

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



БАРАНОВИЧСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

2011

Кафедра физико-математических дисциплин

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ
И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ РЕШЕНИЮ

Для студентов заочного отделения
специальностей 36 01 01 – Технология машиностроения
и 36 01 03 – Технологическое оборудование машиностроительного про-
изводства

Барановичи 2004

Одобрено учебно-методической комиссией инженерного факультета 27.10.2004.

Составитель: И. В. Дубень.

УДК 631.171 : 636 (072)

Электротехника, электрические машины и аппараты. Контрольные задачи и методические указания по их решению / Барановичский государственный университет; Сост. И. В. Дубень, Барановичи, 2004. 42 с.

Изложены порядок выполнения контрольной работы при изучении дисциплины «Электротехника, электрические машины и аппараты» студентами инженерного факультета высшего образования. Приведены варианты заданий, методические рекомендации по выполнению контрольной работы и примеры решения задач.

Для студентов дневного отделения специальностей 36 01 01 – Технология машиностроения и 36 01 01 – Технологическое оборудование машиностроительного производства.

Рисунков 9. Таблиц 8. Библиогр. 9. Приложений 2.

Рецензент: Д. А. Цюпелка.

©Составление: И. В. Дубень, 2004
©Барановичский государственный университет, 2001

ВВЕДЕНИЕ

Задача дисциплины «Электротехника, электрические машины и аппараты» – дать инженеру-механику необходимые знания для изучения принципа действия различных электротехнических устройств с целью эффективного применения их в различных областях своей практической деятельности.

В данном курсе изучаются: цепи постоянного тока, однофазные и трехфазные цепи с резисторами, индуктивными катушками и конденсаторами; электроизмерительные приборы для измерения электрических и неэлектрических величин; однофазные и трехфазные трансформаторы; электродвигатели постоянного тока; асинхронные и синхронные двигатели переменного тока; генераторы постоянного и переменного тока; электропривод и электрооборудование объектов машиностроения; основные элементы, схемы и устройства промышленной электроники.

При изучении всех разделов дисциплины следует стремиться к пониманию физической сущности явлений и процессов в элементах, схемах, приборах, машинах. Следует усвоить применяемые методы анализа, основанные на законах Кирхгофа. Особое внимание должно быть обращено на метод векторных диаграмм, значительно облегчающий изучение курса. Каждый раздел курса следует конспектировать и закреплять решением соответствующих задач.

Будущий инженер-механик должен уметь читать электрические схемы, понимать физические процессы в электрических и магнитных цепях, знать принципы действия, основные характеристики и применения современного электротехнического оборудования и электроизмерительных приборов.

Студенты должны знать:

- единицы измерения электрических и магнитных величин.
- условные и графические обозначения на электротехнических схемах;
- основные принципы и законы, лежащие в основе работы электротехнических и электронных устройств;
- классификацию, устройство и основные параметры наиболее распространенных электротехнических устройств;
- область применения и потенциальные возможности изучаемых электротехнических устройств;

– основные особенности работы устройств, наиболее экономичные и энергосберегающие режимы их работы.

Студенты должны уметь:

– читать принципиальные электрические схемы распространенных электротехнических устройств;

– выбирать и анализировать электротехнические и электронные устройства для решения конкретных инженерных задач;

– обеспечивать безаварийную и безопасную работу электроустановок.

Студенты заочного отделения изучают курс самостоятельно и до вызова на сессию согласно нижеприведенным методическим указаниям в соответствии с вариантом выполняют одну контрольную работу, которая содержит шесть задач.

Настоящие методические указания к выполнению контрольных работ и заданий по ним составлены в соответствии с программой курса «Электротехника, электрические машины и аппараты» для студентов машиностроительных специальностей.

Основная литература

1. Электротехника: Учеб. для неэлектрич. спец. ВУЗов / Под ред. Герасимова В. Г. 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1985.

2. Сборник задач по электротехнике и основам электротехники: Учеб. пособие для неэлектрич. спец. ВУЗов / Под ред. В. Г. Герасимова. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 1987.

3. Касаткин А. С., Немцов М.В. Электротехника: Учеб. пособие для ВУЗов. 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

4. Электротехника / Под ред. В. С. Пантюшина. – М.: Высшая школа, 1976.

Дополнительная литература

5. Китаев В. Е. Электротехника с основами промышленной электроники. М.: Высш. шк., 1985.

6. Пантюшин В. С. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. – М.: Высш. шк., 1976.

