

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 14.11.2022 14:44:40

Уникальный идентификатор:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



РАСЧЕТ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Задания и методические рекомендации по выполнению расчётной
работы по дисциплине «Электротехника и электроника» для
студентов технических направлений подготовки и специальностей

Курск 2016

УДК 621.38

Составители: А.С. Романченко, А.Л. Овчинников, О.В. Лобова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *В.Н. Алябьев*

Расчет цепи постоянного тока : задания и методические рекомендации по выполнению расчетной работы по дисциплине «Электротехника и электроника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.С. Романченко, А.Л. Овчинников, О.В. Лобова. - Курск, 2016. 11 с.: ил. 6. Библиогр.: с. 11.

Излагаются задания и методические рекомендации по выполнению расчетной работы. Рассматриваются методы расчета электрической цепи на примере цепи постоянного тока: метод непосредственного использования законов Кирхгофа, метод контурных токов, метод эквивалентного генератора, метод двух узлов. Показана проверка результатов расчетов с помощью составления баланса мощностей и построения потенциальной диаграммы.

Предназначены для индивидуальной самостоятельной работы студентов технических направлений подготовки и специальностей при изучении дисциплины «Электротехника и электроника» (раздел – Электротехника). Могут быть использованы преподавателями, ведущими практические занятия по электро-технике.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л.

Уч.-изд.л.

Тираж 30 экз. Заказ

Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчётная работа является одним из видов самостоятельной работы студентов. Данная работа выполняется в домашних условиях в соответствии с рабочей программой дисциплины «Электротехника и электроника» и служит развитию необходимым специалисту навыков практического использования основных методов расчета электрических цепей (на примере цепи постоянного тока) при заданных параметрах их элементов, а также для стимулирования более глубокого и систематического изучения соответствующих разделов дисциплины «Электротехника и электроника» в течение семестра.

Основные цели данной работы:

- 1) научиться составлять уравнения по законам Кирхгофа, которые описывают данную электрическую цепь;
- 2) научиться рассчитывать сложную электрическую цепь:
 - методом контурных токов;
 - методом эквивалентного генератора;
 - методом двух узлов;
- 3) научиться производить эквивалентные преобразования в электрической цепи;
- 4) научиться строить потенциальную диаграмму цепи.

Выполнение расчетной работы также способствует изучению стандартных методов оформления текстовой и графической расчетно-конструкторской документации.

Приступая к выполнению расчетной работы, следует повторить или изучить самостоятельно основные положения раздела «Линейные электрические цепи постоянного тока» дисциплины «Электротехника и электроника».

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

2.1. Для заданной согласно своему варианту электрической схемы составить систему уравнений по законам Кирхгофа, достаточную для определения токов ветвей. Полученную систему уравнений не решать.

2.2. Рассчитать токи во всех ветвях заданной электрической схемы методом контурных токов. Правильность расчетов проверить составлением баланса мощностей.

2.3. Рассчитать ток в ветви cd методов эквивалентного генератора. При этом ЭДС эквивалентного генератора определить, используя метод двух узлов.

2.4. Построить потенциальную диаграмму для контура $abcd$.

2.5. Примечания:

1) Первая цифра в трехзначном номере варианта, заданного преподавателем, соответствует порядковому номеру строки в таблице 2.1, вторая цифра – порядковому номеру строки в таблице 2.2, третья цифра – номеру схемы на рис. 2.1.

2) Баланс мощностей должен сойтись с погрешностью менее 1%.

Таблица 2.1

№ п/п	E_1	E_2
	В	В
1	12	16
2	18	20
3	19	13
4	19	16
5	19	14
6	12	20
7	18	17
8	14	18
9	16	14
0	18	16

Таблица 2.2

№ п/п	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	6	7	8	6	8	5
2	6	8	10	5	9	7
3	7	8	9	10	5	7
4	7	9	6	10	8	6
5	6	7	10	5	3	2
6	6	8	9	5	7	9
7	7	8	6	9	5	10
8	8	9	10	7	5	6
9	6	7	9	8	10	6
0	6	9	10	5	7	8

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

3.1. Выполненная расчетная работа должна содержать титульный лист и расчетно-пояснительную записку, в которую входят:

1) задание на выполнение работы, содержащее номер варианта, исходные данные к расчету и перечень пунктов, которые необходимо выполнить (оформляется на первой странице записки);

2) исходная расчетная схема цепи постоянного тока;

3) расчеты, потенциальная диаграмма, предусмотренные заданием. Рекомендованное оформление расчетов: *рассчитываемая величина = формула с буквенными обозначениями = формула с подставленными числовыми значениями = результат расчета с сокращенным обозначением единицы измерения.*

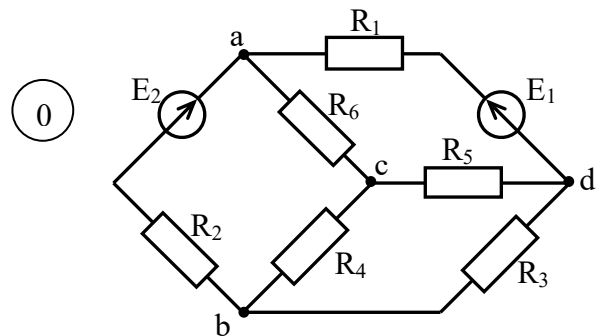
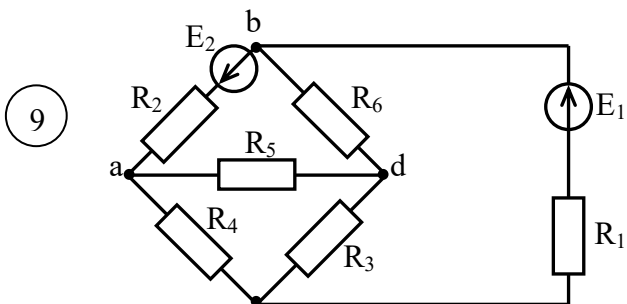
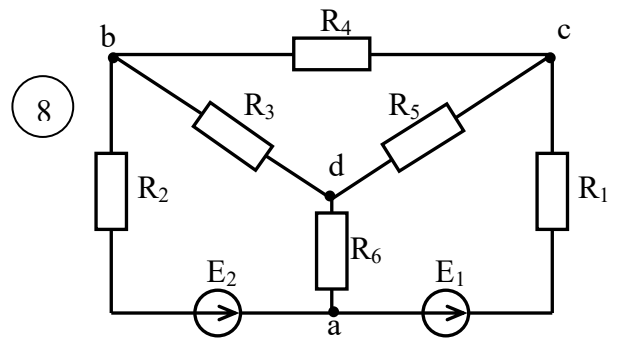
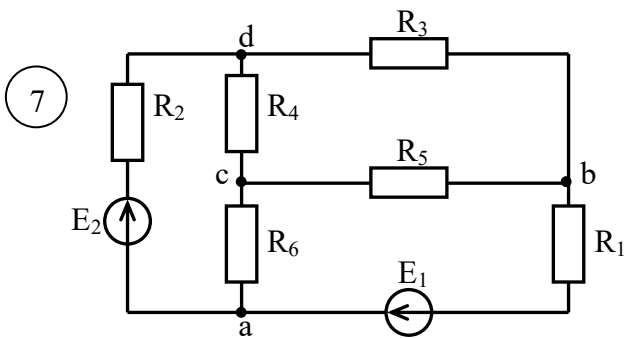
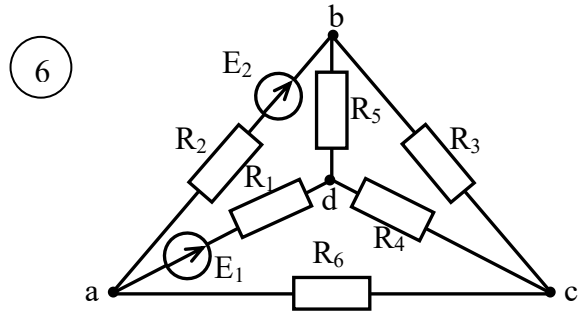
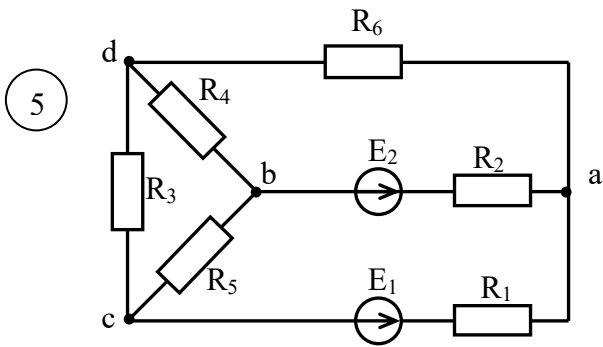
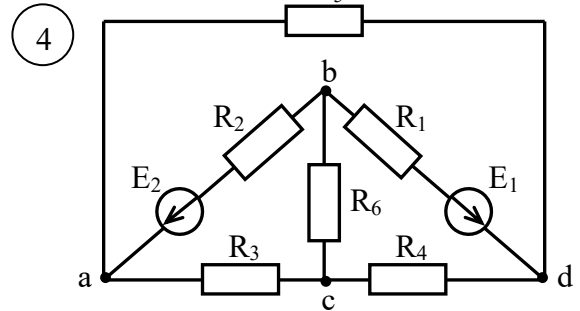
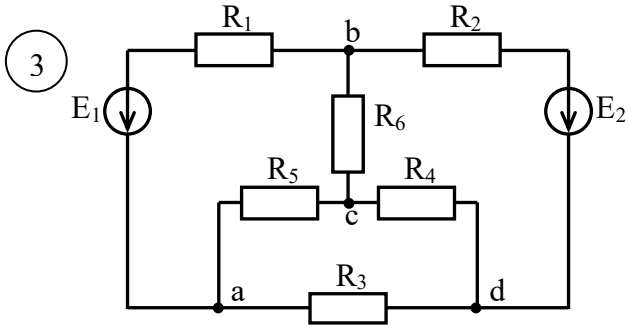
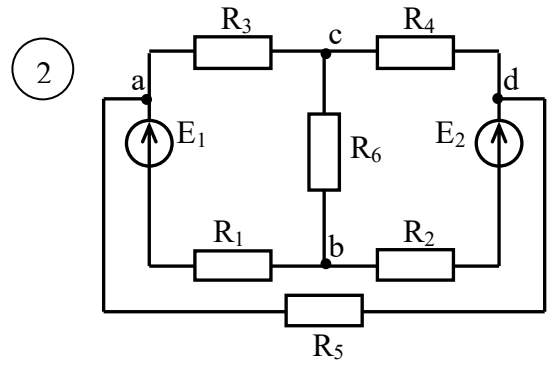
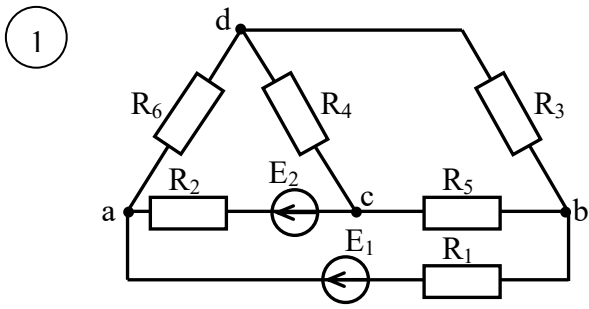


Рис. 2.1. Расчетные схемы

Промежуточные этапы расчета для сложных формул можно не приводить. Расчет должен сопровождаться пояснительным текстом и при необходимости ссылками на использованную литературу;

4) список использованной литературы на последней странице.

