

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Брянский государственный аграрный университет»

Безик В.А., Башлыков В.А., Ковалев В.В.

Электрические машины

Методические указания по выполнению практических работ
для студентов направлений подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,
15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств,
35.03.06 Агроинженерия

Брянская область
2018

УДК 621.313 (076)
ББК 31.261
Б 39

Безик, В. А. Электрические машины: методические указания по выполнению практических работ для студентов направлений подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 35.03.06 Агроинженерия / В. А. Безик, В. А. Башлыков, В. В. Ковалев. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 39 с.

Методические указания содержат задания по вариантам, примеры решения задач, необходимые справочные данные. Предназначены для использования на практических занятиях студентами направлений подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 35.03.06 Агроинженерия.

Рецензент:

д.т.н. профессор кафедры Математики, физики и информатики
Погонышев В.А. (ФГБОУ ВО Брянский ГАУ).

Рекомендовано к изданию решением методической комиссии института энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол № 3 от 07.11.2018 года.

© Брянский ГАУ, 2018
© Безик В.А., 2018
© Башлыков В.А., 2018
© Ковалев В.В., 2018

Содержание

Введение	4
1. Расчет параметров двигателя постоянного тока	5
2. Параметры и характеристики однофазного трансформатора	8
3. Группы соединения и параллельная работа трансформаторов	20
4. Расчет параметров асинхронного двигателя	26
5. Параметры синхронного генератора	31
6. Задачи для самостоятельного решения	32
Список использованных источников	38

..

Введение

Предлагаемые методические указания содержат методические указания и примеры решения задач, составленные в помощь студентам, изучающим вопросы расчета параметров электрических машин постоянного и переменного тока. Самостоятельное решение задач предлагается по индивидуальному варианту, а также из перечня задач для самостоятельного решения.

Методические указания включают в себя задачи по расчету: трансформаторов, машин постоянного тока, асинхронных трехфазных двигателей. Задача содержит подробное решение. Часть полученных результатов поясняется рисунками, графиками или векторными диаграммами.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий по курсу «Электрические машины» для студентов направлений подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 35.03.06 Агроинженерия очной и заочной форм обучения, но может быть использовано и для других электротехнических дисциплин, содержащих раздел «Электрические машины».

Целью выполнения практических работ является приобретение высокого уровня профессиональной подготовки специалистов в области эксплуатации электрических машин.

В результате выполнения практических заданий студент должен

Знать:

Объекты профессиональной деятельности.

Основные режимы работы объектов профессиональной деятельности

Основные параметры оборудования объектов профессиональной деятельности.

Уметь:

Проектировать объекты профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией.

Определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности.

Производить необходимые расчеты режимов работы объектов профессиональной деятельности.

Владеть:

Техническими, энергоэффективными требованиями при проектировании объектов профессиональной деятельности.

Способностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности;

Способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности.

1. Расчет параметров двигателя постоянного тока

Двигатель постоянного тока включен по схеме рисунка 1. Для номинальных параметров указанных в таблице 1, рассчитать согласно варианта задания:

1. потребляемую из сети мощность P_I ;
2. полезный вращающий момент M ;
3. ток якоря $I_{я}$;
4. противо-э.д.с. в обмотке якоря $E_{пр}$;
5. суммарные потери мощности ΣP .
6. Пусковой ток двигателя $I_{п}$.

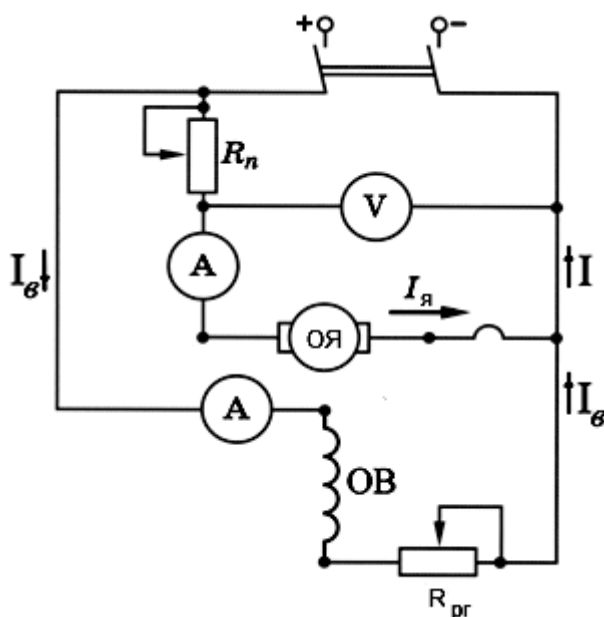


Рисунок 1.

Таблица 1

Технические данные двигателей серии 2П с высотами оси вращения 90 - 200 мм

Мощность, кВт	Напря- жение, В	Частота вращения, об/мин		КПД %	Сопротивление обмотки при 15°C, Ом			Индук- тивность цепи якоря, мГн
		номи- нальная	макси- мальная		якоря	добавочных полюсов	возбуж- дения	
Тип 2ПН90МУХЛ4, 2ПН90МГУХЛ4								
0,17	110	750	3000	47,5	5,84	4,40	610	128
	220	750	1500	48,5	27,2	16,2	162	514
0,25	110	1060	4000	56	3,99	2,55	610	78,7
	220	1120	2000	57	15,47	11,2	162	297
0,37	110	1500	3000	61,5	2,52	1,47	610	48
	220	1500	2250	61,5	10,61	6,66	162	190

Мощность, кВт	Напря- жение, В	Частота вращения, об/мин		КПД %	Сопротивление обмотки при 15°C, Ом			Индук- тивность цепи якоря, мГн
		номи- нальная	макси- мальная		якоря	добавочных полюсов	возбуж- дения	
0,71	110	2360	4000	69,5	1	0,54	470	18
	220	2360	3540	70	3,99	2,55	123	79
1	110	3000	4000	71,5	0,6	0,35	365	12
	220	3000	4000	72,5	2,52	1,47	92	48
Тип 2ПН90ЛУХЛ4, 2ПН90ЛГУХЛ4								
0,2	110	750	3000	54	4,51	2,99	555	106
	220	800	1500	54,5	17,5	13,13	145	430
0,34	110	1060	4000	60	2,85	1,731	555	64,5
	220	1000	2000	60	12,2	7,96	145	264
0,55	110	1500	4000	67,5	1,3	0,932	432	33
	220	1500	4300	67,5	5,44	3,89	112	132
0,9	110	2000	4000	73	0,644	0,4	340	14,6
	220	2120	4000	73	2,85	1,731	87	64
1,3	110	3150	4000	76	0,355	0,257	340	8,2
	220	3150	4000	78	1,3	0,932	87	33
Тип 2ПБ90ЛУХЛ4, 2ПБ90МГУХЛ4								
0,13	110	800	3000	49,5	7,48	4,79	810	173
	220	750	1500	47,5	34,0	20,37	222	694
0,18	110	1000	4000	54,5	5,41	3,47	810	122
	220	1000	2000	55,5	21,77	13,31	222	490

Методические указания по решению задачи.

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением рассчитан на номинальную мощность $P_{ном} = 10 \text{ кВт}$ и номинальное напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$. Частота вращения якоря $n = 3000 \text{ об/мин}$.

К.п.д. двигателя $\eta_{ДВ} 0,72$. Сопротивление обмотки возбуждения $R_B = 85 \text{ Ом}$, сопротивление обмотки якоря $R_Я = 0,3 \text{ Ом}$.

Решение.

1. Мощность, потребляемая двигателем из сети:

$$P_1 = P_{ном} / \eta_{ДВ} = 10000 / 0,72 = 13900 \text{ Вт} = 13,9 \text{ кВт}.$$

2. Полезный вращающий момент (на валу):

$$M = 9,55 \cdot P_{НОМ} / n = 9,55 \cdot 10 \cdot 1000 / 3000 = 31,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Для определения тока якоря предварительно находим ток возбуждения:

$$I_B = U_{НОМ} / R_B = 220 / 85 = 2,6 \text{ А}.$$

Ток двигателя

$$I = P_1 / U_{НОМ} = 13,9 / 220 = 63 \text{ А}.$$

Ток якоря

$$I_{Я} = I - I_B = 63 - 2,6 = 60,4 \text{ А}.$$

4. Противо-э.д.с. в обмотке якоря:

$$E_{ПР} = U_{НОМ} - I_{Я} \cdot R_{Я} = 220 - 60,4 \cdot 0,3 = 202 \text{ В}.$$

5. Суммарные потери в двигателе:

$$\Sigma P = P_1 - P_{НОМ} = 13,9 - 10 = 3,9 \text{ кВт}.$$

6. Т.к. ЭДС при пуске равна 0, пусковой ток двигателя:

$$I_{П} = U_{НОМ} / R_{Я} = 220 / 0,3 = 733 \text{ А}.$$

2. Параметры и характеристики однофазного трансформатора

Однофазный двухобмоточный трансформатор включен в сеть с напряжением $U = U_{1н}$. Величины, характеризующие номинальный режим работы трансформатора, приведены в таблице 1: полная мощность S_H ; первичное номинальное линейное напряжение $U_{1н}$, вторичное номинальное линейное напряжение $U_{2н}$; напряжение короткого замыкания u_k , мощность потерь короткого замыкания (при номинальном токе) $P_{кн}$. Кроме того, заданы значения тока холостого хода I_{10} (в % от номинального), мощность потерь холостого хода P_{10} .

