышение точности измерений

60. С увеличением тока нагрузки I_2 магнитный поток в сердечнике.

1. Возрастает пропорционально току.
2. Уменьшается.
3. Практически не изменяется.
4. Возрастает только когда магнитная система трансформатора не насыщена.
5. Нет правильного ответа.

АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

1. Какова скорость вращения в оборотах в минуту магнитного поля статора асинхронного двигателя, имеющего четыре полюса, при частоте сети 50 Гц ?
 1. 3000.
 2. 1500.
 3. 1000.
 4. 750.
 5. Другой ответ.

2. Какое из утверждений не соответствует режиму идеального холостого хода асинхронного двигателя?
 1. Отсутствует вращающий момент, развиваемый ротором.
 2. Отсутствует ток в обмотке ротора.
 3. Отсутствует ток в обмотке статора.
 4. Угловая скорость магнитного поля статора равна угловой скорости ротора.
 5. Другой ответ.

3. Какое из утверждений не соответствует моменту пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
 1. Скорость вращения ротора равна нулю.
 2. Скорость вращения магнитного поля статора не равна нулю.
 3. Скольжение не равно единице.
 4. Вращающий момент пропорционален квадрату напряжения статора.
 5. Другой ответ.

4. Какое из утверждений не соответствует критическому режиму асинхронного двигателя?
 1. Ротор развивает максимальный вращающий момент;
 2. Значение критического момента не зависит от сопротивления реостата, включенного в цепь фазного ротора
 3. Значение критического момента зависит от сопротивления реостата, включенного в цепь фазного ротора
 4. Значение критического скольжения соответствует критическому скольжению
 5. Другой ответ

5. Какой из участков механической характеристики асинхронного двигателя является не устойчивым?
 1. $0 < S < S_{кр}$.
 2. $S_{кр} < S < 1$.
 3. $S_{кр} < S < 0$.
 4. $0 < S < 1$.
 5. Другой ответ.

6. По данным холостого хода асинхронного двигателя можно определить следующие параметры.
 1. R_1, X_1 .
 2. R_2, X_2 .
 3. R_0, X_0 .
 4. R_2, X_2 .

5. Другой ответ.
7. Какие из указанных параметров нельзя определить по данным опыта короткого замыкания асинхронного двигателя?
1. R_K, X_K .
 2. R_1, X_1 .
 3. R_2, X_2 .
 4. R_0, X_{0M} .
 5. Другой ответ.
8. Какой из способов пуска асинхронного двигателя не приводит к уменьшению пускового тока?
1. Пуск через автотрансформатор.
 2. Прямой пуск.
 3. Включение реактивных катушек последовательно со статором.
 4. Переключение на время пуска обмоток статора с треугольника на звезду.
 5. Другой ответ.
9. С какой целью в цепь фазного ротора асинхронного двигателя подключают трехфазный реостат? Какой из приведенных ответов неверный?
1. Для увеличения пускового момента.
 2. Для уменьшения пускового тока.
 3. Для увеличения максимального момента.
 4. Для регулирования скорости вращения ротора.
 5. Другой ответ.
10. Каким способом можно уменьшить пусковой ток и повысить пусковой момент асинхронного двигателя? Какой из приведенных ответов неверный?
1. Применением асинхронного двигателя, имеющего ротор с двойной беличьей клеткой.
 2. Применением асинхронного двигателя, имеющего ротор с глубокими пазами.
 3. Подключением в цепь фазного ротора трехфазного реостата.
 4. Снижением напряжения подводимого к статору.
 5. Другой ответ.
11. Как изменится электромагнитный момент асинхронного двигателя при изменении напряжения питания?
1. Не изменится.
 2. Пропорционально напряжению.
 3. Обрато пропорционально напряжению.
 4. Пропорционально квадрату напряжения.
 5. Нет правильного ответа.
12. Как изменится ток ротора и скорость вращения ротора при уменьшении напряжения на обмотке статора при постоянном значении тормозного момента приложенного к валу ротора?
1. Ток не изменится.
 2. Ток увеличится.
 3. Скорость не изменится.
 4. Скорость увеличится.

5. Нет правильного ответа.
13. Если поменять местами два из трех подключенных к обмотке статора проводов питающей сети, то:
1. Скорость вращения ротора увеличится.
 2. Скорость вращения ротора уменьшится.
 3. Ничего не изменится.
 4. Изменится направление вращения ротора.
 5. Другой ответ.
14. Почему намагничивающий ток статора асинхронного двигателя гораздо больше по величине, чем у такого же по мощности трехфазного трансформатора?
1. Из-за того, что обмотки статора распределены по пазам каждая фазная обмотка занимает одну треть окружности статора.
 2. Из-за наличия в магнитной системе асинхронного двигателя воздушного зазора.
 3. Из-за преобразования электрической энергии в механическую.
 4. Из-за наличия в роторе механических потерь на трение.
 5. Нет правильного ответа.
15. Может ли ротор АД вращаться синхронно с вращающимся магнитным полем статора?
1. Да.
 2. Нет.
 3. Может только в режиме холостого хода.
 4. Может только в режиме короткого замыкания
 5. Может только в номинальном режиме
16. Частота вращения ротора в об/мин шестиполюсного асинхронного двигателя при примерно равна.
1. 1430.
 2. 960.
 3. 735.
 4. 2850.
 5. 150.
17. Как изменится ток холостого хода двигателя, если увеличить воздушный зазор между ротором и статором?
1. Возрастет.
 2. Уменьшится.
 3. Не изменится.
 4. Зависит от приложенного к статору напряжения.
 5. Зависит от частоты сети
18. Как изменится номинальный коэффициент мощности двигателя, если увеличить воздушный зазор между ротором и статором?
1. Возрастет.
 2. Уменьшится.
 3. Не изменится.
 4. Зависит от приложенного к статору напряжения.
 5. Нет правильного ответа.