7. Яцкевич В.В. Электротехника: Учеб. пособие. – Мн: Ураджай, 1976.

8. Электротехника: Учеб. для ПТУ / Под ред. А. Я. Шихина. – М.: Высш. шк., 1991.

9. Китунович Ф. Г., Илюкевич Ю. П. Электротехника. – Мн.: 1982.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Каждый студент-заочник должен выполнять контрольную работу по своему варианту. Номер принципиальной электрической схемы выбирается по первой букве фамилии студента. По последней цифре шифра выбирается номер варианта исходных данных.

Решение каждой задачи нужно начинать с новой страницы. Условия задач следует формулировать полностью, без сокращений.

При выполнении контрольной работы следует пользоваться общепринятыми обозначениями в соответствии с ГОСТ 1494—77 «Электротехника. Буквенные обозначения основных величин». Решение должно сопровождаться краткими и четкими пояснениями. Текст, формулы и числовые выкладки должны быть написаны четко и аккуратно. Все единицы измерений должны соответствовать Международной системе единиц СИ. Расчеты рекомендуется проводить с точностью до трех значащих цифр. Промежуточные расчеты можно пропустить, если они сравнительно невелики.

Принципиальные электрические схемы, графики и векторные диаграммы нужно вычерчивать аккуратно на листе «в клеточку» или миллиметровой бумаге с применением чертежных принадлежностей, с соблюдением масштаба и норм ЕСКД.

Векторные диаграммы строятся в масштабе, который указывается масштабными коэффициентами $m_U = \dots$ В/см и $m_I = \dots$ А/см. Оси координат графиков вычерчивают сплошными линиями. Каждая функция (если их несколько) должна иметь свою ось ординат. Масштабы шкал по осям выбирают равномерными с использованием всей площади графика. Цифры шкал наносятся слева от оси ординат и снизу от оси абсцисс. Буквенные обозначения шкалы и единицы измерения параметров пишутся над осью абсцисс и рядом с осью ординат в конце их.

При выполнении контрольной работы текст задач обязательно переписывается, для замечаний рецензента следует оставлять поля. В конце работы необходимо указать список использованных литературных источников, расписаться и поставить дату выполнения. Все необходимые исправления в работе после ее рецензирования преподавателем выполняются в той же тетради в разделе «Работа над ошибками».

Контрольная работа, не удовлетворяющая изложенным требованиям или не сданная в срок, установленный графиком сдачи контрольных работ, к рецензированию не принимается.

На экзаменационной сессии каждая контрольная работа защищается студентом-заочником при личном собеседовании с преподавателем.

УСЛОВИЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача 1. В разветвленную цепь постоянного тока (рис. 1) включены источники ЭДС и сопротивления, параметры которых приведены в табл. 1 (вариант исходных данных выбирается по первой букве фамилии студента, номер расчетной схемы – по последней цифре номера зачетной книжки). Требуется:

1. Составить систему уравнений для расчета токов в ветвях цепи по методу непосредственного применения законов Кирхгофа.

2. Определить направления и значения токов в каждой ветви по методу контурных токов.

3. Составить баланс мощностей и проверить правильность решения задачи.

4. Построить в масштабе потенциальную диаграмму для наружного контура цепи.

Т а б л и ц а 1. Исходные данные для расчета разветвленной цепи постоянного тока

Первая буква фамилии	Последняя цифра шифра (№ схемы)	Величины и их значения								
		E_1	E_2	E_3	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
		В	В	В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А,Б,В,Г	0	15	15	20	2	3	4	5	6	7
	1	15	10	5	3	4	5	6	7	1
	2	5	20	10	4	5	6	7	1	2
	3	10	20	5	5	6	7	1	2	3
	4	20	15	10	6	7	1	2	3	4
	5	15	5	25	7	1	2	3	4	5
	6	25	10	5	1	2	3	4	5	7
	7	5	25	10	2	3	4	5	1	7
	8	15	25	15	3	4	5	2	7	6
9	10	25	10	4	5	2	7	6	3	
Д,Е,Ж,З,И	0	15	10	5	3	4	5	6	7	1
	1	5	20	10	4	5	6	7	1	2
	2	10	20	5	5	6	7	1	2	3
	3	20	15	10	6	7	1	2	3	4
	4	15	5	25	7	1	2	3	4	5
	5	25	10	5	1	2	3	4	5	7
	6	5	25	10	2	3	4	5	1	7
	7	15	25	15	3	2	5	4	7	6
	8	10	25	10	7	1	5	3	2	4
9	15	15	20	2	3	4	5	6	7	