Таблица 2

Исходные данные для задачи

№ варианта	S_H кВА	$U_{1н}$, кВ	$U_{2н}$, кВ	u_k , %	I_{10} , %	P_{10} , Вт	$P_{кн}$, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
1	8	10	0,4	2,6	3,2	41	230
2	13	10	0,4	2,7	3,0	60	333
3	21	10	0,4	2,7	2,8	88	426
4	21	20	0,4	3,1	2,8	96	426
5	33	10	0,4	2,7	2,6	121	756
6	33	35	0,4	3,8	2,6	155	756
7	53	10	0,4	3,8	2,4	180	1033
8	53	35	0,4	3,9	2,4	220	1033
9	83	10	0,4	3,8	2,4	260	1400
10	83	35	0,4	3,9	2,3	320	1400
11	133	10	0,4	2,6	2,1	360	1833
12	133	35	0,4	3,8	2,1	450	1833
13	210	10	0,4	3,2	2,0	626	2533
14	210	35	0,4	3,8	2,0	666	2833
15	21	20	0,4	3,1	4,4	130	426
16	53	20	0,4	3,8	4,0	243	846
17	83	20	0,4	3,8	3,7	350	1193
18	133	20	0,4	3,7	3,3	510	1726
19	210	20	0,4	3,7	3,2	700	2446
20	333	10	0,4	3,2	1,4	816	4066
21	333	35	0,4	3,8	1,5	916	4066
22	533	10	0,4	3,2	1,3	1100	6000
23	533	35	0,4	3,8	1,4	1216	600
24	833	10	0,4	3,8	1,0	1533	7833
25	833	36	0,4	3,8	1,1	1700	7833
26	8	10	0,4	2,3	3,0	40	226
27	13	10	0,4	2,6	3,0	56	323

№ варианта	SH кВА	U1н, кВ	U2н, кВ	ик, %	I10, %	P10, Вт	Pкн, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8
28	21	10	0,4	2,6	2,8	83	383
29	21	20	0,4	3,1	2,8	90	383
30	33	10	0,4	3,0	2,5	116	733
31	33	35	0,4	3,8	2,5	150	733
32	53	10	0,4	3,8	2,3	176	966
33	53	35	0,4	3,8	2,3	216	1000
34	83	10	0,4	3,8	2,3	250	1300
35	83	35	0,4	3,9	2,3	316	1300
36	133	10	0,4	2,6	2,3	350	2133
37	133	10	0,4	3,8	2,1	433	1800
38	210	10	0,4	3,2	2,0	533	2500
39	210	35	0,4	3,8	2,0	633	2800
40	21	20	0,4	3,1	4,3	126	416
41	53	20	0,4	3,8	4,0	240	833
42	83	20	0,4	3,8	3,6	316	1133
43	133	20	0,4	3,5	3,4	500	1666
44	210	20	0,4	3,7	3,1	700	2433
45	333	10	0,4	3,1	1,5	816	4066
46	333	35	0,4	3,7	1,5	900	4066
47	533	10	0,4	3,2	1,3	1100	633
48	533	35	0,4	3,8	1,4	1216	6000
49	833	10	0,4	3,2	1,0	1533	7833
50	833	35	0,4	3,8	1,1	1700	7833

Содержание задания

1. Определите параметры Т-образной схемы замещения трансформатора (сопротивления R_1 , R_2 , X_1 , X_2 , R_{10} , X_{10}), считая ее симметричной ($R_1 = R_2$; $X_1 = X_2$). Изобразите схему замещения. Укажите на ней сопротивления, токи, напряжения и ЭДС.
2. Постройте векторную диаграмму трансформатора при активной номинальной нагрузке.
3. Рассчитайте и постройте внешние характеристики трансформатора при
 - а) активной нагрузке $\cos\varphi=1$;
 - б) активно-индуктивной нагрузке $\cos\varphi=0,8$.
 - в) активно-емкостной нагрузке $\cos\varphi=0,8$.
4. Рассчитать и построить зависимости КПД трансформатора от нагрузки при
 - а) активной нагрузке $\cos\varphi=1$;
 - б) активно-реактивной нагрузке $\cos\varphi=0,8$.

5. Найти номинальные токи I_{1H} , I_{2H} , коэффициент загрузки, при котором наступает максимум КПД. Рассчитайте сечение проводников обмоток, если плотность тока в них 4 А/мм^2 .

Методические указания по решению задачи

Трёхфазный двухобмоточный трансформатор включён в сеть с напряжением $U=U_{1H}$. Величины, характеризующие номинальный режим работы трансформатора: полная мощность $S=40\text{кВА}$; первичное номинальное фазное напряжение $U_{1H}=10\text{кВ}$; вторичное номинальное фазное напряжение $U_{2H}=0,4\text{кВ}$. Кроме того, заданы значения тока холостого хода $I_{10}=3\%$, мощность потерь холостого хода $P_{10}=180\text{Вт}$, напряжение короткого замыкания $u_k=4,7\%$, мощность потерь короткого замыкания (при номинальном токе) $P_{кз}=999\text{Вт}$.

Содержание задания

1) Определите параметры Т-образной схемы замещения трансформатора (сопротивления $R_1, R'_2, X_1, X'_2, R_{10}, X_{10}$), считая ее симметричной ($R_1 = R'_2; X_1 = X'_2$). Изобразите схему замещения. Укажите на ней сопротивления, токи, напряжения и ЭДС.

2) Постройте векторную диаграмму трансформатора при активной номинальной нагрузке.

3) Рассчитайте и постройте внешние характеристики трансформатора при:

- а) активной нагрузке $\cos\varphi=1$;
- б) активно-индуктивной нагрузке $\cos\varphi=0,8$;
- в) активно-емкостной нагрузке $\cos\varphi=0,8$.

4) Рассчитайте и постройте зависимости КПД трансформатора от нагрузки при:

- а) активной нагрузке $\cos\varphi=1$;
- б) активно-реактивной нагрузке $\cos\varphi=0,8$.

5) Найти коэффициент загрузки, при котором наступает максимум КПД.

Определение параметров Т-образной схемы замещения трансформатора

Чертим Т-образную схему замещения трансформатора.

На схеме: R_1, R'_2 - активные сопротивления первичной обмотки и приведенное вторичной обмотки, X_1, X'_2 - внутренние реактивные сопротивления первичной обмотки и приведенное вторичной обмотки, R_{12}, X_{12} - активное и реактивное сопротивления магнитной цепи, I_1, I'_2 - токи первичной обмотки и приведенный ток вторичной, I_{10} - ток контура намагничивания.

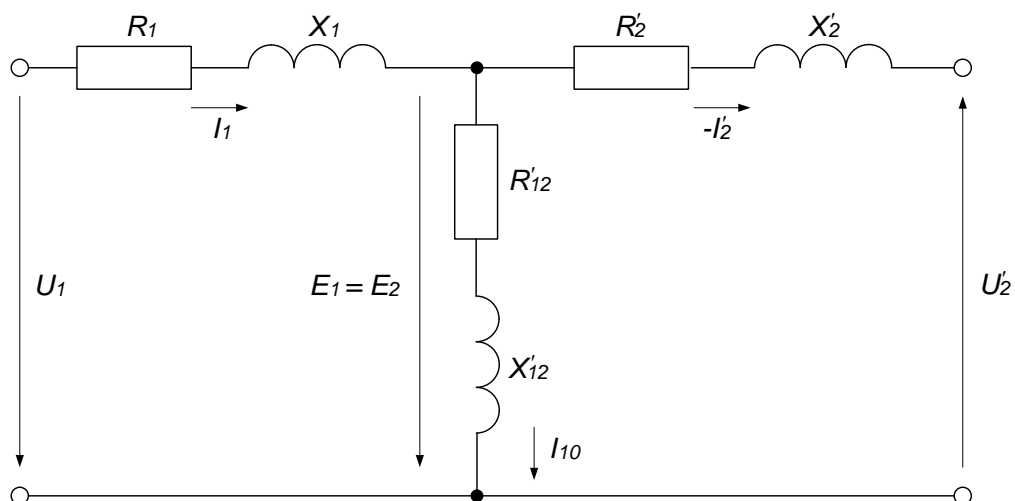


Рисунок 2 - Т-образная схема замещения трансформатора

В режиме короткого замыкания можно использовать упрощенную схему замещения (рисунок 3).

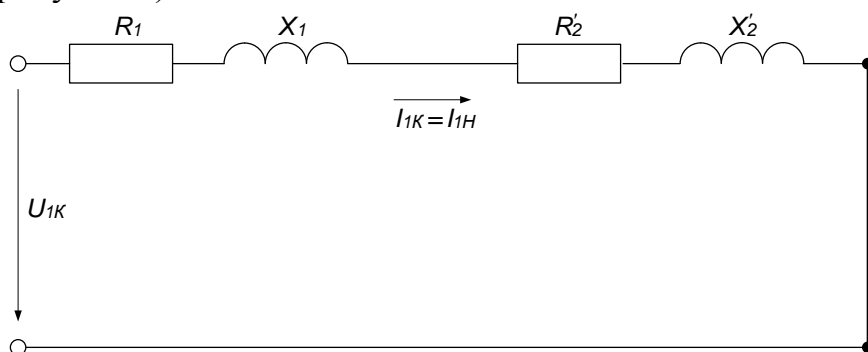


Рисунок 3 - Упрощенная схема замещения трансформатора

Номинальный ток первичной обмотки трансформатора

$$I_{1H} = I_{1K} = \frac{S_H}{3 \cdot U_{1H}},$$

$$I_{1K} = \frac{40}{3 \cdot 10} = 1,33 A.$$

Абсолютное значение напряжения короткого замыкания

$$U_{1K} = \frac{u_K \%}{100\%} U_{1H},$$

$$U_{1K} = \frac{4,7}{100} \cdot 10000 = 470 B.$$

Полное сопротивление короткого замыкания

$$Z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1H}},$$

$$Z_K = \frac{470}{1,33} = 353,4 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление короткого замыкания

$$R_K = \frac{P_{KH}}{3I_{1K}^2},$$

$$R_K = R_1 + R_2' = \frac{999}{3 \cdot 1,33^2} = 125,2 \text{ Ом.}$$

Реактивное сопротивление короткого замыкания трансформатора найдем из треугольника сопротивлений

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2},$$

$$X_K = X_1 + X_2' = \sqrt{353,4^2 - 125,2^2} = 330,8 \text{ Ом.}$$

По условию задания трансформатор симметричный, значит $R_1 = R_2'$ и $X_1 = X_2'$, тогда внутренние сопротивления обмоток:

$$R_1 = R_2' = \frac{R_K}{2} = \frac{125,2}{2} = 62,6 \text{ Ом.}$$

$$X_1 = X_2' = \frac{X_K}{2} = \frac{330,8}{2} = 165,4 \text{ Ом.}$$

В режиме холостого хода схема замещения трансформатора изображена на рисунке 4.