19. Асинхронный двигатель с фазной обмоткой ротора снабжают контактными кольцами и щетками:

1. Для подключения ротора к сети.
2. Соединения ротора с пусковым реостатом.
3. Подключения двигателя к сети.
4. Включение статора в сеть.
5. Для ответа недостаточно данных.

20. Скорость пересечения силовыми линиями магнитного поля стержней обмотки неподвижного ротора:

1. Равна нулю.
2. Минимальна.
3. Максимальна.
4. Больше нуля.
5. Для ответа недостаточно данных.

21. Скорость пересечения силовыми линиями магнитного поля стержней обмотки ротора в режиме холостого хода:

1. Минимальна.
2. Максимальна.
3. Равна нулю.
4. Меньше нуля.
5. Для ответа недостаточно данных.

22. Ток в обмотке ротора при увеличении механической нагрузки на валу двигателя;

1. Будет равен нулю.
2. Увеличится.
3. Не изменится.
4. Уменьшится.
5. Для ответа недостаточно данных.

23. Если ротор вращается со скоростью вращения магнитного поля, то ток в обмотке ротора:

1. Больше нуля.
2. Минимальный.
3. Максимальный.
4. Равен нулю.
5. Меньше нуля.

24. Если $n_1 = 3000$ об/мин; $n_2 = 2940$ об/мин, то скольжение S составляет:

1. 20 %.
2. 4 %.
3. 2 %.
4. 10 %.
5. Для решения недостаточно данных.

25. Дано: $S = 0,05$; $f = 50$ Гц. Поле статора шестиполусное. Скорость вращения ротора n_2 равна:

1. 3 000 об/мин.

2. 1 425 об/мин.
 3. 1 500 об/мин.
 4. 1 000 об/мин.
 5. 950 об/мин.
26. Дано: $S = 0,05$; $p = 1$; $f = 50$ Гц. Скорость вращения ротора n_2 равна:
1. 2 850 об/мин.
 2. 1 425 об/мин.
 3. 3 000 об/мин.
 4. 950 об/мин.
 5. 1 500 об/мин.
27. Если увеличить момент нагрузки на валу двигателя, то скольжение S :
1. Будет равна нулю
 2. Не изменится
 3. Увеличится
 4. Уменьшится
 5. Для ответа недостаточно данных
28. Дано: $f = 50$ Гц; $S = 2$ %. Частота в обмотке ротора равна:
1. 50 Гц.
 2. 1 Гц.
 3. 2 Гц.
 4. 100 Гц.
 5. Для ответа недостаточно данных.
29. При увеличении S от 0 до 1 вращающий момент асинхронного двигателя
1. Уменьшается.
 2. Сначала увеличивается, затем уменьшается.
 3. Увеличивается.
 4. Сначала уменьшается, затем увеличивается.
 5. Для ответа недостаточно данных.
30. Если тормозной момент на валу асинхронного двигателя превысит максимальный вращающий момент:
1. Скольжение будет изменяться от 0 до 1.
 2. Скольжение уменьшится до 0.
 3. Скольжение будет изменяться от 1 до 0.
 4. Скольжение увеличится до 1.
 5. Скольжение будет равно оптимальному значению.
31. Вращающий момент асинхронного двигателя при а) $S = 0$; б) $S = 1$ составляет:
1. а) 0; б) $M_{\text{пуск}}$.
 2. а) 0; б) 0.
 3. а) $M_{\text{пуск}}$; б) 0.
 4. а) $M_{\text{тах}}$; б) $M_{\text{тах}}$.
 5. Для ответа недостаточно данных.

32. Какой из способов регулирования оборотов у трехфазных асинхронных двигателей наиболее экономичен?

1. За счет изменения частоты сети f_1 .
2. За счет изменения числа пар полюсов p .
3. Реостатный способ – у двигателей с фазным ротором.
4. За счет изменения $U_{1\phi}$.
5. За счет изменения частоты f_2 ротора.

33. Какие конструктивные элементы асинхронной машины непосредственно участвуют в процессах преобразования и передачи энергии? Выбрать наиболее точный ответ.

1. Сердечник статора, сердечник ротора, обмотка ротора, обмотка статора, вал.
2. Вал, станина, корпус, обмотка ротора.
3. Обмотка ротора, обмотка статора, вал.
4. Обмотка ротора, обмотка статора, вал, станина, вентиляторы.
5. Сердечник статора, сердечник ротора, станина, кольца.

34. Обмотка фазного ротора асинхронной машины. Выбрать неверный ответ

1. Идентична обмотке статора.
2. Имеет связи с внешними электрическими цепями.
3. Имеет пазы.
4. Имеет возможность подключения дополнительного сопротивления.
5. Изготавливается методом заливки пазов ротора медью.

35. Как определить синхронную частоту вращения магнитного потока в рабочем зазоре асинхронной машины?

1. $n_1 = 60 f_1 / p$.
2. $n_1 = 60 f_2 / p$.
3. $n_1 = 60 f_2 / p^2$.
4. $n_1 = 60 f_2 / p$.
5. $n_1 = 60 p / f_1$.

36. Что означает термин «асинхронная» в названии асинхронной машины?

1. Ротор и рабочее магнитное поле, создаваемое в рабочем зазоре АМ, вращаются с разными скоростями.
2. Ротор и рабочее магнитное поле, создаваемое в рабочем зазоре АМ, вращаются с одинаковыми скоростями.
3. Ротор всегда вращается быстрее чем рабочее магнитное поле, создаваемое в рабочем зазоре АМ.
4. Ротор всегда вращается медленнее чем рабочее магнитное поле, создаваемое в рабочем зазоре АМ.
5. Рабочее магнитное поле не может вращаться, так как возникает оно в статоре.

37. Как определяется скольжение асинхронной машины?

1. $s = (n_1 - n_2) / n_1$.
2. $s = (n_2 - n_1) / n_1$.
3. $s = (n_1 - n_2) / n_2$.
4. $s = (n_2 - n_1) / n_2$.
5. $s = (n_1 + n_2) / n_2$.