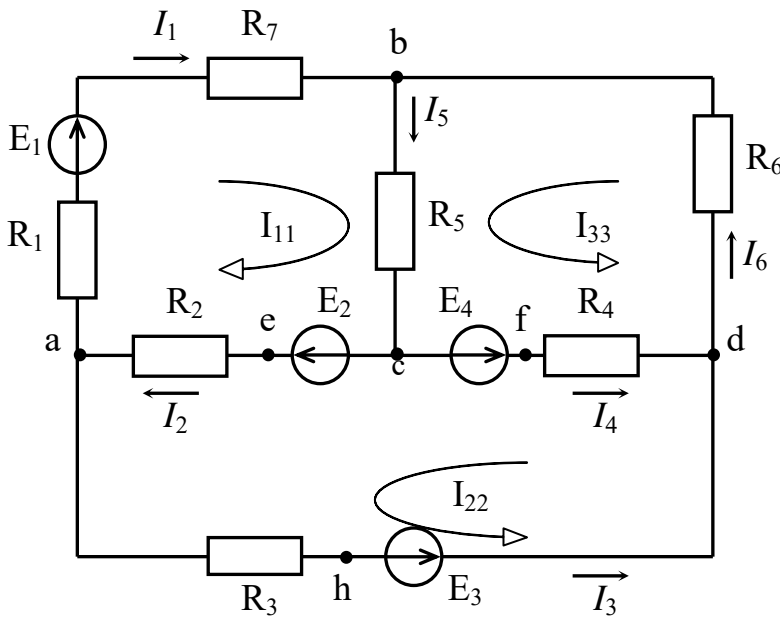
Расчетно-пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (210x297 мм.) с учетом требований ЕСКД. Листы записки должны быть скреплены. Образец выполнения титульного листа показан на рис. 3.1.

Все элементы электрической схемы следует изображать в соответствии с государственными стандартами, используя чертежные инструменты.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»	
Кафедра электроснабжения	
РАСЧЁТНАЯ РАБОТА по дисциплине «Электротехника и электроника» «Расчет цепи постоянного тока»	
Выполнил: студент группы ВМ-41б	В.Н. Иванов
Принял: доцент	И.С. Петров
Курск - 2016	

Рис. 3.1. Пример оформления титульного листа

3.2. Рассмотрим в качестве примера расчет схемы, представленной на рис. 3.2, для которой задано:



$$E_1 = E_2 = E_3 = 4 \text{ В}, E_4 = 8 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 2 \text{ Ом}$$

Рис. 3.2. Пример расчетной схемы постоянного тока

3.2.1. Запишем для схемы на рис. 3.2 уравнения по законам Кирхгофа, необходимые для определения всех токов.

Количество уравнений, записываемых по первому закону Кирхгофа, должно быть на единицу меньше, чем число узлов схемы, т.е. для схемы на рис. 3.2 должно быть три уравнения, например, для узлов a, b, c:

$$I_2 - I_1 - I_3 = 0,$$

$$I_1 + I_6 - I_5 = 0,$$

$$I_5 - I_2 - I_4 = 0.$$

Так как в цепи на рис. 3.2 шесть ветвей и шесть токов, то остальные три уравнения записываем по второму закону Кирхгофа:

$$I_1(R_1 + R_7) + I_5R_5 + I_2R_2 = E_1 + E_2,$$

$$I_2R_2 + I_3R_3 - I_4R_4 = E_2 + E_3 - E_4,$$

$$I_5R_5 + I_4R_4 + I_6R_6 = E_4.$$

3.2.2. Рассчитаем схему на рис. 3.2 методом контурных токов:

$$\left. \begin{aligned} I_{11}(R_1 + R_2 + R_5 + R_7) + I_{22}R_2 + I_{33}R_5 &= E_1 + E_2 \\ I_{22}(R_2 + R_3 + R_4) + I_{11}R_2 - I_{33}R_4 &= E_2 + E_3 - E_4 \\ I_{33}(R_4 + R_5 + R_6) + I_{11}R_5 - I_{22}R_4 &= E_4 \end{aligned} \right\}$$

Подставляем исходные данные:

$$\left. \begin{aligned} 8I_{11} + 2I_{22} + 2I_{33} &= 8 \\ 2I_{11} + 6I_{22} - 2I_{33} &= 0 \\ 2I_{11} - 2I_{22} + 6I_{33} &= 8 \end{aligned} \right\}$$

Результаты расчета:

$$I_{11} = 0,667 \text{ A,}$$

$$I_{22} = 0,167 \text{ A,}$$

$$I_{33} = 1,167 \text{ A.}$$

Токи ветвей определяем через контурные токи (из схемы на рис. 3.2):

$$I_1 = I_{11} = 0,667 \text{ A,}$$

$$I_2 = I_{11} + I_{22} = 0,834 \text{ A,}$$

$$I_3 = I_{22} = 0,167 \text{ A,}$$

$$I_4 = I_{33} - I_{22} = 1 \text{ A,}$$

$$I_5 = I_{11} + I_{33} = 1,834 \text{ A,}$$

$$I_6 = I_{33} = 1,167 \text{ A.}$$

Результаты расчета проверим составлением баланса мощностей:

– мощность источников:

$$P_u = I_1 E_1 + I_2 E_2 + I_3 E_3 + I_4 E_4 = 14,672 \text{ (Вт);}$$

– мощность нагрузки:

$$P_n = I_1^2 (R_1 + R_7) + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 = 14,677 \text{ (Вт).}$$

$P_u \approx P_n$, т.е. баланс сошелся.

3.2.3. Определим ток в ветви bd (ток I_6) методом эквивалентного генератора. Для этого исходную схему на рис. 3.2 сводим к схеме, представленной на рис. 3.3, где в качестве активного двухполюсника A рассматривается исходная схема в режиме холостого хода, т.е. без ветви bd (рис. 3.4).

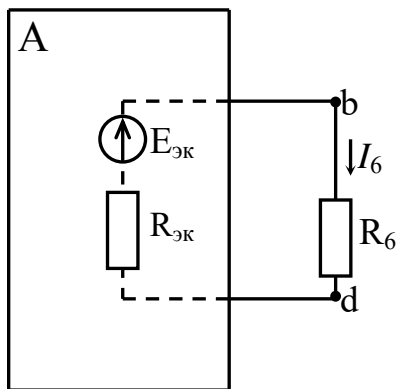


Рис. 3.3.

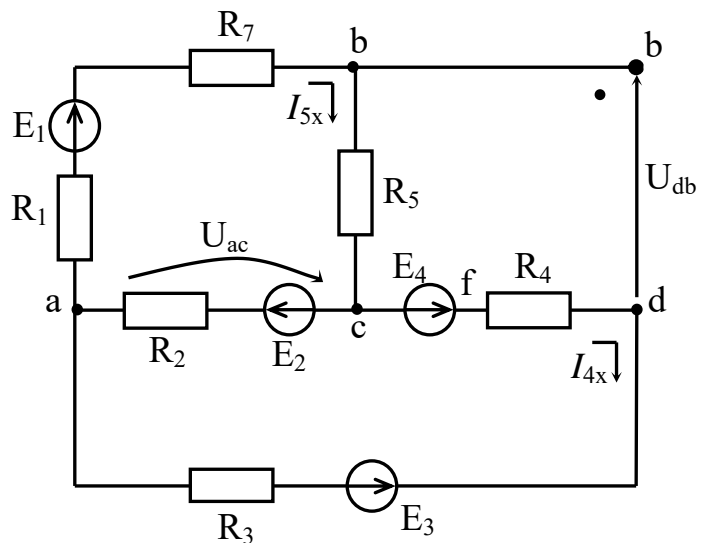


Рис. 3.4. Схема для определения $E_{эк}$

Из схемы на рис. 3.3 ток I_6 можно определить по закону Ома для замкнутой цепи:

$$I_6 = \frac{E_{\text{эк}}}{R_6 + R_{\text{эк}}},$$

но для этого нужно найти $E_{\text{эк}}$ и $R_{\text{эк}}$.

ЭДС эквивалентного генератора $E_{\text{эк}}$ найдем как U_{db} на схеме на рис. 3.4, т.е. в режиме холостого хода исходной схемы на рис. 3.2. Для этого найдем токи I_{4x} , I_{5x} методом двух узлов для схемы на рис. 3.4:

$$U_{ac} = \frac{\frac{E_2}{R_2} + \frac{E_4 - E_3}{R_3 + R_4} + \frac{E_1}{R_1 + R_7 + R_5}}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3 + R_4} + \frac{1}{R_1 + R_7 + R_5}} = 2,545(\text{В}),$$

$$I_{5x} = \frac{E_1 + U_{ac}}{R_7 + R_5 + R_1} = 1,091(\text{А}),$$

$$I_{4x} = \frac{E_4 - E_3 - U_{ac}}{R_3 + R_4} = 0,364(\text{А}).$$

Напряжение U_{db} определим из контура bcd :

$$I_{5x}R_5 + I_{4x}R_4 + U_{db} = E_4,$$

откуда:

$$E_{\text{эк}} = U_{db} = E_4 - I_{5x}R_5 - I_{4x}R_4 = 5,09(\text{В}).$$

Внутреннее сопротивление эквивалентного генератора $R_{\text{эк}}$ находим как внутреннее сопротивление схемы на рис. 3.4. Для этого преобразуем треугольник сопротивлений $R_1R_2R_5R_7$ в звезду сопротивлений $R_aR_bR_c$, как это показано на рис. 3.5, после чего найдем $R_{\text{эк}}$:

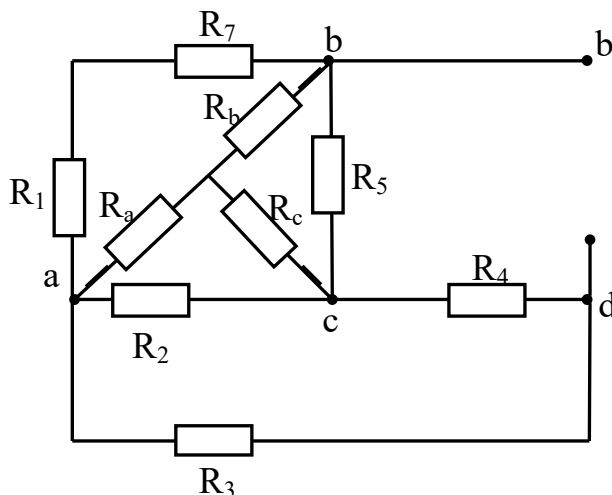


Рис. 3.5. Схема для определения $R_{\text{эк}}$

$$R_a = \frac{(R_1 + R_7)R_2}{(R_1 + R_7) + R_2 + R_5} = 1(Ом);$$

$$R_b = \frac{(R_1 + R_7)R_5}{(R_1 + R_7) + R_2 + R_5} = 1(Ом);$$

$$R_c = \frac{R_2R_5}{(R_1 + R_7) + R_2 + R_5} = 0,5(Ом);$$

$$R_{эк} = \frac{(R_c + R_4)(R_a + R_3)}{R_c + R_4 + R_a + R_3} + R_b = 2,364(Ом).$$

Находим ток I_6 : $I_6 = 5,09 / (2,364+2) = 1,167$ (А), т.е. значение тока I_6 равно ранее найденному методом контурных токов значению.

3.2.4. Построим потенциальную диаграмму для контура $acda$, для этого примем $\varphi_a = 0$. Тогда потенциалы остальных точек контура равны:

$$\varphi_e = \varphi_a + I_2R_2 = 1,668 \text{ (В)},$$

$$\varphi_c = \varphi_e - E_2 = -2,332 \text{ (В)},$$

$$\varphi_f = \varphi_c + E_4 = 5,668 \text{ (В)},$$

$$\varphi_d = \varphi_f - I_4R_4 = 3,668 \text{ (В)},$$

$$\varphi_h = \varphi_d - E_3 = -0,032 \text{ (В)},$$

$$\varphi_a = \varphi_h + I_3R_3 = 0,002 \approx 0 \text{ (В)}.$$

Потенциальная диаграмма представлена на рис. 3.6.