Абсолютное значение тока холостого хода трансформатора:

$$I_{10} = \frac{I_{10} \% \cdot I_{1H}}{100\%},$$

$$I_{10} = \frac{3 \cdot 1,33}{100} = 0,04 \text{ A} .$$

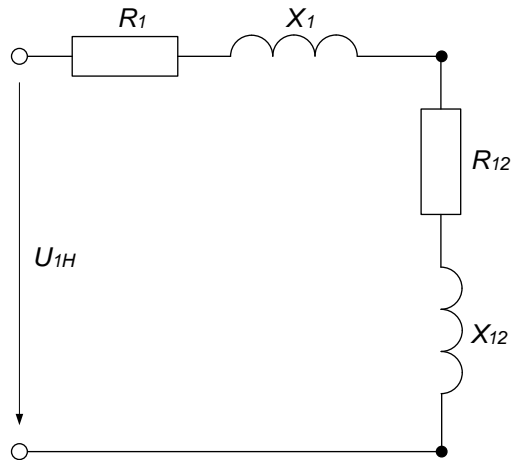


Рисунок 4. Схема замещения трансформатора в режиме холостого хода

Полное сопротивление холостого хода

$$Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}} ,$$

$$Z_0 = \frac{10000}{0,04} = 250000 \text{ Ом} .$$

Активное сопротивление холостого хода:

$$R_0 = R_1 + R_{12} = \frac{P_{10}}{I_{10}^2} ,$$

$$R_0 = R_1 + R_{12} = \frac{180}{0,04^2} = 112500 \text{ Ом} .$$

Реактивное сопротивление холостого хода трансформатора найдем из треугольника сопротивлений

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} ,$$

$$X_0 = X_1 + X_{12} = \sqrt{250000^2 - 112500^2} = 223257 \text{ Ом} .$$

Согласно схеме замещения трансформатора на холостом ходу параметры эквивалентной магнитной цепи трансформатора

$$R_{12} = R_0 - R_1 = 112500 - 62,6 = 112437,4 \text{ Ом},$$

$$X_{12} = X_0 - X_1 = 223257 - 165,4 = 223091,6 \text{ Ом}.$$

Рассчитанные сопротивления схемы замещения;

$$R_1 = R'_2 = 62,6 \text{ Ом}; \quad X_1 = X_2 = 165,4 \text{ Ом};$$

$$R_{12} = 112437,4 \text{ Ом}; \quad X_{12} = 223091,6 \text{ Ом}.$$

Построение векторной диаграммы при активной номинальной нагрузке.

Определяем номинальные токи трансформатора:

В первичной обмотке

$$I_{1H} = \frac{S_H}{3U_{1H}},$$

$$I_{1H} = \frac{40}{3 \cdot 10} = 1,33 \text{ А};$$

Во вторичной обмотке

$$I_{2H} = \frac{S_H}{3U_{2H}},$$

$$I_{2H} = \frac{40}{3 \cdot 0,4} = 33,33 \text{ А}.$$

Коэффициент трансформации

$$k \approx \frac{U_{1H}}{U_{2H}} = \frac{10}{0,4} = 25$$

Падение напряжений в первичной обмотке при номинальной нагрузке:

$$\text{активное } \Delta U_{1a} = I_{1H} \cdot R_1 = 1,33 \cdot 62,6 = 83,26 \text{ В};$$

$$\text{реактивное } \Delta U_{1p} = I_{1H} \cdot X_1 = 1,33 \cdot 165,4 = 220 \text{ В}.$$

Приведенные значения падения напряжений во вторичной обмотке при номинальной нагрузке:

активное

$$\Delta U'_{2a} = I_{1H} \cdot R'_2 = 1,33 \cdot 62,6 = 83,26B;$$

реактивное

$$\Delta U'_{2p} = I_{1H} \cdot X'_2 = 1,33 \cdot 165,4 = 220B.$$

Угол потерь δ в магнитопроводе трансформатора (угол между магнитным потоком и током холостого хода)

$$\delta = \arctg\left(\frac{R_{12}}{X_{12}}\right),$$

$$\delta = \arctg\left(\frac{112437,4}{223091,6}\right) = \arctg 0,504 = 26,7^\circ.$$

ЭДС первичной обмотки:

$$E_1 = E'_2 = I_{10} \sqrt{R_{12}^2 + X_{12}^2},$$

$$E_1 = E'_2 = 0,04 \sqrt{112437,4^2 + 223091,6^2} = 9993B.$$

Номинальное сопротивление нагрузки

$$R'_H = \frac{U'_2}{I'_2} \approx \frac{U_1}{I_1} = \frac{10000}{1,33} = 7518,8 \text{ Ом}.$$

Угол сдвига фаз, на который вектор ЭДС вторичной обмотки E'_2 опережает вектор приведенного тока вторичной обмотки I'_{2H}

$$\psi_2 = \arctg \frac{X'_2}{R'_2 + R'_H} = \arctg \frac{165,4}{62,6 + 7518,8} = \arctg 0,0218 = 1,2^\circ.$$

Построение векторной диаграммы начинаем с вектора магнитного потока Φ_m , направляя его вправо по горизонтали. Перпендикулярно ему под углом 90° откладываем вектор ЭДС вторичной обмотки E'_2 . Для дальнейших построений откладываем вектор $-E'_1$. Под углом ψ_2 проводим вектор тока вторичной обмотки I'_{2H} который совпадает по направлению с напряжением вторичной

обмотки U_2 т.к. нагрузка активная. Вектор тока холостого хода откладываем под углом δ к вектору Φ_m .

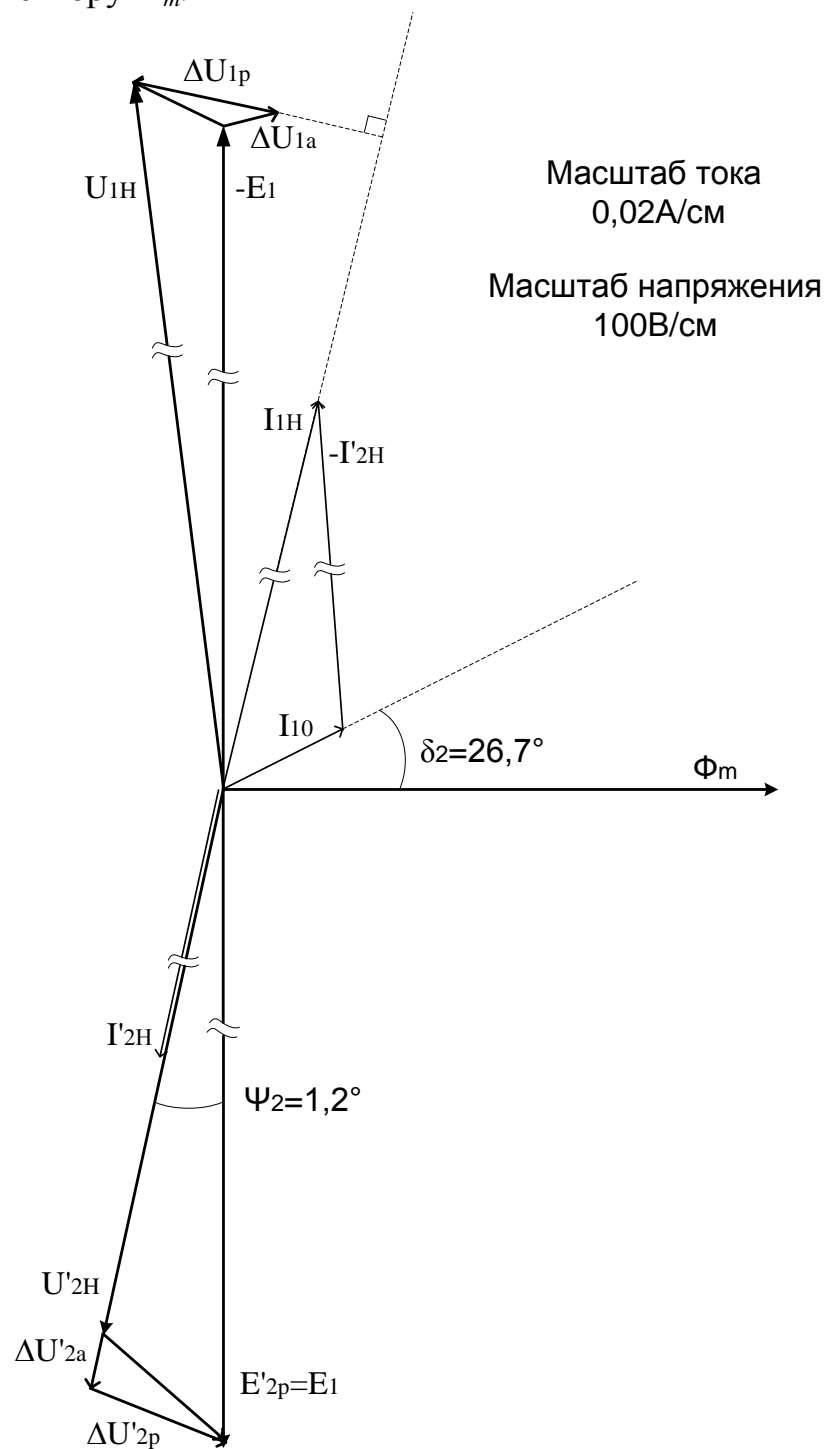


Рисунок 5 - Векторная диаграмма трансформатора

Используя соотношение для токов $I_1 = -I'_{2H} + I_{10}$, из конца вектора откладываем $-I'_{2H}$, вектор I_{1H} получаем как их сумму.