38. Как можно практически получить режим идеального холостого хода асинхронной машины

1. Невозможно.
2. «Подкрутить» ротор с помощью стороннего источника механической энергии в сторону вращения магнитного поля до синхронной скорости.
3. Снизить постоянные потери в асинхронной машине до нуля.
4. Установить подшипники, в которых отсутствует трение.
5. Увеличить величину активного сопротивления обмотки статора.

39. Назовите ориентировочно относительные значения тока холостого хода асинхронных двигателей общепромышленного исполнения?

1. В пределах от 2% до 5 % номинального тока обмотки статора.
2. В пределах от 25% до 50 % номинального тока обмотки статора.
3. В пределах от 50% до 70 % номинального тока обмотки статора.
4. В пределах от 0,1% до 0,5 % номинального тока обмотки статора.
5. В пределах от 80% до 95 % номинального тока обмотки статора.

40. Как экспериментально получить генераторный режим асинхронной машины, параллельный с сетью (режим рекуперативного торможения)?

1. Нужно разогнать ротор асинхронной машины в сторону вращения магнитного поля до частоты вращения, соответствующей критической ($n_2 = n_{кр}$).
2. Нужно разогнать ротор асинхронной машины в сторону вращения магнитного поля до частот вращения, превышающих синхронную ($n_2 > n_1$).
3. Нужно разогнать ротор асинхронной машины в сторону вращения магнитного поля до частоты вращения поля ($n_2 = n_1$).
4. Нет правильного ответа.
5. Режим рекуперативного торможения невозможен для асинхронной машины.

41. Что называется энергетической диаграммой асинхронной машины?

1. Диаграмма, показывающая все составляющие потока энергии при его движении от нагрузки к электрической сети постоянного тока.
2. Диаграмма, показывающая все составляющие потока энергии при его движении от источника постоянного тока к нагрузке.
3. Диаграмма, показывающая все составляющие потока энергии при его движении от источника к потребителю.
4. Диаграмма, показывающая зависимость электромагнитной мощности асинхронной машины от времени.
5. Нет правильного ответа.

42. Какова связь КПД асинхронной машины со скольжением?

1. С увеличением скольжения КПД асинхронной машины уменьшается, так как увеличивается скорость магнитного поля статора.
2. С увеличением скольжения КПД асинхронной машины увеличивается, так как уменьшается скорость магнитного поля статора.
3. С увеличением скольжения КПД асинхронной машины увеличивается, так как уменьшается скорость вращения ротора.
4. С увеличением скольжения КПД асинхронной машины уменьшается, так как увеличивается скорость вращения ротора.

5. С увеличением скольжения КПД асинхронной машины уменьшается, так как увеличиваются потери в цепи ротора.
43. Какая зависимость называется электромеханической характеристикой асинхронной машины?
1. $I_2 = f(s)$.
 2. $M_{эм} = f(s)$.
 3. $n_2 = f(s)$.
 4. $s = f(n_2)$.
 5. $s = f(n_1)$.
44. Какая зависимость называется механической характеристикой асинхронной машины?
1. $I_2 = f(s)$.
 2. $M_{эм} = f(s)$.
 3. $n_2 = f(M_{эм})$.
 4. $s = f(n_2)$.
 5. $s = f(n_1)$.
45. В каком режиме, критический момент асинхронной машине выше?
1. Генераторном.
 2. Двигательном.
 3. В режиме холостого хода.
 4. В режиме короткого замыкания.
 5. В кратковременном режиме.
46. На какие две принципиально отличающиеся друг от друга группы можно разделить все возможные способы регулирования выходной скорости асинхронного двигателя? Выбрать самое точное определение
1. Способы регулирования, основанные на изменении угловой скорости магнитного поля статора; и способы регулирования, основанные на изменении скольжения.
 2. Способы регулирования, основанные на изменении угловой скорости магнитного поля ротора; и способы регулирования, основанные на изменении скольжения
 3. Нет верного ответа.
 4. Способы регулирования, основанные на изменении угловой скорости статора; и способы регулирования, основанные на изменении скорости ротора.
 5. Способы регулирования, основанные на изменении угловой скорости ротора; и способы регулирования, основанные на изменении магнитного поля ротора.
47. Каким способом можно изменить величину скольжения АД при неизменном моменте сопротивления на валу?
1. Изменением величины питающего напряжения.
 2. Изменением частоты питающего напряжения.
 3. Изменением числа пар полюсов обмотки фазного ротора.
 4. Изменением числа пар полюсов обмотки короткозамкнутого ротора.
 5. Изменением числа пар полюсов обмотки статора.
48. Каким способом можно изменить величину скольжения АД при неизменном моменте сопротивления на валу?

1. Изменением характера питающего напряжения (постоянное, переменное, импульсное).
 2. Изменением сопротивлений фазного ротора.
 3. Изменением числа пар полюсов обмотки фазного ротора.
 4. Изменением сопротивлений короткозамкнутого ротора.
 5. Изменением числа пар полюсов обмотки статора.
49. Каким способом можно изменить величину скольжения АД при неизменном моменте сопротивления на валу?
1. Изменением характера питающего напряжения (постоянное, переменное, импульсное).
 2. Изменением сопротивлений статора.
 3. Изменением числа пар полюсов обмотки фазного ротора.
 4. Изменением числа пар полюсов обмотки короткозамкнутого ротора.
 5. Изменением числа пар полюсов обмотки статора.
50. Какая величина называется мощностью скольжения асинхронной машины?
1. Мощность, которая выделяется в виде тепла в обмотке статора асинхронной машины.
 2. Мощность, которая выделяется в виде тепла в нагрузке асинхронной машины.
 3. Нет правильного ответа.
 4. Мощность, которая выделяется в виде тепла в обмотке ротора асинхронной машины.
 5. Мощность, которая выделяется в виде тепла в пусковых реакторах асинхронной машины.
51. Достоинством регулирования скорости асинхронного двигателя изменением величины активного сопротивления цепи обмотки ротора является.
1. Высокий диапазон регулирования скорости.
 2. Высокая начальная стоимость регулировочных устройств.
 3. Возможность применения для короткозамкнутых асинхронных двигателей.
 4. Улучшение пусковых свойств асинхронного двигателя.
 5. Высокая энергетическая экономичность.
52. Недостатком регулирования скорости асинхронного двигателя изменением величины активного сопротивления цепи обмотки ротора является
1. Сложность реализации.
 2. Высокая начальная стоимость регулировочных устройств.
 3. Невозможность применения для короткозамкнутых асинхронных двигателей.
 4. Ухудшение пусковых свойств асинхронного двигателя.
 5. Другой ответ.
53. Достоинством регулирования скорости асинхронного двигателя переключением числа пар полюсов является?
1. Высокая энергетическая экономичность.
 2. Другой ответ.
 3. Улучшение пусковых свойств асинхронного двигателя.
 4. Высокий диапазон регулирования скорости.
 5. Высокая плавность регулирования скорости.