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
К,Л,М,Н	0	10	20	5	4	5	6	7	1	2
	1	20	15	10	2	3	4	5	6	7
	2	15	5	25	3	4	5	6	7	1
	3	25	10	5	5	6	7	1	2	3
	4	5	25	10	6	7	1	2	3	4
	5	15	25	15	7	1	2	3	4	5
	6	10	25	10	1	2	3	4	5	7
	7	15	15	20	2	3	4	5	1	7
	8	15	10	5	3	4	5	2	7	6
9	5	20	10	4	5	2	7	6	3	
О,П,Р,С	0	20	15	10	5	6	7	1	2	3
	1	15	5	25	6	7	1	2	3	4
	2	25	10	5	7	1	2	3	4	5
	3	5	25	10	1	2	3	4	5	7
	4	15	25	15	2	3	4	5	1	7
	5	10	25	10	3	2	5	4	7	6
	6	15	15	20	7	1	5	3	2	4
	7	15	10	5	2	3	4	5	6	7
	8	5	20	10	3	4	5	6	7	1
9	10	20	5	5	6	7	1	2	3	
Т,У,Ф,Х,Ц	0	15	5	25	6	7	1	2	3	4
	1	25	10	5	7	1	2	3	4	5
	2	5	25	10	1	2	3	4	5	7
	3	15	25	15	2	3	4	5	1	7
	4	10	25	10	3	2	5	4	7	6
	5	15	15	20	7	1	5	3	2	4
	6	15	10	5	2	3	4	5	6	7
	7	5	20	10	5	6	7	1	5	3
	8	10	20	5	4	5	6	7	1	2
9	25	15	10	3	4	5	3	7	1	
Ч,Щ,Ц,Э, Ю,Я	0	25	10	5	7	1	2	3	4	5
	1	5	25	10	1	2	3	4	5	7
	2	15	25	15	2	3	4	5	1	7
	3	10	25	10	3	4	5	2	7	6
	4	15	15	20	4	5	2	7	6	3
	5	15	10	5	7	1	2	3	4	5
	6	5	20	10	1	2	3	4	5	7
	7	10	20	5	2	3	4	5	1	7
	8	20	15	10	3	4	5	2	1	4
9	15	5	25	1	2	5	4	5	2	

Задача 2. В сеть с переменным синусоидальным напряжением U или током I включены резисторы, индуктивные катушки и конденсаторы (рис. 2). Значения напряжения или тока, активные сопротивления, индуктивности и емкости, частота питающего напряжения – заданы в табл. 2 (вариант исходных данных выбирается по первой букве фамилии студента, номер расчетной схемы – по последней цифре номера зачетной книжки).

Требуется:

1. Определить сопротивления элементов цепи, напряжения и токи в ветвях и на входе цепи.

2. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Задачу рекомендуется решать комплексным методом.

Т а б л и ц а 2. Варианты исходных данных к задаче 2

Первая буква фамилии	Последняя шифра шифра (№ схемы)	Величины и их значения											
		U	I	R	R_1	L_1	C_1	R_2	L_2	C_2	R_3	L_3	C_3
		В	А	Гц	Ом	мГн	мФ	Ом	мГн	мкФ	Ом	мГн	мкФ
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
А,Б,В,Г	0	10	—	40	2	6	—	3	—	1,4	—	7	1,6
	1	—	5	40	3	—	0,6	4	6	—	5	8	—
	2	12	—	40	4	8	—	5	—	1,2	6	9	—
	3	—	6	40	5	—	1,4	6	8	—	7	—	1,4
	4	14	—	40	—	10	1,2	7	10	—	8	—	1,2
	5	—	7	40	6	12	—	—	12	1,0	9	—	1,0
	6	16	—	40	7	—	1,0	8	14	—	—	10	0,8
	7	—	8	40	—	14	0,9	9	—	0,8	10	11	—
	8	18	—	40	8	16	—	10	—	0,6	9	—	0,6
9	—	9	40	9	—	0,7	—	16	0,4	8	12	—	
ДЕЖ, ЗИ	0	12	—	50	3	6	—	4	—	1,4	—	7	1,6
	1	—	4	50	4	—	0,6	5	6	—	6	8	—
	2	14	—	50	5	8	—	6	—	1,2	7	9	—
	3	—	5	50	6	—	1,4	7	8	—	8	—	1,4
	4	16	—	50	—	10	1,2	8	10	—	9	—	1,2
	5	—	6	50	7	12	—	—	12	1,0	10	—	1,0
	6	18	—	50	8	—	1,0	9	14	—	—	10	0,8
	7	—	7	50	—	14	0,9	10	—	0,8	9	11	—
	8	20	—	50	9	16	—	9	—	0,6	8	—	0,6
9	—	8	50	10	—	0,7	—	16	0,4	7	12	—	