Согласно выражения $U'_2 = E'_2 - I'_{2H}R'_2 - jI'_{2H}X'_2 = E'_2 - \Delta U'_{2a} - \Delta U'_{2p}$ откладываем вектора падения напряжений $\Delta U'_{2a}$ (против направления тока I'_{2H}) и $\Delta U'_{2p}$ (перпендикулярно вектору I'_{2H}).

Вектор напряжения первичной обмотки строим исходя из соотношения $U_1 = -E_1 + I_1R_1 + jI_1X_1 = -E_1 + \Delta U_{1a} + \Delta U_{1p}$ как сумму векторов.

Построение внешней характеристики трансформатора

Внешние характеристики трансформатора являются прямыми линиями, их строим по двум точкам — точке холостого хода (коэффициент нагрузки $K_3 = 0$; $U_2 = U_{2H}$ и номинальной точке ($K_3 = 1$), для которой рассчитаем выходное напряжение.

Падение напряжения рассчитываем по формуле

$$\Delta U\% = K_3(U_K\% \cos \varphi_K \cos \varphi_2 + U_K\% \sin \varphi_K \sin \varphi_2),$$

где $K_3 = I_2/I_{2H}$ - коэффициент загрузки трансформатора,

$$\cos \varphi_K = \frac{R_K}{Z_K} = \frac{125,2}{353,4} = 0,35,$$

$$\sin \varphi_K = \frac{X_K}{Z_K} = \frac{330,8}{353,4} = 0,936.$$

Тогда абсолютное значение выходного напряжения

$$U_2 = \frac{1 - \Delta U\%}{100\%} U_{2H}$$

Результаты вычислений для трех случаев (по заданию) сведем в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты расчета внешних характеристик трансформатора

Характер нагрузки	$\cos \varphi_2$	$\sin \varphi_2$	$\Delta U\%$	U_2, B
Активная	1	0	1,645	393,42
Активно-индуктивная	0,8	0,6	3,96	384,16
Активно-емкостная	0,8	-0,6	-1,32	405,28

Внешние характеристики изображены на рисунке 6.

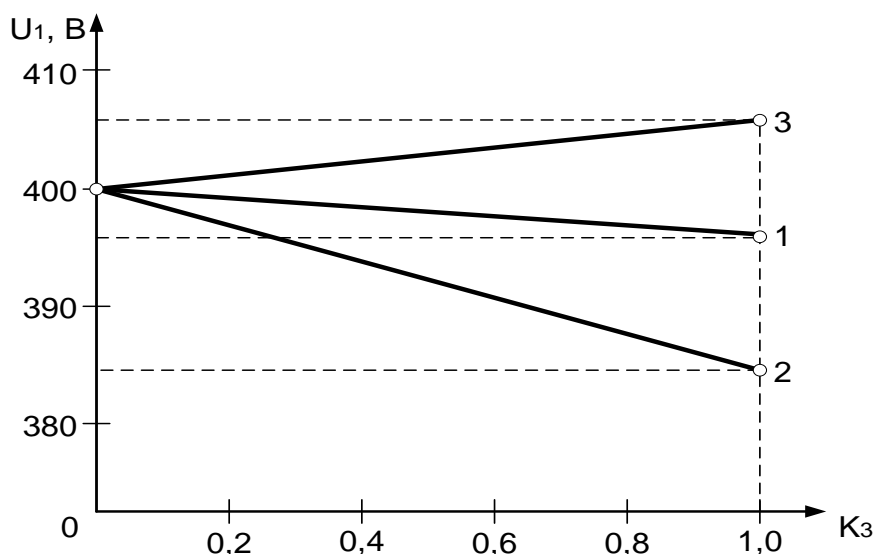


Рисунок 6. Внешние характеристики трансформатора:

1 – $\cos\varphi_2 = 1$ (активная нагрузка);

2 – $\cos\varphi_2 = 0,8$ (активно-индуктивная нагрузка);

3 – $\cos\varphi_2 = 0,8$ (активно-емкостная нагрузка).

Построение зависимости КПД трансформатора от нагрузки

КПД трансформатора определяем методом отдельных потерь по формуле:

$$\eta = \frac{K_3 S_H \cos \varphi_2}{K_3 S_H \cos \varphi_2 + P_0 + K_3^2 P_{K.H}}$$

$$P_{cm} = P_0 = 180 \text{ Вт.}$$

Рассчитаем значения КПД при различном коэффициенте нагрузки для случая активной и активно-реактивной $\cos\varphi_2 = 0,8$ нагрузки.

Результаты вычислений сведем в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты расчета зависимости КПД трансформатора от нагрузки

K	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	0,424
η_1	0	0,973	0,979	0,978	0,975	0,971	0,967	0,979
$\eta_{0,8}$	0	0,967	0,974	0,972	0,969	0,964	0,959	0,974

Графики зависимости КПД трансформатора от нагрузки изображены на рисунке 7.

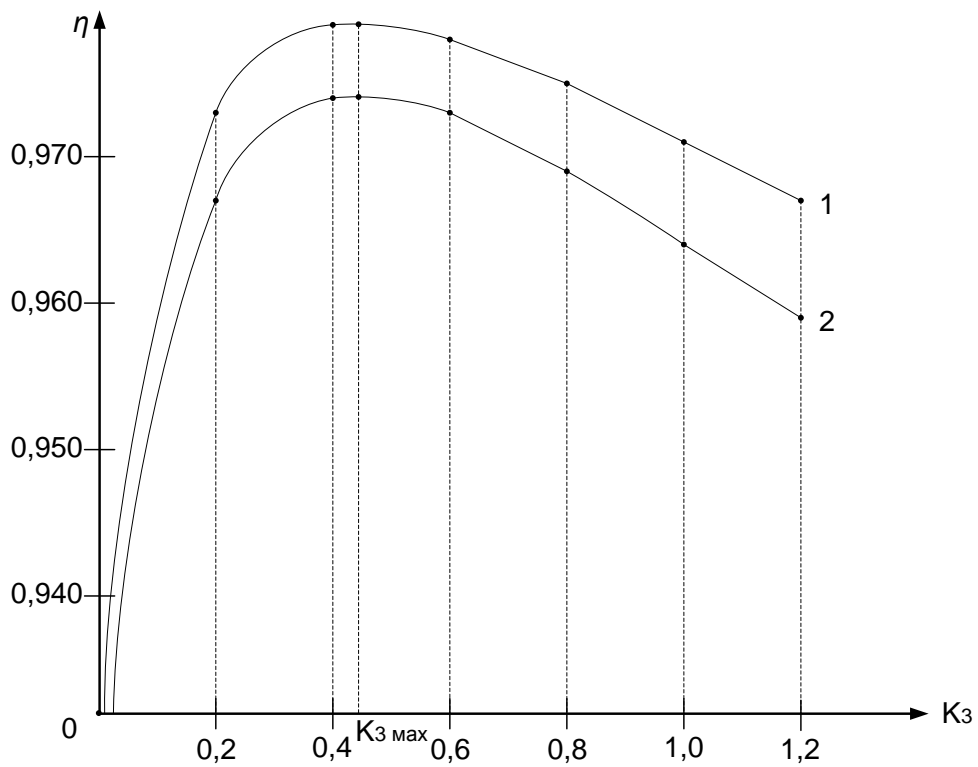


Рисунок 7 - Графики зависимости КПД трансформатора от нагрузки:
 1 - при $\cos\varphi_2 = 1$;
 2 - при $\cos\varphi_2 = 0,8$.

Максимум КПД трансформатора будет при:

$$K_{3\max} = \sqrt{\frac{P_{ct}}{P_{M.H}}} = \sqrt{\frac{180}{999}} = 0,424 .$$

Максимальные значения КПД внесены в таблицу 2 в последнем столбце.

3. Группы соединения и параллельная работа трансформаторов

Трехфазный двухобмоточный трехстержневой трансформатор включен в сеть с напряжением $U = U_{1н}$ при схеме соединения обмоток Y/Y_n . Величины, характеризующие номинальный режим работы трансформатора, приведены в таблице 3: полная мощность S_n ; первичное номинальное линейное напряжение $U_{1н}$, вторичное номинальное линейное напряжение $U_{2н}$; напряжение короткого замыкания u_k , мощность потерь короткого замыкания (при номинальном токе) $P_{кн}$. Кроме того, заданы значения тока холостого хода I_{10} (в % от номинального), мощность потерь холостого хода P_{10} и характер нагрузки $\cos\varphi_2$.