54. Недостатком регулирования скорости асинхронного двигателя переключением числа пар полюсов является?
1. Повышенные габариты, масса и стоимость
 2. Высокая начальная стоимость регулировочных устройств
 3. Невозможность применения для короткозамкнутых асинхронных двигателей
 4. Ухудшение пусковых свойств асинхронного двигателя
 5. Другой ответ
55. Каким показателем характеризуется пуск асинхронных двигателей?
1. Кратность $k_{\pi} = M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$.
 2. Кратность $k_{\pi} = U_{\text{кз}}/U_{\text{ном}}$.
 3. Кратность $k_{\pi} = U_{\text{хх}}/U_{\text{ном}}$.
 4. Кратность $k_{\pi} = M_{\text{хх}}/M_{\text{ном}}$.
 5. Нет правильного ответа.
56. Каким основным общим недостатком с точки зрения пусковых свойств обладают асинхронные двигатели?
1. Низкий критический момент.
 2. Огромные потери энергии при пуске.
 3. Большой пусковой ток при незначительном пусковом моменте на валу.
 4. Пусковой момент превышает номинальный момент.
 5. Нет правильного ответа.
57. По каким причинам прямой пуск АД не всегда приемлем?
1. Прямой пуск недопустим, если асинхронный двигатель эксплуатируется в холодных помещениях.
 2. Прямой пуск недопустим, если мощность асинхронного двигателя менее 1 кВт.
 3. Прямой пуск недопустим, если мощность асинхронного двигателя составляет более 20% от мощности сети.
 4. Прямой пуск недопустим, если мощность асинхронного двигателя составляет более 1% от мощности сети.
 5. Нет правильного ответа.
58. Какое физическое явление используется в асинхронных двигателях с улучшенными пусковыми свойствами
1. Эффект вытеснения тока ротора.
 2. Эффект вытеснения тока статора.
 3. Применение статорной обмотки с большим индуктивным сопротивлением.
 4. Применение роторной обмотки с маленьким индуктивным сопротивлением.
 5. Нет правильного ответа.
59. Какое физическое явление используется в асинхронных двигателях с улучшенными пусковыми свойствами.
1. Эффект вытеснения магнитного потока статора.
 2. Эффект вытеснения тока статора.
 3. Применение роторной обмотки с большим активным сопротивлением.
 4. Применение роторной обмотки с маленьким индуктивным сопротивлением.
 5. Нет правильного ответа.

60. Как экспериментально получить режим противовключения?

1. Нужно приложить к валу асинхронной машины активный механический момент, величина которого превышает пусковой момент асинхронного двигателя и который направлен в сторону, противоположную вращению магнитного поля.
2. Нужно приложить к валу асинхронной машины реактивный механический момент, величина которого меньше номинального момента асинхронного двигателя и который направлен в сторону, противоположную вращению магнитного поля.
3. Раскрутить ротор выше скорости холостого хода.
4. Подключить обмотки статора к источнику постоянного тока.
5. Нет правильного ответа.

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

1. К постоянным потерям синхронной машины относят
 1. Потери от вихревых токов.
 2. Электрические потери в обмотке возбуждения.
 3. Магнитные потери в обмотке якоря.
 4. Потери в режиме торможения синхронной машины.
 5. Нет правильного ответа.
2. Статор синхронной машины выполнен.
 1. Аналогично индуктору машины постоянного тока.
 2. Аналогично статору асинхронной машины.
 3. Аналогично якорю машины постоянного тока.
 4. Аналогично ротору асинхронной машины.
 5. Нет правильного ответа.
3. Изменяя ток возбуждения.
 1. Можно менять лишь величину реактивной мощности синхронного генератора.
 2. Можно менять лишь частоту вращения ротора синхронного генератора.
 3. Можно менять лишь напряжение синхронного генератора.
 4. Нет правильного ответа.
 5. Можно менять лишь величину активной мощности синхронного генератора.
4. Основное магнитное поле в рабочем зазоре синхронной машины.
 1. Создается постоянным током, подводимым от внешнего источника к расположенной на роторе обмотке возбуждения.
 2. Создается переменным током, подводимым от внешнего источника к расположенной на роторе обмотке возбуждения.
 3. Создается переменным током, подводимым от внутреннего источника к расположенной на обмотке якоря.
 4. Создается постоянным током, подводимым от внешнего источника к расположенной на обмотке якоря.
 5. Нет правильного ответа.
5. Ток нагрузки синхронной машины (ток якоря) создает:
 1. Магнитное поле, вращающееся относительно статора с синхронной скоростью и неподвижное относительно ротора.
 2. Магнитное поле, вращающееся относительно ротора с синхронной скоростью и неподвижное относительно статора.
 3. Магнитное поле, вращающееся относительно статора с отставанием на величину скольжения относительно ротора.
 4. Магнитное поле, вращающееся относительно ротора с отставанием на величину скольжения относительно статора.
 5. Нет правильного ответа.