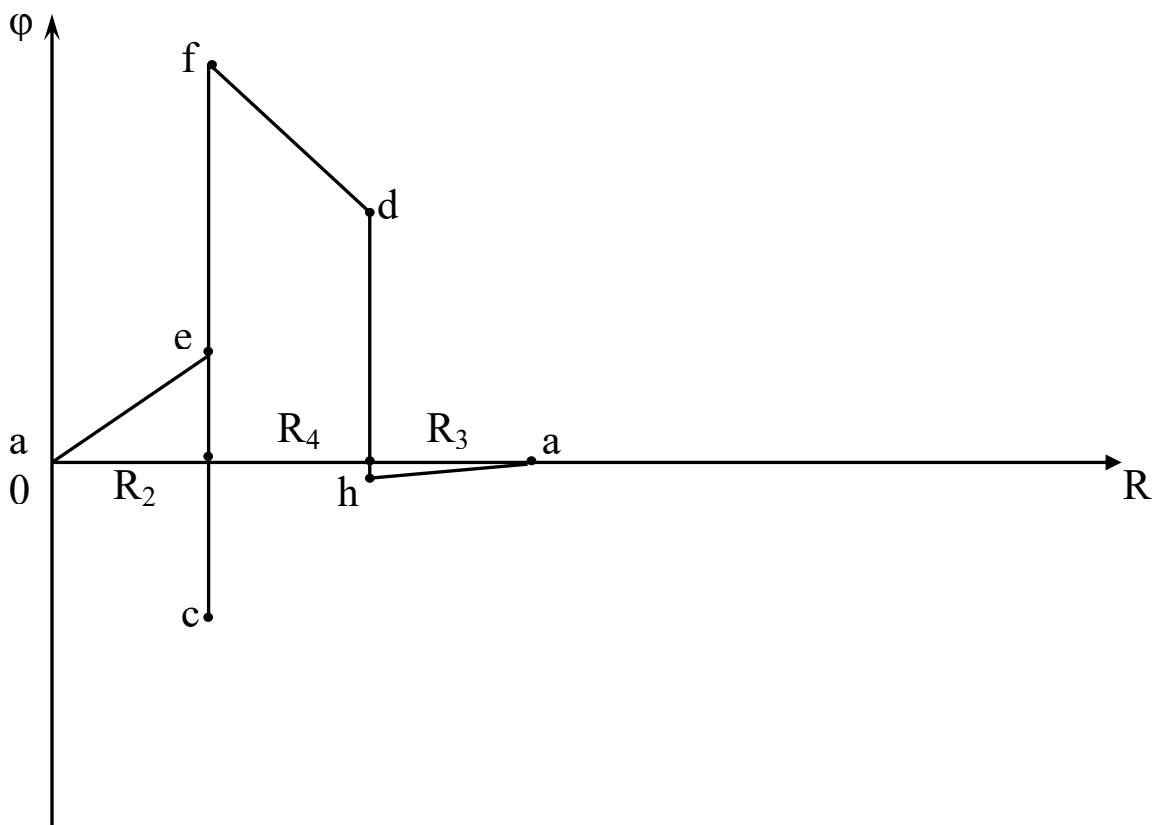


Рис. 3.6. Потенциальная диаграмма

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин А.С. Курс электротехники [Текст]: учебник / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 8-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2005. - 542 с.
2. Иванов И.И. Электротехника [Текст]: учебное пособие. - С-Пб.: Лань, 2009. - 496 с.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст]: учебник. – М.: Гардарики, 2002. – 638с.
4. Рекус Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники [Текст]: учебное пособие / Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов. - М.: Директ-Медиа, 2014. - 417 с. / Университетская библиотека ONLINE – [http:// biblioclub.ru/](http://biblioclub.ru/)
5. Жарова Т.А. Практикум по электротехнике [Текст]: учебное пособие. - С-Пб.: Лань, 2009. - 127 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



АНАЛИЗ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

Задания и методические указания по выполнению расчётной
работы по электротехнике

УДК 621.38

Составители: А.С. Романченко, А.Л. Овчинников, О.В. Лобова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *В.Н. Алябьев*

Анализ трехфазной цепи : задания и методические указания по выполнению расчетной работы по электротехнике / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.С. Романченко, А.Л. Овчинников, О.В. Лобова. - Курск, 2015. 17 с.: ил. 5. Библиогр.: с. 17.

Излагаются задания и методические рекомендации по выполнению расчетной работы. Рассматривается методика расчета трехфазной электрической цепи на примере схемы, соединенной звездой, при наличии и отсутствии нейтрального провода, приведены построенные для данной схемы векторные диаграммы напряжений и токов.

Предназначены для индивидуальной самостоятельной работы студентов технических направлений подготовки и специальностей при изучении дисциплины «Электротехника и электроника». Могут быть использованы преподавателями, ведущими практические занятия по электротехнике.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. . Уч.-изд.л. . Тираж 30 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчётная работа является одним из видов самостоятельной работы студентов. Данная работа выполняется в домашних условиях в соответствии с рабочей программой дисциплины "Электротехника и электроника" и служит развитию необходимым специалисту навыков практического использования методов расчета однофазной и трехфазной цепей при заданных характеристиках их элементов, а также для стимулирования более глубокого и систематического изучения соответствующих разделов дисциплины "Электротехника и электроника" в течение семестра.

Основные цели данной работы:

- 1) научиться представлять реально встречающуюся на практике электрическую нагрузку в виде электрической схемы замещения;
- 2) научиться рассчитывать наиболее часто встречающиеся на практике электрические цепи с параллельным соединением электроприемников;
- 3) научиться рассчитывать трехфазные цепи при соединении нагрузки звездой;
- 4) научиться строить векторные диаграммы токов и напряжений.

Выполнение расчетной работы также способствует изучению стандартных методов оформления текстовой и графической расчетно-конструкторской документации.

Приступая к выполнению расчетной работы, следует повторить или изучить самостоятельно основные положения разделов "Электрические цепи однофазного синусоидального тока" и "Трехфазные цепи" дисциплины "Электротехника и электроника".

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

2.1. Внутри здания сети внутреннего электроснабжения выполнены по схеме "звезда" с нейтральным проводом. Отдельные помещения подключены к разным фазам трехфазного источника электроэнергии с линейным напряжением $U_L=380$ В и частотой тока $f=50$ Гц, в качестве которого используется распределительный щит или электрический шкаф. На основании данных табл. 2.1 - 2.2 определить для своего варианта нагрузку каждой фазы, причем электропотребители в фазе включаются параллельно. Считая лампу накачивания (ЛН) активной нагрузкой, калорифер (К), электродвигатель (ЭД) и трансформатор

(ТР) активно-индуктивной нагрузкой, начертить электрическую схему замещения рассчитываемой трехфазной цепи для своего варианта.

Таблица 2.1 – Вид нагрузки в фазах

Номер строки	Электроприемники в фазах		
	Фаза А	Фаза В	Фаза С
0	ЛН, ТР	ЛН, ЭД	ЛН, К
1	ЛН, ЭД	ЛН, ТР	ЛН, К
2	ЛН, ЭД	ЛН, К	ЛН, ТР
3	ЛН, ТР, К	К	ЛН, ЭД
4	ЛН, К	ЛН, ТР	ЛН, ЭД
5	ЛН, ЭД	ЛН	ЛН, ТР, К
6	ЛН, ТР	ЛН, ЭД, К	К
7	ЛН, К	ЛН, ЭД	ЛН, ТР
8	ЛН, ТР, ЭД	К	ЛН, К
9	ЛН, К	ЛН, ТР, ЭД	К

Таблица 2.2 – Параметры нагрузки

Номер строки	ЛН	К		ТР		ЭД		
	$P_{ЛН}, Вт$	$P_K, Вт$	$\cos \varphi_K$	$S_{ТР}, ВА$	$\cos \varphi_{ТР}$	$P_{ЭД}, Вт$	КПД	$\cos \varphi_{ЭД}$
0	60	500	1	1250	0,7	120	0,67	0,78
1	75	750	0,99	1400	0,6	180	0,75	0,85
2	100	1000	0,98	630	0,66	270	0,77	0,86
3	150	1500	0,96	1000	0,75	400	0,78	0,87
4	250	600	0,99	1000	0,8	600	0,78	0,87
5	500	800	0,98	630	0,69	120	0,64	0,84
6	40	1200	0,97	400	0,62	180	0,60	0,75
7	60	1400	0,97	250	0,45	270	0,66	0,75
8	75	1600	0,96	160	0,5	400	0,70	0,75
9	100	400	1	1600	0,5	400	0,74	0,76

2.2. Выполнить анализ электрического состояния полученной в п. 2.1 схемы при наличии нейтрального провода:

1) определить активное, реактивное и полное сопротивления каждого электропотребителя;

2) рассчитать токи, протекающие через каждый электропотребитель (токи в параллельных ветвях каждой фазы);

- 3) определить для каждой фазы полное сопротивление, активную, реактивную и полную мощность, коэффициент мощности;
- 4) рассчитать линейные токи и ток в нейтральном проводе;
- 5) определить для всей трехфазной нагрузки активную P_H , реактивную Q_H и полную S_H мощности, коэффициент мощности $\cos \varphi_H$ составить баланс мощностей;
- 6) построить в масштабе совмещенную векторную диаграмму напряжений и токов (в том числе токов отдельных электропотребителей);
- 7) определить реактивную мощность Q_C и емкость конденсаторной батареи, которую необходимо подключить параллельно в фазу с наименьшим коэффициентом мощности с целью его повышения до значения $\cos \varphi_1$ (см. табл. 2.3). Рассчитать действующее значение соответствующего линейного тока при наличии конденсаторной батареи, сравнить с ранее найденным значением линейного тока и сделать вывод о том, что дает повышение коэффициента мощности нагрузки;
- 8) рассчитать фактическое напряжение на наиболее мощном электропотребителе, если он удален от источника электроэнергии на расстояние L и соединен с ним двухпроводной линией передачи, выполненной из материала с удельным сопротивлением ρ и сечением провода A .

Сделать вывод о достаточности напряжения, если фактическое напряжение на электропотребителе должно отличаться от номинального фазного не более чем на 5%. Если это отличие составляет более 5%, то сделать вывод о том, что необходимо сделать для его повышения.

Таблица 2.3 – Параметры линии передачи

Номер строки	L , м	ρ , ом*мм ² /м	A , мм ²	$\cos \varphi_1$
0	100	0,028	1,0	0,99
1	120	0,03	1,5	0,995
2	130	0,032	2,0	0,992
3	140	0,018	2,5	0,993
4	150	0,019	3,0	0,994
5	160	0,017	3,5	0,996
6	170	0,029	4,0	0,991
7	180	0,03	3,5	0,997
8	190	0,019	2,0	0,998
9	200	0,018	2,5	0,999

2.3. Выполнить анализ электрического состояния ранее рассчитанной схемы при разорванном нейтральном проводе:

- 1) рассчитать напряжение смещения нейтрали и фазные напряжения на нагрузке;
- 2) рассчитать линейные токи;
- 3) построить в масштабе совмещенную векторную диаграмму напряжений и линейных токов;
- 4) проанализировать полученные результаты, в том числе определить возможную неисправность в сети.

2.4. Примечания:

1. Первая, вторая и третья цифры в трехзначном номере варианта, заданного преподавателем, соответствуют порядковому номеру строки в таблицах 2.1, 2.2, 2.3.

2. Расчет вести символическим методом (используя представление напряжений, токов, сопротивлений в комплексном виде). Для всех токов, напряжений и полных сопротивлений определить действующее значение и начальную фазу.

3. На схеме замещения изображать активную нагрузку в виде резистора, активно-индуктивную нагрузку в виде последовательного соединения резистора и идеальной индуктивной катушки.

4. Баланс мощностей должен сойтись с погрешностью менее 1%.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

3.1. Выполненная расчетная работа должна содержать титульный лист и расчетно-пояснительную записку, в которую входят:

1) задание на выполнение работы, содержащее номер варианта, исходные данные к расчету и перечень пунктов, которые необходимо выполнить (оформляется на первой странице записки);

2) электрическая схема замещения рассчитываемой трёхфазной цепи;

3) расчеты, векторные диаграммы, предусмотренные заданием. Рекомендуемое оформление расчетов: *рассчитываемая величина = формула с буквенными обозначениями = формула с подставленными числовыми значениями = результат расчета с сокращенным обозначением единицы измерения*. Промежуточные этапы расчета для сложных формул можно не приводить. Расчет должен сопровождаться пояснительным текстом и при необходимости ссылками на использованную литературу;

4) список использованной литературы на последней странице пояснительной записки.

Расчетно-пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (210x297 мм.) с учетом требований ЕСКД. Листы записки должны быть скреплены. Образец выполнения титульного листа показан на рис. 3.1.

Все элементы электрической схемы следует изображать в соответствии с государственными стандартами, используя чертежные инструменты.