Таблица 3

Исходные данные к задаче

№ варианта	S_n кВА	$U_{1н}$, кВ	$U_{2н}$, кВ	u_k , %	I_{10} , %	P_{10} , Вт	$P_{кн}$, Вт	Схема соединения	Группа соединения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	25	10	0,4	4,5	3,2	125	690	Y/Y	0
2	40	10	0,4	4,7	3,0	180	1000	Y/Δ	1
3	63	10	0,4	4,7	2,8	265	1280	Δ/Δ	2
4	63	20	0,4	5,3	2,8	290	1280	Δ/Y	3
5	100	10	0,4	4,7	2,6	365	2270	Y/Y	4
6	100	35	0,4	6,5	2,6	465	2270	Y/Δ	5
7	160	10	0,4	6,5	2,4	540	3100	Δ/Δ	6
8	160	35	0,4	6,8	2,4	660	3100	Δ/Y	7
9	250	10	0,4	6,5	2,4	780	4200	Y/Y	8
10	250	35	0,4	6,8	2,3	960	4200	Y/Δ	9
11	400	10	0,4	4,5	2,1	1080	5500	Δ/Δ	10
12	400	35	0,4	6,5	2,1	1350	5500	Δ/Y	11
13	630	10	0,4	5,5	2,0	1880	7600	Y/Y	0
14	630	35	0,4	6,5	2,0	2000	8500	Y/Δ	1
15	63	20	0,4	5,0	4,4	390	1280	Δ/Δ	2
16	160	20	0,4	6,5	4,0	730	2540	Δ/Y	3
17	250	20	0,4	6,6	3,7	1050	3580	Y/Y	4
18	400	20	0,4	6,2	3,3	1530	5180	Y/Δ	5
19	630	20	0,4	6,4	3,2	2100	7340	Δ/Δ	6
20	1000	10	0,4	5,5	1,4	2450	12200	Δ/Y	7
21	1000	35	0,4	6,5	1,5	2750	12200	Y/Y	8
22	1600	10	0,4	5,5	1,3	3300	18000	Y/Δ	9
23	1600	35	0,4	6,5	1,4	3650	1800	Δ/Δ	10
24	2500	10	0,4	6,5	1,0	4600	23500	Δ/Y	11

Продолжение таблицы 3

№ варианта	SN кВА	U1н, кВ	U2н, кВ	ик, %	I10, %	P10, Вт	Rкн, Вт	Схема соединения	Группа соединения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	2500	36	0,4	6,5	1,1	5100	23500	Y/Y	0
26	25	10	0,4	4,0	3,0	120	680	Y/Δ	1
27	40	10	0,4	4,5	3,0	170	970	Δ/Δ	2
28	63	10	0,4	4,5	2,8	250	1150	Δ/Y	3
29	63	20	0,4	5,0	2,8	270	1150	Y/Y	4
30	100	10	0,4	4,5	2,5	350	2200	Y/Δ	5
31	100	35	0,4	6,5	2,5	450	2200	Δ/Δ	6
32	160	10	0,4	6,5	2,3	530	2900	Δ/Y	7
33	160	35	0,4	6,6	2,3	650	3000	Y/Y	8
34	250	10	0,4	6,5	2,3	750	3900	Y/Δ	9
35	250	35	0,4	6,8	2,3	950	3900	Δ/Δ	10
36	400	10	0,4	4,5	2,3	1050	6400	Δ/Y	11
37	400	10	0,4	6,5	2,1	1300	5400	Y/Y	0
38	630	10	0,4	5,5	2,0	1600	7500	Y/Δ	1
39	630	35	0,4	6,5	2,0	1900	8400	Δ/Δ	2
40	63	20	0,4	5,0	4,3	380	1250	Δ/Y	3
41	160	20	0,4	6,5	4,0	720	2500	Y/Y	4
42	250	20	0,4	6,5	3,6	950	3400	Y/Δ	5
43	400	20	0,4	6,1	3,4	1500	5000	Δ/Δ	6
44	630	20	0,4	6,3	3,1	2100	7300	Y/Y	8
45	1000	10	0,4	5,2	1,5	2450	12200	Y/Δ	9
46	1000	35	0,4	6,4	1,5	2700	12200	Δ/Δ	10
47	1600	10	0,4	5,5	1,3	3300	1900	Δ/Y	11
48	1600	35	0,4	6,5	1,4	3650	18000	Y/Y	0
49	2500	10	0,4	5,5	1,0	4600	23500	Y/Δ	1
50	2500	35	0,4	6,5	1,1	5100	23500	Δ/Δ	2

Содержание задания

1. Начертить электромагнитную схему трехфазного трансформатора для заданной схемы и группы соединения, определить номинальные токи трансформатора (линейные и фазные), фазное напряжение обмоток, коэффициент трансформации фазных напряжений и ток холостого хода в амперах.
2. Определить параметры схемы замещения трансформатора $R_1, X_1, R'_2, X'_2, R_{12}, X_{12}$.
3. Изобразить векторную диаграмму напряжений трансформатора для

заданных схемы соединения и группы соединения. (На диаграмме указать входные и выходные фазные и линейные напряжения)

4. Рассчитать токи (абсолютные значения и в процентах от номинального тока), протекающие по двум параллельно работающим трансформаторам с параметрами указанными в таблице, если у одного из них коэффициент трансформации на 5% меньше, чем по данным таблицы. Суммарная нагрузка трансформаторов равна удвоенной номинальной мощности.

5. Рассчитать токи (абсолютные значения и в процентах от номинального тока), протекающие по двум параллельно работающим трансформаторам с параметрами указанными в таблице, если у одного из них напряжение короткого замыкания u_k меньше на 0,5%, чем по данным таблицы. Суммарная нагрузка трансформаторов равна удвоенной номинальной мощности.

Методические указания к задаче

На схеме трансформатора указываются его обмотки, соединение обмоток, обозначения начал и концов обмоток в соответствии с заданной схемой и группой соединения. Например, для соединения Y/Δ - 3 схема приведена на рисунке 1.

Линейные токи находят по формуле

$$I_l = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_{1H}}$$

Фазные напряжения и токи обмоток находят с учетом схемы соединения обмоток. Для соединения звездой фазные напряжения меньше линейных в $\sqrt{3}$ раз, фазные и линейные токи совпадают, при соединении треугольником фазные токи меньше линейных в $\sqrt{3}$ раз, фазные и линейные напряжения совпадают.

На векторной диаграмме изображают вектора фазных и линейных напряжений для первичной и вторичной обмоток, с учетом схемы и группы соединения, указывается фазовый сдвиг между соответствующими входным и выходным линейными напряжениями (рисунок 1).

Для определения параметров схемы замещения трансформатора используют найденные фазные токи и напряжения (включая напряжение короткого замыкания и ток холостого хода). Находят сопротивления короткого замыкания трансформатора, используя формулы:

$$U_K = \frac{u_k}{100} U_{1H}; \quad I_{1H} = \frac{S_H}{U_{1H}}; \quad Z_K = \frac{U_K}{I_{1H}}; \quad R_K = \frac{P_{KH}}{I_{1H}^2}; \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$$

Считая трансформатор симметричным, можно найти сопротивления первичной и вторичной обмоток

$$X_1 = X_2' = \frac{X_K}{2}; \quad R_1 = R_2' = \frac{R_K}{2}$$

Действительные значения сопротивлений вторичной обмотки

$$X_2 = \frac{X_2'}{k^2}; \quad R_2 = \frac{R_2'}{k^2},$$

где $k = \frac{U_{1H}}{U_{2H}}$ - коэффициент трансформации.

Сопротивления контура намагничивания

$$Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_{10}}; \quad R_0 = \frac{P_0}{I_{10}^2}; \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2};$$

$$R_{10} = R_0 - R_1; \quad X_{10} = X_0 - X_1; \quad Z_{10} = \sqrt{R_{10}^2 + X_{10}^2}.$$

При параллельной работе трансформаторов с неравными коэффициентами трансформации, из-за неравенства ЭДС возникает уравнивающий ток, текущий только по обмоткам трансформатора, минуя нагрузку. Ток трансформатора с большим коэффициентом трансформации увеличивается на величину уравнивающего тока I_v , ток другого трансформатора уменьшается на ту же величину.

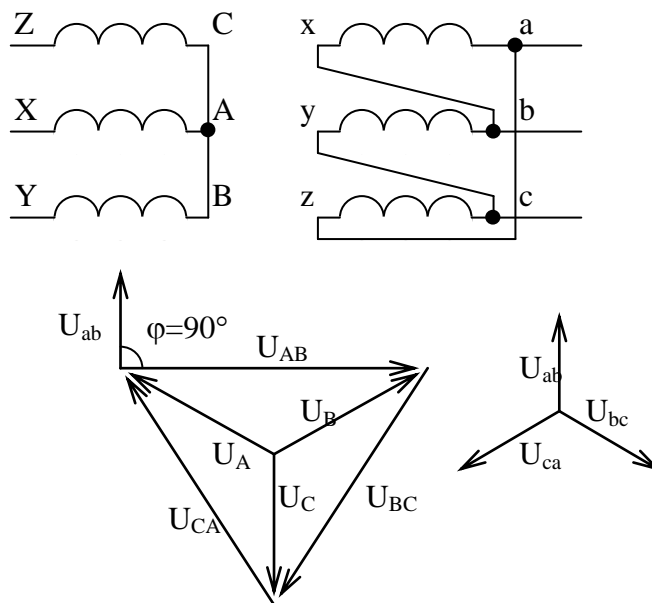


Рисунок 8 - Схема соединений и векторная диаграмма трехфазного трансформатора

Для определения уравнивающего тока находят средний коэффициент трансформации

$$k_{cp} = \sqrt{k_1 k_2},$$

где k_1, k_2 – коэффициенты трансформации параллельно работающих трансформаторов. Согласно условию задачи $k_1 = 1,05 k_2$.

Отклонение коэффициентов трансформации от среднего значения

$$\Delta k = \frac{k_1 - k_2}{k_{cp}}.$$

Уравнивающий ток

$$I_y \% = \frac{\Delta k}{2u_k \%} 100\%, \quad I_y = \frac{I_y \%}{100} I_n.$$

Токи трансформаторов

$$I_1 = I_n - I_y, \quad I_2 = I_n + I_y.$$

При параллельной работе трансформаторов с разными напряжениями короткого замыкания u_k , из-за неодинакового внутреннего сопротивления трансформаторов, их загрузка также отличается.

Отношение коэффициентов загрузки трансформаторов

$$\frac{k_{31}}{k_{32}} = \frac{u_{k2} \%}{u_{k1} \%}.$$

Зная, что $k_{31} + k_{32} = 2$, решив систему, находят k_{31} , k_{32} и токи трансформаторов

$$I_1 = I_n k_{31}, \quad I_2 = I_n k_{32}.$$

Пример определения токов при параллельной работе трансформаторов с неравными коэффициентами трансформации

При параллельной работе трансформаторов с разными напряжениями короткого замыкания $u_k\%$, из-за неодинакового внутреннего сопротивления трансформаторов, их загрузка также отличается.