6. Ротор (индуктор) СМ

1. Вращается с синхронной скоростью и индуцирует в обмотке статора ЭДС, частота изменения которой пропорциональна скорости вращения ротора и числу пар полюсов.
 2. Вращается с синхронной скоростью и индуцирует в обмотке ротора ЭДС, частота изменения которой пропорциональна скорости вращения якоря и числу пар полюсов.
 3. Вращается с синхронной скоростью и индуцирует в обмотке статора ЭДС, частота изменения которой пропорциональна скорости вращения ротора и тока якоря.
 4. Вращается с синхронной скоростью и индуцирует в обмотке якоря постоянную ЭДС.
 5. Нет правильного ответа.
7. В установившемся режиме синхронной машины:
1. В обмотке ротора ЭДС не индуцируется.
 2. В обмотке ротора индуцируется переменная ЭДС.
 3. В обмотке ротора индуцируется постоянная ЭДС.
 4. В обмотке якоря индуцируется постоянная ЭДС.
 5. Нет правильного ответа.
8. Для пуска синхронного двигателя необходимо:
1. Разогнать его ротор с помощью внешнего момента в сторону вращения магнитного поля до частоты вращения, близкой к синхронной и затем подавать питание в обмотку возбуждения.
 2. Разогнать его ротор с помощью внешнего момента в сторону вращения магнитного поля до синхронной частоты и закоротить обмотку возбуждения.
 3. Подключить якорь синхронного двигателя к номинальному напряжению, а на обмотку возбуждения подать переменный ток.
 4. Подключить якорь синхронного двигателя к номинальному напряжению, а на обмотку возбуждения закоротить.
 5. Нет правильного ответа.
9. Как обеспечивается перевод подключенной к сети синхронной машины из режима холостого хода в режим генератора?
1. Необходимо увеличить вращающий момент первичного (приводного) двигателя.
 2. Необходимо уменьшить вращающий момент первичного (приводного) двигателя.
 3. Увеличить ток возбуждения синхронной машины.
 4. Создать на валу синхронной машины тормозной момент.
 5. Нет правильного ответа.
10. Как обеспечивается перевод подключенной к сети синхронной машины из режима холостого хода в режим двигателя?
1. Необходимо увеличить вращающий момент первичного (приводного) двигателя.
 2. Необходимо уменьшить вращающий момент первичного (приводного) двигателя.

3. Увеличить ток возбуждения синхронной машины.
 4. Создать на валу синхронной машины тормозной момент.
 5. Нет правильного ответа.
11. Как обеспечивается перевод подключенной к сети синхронной машины из режима холостого хода в режим компенсатора?
1. Необходимо увеличить вращающий момент первичного (приводного) двигателя.
 2. Необходимо уменьшить вращающий момент первичного (приводного) двигателя.
 3. Увеличить ток возбуждения синхронной машины.
 4. Создать на валу синхронной машины тормозной момент.
 5. Нет правильного ответа.
12. Явнополюсная синхронная машина имеет:
1. Неравномерный воздушный зазор, а обмотка возбуждения выполняется сосредоточенной и располагается на явно выраженных сердечниках главных полюсов.
 2. Равномерный воздушный зазор а обмотка возбуждения выполняется сосредоточенной и располагается на явно выраженных сердечниках главных полюсов.
 3. Воздушный зазор отсутствует
 4. Неравномерный воздушный зазор, а обмотка возбуждения выполняется распределенной и располагается в пазах индуктора.
 5. Равномерный воздушный зазор, а обмотка возбуждения выполняется распределенной и располагается в пазах индуктора.
13. Неявнополюсная синхронная машина имеет
1. Неравномерный воздушный зазор, а обмотка возбуждения выполняется сосредоточенной и располагается на явно выраженных сердечниках главных полюсов.
 2. Равномерный воздушный зазор а обмотка возбуждения выполняется сосредоточенной и располагается на явно выраженных сердечниках главных полюсов.
 3. Воздушный зазор отсутствует.
 4. Неравномерный воздушный зазор, а обмотка возбуждения выполняется распределенной и располагается в пазах индуктора.
 5. Равномерный воздушный зазор, а обмотка возбуждения выполняется распределенной и располагается в пазах индуктора.
- 14м Какая характеристика называется характеристикой холостого хода синхронной машины?
1. $E = f(i_B)$ при $I_a = 0$, $f = f_{ном}$.
 2. $U = f(I_a)$ при $i_B = 0$, $f = f_{ном}$.
 3. $I_a = f(i_B)$ при $U = 0$, $f = f_{номм}$
 4. $U = f(i_B)$ при $I_a = 0$, $n = 0$ тм
 - 5м $U = f(I_a)$ при $i_B = const$, $f = f_{ном}$.
15. Какая характеристика называется нагрузочной характеристикой синхронной машины?
1. $U = f(i_B)$ при $I_a = const$, $f = const$, $\cos\varphi = const$.
 2. $U = f(i_B)$ при $I_a = 0$, $n = const$.
 3. $U = f(I_a)$ при $I_a = const$, $f = const$, $\cos\varphi = const$.
 4. $U = f(i_B)$ при $I_a = const$, $f = 0$, $\cos\varphi = const$.