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
К,Д,М,Н	0	14	—	60	4	6	—	5	—	1,4	—	7	1,6
	1	—	5	60	5	—	0,6	6	6	—	7	8	—
	2	16	—	60	6	8	—	7	—	1,2	8	9	—
	3	—	6	60	7	—	1,4	8	8	—	9	—	1,4
	4	18	—	60	—	10	1,2	9	10	—	10	—	1,2
	5	—	7	60	8	12	—	—	12	1,0	11	—	1,0
	6	20	—	60	9	—	1,0	10	14	—	—	10	0,8
	7	—	8	60	—	14	0,9	11	—	0,8	12	11	—
	8	22	—	60	10	16	—	12	—	0,6	11	—	0,6
9	—	9	60	11	—	0,7	—	16	0,4	10	12	—	
О,П,Р,С	0	16	—	70	5	6	—	6	—	1,4	—	7	1,6
	1	—	6	70	6	—	0,6	7	6	—	8	8	—
	2	18	—	70	7	8	—	8	—	1,2	9	9	—
	3	—	7	70	8	—	1,4	9	8	—	10	—	1,4
	4	20	—	70	—	10	1,2	10	10	—	11	—	1,2
	5	—	8	70	9	12	—	—	12	1,0	12	—	1,0
	6	22	—	70	10	—	1,0	11	14	—	—	10	0,8
	7	—	9	70	—	14	0,9	12	—	0,8	11	11	—
	8	24	—	70	11	16	—	11	—	0,6	10	—	0,6
9	—	6	70	12	—	0,7	—	16	0,4	9	12	—	
Т,У,Ф, Х,Ц	0	30	—	80	6	6	—	10	—	1,4	—	7	1,6
	1	—	7	80	7	—	0,6	9	6	—	8	8	—
	2	10	—	80	8	8	—	8	—	1,2	7	9	—
	3	—	8	80	9	—	1,4	7	8	—	6	—	1,4
	4	15	—	80	—	10	1,2	6	10	—	5	—	1,2
	5	—	9	80	8	12	—	—	12	1,0	4	—	1,0
	6	20	—	80	7	—	1,0	5	14	—	—	10	0,8
	7	—	6	80	—	14	0,9	4	—	0,8	3	11	—
	8	25	—	80	6	16	—	3	—	0,6	2	—	0,6
9	—	7	80	5	—	0,7	—	16	0,4	1	12	—	
Ч,Ш,Щ, Э,Ю,Я	0	20	—	90	4	6	—	2	—	1,4	—	7	1,6
	1	—	8	90	3	—	0,6	1	6	—	2	8	—
	2	25	—	90	2	8	—	2	—	1,2	3	9	—
	3	—	9	90	1	—	1,4	3	8	—	4	—	1,4
	4	30	—	90	—	10	1,2	4	10	—	5	—	1,2
	5	—	6	90	2	12	—	—	12	1,0	6	—	1,0
	6	10	—	90	3	—	1,0	5	14	—	—	10	0,8
	7	—	7	90	—	14	0,9	6	—	0,8	7	11	—
	8	15	—	90	4	16	—	7	—	0,6	8	—	0,6
9	—	5	90	5	—	0,7	—	16	0,4	9	12	—	