Согласно условию задачи $u_{k1} \% = 4,7 \%$, $u_{k2} \% = 4,32\%$.

Отношение коэффициентов нагрузки трансформаторов определяется формулой

$$\frac{k_{31}}{k_{32}} = \frac{u_{\kappa 2} \%}{u_{\kappa 1} \%}$$

Зная, что $k_{31} + k_{32} = 2$, решим систему

$$\begin{cases} \frac{k_{31}}{k_{32}} = \frac{u_{\kappa 2} \%}{u_{\kappa 1} \%} \\ k_{31} + k_{32} = 2 \end{cases}$$

и находим, k_{31}

$$\begin{cases} \frac{k_{31}}{k_{32}} = \frac{4,7}{4,32} = 1,08 \\ k_{31} + k_{32} = 2 \end{cases} ,$$

$$\begin{cases} \frac{2 - k_{32}}{k_{32}} = 1,08 \\ k_{31} = 2 - k_{32} \end{cases} ,$$

$$\frac{2 - k_{32}}{k_{32}} - 1 = 1,08 ,$$

$$k_{32} = \frac{2}{2,08} = 0,96 ,$$

$$k_{31} = 2 - 0,96 = 1,04 .$$

Токи трансформаторов находим из допущения, что фазы уравнительного тока и тока нагрузки совпадают

$$I_1 = I_{2H} k_{31} = 33,33 \cdot 1,04 = 34,66 A ,$$

$$I_2 = I_{2H} k_{32} = 33,33 \cdot 0,96 = 31,997 A .$$

4. Расчет параметров асинхронного двигателя

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором имеет номинальные параметры согласно таблицы 4. Используя технические данные этого двигателя, определить:

1. Расшифровать обозначение двигателя;
2. Потребляемую из сети мощность P_1 ;
3. Суммарные потери мощности в двигателе $\sum P$;
4. Номинальное скольжение $s_{НОМ}$;
5. Номинальный $I_{НОМ}$ и пусковой $I_{ПУСК}$ токи;
6. Номинальный $M_{НОМ}$, пусковой $M_{ПУСК}$ и максимальный $M_{МАХ}$ моменты
7. Частоту тока в роторе f_2 при номинальном скольжении.

Таблица 4

Технические данные двигателей

Тип	Значение параметров								
	Р, кВт	номинальная частота вращения, об/мин.	КПД, %	cos,φ	$I_{П}/I_{Н}$	$M_{П}/M_{Н}$	$M_{max}/M_{Н}$	$M_{min}/M_{Н}$	масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АИР56А2	0,18	2730	65,0	0,78	5,0	2,2	2,2	1,8	3,5
АИР56В2	0,25	2700	66,0	0,79	5,0	2,2	2,2	1,8	3,8
АИР56А4	0,12	1350	58,0	0,66	5,0	2,2	2,2	1,8	3,6
АИР56В4	0,18	1350	60,0	0,68	5,0	2,2	2,2	1,8	4,2
АИР63А2	0,37	2730	72,0	0,84	5,0	2,2	2,2	1,8	5,2
АИР63В2	0,55	2730	75,0	0,81	5,0	2,2	2,2	1,8	6,1
АИР63А4	0,25	1320	65,0	0,67	5,0	2,2	2,2	1,8	5,1
АИР63В4	0,37	1320	68,0	0,70	5,0	2,2	2,2	1,8	6,0
АИР63А6	0,18	860	56,0	0,62	4,0	2,2	2,2	1,6	4,8
АИР63В6	0,25	860	59,0	0,62	4,0	2,2	2,2	1,6	5,6
АИР71А2	0,75	2820	79,0	0,80	6,0	2,6	2,7	1,6	8,7
АИР71В2	1,10	2800	79,5	0,80	6,0	2,2	2,4	1,6	9,5
АИР71А4	0,55	1360	71,0	0,71	5,0	2,3	2,4	1,8	8,1
АИР71В4	0,75	1350	72,0	0,75	5,0	2,5	2,6	2,4	9,4
АИР71А6	0,37	900	65,0	0,63	4,5	2,1	2,2	1,6	8,6
АИР71В6	0,55	920	69,0	0,68	4,5	1,9	2,2	1,6	9,9
АИР71 В8	0,25	680	58,0	0,60	4,0	1,6	1,9	1,4	9,9
АИР80А2	1,50	2880	82,0	0,85	6,5	2,2	2,6	1,8	12,4
АИР80В2	2,20	2860	83,0	0,87	6,4	2,1	2,6	1,8	15,0
АИР80А4	1,10	1420	76,5	0,77	5,0	2,2	2,4	1,7	11,9
АИР80В4	1,50	1410	78,5	0,80	5,3	2,2	2,4	1,7	13,8
АИР80А6	0,75	920	71,0	0,71	4,0	2,1	2,2	1,6	11,6

Продолжение таблицы 4

Тип	Значение параметров								
	Р, кВт	номинальная частота вращения, об/мин.	КПД, %	cos,φ	$I_{П}/I_{Н}$	$M_{П}/M_{Н}$	$M_{max}/M_{Н}$	$M_{min}/M_{Н}$	масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АИР80В6	1,10	920	75,0	0,71	4,5	2,2	2,3	1,8	15,3
АИР80В6	1,10	920	75,0	0,71	4,5	2,2	2,3	1,8	15,3
АИР80А8	0,37	680	58,0	0,59	3,5	2,0	2,3	1,4	12,8
АИР80 В8	0,55	680	58,0	0,60	3,5	2,0	2,1	1,4	14,8
АИР90L2	3,00	2860	83,5	0,88	7,0	2,3	2,6	1,7	19,0
АИР90 L4	2,20	1430	80,0	0,79	6,0	2,0	2,4	2,0	18,1
АИР90 L6	1,50	940	76,0	0,70	5,0	2,0	2,3	1,9	19,0
АИР90 LA8	0,75	700	70,0	0,71	4,0	1,5	2,0	1,5	17,7
АИР90 LB8	1,10	710	74,0	0,72	4,5	1,5	2,2	1,5	20,5
АИР100 S2	4,00	2850	87,0	0,88	7,5	2,0	2,4	1,6	26,0
АИР100 L2	5,50	2850	88,0	0,88	7,5	2,1	2,4	1,6	31,5
АИР100 S4	3,00	1410	82,0	0,82	7,0	2,0	2,2	1,6	23,0
АИР100 L4	4,00	1410	85,0	0,84	7,0	2,1	2,4	1,6	29,2
АИР100 L6	2,20	940	81,5	0,74	6,0	1,9	2,2	1,6	27,0
АИР100 L8	1,50	710	76,0	0,75	3,7	1,6	2,0	1,5	24,0
АИР112М2	7,50	2900	87,5	0,88	7,5	2,0	2,2	1,6	40,0
АИР112М4	5,50	1430	85,5	0,86	7,0	2,0	2,5	1,6	38,5
АИР112МА6	3,00	950	81,0	0,76	6,0	2,0	2,2	1,6	33,4
АИР112МВ6	4,00	950	82,0	0,81	6,0	2,0	2,2	1,6	38,8
АИР112МА8	2,20	700	76,5	0,71	6,0	1,8	2,2	1,4	33,4
АИР112МВ8	3,00	700	79,0	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4	39,0
АИР132М2	11,00	2910	87,5	0,88	7,5	1,6	2,2	1,2	60,4
АИР132S4	7,50	1440	86,0	0,83	7,5	2,0	2,5	1,6	53,5
АИР132М4	11,00	1450	87,5	0,79	7,5	2,4	2,9	2,2	66,3
АИР132S6	5,50	960	85,0	0,80	7,0	2,0	2,2	1,6	52,3
АИР132М6	7,50	950	85,0	0,79	7,0	2,0	2,2	1,6	64,5
АИР132S8	4,00	700	83,0	0,70	6,0	1,8	2,2	1,4	52,2
АИР132М8	5,50	700	83,0	0,74	6,0	1,8	2,2	1,4	62,2
АИР160S2	15,00	2920	90,5	0,89	7,0	2,1	3,0	2,0	95,7
АИР160М2	18,50	2920	91,0	0,89	7,0	2,2	3,0	2,0	96,9
АИР160S4	15,00	1460	89,5	0,86	6,5	2,3	2,7	2,0	97,1
АИР160М4	18,50	1460	90,0	0,86	6,5	2,3	2,7	2,0	103,9
АИР160S6	11,00	970	87,5	0,81	6,5	1,9	2,6	1,7	98,3
АИР160М6	15,00	970	88,0	0,84	6,5	2,0	2,6	1,7	113,9
АИР160S8	7,50	720	86,0	0,72	5,5	1,7	2,3	1,5	86,9

Тип	Значение параметров								
	Р, кВт	номинальная частота вращения, об/мин.	КПД, %	cos,φ	$I_{П}/I_{Н}$	$M_{П}/M_{Н}$	$M_{max}/M_{Н}$	$M_{min}/M_{Н}$	масса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АИР160М8	11,00	720	87,0	0,73	5,5	1,7	2,3	1,5	108,9
АИР180S2	22,00	2930	90,5	0,88	7,0	2,2	2,9	2,0	118,9
АИР180М2	30,00	2930	92,0	0,89	7,0	2,4	2,9	2,0	137,9
АИР180S4	22,00	1460	91,0	0,86	6,8	2,4	2,5	1,6	129,9
АИР180М4	30,00	1460	91,5	0,85	7,0	2,4	2,5	1,7	150,9
АИР180М6	18,50	980	89,5	0,86	6,5	2,0	2,7	1,7	138,9
АИР180М8	15,00	730	88,0	0,74	5,5	1,8	2,4	1,6	138,9

Методические указания по выполнению задачи

Обозначение типа двигателя расшифровывается так: А – асинхронный; 4 – номер серии; Х – алюминиевая оболочка и чугунные щиты (отсутствие буквы Х означает, что корпус полностью выполнен из чугуна); В – двигатель встроен в оборудование; Н – исполнение защищенное 1Р23; для закрытых двигателей исполнения 1Р44 буквы Н нет; Р – двигатель с повышенным пусковым моментом; С – сельскохозяйственного назначения; цифра после буквенного обозначения показывает высоту оси вращения в мм; буквы S, M, L после цифр дают установочные размеры по длине корпуса (S – самая короткая станина; M – промежуточная; L – самая длинная); цифра после установочного размера – число полюсов; У – климатическое исполнение (для умеренного климата); последняя цифра показывает категорию размещения (1 – для работы на открытом воздухе; 3 – для закрытых неотапливаемых помещений). В обозначении типов двухскоростных двигателей после установочного размера указывают через дробь оба числа полюсов, например, 4А18084/2У3: здесь 4 и 2 означают, что обмотки статора могут переключаться так, что в двигателе образуются 4 или 2 полюса.