5. $I = f(i_b)$ при $U = \text{const}$, $f = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$.
16. Какая характеристика называется внешней характеристикой синхронной машины?
1. $U = f(I_a)$ при $i_b = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $f = f_H$.
 2. $U = f(I_a)$ при $i_b = 0$, $\cos \varphi = \text{const}$, $f = f_{HM}$
 3. $I = f(i_b)$ при $I_a = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $f = f_H$.
 4. $U = f(I_a)$ при $i_b = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $f = 0$.
 5. Нет правильного ответа.
- 16 Какая характеристика называется регулировочной характеристикой синхронной машины?
- 1 $U = f(I_a)$ при $i_b = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $f = f_H$
 - 2 $U = f(I_a)$ при $i_b = 0$, $\cos \varphi = \text{const}$, $f = f_H$
 - 3 $i_b = f(I_a)$ при $U = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$ и $f = \text{const}$
 - 4 $U = f(I_a)$ при $i_b = \text{const}$, $\cos \varphi = \text{const}$, $f = 0$
 - 5 Нет правильного ответа
- 5.17 Найдите одно из требований, которое необходимо выполнять при включении синхронных генераторов на параллельную работу?
- 1 Частота ЭДС генератора f_G должна равняться частоте напряжения сети f_C
 - 2 Частота ЭДС генератора f_G должна равняться нулю
 - 3 Фазы напряжений U_G и U_C непосредственно в момент включения должны отличаться на 90 электрических градусов
 - 4 Нет правильного ответа
 - 5 Фазы напряжений U_G и U_C непосредственно в момент включения должны отличаться на 180 электрических градусов
- 5.18 Каковы последствия невыполнения условий точной синхронизации синхронных генераторов? Найдите неправильный ответ
- 1 Приводит к большим броскам тока якоря
 - 2 Приводит к большим толчкам электромагнитного момента
 - 3 Приводит механическим перегрузкам приводного двигателя
 - 4 Приводит к большим броскам тока возбуждения
 - 5 Приводит механическим перегрузкам в муфтах
- 5.19 С какой целью на роторе синхронного двигателя иногда размещают дополнительную короткозамкнутую обмотку?
- 1 Для регулирования скорости вращения
 - 2 Для раскручивания ротора при запуске
 - 3 Для увеличения вращающего момента
 - 4 Для уменьшения вращающего момента
 - 5 Нет правильного ответа
- 5.20 Какая синхронная машина имеет нормальную конструкцию?
- 1 Якорная обмотка на статоре, обмотка возбуждения на роторе
 - 2 Якорная обмотка на роторе, обмотка возбуждения на статоре
 - 3 Якорная обмотка и обмотка возбуждения на статоре
 - 4 Якорная обмотка и обмотка возбуждения на роторе
 - 5 Нет правильного ответа

5.21 Что нужно сделать, чтобы нагрузить синхронный генератор реактивным емкостным током?

- 1 Увеличить ток возбуждения
- 2 Уменьшить ток возбуждения
- 3 Увеличить момент приводного двигателя
- 4 Уменьшить момент приводного двигателя
- 5 Нет правильного ответа

5.22 Что нужно сделать, чтобы нагрузить синхронный генератор активным током?

- 1 Увеличить ток возбуждения
- 2 Уменьшить ток возбуждения
- 3 Увеличить момент приводного двигателя
- 4 Уменьшить момент приводного двигателя
- 5 Нет правильного ответа

5.23 Какая синхронная машина имеет обращенную конструкцию?

- 1 Якорная обмотка на статоре, обмотка возбуждения на роторе
- 2 Якорная обмотка на роторе, обмотка возбуждения на статоре
- 3 Якорная обмотка и обмотка возбуждения на статоре
- 4 Якорная обмотка и обмотка возбуждения на роторе
- 5 Нет правильного ответа

5.24 Что нужно сделать, чтобы нагрузить синхронный генератор реактивным индуктивным током?

- 1 Увеличить ток возбуждения
- 2 Уменьшить ток возбуждения
- 3 Увеличить момент приводного двигателя
- 4 Уменьшить момент приводного двигателя
- 5 Нет правильного ответа

5.25 Перед включением синхронного генератора на параллельную работу с сетью должны выполняться четыре условия. Какое условие выполняется с помощью приводного двигателя?

- 1 $E_g = U_c$
- 2 $f_g = f_c$
- 3 Чередование фаз генератора, сети и волновые диаграммы e_g и u_c должны быть одинаковы
- 4 E_g и U_c должны быть в противофазе
- 5 Приводной двигатель не требуется

5.26 Перед включением синхронного генератора на параллельную работу с сетью должны выполняться четыре условия. Какое условие выполняется с помощью регулирования тока обмотки возбуждения?

- 1 $E_g = U_c$
- 2 $f_g = f_c$
- 3 Чередование фаз генератора, сети и волновые диаграммы e_g и u_c должны быть одинаковы

4 Ег и Ус должны быть в противофазе.

5 Неправильные четыре условия

5.27 Синхронный двигатель с числом пар полюсов $p = 1$ работает в синхронном режиме от промышленной сети переменного тока. Определить частоту вращения ротора данного двигателя n_2 , если нагрузка на валу уменьшилась в 2 раза. Двигатель считать идеальным

1 $n_2 = 2900$ об/мин

2 $n_2 = 6000$ об/мин

3 $n_2 = 1500$ об/мин.

4 $n_2 = 3000$ об/мин

5 $n_2 = 1000$ об/мин

5.28 Имеется трехфазный синхронный двигатель с явнополюсным ротором с электромагнитным возбуждением без элементов запуска. Каким образом можно запустить двигатель в ход

1 С помощью автотрансформатора

2 Нет правильного ответа

3 Путем плавного повышения от нуля частоты питающего напряжения

4 С помощью реакторов (дресселей), включаемых последовательно с синхронным двигателем

5 С помощью пускового реостата

5.29 Синхронный двигатель с числом пар полюсов $p = 8$ работает в синхронном режиме от сети переменного тока с частотой $f = 400$ Гц. Определить частоту вращения ротора данного двигателя n_2

1) $n_2 = 500$ об/мин

2) $n_2 = 750$ об/мин

3) $n_2 = 1500$ об/мин

4) $n_2 = 3000$ об/мин

5) $n_2 = 6000$ об/мин.

5.30 Синхронный двигатель работает в синхронном режиме от промышленной сети переменного тока. Определить число пар полюсов данного двигателя, если частота вращения ротора данного двигателя $n_2 = 750$ об/мин

1) $p = 3$

2) $p = 1$

3) $p = 6$

4) $p = 2$

5) $p = 4$

5.31 Синхронные двигатели по сравнению с асинхронными двигателями имеют преимущество. Выберите его.