3.2. Согласно правил устройства электроустановок (ПУЭ) сети внутреннего электроснабжения (внутрицеховые и внутридомовые сети) выполняются по схеме "звезда" с нулевым проводом. При этом отдельные электроприемники подключаются так, чтобы на них подавалось номинальное фазное напряжение. Тогда каждая фаза нагрузки представляет собой параллельное соединение нескольких электроприемников. Если теперь все электроприемники представить их схемами замещения, то получим трехфазную цепь с параллельным соединением ветвей в каждой фазе нагрузки. Как это получается, покажем на следующем примере.

Допустим, на основании заданного варианта даны следующие нагрузки фаз: в фазе А – ЛН, ЭД, К, в фазе В – ЛН, ЭД, ТР, в фазе С – К. В связи с тем, что такие электроприемники, как электродвигатели и трансформаторы, а также некоторые типы калориферов и ряд других приемников потребляют помимо активной энергии и реактивную энергию, на схеме замещения их можно представить в виде последовательного или параллельного соединения активного и индуктивного сопротивлений (первое предпочтительнее). Тогда в нашем примере электрическая схема замещения рассчитываемой трехфазной цепи изобразится в виде рис. 3.2.

3.3. Так как в паспорте любого электроприемника указываются номинальная, активная или полная мощность, коэффициент мощности, коэффициент полезного действия, а не значение сопротивлений, то для расчета заданной схемы известными методами расчета цепей синусоидального однофазного и трехфазного токов необходимо определить значение всех сопротивлений схемы на рис. 3.2. Допустим, для заданного варианта из табл. 2.2 и 2.3 выписаны параметры, представленные в табл. 3.1 и табл. 3.2. Находим значение активного и реактивного сопротивлений по следующим формулам:

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»

Кафедра электроснабжения

РАСЧЁТНАЯ РАБОТА

по дисциплине электротехника и электроника
«Анализ трехфазной цепи»

Выполнил: студент группы СМ-316

В.Н. Иванов

Принял: доцент

И.С. Петров

Курск - 2015

Рис. 3.1. Пример оформления титульного листа

Таблица 3.1 – Параметры нагрузки

ЛН	К		ТР		ЭД		
$P_{ЛН}, Вт$	$P_{К}, Вт$	$\cos \varphi_{К}$	$S_{ТР}, ВА$	$\cos \varphi_{ТР}$	$P_{ЭД}, Вт$	КПД	$\cos \varphi_{ЭД}$
200	1100	0,995	1500	0,65	1000	0,75	0,8

Таблица 3.2 – Параметры линии передачи

L, м	$\rho, Ом \cdot мм^2/м$	A, мм ²	$\cos \varphi_1$
185	0,03	3	0,995

а) для лампы накаливания:

$$R_{ЛН} = U_{\phi}^2 / P_{ЛН}, \quad (3.1)$$

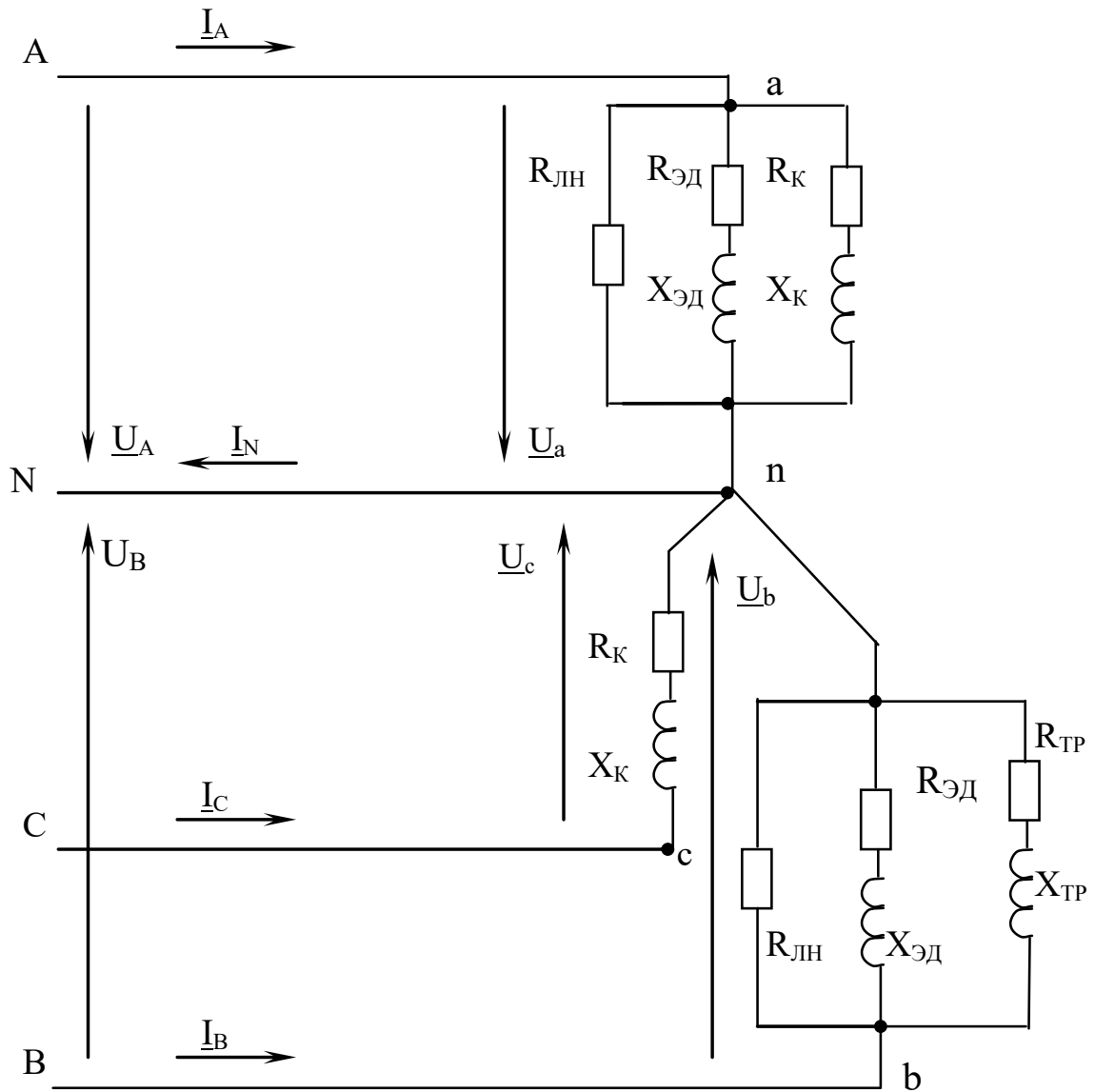


Рис. 3.2. Четырехпроводная трехфазная цепь

б) для калорифера:

$$Z_K = U^2_{\phi} / S_K = U^2_{\phi} / (P_K / \cos \varphi_K), \quad (3.2)$$

$$R_K = Z_K * \cos \varphi_K, \quad (3.3)$$

$$X_K = Z_K * \sin \varphi_K; \quad (3.4)$$

в) для трансформатора:

$$Z_{ТР} = U^2_{\phi} / S_{ТР}, \quad (3.5)$$

$$R_{ТР} = Z_{ТР} * \cos \varphi_{ТР}, \quad (3.6)$$

$$X_{ТР} = Z_{ТР} * \sin \varphi_{ТР}; \quad (3.7)$$

г) для электродвигателя:

$$Z_{ЭД} = U^2_{\phi} / S_{ЭД} = U^2_{\phi} / [P_{ЭД} / (\eta * \cos \varphi_{ЭД})], \quad (3.8)$$

$$R_{\text{ЭД}} = Z_{\text{ЭД}} * \cos \varphi_{\text{ЭД}}, \quad (3.9)$$

$$X_{\text{ЭД}} = Z_{\text{ЭД}} * \sin \varphi_{\text{ЭД}}. \quad (3.10)$$

Так как анализируется схема соединения звездой с нейтральным проводом, то благодаря последнему фазные напряжения равны

$$U_{\phi} = U_{\text{Л}} / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220 \text{ В}.$$

Для рассматриваемого примера вычисляем:

$$R_{\text{ЛН}} = 220^2 / 200 = 242 \text{ Ом},$$

$$Z_{\text{К}} = 220^2 (1100 / 0,995) = 43,78 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{К}} = 43,78 * 0,995 = 43,56 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{К}} = 43,78 * 0,999 = 4,37 \text{ Ом},$$

$$Z_{\text{ТР}} = 220^2 / 1500 = 32,27 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{ТР}} = 32,27 * 0,65 = 20,97 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{ТР}} = 32,27 * 0,76 = 24,52 \text{ Ом},$$

$$Z_{\text{ЭД}} = 220^2 / [1000 / (0,75 * 0,8)] = 29,04 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{ЭД}} = 29,04 * 0,8 = 23,23 \text{ Ом},$$

$$X_{\text{ЭД}} = 29,04 * 0,6 = 17,42 \text{ Ом}.$$

3.4. Ток каждого потребителя рассчитываем по закону Ома. При этом чтобы получить и действующее значение, и начальную фазу токов, расчет ведём в комплексной (символической) форме:

а) для фазы А:

$$\underline{I}_{\text{ЛН}}^{\text{а}} = \underline{U}_{\text{А}} / R_{\text{ЛН}} = 220 \exp(j0^0) / 242 = 0,909 \text{ А}, \quad \psi_1 = 0;$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{\text{ЭД}}^{\text{а}} &= \underline{U}_{\text{А}} / Z_{\text{ЭД}} = 220 \exp(j0^0) / [29,04 \exp(j \arccos 0,8)] = \\ &= 7,576 \exp(-j36,87^0) \text{ А}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{\text{К}}^{\text{а}} &= \underline{U}_{\text{А}} / Z_{\text{ЭД}} = 220 \exp(j0^0) / [43,78 \exp(j \arccos 0,995)] = \\ &= 5,025 \exp(-j5,73^0) \text{ А}; \end{aligned}$$

б) для фазы В

$$\underline{I}_{\text{ЛН}}^{\text{б}} = \underline{U}_{\text{В}} / R_{\text{ЛН}} = 220 \exp(-j120^0) / 242 = 0,909 \exp(-j120^0) \text{ А},$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_{\text{ЭД}}^{\text{б}} &= \underline{U}_{\text{В}} / Z_{\text{ЭД}} = 220 \exp(-j120^0) / [29,04 \exp(j \arccos 0,8)] = \\ &= 7,576 \exp(-j156,87^0) \text{ А}, \end{aligned}$$

$$\underline{I}_{\text{ТР}}^{\text{б}} = \underline{U}_{\text{В}} / Z_{\text{ТР}} = 220 \exp(-j120^0) / [32,27 \exp(j \arccos 0,65)] =$$

$$= 6,817 \exp(-j169,46^\circ) \text{ A};$$

в) для фазы С

$$\begin{aligned} \underline{I}_K^c &= \underline{U}_C / \underline{Z}_K = 220 \exp(-j240^\circ) / [43,78 \exp(j \arccos 0,995)] = \\ &= 5,025 \exp(-j245,73^\circ) \text{ A}. \end{aligned}$$

3.5. Рассчитаем активную, реактивную и полную мощности каждой фазы:

а) для фазы А:

$$P_a = P_{ЛН} + P_K + (P_{ЭД} / \eta) = 200 + 1100 + (1000 / 0,75) = 2633 \text{ Вт},$$

$$Q_a = I_K^2 X_K + I_{ЭД}^2 X_{ЭД} = 5,025^2 * 4,37 + 7,576^2 * 17,42 = 1110 \text{ ВАр},$$

$$S_a = \sqrt{P_a^2 + Q_a^2} = \sqrt{2633^2 + 1110^2} = 2857 \text{ ВА};$$

б) для фазы В:

$$P_b = P_{ЛН} + (P_{ЭД} / \eta) + S_{ТР} \cos \varphi_{ТР} = 200 + (1000 / 0,75) + 1500 * 0,65 = 2508 \text{ Вт};$$

$$Q_b = I_{ЭД}^2 X_{ЭД} + I_{ТР}^2 X_{ТР} = 7,576^2 * 17,42 + 6,817^2 * 24,52 = 2139 \text{ ВАр},$$

$$S_b = \sqrt{P_b^2 + Q_b^2} = \sqrt{2508^2 + 2139^2} = 3296 \text{ ВА};$$

в) для фазы С в нашем случае:

$$P_c = P_K = 1100 \text{ Вт},$$

$$Q_c = I_K^2 * X_K = 5,025^2 * 4,37 = 110 \text{ ВАр},$$

$$S_c = P_K / \cos \varphi_K = 1100 / 0,995 = 1106 \text{ ВА}.$$

Коэффициент мощности для каждой фазы равен:

$$\cos \varphi_a = P_a / S_a = 2633 / 2857 = 0,922,$$

$$\cos \varphi_b = P_b / S_b = 2508 / 3296 = 0,761,$$

$$\cos \varphi_c = \cos \varphi_K = 0,995.$$

3.6. Линейные токи и ток в нейтральном проводе удобнее всего рассчитывать в комплексной форме по первому закону Кирхгофа:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ЛН}^a + \underline{I}_{ЭД}^a + \underline{I}_K^a = 0,909 + 7,576 \exp(-j36,87^\circ) +$$

$$+ 5,025 \exp(-j5,73^\circ) = 11,97 - 5,047j = 12,99 \exp(-j22,86^\circ) \text{ A},$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_{ЛН}^b + \underline{I}_{ЭД}^b + \underline{I}_{ТР}^b = 0,909 \exp(-j120^\circ) + 7,576 \exp(-j156,87^\circ) +$$

$$+ 6,817 \exp(-j169,46^\circ) = -14,124 - 5,01j = 14,99 \exp(199,53j) \text{ A},$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_K^c = 5,025 \exp(-j245,73^\circ) = (-2,065 + 4,58j),$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_N &= \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 11,97 - 5,047j - 14,124 - 5,01j - 2,065 + 4,58j = \\ &= -4,219 - 5,477j = 6,91 \exp(232,39^\circ j) \text{ A.} \end{aligned}$$

3.7. Полное сопротивление каждой фазы можно найти разными путями, используя, например, метод эквивалентных преобразований. Проще найти полные сопротивления фаз из закона Ома:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_a &= \underline{U}_A / \underline{I}_A = 16,96 \exp(j23,02^\circ), \\ \underline{Z}_b &= \underline{U}_B / \underline{I}_B = 14,7 \exp(j40,54^\circ), \\ \underline{Z}_c &= \underline{U}_C / \underline{I}_C = 43,78 \exp(j5,73^\circ). \end{aligned}$$

3.8. Используя известные из литературы формулы для мощности трехфазной цепи, находим:

$$\begin{aligned} P_H &= P_a + P_b + P_c = 2633 + 2508 + 1100 = 6241 \text{ Вт}, \\ Q_H &= Q_a + Q_b + Q_c = 1110 + 2139 + 110 = 3359 \text{ ВАр}, \\ S_H &= \sqrt{P_H^2 + Q_H^2} = \sqrt{6241^2 + 3359^2} = 7088 \text{ ВА}, \\ \cos \varphi_H &= P_H / S_H = 6241 / 7088 = 0,8805. \end{aligned}$$

Баланс мощностей для цепи переменного тока, в том числе и трехфазной цепи, заключается в вычислении отдельно суммы активных мощностей и суммы реактивных мощностей, потребляемых всеми электроприемниками, и сравнении значений этих сумм с действительной и мнимой частями комплекса полной мощности, отдаваемой источником (источниками) электроэнергии:

$$\underline{S} = \underline{U}_A \underline{I}_A^* + \underline{U}_B \underline{I}_B^* + \underline{U}_C \underline{I}_C^* = P + jQ, \quad (3.11)$$

где $\underline{I}_A^*, \underline{I}_B^*, \underline{I}_C^*$ - сопряженные комплексы линейных токов. В нашем примере:

$$\begin{aligned} \underline{S} &= 220 \exp(j0^\circ) 12,99 \exp(22,86^\circ j) + 220 \exp(-120^\circ j) * 14,99 * \\ &* \exp(-199,53^\circ j) + 220 \exp(-240^\circ j) * 5,025 \exp(245,73^\circ j) = \\ &= 6242,1 + 3361j, \end{aligned}$$

т.е. $P = 6242,1 \text{ Вт}$, $Q = 3361 \text{ ВАр}$.

Почти такие же результаты получены в п. 3.7, где $P_H = 6241 \text{ Вт}$, $Q_H = 3359 \text{ ВАр}$. Так как эти данные найдены именно как суммы мощностей отдельных потребителей, считаем, что баланс мощностей сошелся с погрешностью менее 1%, что означает правильность выполненных ранее расчетов.

конденсатор, емкость которого определим из формулы:

$$tg\varphi_1 = (B_{\text{ЭД}} + B_{\text{ТР}} - B_C) / (G_{\text{ЛН}} + G_{\text{ЭД}} + G_{\text{ТР}}), \quad (3.12)$$

где $tg\varphi_1$ определяем по заданному $\cos\varphi_1$;

$$B_C = 2\pi f C = 100\pi C. \quad (3.13)$$

Для рассматриваемого примера имеем:

$$G_{\text{ЛН}} = 1 / R_{\text{ЛН}} = 1 / 242 = 0,0041 \text{ См},$$

$$G_{\text{ЭД}} = R_{\text{ЭД}} / (R_{\text{ЭД}}^2 + X_{\text{ЭД}}^2) = R_{\text{ЭД}} / Z_{\text{ЭД}}^2 = 23,23 / 29,04^2 = 0,0275 \text{ См},$$

$$G_{\text{ТР}} = R_{\text{ТР}} / (R_{\text{ТР}}^2 + X_{\text{ТР}}^2) = R_{\text{ТР}} / Z_{\text{ТР}}^2 = 0,0201 \text{ См},$$

$$G_{\text{ЛН}} + G_{\text{ЭД}} + G_{\text{ТР}} = 0,0517 \text{ См},$$

$$B_{\text{ЭД}} + B_{\text{ТР}} = X_{\text{ЭД}} / Z_{\text{ЭД}}^2 + X_{\text{ТР}} / Z_{\text{ТР}}^2 = 0,0442 \text{ См}.$$

Тогда из формулы (3.12) получаем:

$$B_C = 0,0442 - 0,1004 * 0,0517 = 0,039 \text{ См},$$

а из формулы (3.13) находим:

$$C = 0,039 / 100 = 124 * 10^{-6} \text{ Ф} = 124 \text{ мкФ},$$

$$Q_C = U_B^2 * B_C = 220^2 * 0,039 = 1888 \text{ ВАр}.$$

При наличии конденсатора линейный ток фазы В найдём по формуле:

$$I_B = U_B \sqrt{(G_{\text{ЛН}} + G_{\text{ЭД}} + G_{\text{ТР}})^2 + (B_{\text{ЭД}} + B_{\text{ТР}} - B_C)^2}. \quad (3.14)$$

В нашем случае $I_B = 220 \sqrt{0,0517^2 + 0,005^2} = 11,43 \text{ А}$, что меньше действующего значения линейного тока при отсутствии конденсатора.

3.11. Наиболее мощным электроприемником согласно данным п.3.4 является электродвигатель, который потребляет наибольший ток $I_{\text{ЭД}} = 7,576 \text{ А}$. Так как на рис. 3.2 два электродвигателя, будем считать, что удалён от источника электродвигатель фазы А (рис. 3.4). Сопротивление каждого провода двухпроводной линии передачи равно:

$$R_{\text{Л}} = \rho l / A = 0,03 * 185 / 3 = 1,85 \text{ Ом}.$$

Тогда фактическое напряжение на электродвигателе равно:

$$\underline{U}_{\text{ЭД}} = \underline{U}_a - \underline{I}_{\text{ЭД}} 2R_{\text{Л}}. \quad (3.15)$$

В нашем случае:

$$\underline{I}_{\text{ЭД}} = \underline{U}_{\text{ЭД}} / (2R_{\text{Л}} + \underline{Z}_{\text{ЭД}}) = 220 / (3,7 + 23,23 + j17,42) = (5,76 - 3,73j) \text{ А},$$

$$\underline{U}_{\text{ЭД}} = 220(5,76 - 3,73j) / 3,7 = 198,69 + 13,8j = 199,17 \exp(j3,97^\circ),$$

т.е. $U_{\text{ЭД}} = 199,17 \text{ В}$, что более чем на 5% отличается от номинального

фазного напряжения $U_\phi = 220\text{В}$.

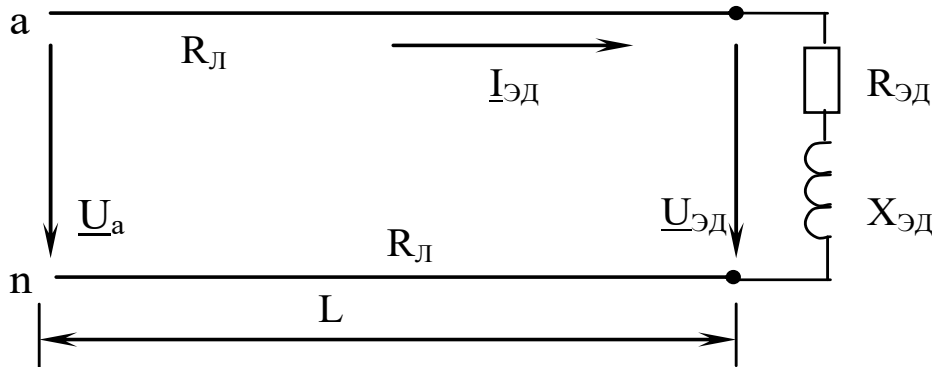


Рис. 3.4. Схема включения электродвигателя через двухпроводную линию передачи

3.12. Так как для рассматриваемого примера нагрузка является несимметричной, то при разорванном нейтральном проводе возникает напряжение смещения нейтрали, которое определяется по формуле:

$$\underline{U}_{Nn} = \frac{\frac{\underline{U}_A}{Z_a} + \frac{\underline{U}_B}{Z_b} + \frac{\underline{U}_C}{Z_c}}{\frac{1}{Z_a} + \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c}}, \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{Nn} &= \frac{\frac{220}{[16,96 \exp(j23,02^0)]} + \frac{[220 \exp(-j120^0)]}{[14,78 \exp(j40,54^0)]} + \frac{[220 \exp(-j240^0)]}{[43,78 \exp(j5,73^0)]}}{\frac{1}{[16,96 \exp(j23,02^0)]} + \frac{1}{[14,7 \exp(j40,54^0)]} + \frac{1}{[43,78 \exp(j5,73^0)]}} = \\ &= -7,73 - 46,61j = 47,24 \exp(-j99,4^0). \end{aligned}$$

Фазные напряжения на нагрузке равны:

$$\begin{aligned} \underline{U}_a &= \underline{U}_A - \underline{U}_{Nn} = 220 + 7,73 + 46,61j = 227,73 + 46,61j = \\ &= 232,45 \exp(j11,6^0)\text{В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_b &= \underline{U}_B - \underline{U}_{Nn} = 220 \exp(-j120^0) + 7,73 + 46,61j = -102,27 - 143,92j = \\ &= 176,55 \exp(-j125,4^0)\text{В}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_c &= \underline{U}_C - \underline{U}_{Nn} = 220 \exp(-j240^0) + 7,73 + 46,61j = -102,27 + 237,14j = \\ &= 258,25 \exp(j113,33^0)\text{В}. \end{aligned}$$

3.13. Линейные токи, как и ранее, определим в комплексной форме по закону Ома:

$$\underline{I}_a = \underline{U}_a / \underline{Z}_a = 232,45 \exp(j11,6^\circ) / 16,96 \exp(j23,02^\circ) = 13,7 \exp(-j11,4^\circ),$$

$$\underline{I}_b = \underline{U}_b / \underline{Z}_b = 176,55 \exp(-j125,4^\circ) / 14,7 \exp(j40,54^\circ) = 12 \exp(-j165,9^\circ),$$

$$\underline{I}_c = \underline{U}_c / \underline{Z}_c = 258,25 \exp(j113,33^\circ) / 43,78 \exp(j15,73^\circ) = 5,9 \exp(j107,6^\circ).$$

3.14. При построении совмещенной диаграммы напряжений и линейных токов при отсутствии нейтрального провода следует руководствоваться теми же требованиями, что и для схемы с нейтральным проводом (см. п. 3.9 и рис. 3.3). Для рассматриваемого примера такая диаграмма представлена на рис. 3.5.