ПРИМЕР: Расшифровать условное обозначение двигателя 4А100S2У3.

Это двигатель четвертой серии, асинхронный, корпус полностью чугунный (нет буквы Х), высота оси вращения 100 мм, размеры корпуса по длине – S (самая короткая станина), двухполюсный, для умеренного климата, третья категория размещения (для закрытых неотапливаемых помещений).

Задан трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа 4А100М2У3. Используя технические данные этого двигателя, определить:

- 1) скорость вращения ротора n_2 ;
- 2) потребляемую из сети мощность P_1 ;

- 3) суммарные потери мощности в двигателе $\sum P$;
- 4) номинальное скольжение $s_{НОМ}$;
- 5) номинальный $I_{НОМ}$ и пусковой $I_{пуск}$ токи;
- 6) номинальный $M_{НОМ}$, пусковой $M_{ПУСК}$ и максимальный $M_{МАХ}$ моменты
- 7) частоту тока в роторе f_2 .

Решение

1. Для данного типа двигателя определяем паспортные величины:

$n_2 = 2880$ об/мин — скорость вращения ротора;

$\cos \varphi_{НОМ} = 0,91$ - коэффициент мощности;

$\eta_{НОМ} = 0,87$ - КПД двигателя;

$I_{пуск} / I_{НОМ} = 7,5$ - кратность пускового тока;

$M_{пуск} / M_{НОМ} = 2,0$ - кратность пускового момента;

$M_{мах} / I_{НОМ} = 2,2$ - способность к перегрузке.

2. Мощность, потребляемая из сети,

$$P_1 = \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}} = \frac{5,5}{0,87} = 6,322 \text{ кВт} .$$

3. Суммарные потери мощности в двигателе

$$\sum P = P_1 - P_{НОМ} = 6,322 - 5,5 = 0,822 \text{ кВт}$$

4. Номинальное скольжение $s_{НОМ}$

Ближайшая к $n_2 = 2880$ об/мин из ряда синхронных частот вращения будет $n_1 = 3000$ об/мин, где n_1 - скорость вращения магнитного потока статора.

$$s_{НОМ} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0,04 \cdot 100\% = 4\%$$

5. Номинальный и пусковой токи определяем из формулы:

$$P_{НОМ} = \sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot I_{НОМ} \cdot \cos \varphi_{НОМ} \cdot \eta_{НОМ}$$

откуда

$$I_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{НОМ} \cdot \eta_{НОМ} \cdot \cos \varphi_{НОМ}} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,91 \cdot 0,87} = 10,57 \text{ А}$$

Так как из табл. 2 $I_{пуск} / I_{НОМ} = 7,5$, отсюда

$$I_{\text{ПУСК}} = 7,5 \cdot I_{\text{НОМ}} = 7,5 \cdot 10,57 = 79,275 = 79,3 \text{ A}$$

6. Номинальный момент, развиваемый двигателем,

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{НОМ}}}{\eta_{2\text{НОМ}}} = \frac{9550 \cdot 5,5}{2880} \approx 18,24 \text{ H} \cdot \text{м}$$

7. Пусковой и максимальный моменты: $M_{\text{п}} / M_{\text{н}} = 2,0$, отсюда

$$M_{\text{ПУСК}} = 2 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2 \cdot 18,24 = 36,48 \text{ H} \cdot \text{м}, M_{\text{ПУСК}} / M_{\text{НОМ}} = 2,2,$$

Отсюда

$$M_{\text{ПУСК}} = 2,2 \cdot M_{\text{НОМ}} = 2,2 \cdot 18,24 = 40,13 \text{ H} \cdot \text{м},$$

8. Частота тока в роторе при $f_1 = 50 \text{ Гц}$,

$$f_2 = f_1 \cdot s_{\text{НОМ}} = 50 \cdot 0,04 = 2 \text{ Гц}$$

5. Параметры синхронного генератора

Имеется трехфазный синхронный генератор мощностью S_H с напряжением на выходе U_{1H} (обмотка статора соединена «звездой») при частоте тока 50 Гц и частоте вращения n_1 . КПД генератора при номинальной нагрузке η_H (таблица 5). Генератор работает на нагрузку с $\cos\varphi_H = 0.9$. Требуется определить активную мощность генератора при номинальной нагрузке P_H , ток в обмотке статора I_{1H} , мощность первичного двигателя P_1 и вращающий момент M_1 при непосредственном механическом соединении валов генератора и двигателя.

Таблица 5

Величины	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_H, \text{кВА}$	330	400	270	470	230	600	780	450	700	500
$U_{1H}, \text{кВ}$	6.3	3.2	0.4	6.3	0.7	3.2	6.3	0.4	6.3	3.2
$\eta_H, \%$	92	92	90	91	90	93	93	91	93	92
$n_1, \text{мин}^{-1}$	1000	750	600	1000	600	500	1000	500	1000	600

Методические указания по решению задачи

Трехфазный синхронный генератор мощностью $S_H = 330$ кВА, напряжением $U_H = 6.3$ кВ при частоте тока $f = 50$ Гц и частоте вращения $n = 1000$ мин⁻¹ имеет коэффициент полезного действия $\eta_H = 92\%$. Генератор работает в номинальном режиме с коэффициентом мощности $\cos\varphi_H = 0.9$. Схема соединения обмотки статора – «звезда». Определить: активную мощность генератора P_H , ток обмотки статора I_H , мощность приводного механизма P_1 , вращающий момент M_1 при непосредственном соединении валов генератора и приводного механизма.

Решение

Активная мощность генератора, кВт:

$$P_H = S_H \cos\varphi_H = 330 \cdot 0.9 = 297$$

Ток обмотки статора, А:

$$I_H = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_H} = \frac{330}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 3.3$$

Мощность приводного механизма, кВт:

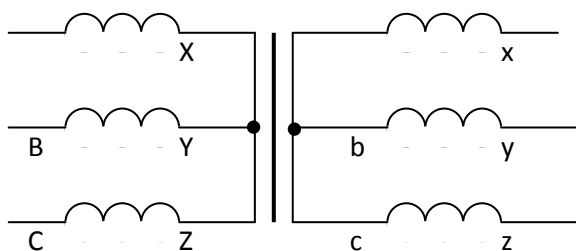
$$P_1 = \frac{P_H}{\eta_H} = \frac{297}{0.92} = 323$$

Вращающий момент, Нм:

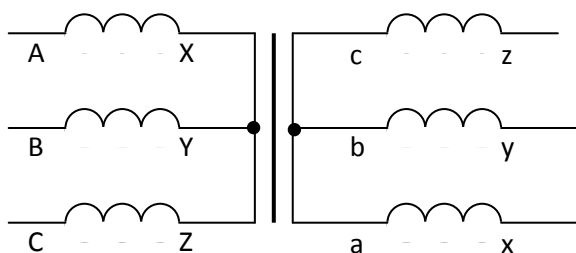
$$M_1 = \frac{P_1}{2\pi n} = \frac{323 \cdot 10^3}{2\pi(1000/60)} = 3084$$

6. Задачи для самостоятельного решения

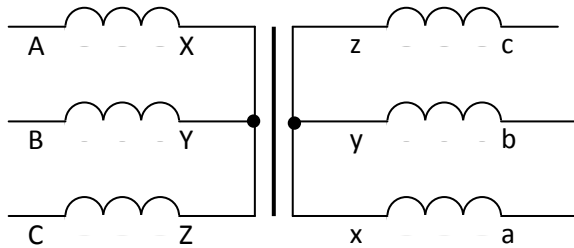
1. Каковы номинальные потери в обмотках трансформатора с $S_n=10$ кВА, $R_1=0,1$ Ом, $X_1=0,3$ Ом, $U_{1н}=10$ кВ?
2. В каких пределах можно изменять выходное напряжение автотрансформатора имеющего обмотку одинакового сечения, чтобы общая часть обмотки не перегружалась при $U_1=220$ В?
3. Каково должно быть сечение последовательной обмотки автотрансформатора при с $S_n=1$ кВА, $U_1=220$ В, $U_2=55$ В, допустимой плотности тока $\rho=2$ А/мм²?
4. Каково должно быть сечение общей обмотки автотрансформатора при с $S_n=1$ кВА, $U_1=220$ В, $U_2=55$ В, допустимой плотности тока $\rho=2$ А/мм²?
5. Рассчитайте число витков обмоток трехобмоточного трансформатора и их сечение при $S_n=1$ кВА, $U_1=220$ В, $U_2=55$ В, $U_3=110$ В, напряжение одного витка $u_1=0,8$ В, допустимая плотность тока $\rho=2$ А/мм², мощности обмоток низшего напряжения составляют половину мощности трансформатора.
6. Изобразите схему включения и найдите числа витков обмоток вольт добавочного трансформатора для увеличения напряжения с 220 до 235 В. напряжение одного витка 0,7 В.
7. Изобразите векторную диаграмму напряжений и определите группу соединения трансформатора.