1 Могут работать с $\cos \varphi = 1$

2 Имеют меньшие габариты

3 Нет правильного ответа

4 Могут работать с $\cos \varphi = 0$

5 Имеют КПД 99,9 %

- 5.32 Максимальный момент синхронного двигателя
- 1 Пропорционален U
 - 2 Обратно-пропорционален U
 - 3 Не зависит от U
 - 4 Нет правильного ответа
 - 5 Пропорционален U^2 , как у асинхронного двигателя
- 5.33 Назовите способ регулирования частоты вращения ротора синхронного двигателя
- 1 С помощью изменения частоты питающего напряжения
 - 2 С помощью реостата в цепи якоря
 - 3 С помощью реостата в цепи ротора
 - 4 Нет правильного ответа
 - 5 С помощью величины питающего напряжения
- 5.34 Что собой представляют синхронные компенсаторы?
- 1 Синхронные двигатели, работающие на холостом ходу
 - 2 Синхронные генераторы, работающие на холостом ходу
 - 3 Синхронные двигатели, работающие в режиме короткого замыкания при пониженном напряжении
 - 4 Синхронные генераторы, работающие в режиме короткого замыкания при малых оборотах приводного двигателя
 - 5 Нет правильного ответа
- 5.35 Реактивный синхронный двигатель это
- 1 Синхронный двигатель с невозбужденным явнополюсным ротором
 - 2 Синхронный двигатель с возбужденным явнополюсным ротором
 - 3 Синхронный двигатель с невозбужденным неявнополюсным ротором
 - 4 Синхронный двигатель с возбужденным неявнополюсным ротором
 - 5 Синхронный компенсатор, работающий в режиме нагрузки
- 5.36 К какому источнику электрической энергии подключается обмотка статора синхронного двигателя?
- 1 К источнику постоянного тока
 - 2 К источнику однофазного переменного тока
 - 3 К источнику двухфазного переменного тока
 - 4 К источнику трехфазного тока
 - 5 Зависит от конструкции двигателя и мощности
- 5.37 В качестве каких устройств используются синхронные машины?
- 1 Двигатели
 - 2 Генераторы
 - 3 Синхронные компенсаторы
 - 4 Всех перечисленных
 - 5 Реактивные двигатели

5.38 При работе синхронной машины в режиме двигателя электромагнитный момент является

- 1 Вращающим
- 2 Нулевым
- 3 Тормозящим
- 4 Ускоряющим
- 5 Замедляющим

5.39 Каким образом возможно изменять в широких пределах коэффициент мощности синхронного двигателя?

- 1 Воздействуя на ток в обмотке статора двигателя
- 2 Воздействуя на ток возбуждения двигателя
- 3 Меняя напряжение сети
- 4 Это сделать невозможно
- 5 Меняя частоту напряжения сети

5.40 Для включения генератора в сеть необходимо одно из условий

- 1 Разное чередование фаз в сети и генераторе
- 2 Большая мощность генератора
- 3 Одинаковое чередование фаз в сети и генераторе
- 4 Разность частот ЭДС генератора и напряжения сети
- 5 Большая мощность сети

5.41 Какая мощность указывается на щитке синхронного генератора и является его номинальной мощностью?

- 1 Подводимая механическая
- 2 Электромагнитная
- 3 Активная мощность на зажимах машины
- 4 Реактивная.
- 5 Полная (кажущаяся) электрическая мощность на зажимах машины

5.42 Отношением каких мощностей определяется к.п.д. синхронного генератора?

- 1 Полной электрической к механической
- 2 Активной электрической к полной электрической
- 3 Активной электрической к механической
- 4 Механической к полной электрической
- 5 Механической к активной электрической

5.43 Какую величину требуется поддерживать постоянной при снятии регулировочной характеристики синхронного генератора?

- 1 Напряжение на зажимах якоря
- 2 Коэффициент мощности
- 3 Ток якоря
- 4 Ток возбуждения
- 5 Частоту тока

5.44 Определите скорость вращения ротора синхронного генератора в установившемся режиме (об/мин), если: число полюсов $2p=20$; частота $f=50$ Гц.

- 1 3000
- 2 1500
- 3 300
- 4 150
- 5 24

5.45 Отношением каких мощностей определяется коэффициент мощности электрической машины переменного тока?

- 1 Активной к полной
- 2 Активной к реактивной
- 3 Реактивной к полной
- 4 Реактивной к активной
- 5 Полной к активной

5.46 Как включается обмотка возбуждения синхронного двигателя при асинхронном пуске в начальный период?

- 1 Замыкается на активное сопротивление
- 2 Подключается к сети постоянного тока
- 3 Подключается к сети переменного тока
- 4 Остается разомкнутой
- 5 Закорачивается

5.47 Как регулируется реактивная мощность синхронного генератора при параллельной работе с сетью бесконечно большой мощности?

- 1 Изменением частоты генератора
- 2 Изменением тока возбуждения
- 3 Изменением момента приводного двигателя
- 4 Изменением напряжения генератора
- 5 Изменением активного сопротивления в цепи якоря

5.48 Рассмотрите виды потерь мощности в синхронных генераторах и укажите потери, которые отсутствуют при холостом ходе?

- 1 Электрические потери в обмотке возбуждения
- 2 Магнитные потери
- 3 Механические потери
- 4 Электрические потери в щеточном контакте
- 5 Электрические потери в обмотке якоря

5.49 Чему по отношению к сети эквивалентна перевозбужденная синхронная машина?