3.15. Анализ результатов расчета трехфазной цепи без нейтрального провода показывает, что возникающее при несимметричной нагрузке напряжение смещения нейтрали приводит к существенному отклонению фазных напряжений от номинальных значений (к «перекосу фаз»), что недопустимо для работы электропотребителей. В рассмотренном примере получены следующие фазные напряжения: $U_a = 232B > U_\phi$, $U_b = 177B < U_\phi$, $U_c = 258B > U_\phi$. Следовательно, перенапряжение в фазах А и С ведет к быстрому выходу из строя потребителей, а значительное снижение напряжения в фазе В может привести к остановке оборудования.

3.16. При анализе полученных результатов следует учесть, что хотя в трехфазной сети с целью обеспечения неизменности фазных напряжений на нагрузке и равенства их между собой присутствует нейтральный провод, при значительно несимметричной нагрузке могут быть нежелательные явления:

1) большое возрастание тока в одном из линейных проводов ведет к ощутимому падению напряжения на сопротивлении этого провода, если он достаточно длинный и имеет малую площадь сечения. В результате фазное напряжение на нагрузке может заметно снизиться, что часто недопустимо для работы электропотребителей;

2) то же самое происходит при значительном удалении одного из однофазных потребителей или их группы от остальных приемников трехфазной цепи (см. результаты п. 3.11);

3) из-за значительного неравенства нагрузок отдельных фаз резко возрастает ток в нейтральном проводе, что может быть причиной его перегрева вплоть до возникновения аварийной ситуации. Кроме того, возросшее падение напряжения на сопротивлении нейтрального провода ведет к появлению напряжения смещения нейтрали, а значит к неравенству фазных напряжений на нагрузке, что особенно проявля-

ется при обрыве нейтрального провода. Поэтому необходимо постоянно следить за целостностью нейтрального провода и уровнем несимметрии нагрузки путем замера фазных сопротивлений (или линейных токов) и вычисления напряжения смещения нейтрали или замера фазных напряжений.

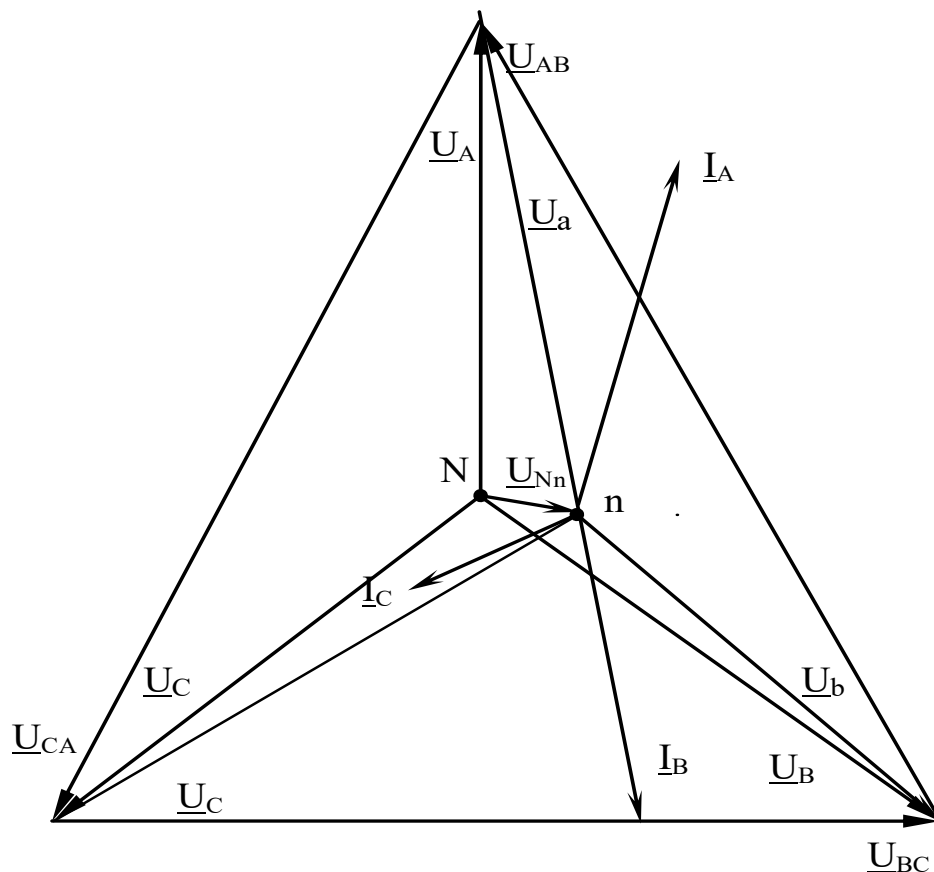


Рис. 3.5. Векторная диаграмма цепи без нейтрального провода

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин А.С. Курс электротехники [Текст]: учебник / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 8-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2005. - 542 с.
2. Иванов И.И. Электротехника [Текст]: учебное пособие. - С-Пб.: Лань, 2009. - 496 с.
3. Рекус Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники [Текст]: учебное пособие / Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов. - М.: Директ-Медиа, 2014. - 417 с. / Университетская библиотека ONLINE – [http:// biblioclub.ru/](http://biblioclub.ru/)
4. Жарова Т.А. Практикум по электротехнике [Текст]: учебное пособие. - С-Пб.: Лань, 2009. - 127 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



ВЫБОР ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И РАСЧЕТ ИХ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ДАННЫМ КАТАЛОГОВ

Задания и методические указания по выполнению расчётной
работы по электротехнике

УДК 621.38

Составители: А.С. Романченко, А.Л. Овчинников, О.В. Лобова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *В.Н. Алябьев*

Выбор электротехнических устройств и расчет их основных параметров по данным каталогов : задания и методические указания по выполнению расчетной работы по электротехнике / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.С. Романченко, А.Л. Овчинников, О.В. Лобова. - Курск, 2015. 16 с.: ил. 3. Библиогр.: с. 12.

Излагаются задания и методические рекомендации по выполнению расчетной работы. Рассматривается методика выбора понижающего трансформатора для питания трехфазных асинхронных двигателей, а также построения механической характеристики трехфазного асинхронного двигателя и расчета некоторых параметров трансформатора и двигателя по каталожным данным.

Предназначены для индивидуальной самостоятельной работы студентов технических направлений подготовки и специальностей при изучении дисциплины «Электротехника и электроника». Могут быть использованы преподавателями, ведущими практические занятия по электротехнике.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л.

. Уч.-изд.л.

. Тираж 30 экз. Заказ

. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчётная работа является одним из видов самостоятельной работы студентов. Данная работа выполняется в домашних условиях в соответствии с рабочей программой дисциплины «Электротехника и электроника» и служит развитию необходимым специалисту навыков практического использования методики выбора понижающего трансформатора для питания трехфазной нагрузки, построения механической характеристики трехфазного асинхронного двигателя и расчета некоторых параметров трансформатора и двигателя по данным каталогов, а также для стимулирования более глубокого и систематического изучения соответствующих разделов дисциплины «Электротехника и электроника» в течение семестра.

Основные цели данной работы:

- 1) научиться работать с каталогами электротехнических устройств и по их данным рассчитывать некоторые параметры трансформатора и трехфазного асинхронного двигателя;
- 2) научиться выбирать понижающий трансформатор для питания трехфазной нагрузки;
- 3) научиться рассчитывать и строить механическую характеристику трехфазного асинхронного двигателя.

Выполнение расчетной работы также способствует изучению стандартных методов оформления текстовой и графической расчетно-конструкторской документации.

Приступая к выполнению расчетной работы, следует повторить или изучить самостоятельно основные положения разделов «Трансформаторы» и «Асинхронные двигатели» дисциплины «Электротехника и электроника».

2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

2.1. Расшифровать обозначение типа трехфазного асинхронного двигателя (ТАД), указанного в варианте для расчета.

2.2. По техническим данным трехфазного асинхронного двигателя (табл. П.1 в приложении) определить следующие величины:

2.2.1. Частоту вращения магнитного поля n_1 .

2.2.2. Номинальный M_H , пусковой M_{II} и максимальный M_{max} вращающие моменты.

2.2.3. Активную P_1 , реактивную Q_1 и полную S_1 мощности, потребляемые двигателем.

2.2.4. Рассчитать и построить механическую характеристику двигателя – зависимость частоты вращения ротора от вращающего момента $n_2 = f(M)$.

2.3. Рассчитать, как изменится пусковой момент двигателя, если напряжение питания уменьшится на 10%.

2.4. По таблицам технических данных трехфазных трансформаторов (табл. П.2 в приложении) выбрать трансформатор для питания асинхронных двигателей, тип которых указан в варианте расчета. Количество двигателей принять равным 100 при $S_1 \leq 3 \text{кВА}$ или 10 при $S_1 > 3 \text{кВА}$.

2.5. Расшифровать обозначение трансформатора, выбранного для питания асинхронных двигателей.

2.6. Пользуясь техническими данными трансформатора определить изменение вторичного напряжения $\Delta U_2\%$, напряжение на зажимах вторичной обмотки U_2 и коэффициент полезного действия трансформатора, считая, что двигатели работают в номинальном режиме.

Примечания:

1. Тип исходного для расчета двигателя определяется номером варианта, который выдается преподавателем.

2. Номер варианта соответствует номеру строки в таблице П.1, где приведены технические данные ТАД.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

3.1. Общие указания

Приступая к выполнению расчетной работы, следует повторить или изучить самостоятельно основные положения разделов электротехники «Трансформаторы», «Асинхронные двигатели», а также «Электрические цепи однофазного синусоидального тока».

3.2. Требования к содержанию и оформлению расчетной работы

Выполненная работа должна содержать титульный лист и расчетно-пояснительную записку. В расчетно-пояснительную записку входят:

1) задание на расчетную работу, оформляемое на первой странице записки и содержащее номер варианта, исходные данные к расчету и перечень пунктов, которые необходимо выполнить;

2) расчетная часть. Расчеты должны сопровождаться пояснениями и при необходимости ссылками на литературу. При выполнении расчетов следует использовать полную форму записи, которая должна

содержать формулу, исходные численные значения, подставленные в эту формулу, результат и сокращенное обозначение единицы измерения. Например: $S = UI = 20 \cdot 5 = 100 \text{ВА}$.

При расчете механической характеристики ТАД полностью приводится расчет одной из точек, результаты расчета других точек сводятся в таблицу;

3) список используемой литературы приводится на последней странице пояснительной записки.

Расчетно-пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) с учетом требований ЕСКД. Листы записки должны быть скреплены. Образец выполнения титульного листа показан на рис. 3.1.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ	
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»	
Кафедра электроснабжения	
РАСЧЁТНАЯ РАБОТА по дисциплине электротехника и электроника «Выбор электротехнических устройств и расчет их основных параметров по данным каталогов»	
Выполнил: студент группы СМ-31б	В.Н. Иванов
Принял: доцент	И.С. Петров
Курск - 2015	

Рис. 3.1. Пример оформления титульного листа

3.3. Технические (каталожные) данные трансформаторов и трехфазных асинхронных двигателей

Технические данные трансформаторов приведены в таблице 2.2. Буквы и цифры в обозначениях типа означают (в порядке написания):

А – автотрансформатор;

Т – трехфазный трансформатор;

О – однофазный трансформатор;

Р – наличие расщепленной обмотки низшего напряжения.

После одной из этих букв следуют одна или две буквы, обозначающие систему охлаждения трансформатора. Расшифровка системы охлаждения приводится в таблице 3.1. После обозначения системы охлаждения могут стоять буквы:

Т - трехобмоточный;

Н - выполнение одной из обмоток с устройством РПН (устройство регулирования напряжения под нагрузкой).

После букв стоят цифры в виде дроби. В числителе дроби указывается номинальная мощность трансформатора в кВА, в знаменателе - класс напряжения обмотки ВН (высшего напряжения) в кВ.

Двухобмоточные масляные трансформаторы классов напряжения 6,10 и 35 кВ могут иметь низшее напряжение (НН) 0,4 кВ (все типы) и 0,69 кВ при мощностях от 0,16 до 0,62 МВ·А. Стандарт допускает изготовление трансформаторов для существующих сетей с другими значениями НН (например, 0,23 или 0,525 кВ) при увеличении потерь короткого замыкания на 5%.