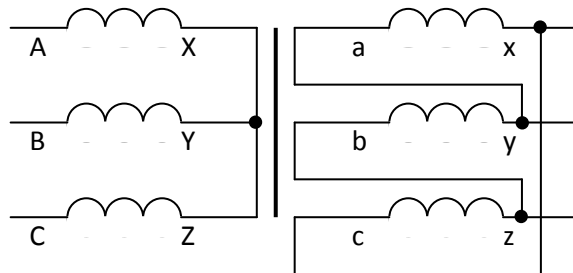
8. Изобразите векторную диаграмму напряжений и определите группу соединения трансформатора.



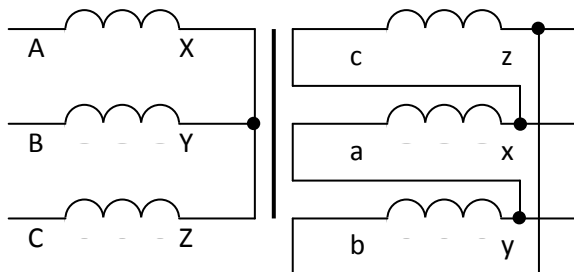
9. Изобразите векторную диаграмму напряжений и определите группу соединения трансформатора.



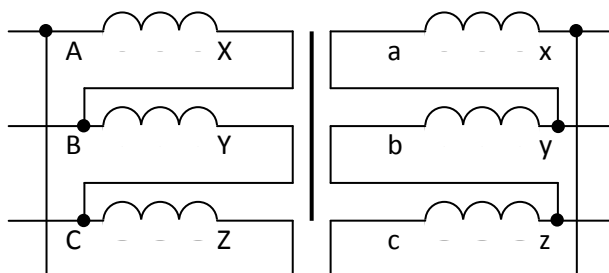
10. Изобразите векторную диаграмму напряжений и определите группу соединения трансформатора.



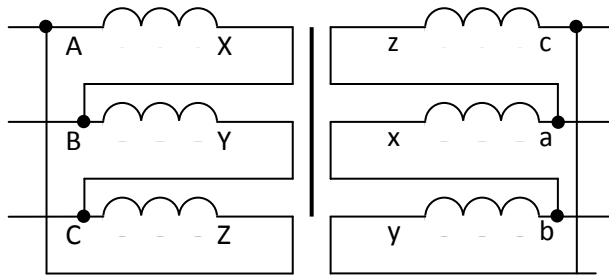
11. Изобразите векторную диаграмму напряжений и определите группу соединения трансформатора.



12. Изобразите векторную диаграмму напряжений и определите группу соединения трансформатора.



13. Изобразите векторную диаграмму напряжений и определите группу соединения трансформатора.



14. Каковы будут номинальные линейные токи и напряжения (входные и выходные) трехфазного трансформатора с параметрами: $S_n=0,44$ кВА, $U_{1\phi}=220$ В, $k=2,2$ при соединении обмоток Y/Δ ?

15. Каковы будут номинальные линейные токи и напряжения (входные и выходные) трехфазного трансформатора с параметрами: $S_n=0,44$ кВА, $U_{1\phi}=220$ В, $k=2,2$ при соединении обмоток Y/Y ?

16. Каковы будут номинальные линейные токи и напряжения (входные и выходные) трехфазного трансформатора с параметрами: $S_n=0,44$ кВА, $U_{1\phi}=220$ В, $k=2,2$ при соединении обмоток Δ/Δ ?

17. Каковы будут номинальные линейные токи и напряжения (входные и выходные) трехфазного трансформатора с параметрами: $S_n=0,44$ кВА, $U_{1\phi}=220$ В, $k=2,2$ при соединении обмоток Δ/Y ?

18. В трансформаторе с номинальным входным напряжением 220 В, номинальной мощностью 440 Вт коэффициентом трансформации 2,2 опыт короткого замыкания показал $R_k=20$ Вт, $U_k=15$ В. Найдите активное и реактивное сопротивления короткого замыкания и выходное напряжение трансформатора при номинальной нагрузке.

19. Для трансформатора с $S_n=880$ Вт, $U_{1н}=220$ В, $U_{2н}=110$ В найдите числа витков и сечения первичной и вторичной обмоток, если напряжение одного витка 1 В, и плотность тока в обмотках 2 А/мм².

20. Определить значения момента и частоты вращения в характерных точках характеристики асинхронного двигателя (пусковой, критической номинальной, синхронной) и построить по этим точкам механическую характеристику.

Двигатель: 4А100S4У3

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$\cos\varphi$	μ_k	$\mu_{п}$	K_I
3	220	1420	82	0,83	2,2	2	6,5

22. Определить частоты вращения и моменты в номинальной точке и точке идеального холостого хода и построить по ним механическую характеристику двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

Двигатель: 2ПН100ЛУХЛ4

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$R_{я}$, Ом	$R_{об}$, Ом
2,2	220	3150	81	0,52	0,51

23. Найти пусковой ток и пусковой момент двигателя постоянного тока, величину добавочного сопротивления для снижения пускового тока в 2 раза.

Двигатель: 2ПН90МУХЛ4

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$R_{я}$, Ом	$R_{д}$, Ом
1	220	3000	72,5	2,52	1,47

24. Построить естественную механическую характеристику двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

Двигатель: 2ПН90ЛУХЛ4

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$R_{я}$, Ом	$R_{д}$, Ом
1,3	220	3150	78	1,3	0,932

25. Найти частоту вращения двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при номинальном моменте и пониженном на 20% магнитном потоке.

Двигатель: 2ПБ90МУХЛ4

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$R_{я}$, Ом	$R_{д}$, Ом
0,55	220	3000	71	3,99	2,55

26. Найти частоту вращения двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при номинальном моменте и введенном в цепь якоря реостате $R_{д}=2R_{я}$.

Двигатель: 2ПБ90ЛУХЛ4

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$R_{я}$, Ом	$R_{д}$, Ом
0,75	220	3150	77	2,28	1,609

27. Найти частоту идеального холостого хода двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при сниженном на 20% от номинального магнитном потоке.

Двигатель: 2ПН100МУХЛ4

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	R_y , Ом	R_d , Ом
2	220	3000	79	0,805	0,57

28. Найти скорость вращения асинхронного двигателя с фазным ротором при номинальном моменте на валу и добавочном сопротивлении в цепи ротора $R_d=3R_y$.

Двигатель: 4AK160S4Y3

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	s_n , %	η_n , %	$\cos\varphi$	n_1 , мин ⁻¹	μ_k	K_I	I_{2n}	E_{2k}
7,5	220	5	82,5	0,77	1000	3,5		18	300

29. При каком добавочном сопротивлении в цепи ротора асинхронный двигатель с фазным ротором при номинальной нагрузке на валу не будет вращаться.

Двигатель: 4AK160S4Y3

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$\cos\varphi$	μ_k	μ_p	K_I	I_{2n}	E_{2k}
11	220	1425	86,5	0,86	3			22	305

30. При каком добавочном сопротивлении в цепи ротора в асинхронном двигателе с фазным ротором критическое скольжение возрастет до 1.

Двигатель: 4AK160M6Y3

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	s_n , %	η_n , %	$\cos\varphi$	n_1 , мин ⁻¹	μ_k	K_I	I_{2n}	E_{2k}
10	220	4,5	84,5	0,76	1000	3,8		20	310

31. При каком снижении напряжения питания пусковой момент асинхронного двигателя упадет до номинального.

Двигатель: 4A90L2Y3

Его паспортные данные:

P_n , кВт	U_n , В	n_n , мин ⁻¹	η_n , %	$\cos\varphi$	μ_k	μ_p	K_I
2	220	2838	79				

32. Какова станет перегрузочная способность асинхронного двигателя при снижении напряжения питания на 20%?

Двигатель: 4A100S4Y3

Его паспортные данные:

P_H , кВт	U_H , В	n_H , мин ⁻¹	η_H , %	$\cos\varphi$	μ_k	μ_{II}	K_I
3	220	1420	82	0,83	2,2	2	6,5

33. В опыте холостого хода асинхронного двигателя получено: $I_0=9$ А, $\cos\varphi_0=0,15$. В опыте короткого замыкания получили $U_k=100$ В, $\cos\varphi_k=0,9$. Номинальное фазное напряжение двигателя 220 В, номинальный фазный ток 12 А. Найдите сопротивления по схеме замещения двигателя.

34. Два генератора постоянного тока работают параллельно на общую нагрузку. Ток нагрузки 10 А. Напряжение нагрузки 220 В, сопротивления якоря машин 1 и 1,5 Ом. Определите токи генераторов.

35. Полное синхронное сопротивление синхронного генератора 5 Ом. ЭДС генератора 230 В. Активное сопротивление нагрузки 10 Ом, индуктивное сопротивление нагрузки 5 Ом. Найдите выходное напряжение генератора.

Список использованных источников

1. Епифанов А.П. Электрические машины: учеб. для вузов СПб.: Лань, 2006.
2. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины: учеб. пособие для вузов. М.: Академия, 2006.
3. Кацман М.М. Электрические машины: учеб. для СПО М.: Высш. шк., 2002.
4. Сукманов В.И. Электрические машины и аппараты: учеб. для вузов. М.: Колос, 2001.
5. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: лабораторные работы на ПК. СПб.: Корона- Принт, 2003.
6. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. В 2 т. Т. 1: учеб. для вузов М.: МЭИ, 2006.
7. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. В 2 т. Т. 2: учеб. для вузов М.: МЭИ, 2006.
8. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: учеб. для вузов СПб.: Питер, 2007.

Учебное издание

Безик Валерий Александрович
Никитин Антон Михайлович

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Методические указания по выполнению практических работ
для студентов направлений подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,
15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств,
35.03.06 Агроинженерия

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 15.11.2018 г. Формат 60x84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Усл. п. л. 2,26. Тираж 25 экз. Изд. № 6245.

Издательство Брянского государственного аграрного университета
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