- 1 Активной нагрузке
- 2 Имеет емкостной характер
- 3 Имеет индуктивный характер
- 4 Имеет активно-емкостной характер
- 5 Имеет активно-индуктивный характер

- 5.50 Чему равен в точке минимума U-образной характеристики $\cos\varphi$?
- 1 Имеет значение "0"
 - 2 Не имеет определенного значения
 - 3 Имеет значение "0.66"
 - 4 Имеет значение "1"
 - 5 Нет правильного ответа
- 5.51 Для чего служит демпферная обмотка в синхронных генераторах?
- 1 Для ослабления обратного синхронного поля при несимметричной нагрузке
 - 2 Для успокоения качания ротора
 - 3 Для предотвращения динамических перенапряжений при несимметричном КЗ
 - 4 Для выполнения всех вышеперечисленных функций
 - 5 Улучшения формы ЭДС и симметрии напряжений при несимметричных нагрузках отдельных фаз
- 5.52 Отличие синхронных машин от асинхронных машин
- 1 Конструкцией ротора
 - 2 Конструкцией статора
 - 3 Конструкцией станины
 - 4 Отличия отсутствуют
 - 5 Конструкционными материалами
- 5.53 От чего зависит влияние реакции якоря на работу синхронной машины?
- 1 От значения и характера нагрузки
 - 2 От величины сопротивления обмотки якоря
 - 3 От величины сопротивления обмотки возбуждения
 - 4 От напряжения якоря
 - 5 Нет правильного ответа
- 5.54 Где используются синхронные двигатели?
- 1 В приводах большой мощности
 - 2 Мощные приводы в металлургической и горнодобывающей промышленности
 - 3 Приводы насосов и компрессоров
 - 4 В регулируемых приводах средней мощности
 - 5 Во всех перечисленных случаях
- 5.55 Назовите важное свойство синхронных машин
- 1 Генерировать реактивную мощность
 - 2 Имеют самый высокий КПД из всех типов электрических машин
 - 3 Потреблять активную мощность
 - 4 Генерировать активную мощность
 - 5 Нет правильного ответа

- 5.56 К какому источнику электрической энергии подключается обмотка статора синхронного двигателя?
- 1 К источнику трёхфазного тока
 - 2 К источнику однофазного тока
 - 3 Обмотка статора закорочена
 - 4 К источнику постоянного тока
 - 5 Нет правильного ответа
- 5.57 Под холостым ходом синхронного генератора понимается такой режим его работы
- 1 При котором ротор вращается приводным двигателем, а ток в обмотке якоря равен нулю
 - 2 При котором ротор вращается приводным двигателем, а ток в обмотке возбуждения равен нулю
 - 3 При котором обмотка ротора подключается к сети трехфазного тока и вращается приводным двигателем, при этом ток якоря равен нулю
 - 4 Нет правильного ответа
 - 5 1 При котором ротор вращается приводным двигателем, а обмотка якоря закорачивается
- 5.58 В каких случаях бросок тока при включении СГ на параллельную работу не приводит к механическому удару на валу приводного двигателя?
- 1 Если вектор ЭДС якоря включаемого генератора совпадает по фазе с вектором напряжения сети
 - 2 Если вектор ЭДС якоря включаемого генератора в противофазе с вектором напряжения сети
 - 3 Если вектор ЭДС якоря включаемого генератора отстает на 45 электрических градусов от вектора напряжения сети
 - 4 Если вектор ЭДС якоря включаемого генератора опережает на 45 электрических градусов от вектора напряжения сети
 - 5 Нет правильного ответа
- 5.59 Какой параметр режима синхронного генератора, работающего параллельно с мощной сетью, изменяется при увеличении момента на валу его приводного двигателя?
- 1 Увеличивается угол нагрузки
 - 2 Уменьшается активная составляющая тока якоря
 - 3 Уменьшается активная мощность
 - 4 Увеличивается КПД
 - 5 Нет правильного ответа
- 5.60 Перечислите последовательность действий, имеющих целью изменение направления вращения уже работающего синхронного двигателя
- 1 Отключить синхронный двигатель от сети, затормозить его вал, поменять местами две фазы питающего напряжения и снова осуществить пуск синхронного двигателя
 - 2 Не отключая синхронный двигатель от сети, поменять местами две фазы питающего напряжения
 - 3 Понизить напряжение питания синхронного двигателя до 50% от номинального, затормозить его вал, поменять местами две фазы питающего напряжения и снова осуществить пуск синхронного двигателя
 - 4 Нет правильного ответа
 - 5 Обесточить обмотку возбуждения синхронного двигателя и не отключая синхронный двигатель от сети, поменять местами две фазы питающего напряжения

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольдек, А. И. Электрические машины: учебник для вузов / А. И. Вольдек. – М. : Энергия, 1978. – 832 с.
2. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины : учебник для вузов / А. В. Иванов-Смоленский. – М. : Энергия, 1980. – 928 с.
3. Копылов, Н. П. Электрические машины : учебник для вузов / Н. П. Копылов. – М. : Энергоиздат, 1986. – 360 с.
4. Мезин, Е. К. Судовые электрические машины : учебник для вузов / Е. К. Мезин. – Ленинград : Судостроение, 1985. – 320 с.
5. Костенко М. П. Электрические машины: в 2 ч. / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1972. – Ч.1 : Машины постоянного тока. Трансформаторы : учебник для вузов. – 544 с.
6. Костенко, М. П. Электрические машины: в 2 ч. / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. – 3-е изд., перераб. – Ленинград: Энергия, 1973. – ч.2 : Машины переменного тока : учебник для вузов. – 648 с.
7. Китаев, В. Е. Электрические машины: в 2ч. / В. Е. Китаев, Ю. М. Корхов, В. К. Свирин ; под ред. В. Е. Китаева. – М. : Высш. школа, 1978. – Ч. 1 : Машины постоянного тока. Трансформаторы. – 184с.
8. Китаев, В. Е. Электрические машины: в 2ч. / В. Е. Китаев, Ю. М. Корхов, В. К. Свирин; под ред. В. Е. Китаева. – М. : Высш. школа, 1978. – Ч. 2 : Машины переменного тока. – 184с.
9. Токарев, Б. Ф. Электрические машины: учеб. пособие для вузов / Б. Ф. Токарев. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 624с.

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое задание № 1. Трехфазный трансформатор	3
Практическое задание № 2. Трехфазные асинхронные электродвигатели	13
Практическое задание № 3 Синхронный турбогенератор	26
Тестовые задания по электрическим машинам переменного тока	38
Литература	71

Козлов Андрей Владимирович

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Практикум

**для студентов специальностей 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация
энергооборудования организаций»
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 11.05.23.

Рег. № 23Е.

<http://www.gstu.by>