В таблице 2.2 технических данных трансформаторов приведены: обозначение трансформатора, потери в режиме холостого хода P_X и в режиме короткого замыкания P_K , процентное значение напряжения короткого замыкания $U_K\%$, процентное значение тока холостого хода $i_X\%$, способы соединения обмотки ВН и обмотки НН, где знаком Y обозначается соединение звездой, знаком Δ - соединение треугольником, Y_N - соединение звездой с выводом от нейтральной точки. Кроме принятых ГОСТом обозначений, авторами в таблице 2.2 дана расшифровка цифровой части в обозначении трансформатора и приведены значения НН.

Технические данные трехфазных асинхронных двигателей приведены в таблице 2.1, где представлены технические данные серии асинхронных двигателей АИ, более экономичной по сравнению с серией 4А. В серии АИ по сравнению с серией 4А было предусмотрено применение новых материалов, имеют место новые конструктивные

решения, что позволило улучшить энергетические, пусковые и виброшумовые характеристики машин, повысить их надежность. Номинальные данные двигателей относятся к продолжительному режиму работы при питании от сети переменного тока с частотой 50 Гц. Структура обозначения асинхронных двигателей приводится на рис. 3.2. Например, расшифровка букв и цифр (в скобках) в обозначении двигателя 4AA56A2У3 – двигатель асинхронный (А); четвертой серии (4); закрытого обдуваемого исполнения, со степенью защиты IP44 (отсутствие буквы); ротор обычный, короткозамкнутый (отсутствие буквы); станина и щиты алюминиевые (А); высота оси вращения 56 мм (56); длина сердечника статора меньшая (А); число полюсов 2 (2); исполнение для умеренного климата (У); категория размещения 3, т.е. может размещаться в помещениях, в которых колебания температуры и влажности воздуха, а также содержание песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе (3).

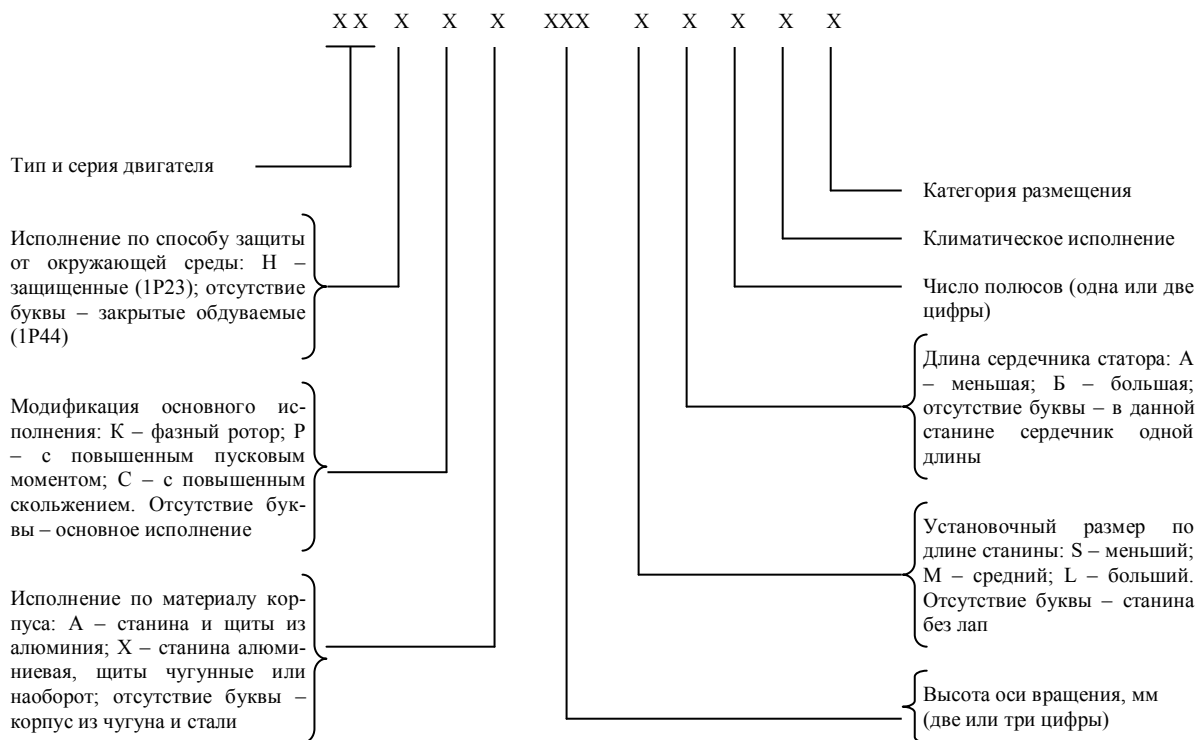


Рис. 3.2. Структура обозначения асинхронных электродвигателей

3.4. Порядок расчета некоторых параметров и построение механической характеристики ТАД

3.4.1. Частоту вращения магнитного поля статора можно определить по формуле:

$$n_1 = 60 f_1 / p_1, \quad (3.1)$$

где f_1 - частота тока питающей сети (берем $f_1=50$ Гц);

p_1 - число пар полюсов магнитного поля статора (определяют из обозначения двигателя).

В каталогах часто указывают синхронную скорость. Это и есть скорость (частота) вращения магнитного поля статора.

3.4.2. Номинальный вращающий момент ТАД можно определить по формуле:

$$M_H = 9550 \frac{P_H}{n_H}, \quad (3.2)$$

где P_H - номинальная мощность на валу двигателя (в кВт);

n_H - номинальная скорость ротора.

P_H, n_H приведены в технических данных двигателя.

Пусковой M_{Π} и максимальный M_{\max} вращающие моменты определяются умножением номинального вращающего момента M_H на взятые из каталога кратность пускового момента $\frac{M_{\Pi}}{M_H}$ и кратность

максимального момента $k_M = \frac{M_{\max}}{M_H}$.

3.4.3. Активная P_1 , реактивная Q_1 и полная S_1 , мощности, потребляемые двигателем, определяются по формулам:

$$P_1 = \frac{P_H}{\eta_H}, \quad (3.3)$$

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \varphi_H}, \quad (3.4)$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P_1^2}, \quad (3.5)$$

где $\eta_H, \cos \varphi_H$ - соответственно КПД и коэффициент мощности двигателя при номинальной нагрузке (берутся из каталога, т.е. таблицы 2.1).

3.4.4. Для расчета механической характеристики $n_2=f(M)$ используется формула Клосса:

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_{KP}} + \frac{s_{KP}}{s}}, \quad (3.6)$$

где M_{\max} - максимальный вращающий момент, развиваемый двигателем;

s_{KP} - критическое скольжение;

s - скольжение, соответствующее различным значениям вращающего момента.

Критическое скольжение определяется по формуле:

$$s_{KP} = s_H \left(k_M + \sqrt{k_M^2 - 1} \right), \quad (3.7)$$

где $k_M = \frac{M_{\max}}{M_H}$ - кратность максимального момента;

s_H - номинальное скольжение, которое определяется по формуле:

$$s_H = \frac{n_1 - n_H}{n_1}. \quad (3.8)$$

Для построения рабочего участка механической характеристики (участок 1-2 на рис. 3.3) задаются в формуле (3.6) рядом значений скольжения s в пределах $(0 \dots s_{KP})$ и рассчитываются величины моментов, соответствующих заданным скольжениям. В пояснительной записке приводится расчет одной из точек механической характеристики. Результаты расчета остальных точек (8-10 точек) приводятся в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчета точек механической характеристики

s	-								s_{KP}
M	$H \cdot m$								
n_2	$\frac{\text{об}}{\text{мин}}$								

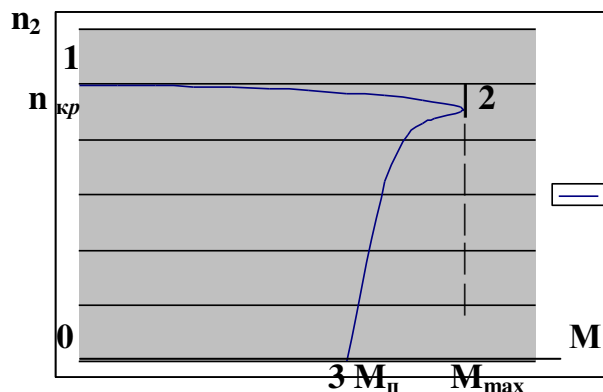


Рис. 3.3. Механическая характеристика ТАД

На участке механической характеристики двигателя, соответствующему пуску и останову двигателя (участок 2-3 на рис. 3.3) формула Клосса несправедлива. Для построения этого участка на оси моментов откладывают точку с координатами $M = M_{II}$, $n_2 = 0$, которую со-

единяют с точкой рабочего участка механической характеристики с координатами $n_2 = n_{KP}$, $M = M_{\max}$ плавной кривой или прямой линией.

При построении механической характеристики масштаб для обоих участков 1-2, 2-3 по оси частоты вращения следует выдержать один и тот же. Масштабы по осям рекомендуется выбирать так, чтобы кривая механической характеристики практически вписывалась в квадрат.

3.4.5. Расчет вращающего момента двигателя при снижении напряжения питания на 10% по пункту 2.3 задания следует проводить следующим образом. При снижении напряжения питания на 10% к двигателю будет подведено напряжение $U = 0,9U_{НОМ}$. Величина вращающего момента двигателя пропорциональна квадрату напряжения. Следовательно, можно составить пропорцию, из которой и определяется новое значение пускового момента.

$$\frac{M'_{\Pi}}{M_{\Pi}} = \frac{(0,9U_{НОМ})^2}{U_{НОМ}^2}. \quad (3.9)$$

3.4.6. Выбор трансформатора для питания асинхронных двигателей и расчет его некоторых параметров по данным каталога производят по величине полной мощности S_H , потребляемой двигателем в номинальном режиме.

Если $S_{НОМ} \leq 3кВА$, расчет ведут для 100 двигателей, если получилось $S_{НОМ} > 3кВА$ - расчет ведут для десяти двигателей. По рассчитанному значению полной мощности для 10 или 100 двигателей и выбирают трансформатор таким образом, чтобы

$$S_T \geq S_{\Sigma ТАД}$$

Тип трансформатора выбирают по таблице П.2.

Выбранный трансформатор должен иметь коэффициент нагрузки $1 > \beta \geq 0,8$. Если с помощью одного трансформатора невозможно обеспечить требуемый коэффициент нагрузки, следует взять два трансформатора меньшей мощности, которые будут работать параллельно. Коэффициент нагрузки определяют следующим образом

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2НОМ}}, \quad (3.10)$$

где I_2 - ток, потребляемый двигателями;

$I_{2НОМ}$ - номинальный ток вторичной обмотки трансформатора.

Ток, потребляемый двигателями, определяем по полной мощности и линейному напряжению питания двигателей

$$I_2 = \frac{S_{НОМ} \cdot k}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (3.11)$$

где $S_{НОМ}$ - полная номинальная мощность одного двигателя;

k - количество двигателей;

U - линейное напряжение питания двигателя (большее из напряжений, приведенных в таблице П.1).

Номинальный ток трансформатора

$$I_2 = \frac{S_{НОМ.Т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{Н.НОМ}}, \quad (3.12)$$

где $S_{НОМ.Т.}$ - номинальная полная мощность трансформатора (при параллельной работе трансформаторов мощности складываются),

$U_{Н.НОМ}$ - низшее напряжение трансформатора.

Коэффициент полезного действия трансформатора определяется по формуле

$$\eta = \left(1 - \frac{P_X + \beta^2 P_K}{\beta \cdot S_{НОМ} \cos \varphi_2 + P_X + \beta^2 P_K} \right) \cdot 100, \quad (3.13)$$

где P_X , P_K , $S_{НОМ}$ - технические данные трансформатора берутся из таблицы П.2;

$\cos \varphi_2$ - коэффициент мощности ТАД.

Процентное значение изменения вторичного напряжения трансформатора рассчитывается по формуле

$$\Delta U \approx \beta (U_{КА} \cos \varphi_2 + U_{КР} \sin \varphi_2), \quad (3.14)$$

В этой формуле $U_{КА}$ - процентное значение активной составляющей напряжения короткого замыкания, $U_{КР}$ - процентное значение реактивной составляющей напряжения короткого замыкания.

$$U_{КА} = U_K \cos \varphi_K, \quad (3.15)$$

где $\cos \varphi_K$ - коэффициент мощности трансформатора в режиме короткого замыкания.

В свою очередь

$$\cos \varphi_K = \frac{P_K}{S_K}, \quad (3.16)$$

где полная мощность потребляемая трансформатором в режим короткого замыкания равна

$$S_K = \frac{U_K \% \cdot U_{В.НОМ} \cdot I_{1НОМ}}{100}, \quad (3.17)$$

$$I_{1НОМ} \approx \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{В.НОМ}}. \quad (3.18)$$

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания определяется по формуле

$$U_{KP} = \sqrt{U_K^2 - U_{KA}^2}. \quad (3.19)$$

Значение $\sin \varphi_2$, входящее в уравнение (3.14), определяют через $\cos \varphi_2$ - коэффициент мощности ТАД по известным формулам тригонометрии.

Величина напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора определяется по формуле

$$U_2 = U_{H.NOM} \left(1 - \frac{\Delta U}{100} \right). \quad (3.20)$$

Полученное напряжение должно не более чем на 5% отличаться от напряжения питания двигателя. Если отклонение больше, надо рекомендовать к использованию трансформатор с РПН.

Если вместо одного трансформатора взяты два одинаковых трансформатора, то в формулу (3.12) ставится удвоенная полная мощность $S_{НОМ.Т.}$. Если вместо одного трансформатора взяты два разных по мощности трансформатора (при этом у них должны быть одинаковыми $U_{ВН}$, $U_{НН}$, $U_K\%$, схема и группа соединения обмоток), то в формулу (3.12) ставится сумма полных мощностей выбранных трансформаторов, а затем расчет КПД и изменение вторичного напряжения рассчитываются для каждого трансформатора отдельно при одном и том же коэффициенте нагрузки β .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин А.С. Курс электротехники [Текст]: учебник / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 8-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2005. - 542 с.
2. Иванов И.И. Электротехника [Текст]: учебное пособие. - С-Пб.: Лань, 2009. - 496 с.
3. Рекус Г.Г. Сборник задач и упражнений по электротехнике и основам электроники [Текст]: учебное пособие / Г.Г. Рекус, А.И. Белоусов. - М.: Директ-Медиа, 2014. - 417 с. / Университетская библиотека ONLINE – [http:// biblioclub.ru/](http://biblioclub.ru/)
4. Жарова Т.А. Практикум по электротехнике [Текст]: учебное пособие. - С-Пб.: Лань, 2009. - 127 с.

37	АИР112МВ6У3 АИРХ112МВ6У3	4,00	950	82,0	0,81	2,2	2,0	1,6	6,0	220/380
38	АИР112МА8У3 АИРХ112МА8У3	2,20	780	76,5	0,71	2,2	1,8	1,4	6,0	220/380
39	АИР112МВ8У3 АИРХ112МВ8У3	3,00	700	79,0	0,74	2,2	1,8	1,4	6,0	220/380
40	АИР132М2У3 АИРХ132М2У3	11,0	2900	88,0	0,90	2,2	1,6	1,2	7,5	220/380
41	АИР132S4У3 АИРХ132S4У3	7,50	1455	87,5	0,86	2,2	2,0	1,6	7,5	220/380
42	АИР132М4У3 АИРХ132М4У3	11,0	1460	87,5	0,87	2,2	2,0	1,6	7,5	220/380
43	АИР132S6У3 АИРХ132S6У3	5,50	985	85,0	0,80	2,2	2,0	1,6	7,0	220/380
44	АИР132М6У3 АИРХ132М6У3	7,50	970	85,5	0,81	2,2	2,0	1,6	7,0	220/380
45	АИР132S8У3 АИРХ132S8У3	4,00	720	83,0	0,70	2,2	2,0	1,6	7,0	220/380
46	АИР132М8У3 АИРХ132М8У3	5,50	720	83,0	0,74	2,2	1,8	1,4	6,0	220/380
47	АИ280S4У3	110,0	1470	93,5	0,91	2,2	1,6	1,0	6,5	380/660
48	АИ280М4У3	132,0	1480	94,0	0,93	2,4	1,6	1,0	6,5	380/660
49	АИ280S6У3	75,0	985	92,5	0,90	2,2	1,3	1,0	6,5	380/660
50	АИ280М6У3	90,0	985	93,0	0,90	2,4	1,4	1,0	6,5	380/660
51	АИ280S8У3	55,0	735	92,0	0,86	2,2	1,3	1,0	6	380/660
52	АИ280М8У3	750	735	93,0	0,87	2,2	1,4	1,0	6	380/660
53	АИ280S10У3	37,0	590	91,0	0,79	2,3	1,3	0,9	6	380/660
54	АИ280М10У3	45,0	590	91,5	0,79	2,1	1,4	0,9	6	380/660
55	АИ315S4У3	160,0	1480	93,5	0,91	2,0	1,4	1	5,5	380/660
56	АИ315М4У3	200,0	1480	94,0	0,92	2,0	1,4	0,9	5,5	380/660
57	АИ315S6У3	110,0	985	93,0	0,92	2,3	1,4	1	6	380/660
58	АИ315М6У3	132,0	985	93,5	0,90	2,3	1,4	1	6,5	380/660
59	АИ315S8У3	90,0	740	93,0	0,85	2,2	1,2	1	6	380/660
60	АИ315М8У3	110,0	740	93,0	0,86	2,2	1,1	0,9	6	380/660
61	АИ315S10У3	55,0	590	92,0	0,83	2,3	1,4	0,9	6,5	380/660
62	АИ315М10У3	75,0	590	92,0	0,83	2,3	1,3	0,9	6	380/660
63	АИ315S12У3	45,0	490	90,5	0,75	1,8	1,1	0,9	6	380/660
64	АИ315М12У3	55,0	490	91,0	0,75	1,8	1,1	0,9	6	380/660
65	АИ355S42У3	250,0	1485	94,5	0,92	2,0	1,4	0,9	7	380/660
66	АИ355М42У3	315,0	1485	94,5	0,92	2,0	1,4	0,9	7	380/660
67	АИ355S62У3	160,0	985	94,0	0,90	2,0	1,6	1	7	380/660
68	АИ355М62У3	200,0	985	94,5	0,90	2,0	1,6	0,9	7	380/660
69	АИ355S82У3	132,0	740	93,5	0,85	2,0	1,2	0,9	6,5	380/660
70	АИ355М82У3	160,0	740	93,5	0,85	2,0	1,2	0,9	6,5	380/660
71	АИ355S102У3	90,0	590	92,5	0,83	1,9	1,1	0,9	6	380/660
72	АИ355М102У3	110,0	590	93,0	0,83	1,9	1,1	0,9	6	380/660
73	АИ355S122У3	75,0	490	91,5	0,76	1,9	1,1	0,9	6	380/660
74	АИ355М122У3	90,0	490	92,0	0,76	1,9	1,1	0,9	6	380/660

Таблица П.2 – Технические данные трансформаторов

#	Тип	S _{НОМ} , кВА	U _{НОМ.} , кВ		Потери, кВт		U _к %	i _х %	Схема и группа соединения обмоток
			ВН	НН	P _х	P _к			
1	ТСЗ-160/10	160	10	0,4	0,7	2,7	5,5	4	У/УН-0
2	ТСЗ-250/10	250	10	0,4	1	3,8	5,5	3,5	У/УН-0
3	ТСЗ-250/10	250	10	0,69	1	3,8	5,5	3,5	У/УН-0
4	ТСЗ-400/10	400	10	0,4	1,3	5,4	5,5	3	У/УН-0
5	ТСЗ-400/10	400	10	0,69	1,3	5,4	5,5	3	У/УН-0
6	ТСЗ-630/10	630	10	0,4	2	7,3	5,5	1,5	У/УН-0
7	ТСЗ-630/10	630	10	0,69	2	7,3	5,5	1,5	У/УН-0
8	ТСЗ-1000/10	1000	10	0,4	3	11,2	5,5	1,5	У/УН-0
9	ТСЗ-1000/10	1000	10	0,69	3	11,2	5,5	1,5	У/УН-0
10	ТСЗ-1600/10	1600	10	0,4	4,2	16	5,5	1,5	У/УН-0
11	ТСЗ-1600/10	1600	10	0,69	4,2	16	5,5	1,5	У/УН-0
12	ТМ- 25/10	25	10	0,4	0,13	0,6	4,5	3,2	У/УН-0
13	ТМ -40/10	40	10	0,4	0,175	0,88	4,5	3	У/УН-0
14	ТМ -63/10	63	10	0,4	0,24	1,28	4,5	2,8	У/УН-0
15	ТМ -100/10	100	10	0,4	0,33	1,97	4,5	2,6	У/УН-0
16	ТМ -160/10	160	10	0,4	0,51	2,65	4,5	2,4	У/УН-0
17	ТМ -160/10	160	10	0,69	0,51	3,1	6,5	2,4	Д/УН-11
18	ТМФ -160/10	160	10	0,4	0,51	2,65	4,5	2,4	У/УН-0
19	ТМФ-160/10	160	10	0,69	0,51	3,1	4,5	2,4	Д/УН-11
20	ТМ-160/35	160	35	0,4	0,62	2,65	6,5	2,4	У/УН-0
21	ТМ-160/35	160	35	0,69	0,62	3,1	6,5	2,4	Д/УН-11
22	ТМ -250/10	250	10	0,4	0,74	3,7	6,5	2,3	У/УН-0
23	ТМ -250/10	250	10	0,69	0,74	4,2	6,5	2,3	Д/УН-11
24	ТМ- 400/10	400	10	0,4	0,95	5,5	4,5	2,1	У/УН-0
25	ТМ- 400/10	400	10	0,69	0,95	5,9	4,5	2,1	Д/УН-11
26	ТМФ-400/10	400	10	0,4	0,95	5,5	4,5	2,1	У/УН-0
27	ТМФ-400/10	400	10	0,69	0,95	5,9	4,5	2,1	Д/УН-11
28	ТМН-400/35	400	35	0,4	1,2	5,5	6,5	2,1	У/УН-0
29	ТМН-400/35	400	35	0,69	1,2	5,9	6,5	2,1	Д/УН-11
30	ТМ- 630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	У/УН-0
31	ТМ- 630/10	630	10	0,69	1,31	9,5	5,5	2	Д/УН-11
32	ТМН-630/10	630	10	0,4	1,31	7,6	5,5	2	У/УН-0
33	ТМН-630/10	630	10	0,69	1,31	8,5	5,5	2	Д/УН-11
34	ТМ- 630/35	630	35	0,4	1,31	7,6	5,5	2	У/УН-0
35	ТМ- 630/35	630	35	0,69	1,31	8,5	5,5	2	Д/УН-11
36	ТМН-630/35	630	35	0,4	1,31	7,6	5,5	2	У/УН-0
37	ТМН-630/35	630	35	0,69	1,31	8,5	5,5	1,4	Д/УН-11
38	ТМН-1000/10	1000	10	0,4	2,45	12,2	5,5	1,4	У/УН-0
39	ТМН-1000/10	1000	10	0,69	2,45	12,2	5,5	1,4	Д/УН-11
40	ТМ-1000/35	1000	35	0,4	2,2	12,2	6,5	1,4	У/УН-0

41	ТМ-1000/35	1000	35	0,69	2,2	12,2	6,5	1,4	У/У _Н -0
42	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	3,3	18	5,5	1,3	У/У _Н -0
43	ТМ-1600/10	1600	10	0,69	3,3	18	5,5	1,3	Д/У _Н -11
44	ТМН-1600/10	1600	10	0,4	3,3	18	5,5	1,3	У/У _Н -0
45	ТМН-1600/10	1600	10	0,69	3,3	18	5,5	1,3	Д/У _Н -11
46	ТМ-2500/10	2500	10	0,4	4,6	26	5,5	1	Д/У _Н -11
47	ТМ-2500/10	2500	10	0,69	4,6	26	5,5	1	Д/У _Н -11
48	ТМН-2500/10	2500	10	0,4	4,6	23,5	5,5	1	Д/У _Н -11
49	ТМН-2500/10	2500	10	0,69	4,6	23,5	5,5	1	Д/У _Н -11

Примечание: Д – соединение обмоток треугольником, У – соединение обмоток звездой (У_Н – с нейтральной точкой)