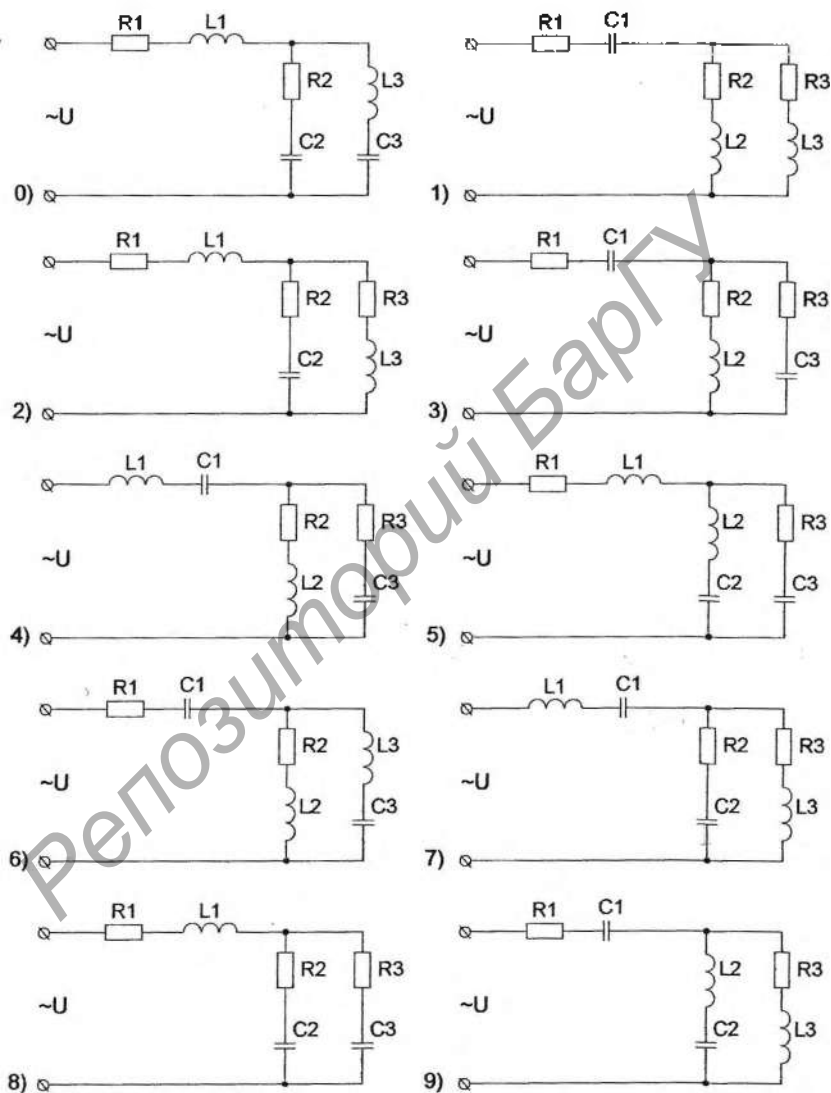


Рис. 2. Принципиальные электрические схемы к задаче 2.

Задача 3. Однофазные приемники включены в трехфазную сеть с линейным напряжением U . Вид соединения («звезда» с нейтральным проводом или «треугольник»), тип сопротивлений и их значения по вариантам приведены в табл. 3 и на рис. 3. Номер варианта исходных данных определяется по последней букве фамилии студента, номер схемы – по последней цифре шифра (номера зачетной книжки).

Требуется:

1. Определить силу тока в фазах и линейных проводах, активную, реактивную и полную мощности отдельных фаз и всей цепи.

2. Построить топографическую векторную диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

3. Для схемы соединенная фаз «звезда» определить графическим методом ток в нейтральном проводе.

Т а б л и ц а 3. Исходные данные к задаче 3

Первая буква фамилии	Последняя шифра шифра (№ схемы)	Величины и их значения									
		U	R_1	X_{L1}	X_{C1}	R_2	X_{L2}	X_{C2}	R_3	X_{L3}	X_{C3}
		В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А,Б,В,Г	0	100	1	9	—	3	—	1	5	5	—
	1	120	2	8	—	4	—	2	6	4	—
	2	130	3	—	3	5	7	—	7	—	1
	3	140	4	—	2	6	6	—	8	—	2
	4	150	5	—	1	7	5	—	9	3	—
	5	160	6	—	2	8	4	—	10	2	—
	6	170	7	7	—	9	—	3	9	—	3
	7	180	8	6	—	10	—	4	8	—	4
	8	190	9	5	—	9	3	—	7	—	5
9	200	10	4	—	8	2	—	6	—	6	
Д,Е,Ж,З,И	0	120	9	3	—	9	—	9	7	5	—
	1	130	8	2	—	8	—	10	6	6	—
	2	140	7	—	5	7	3	—	5	—	9
	3	150	6	—	6	6	4	—	4	—	10
	4	160	5	—	7	5	5	—	3	7	—
	5	170	4	—	8	4	6	—	2	8	—
	6	180	3	1	—	3	—	9	1	—	9
	7	190	2	2	—	2	—	8	2	—	8
	8	200	1	3	—	1	7	—	3	—	7
9	210	2	4	—	2	8	—	4	—	6	

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К,Л,М,Н	0	130	3	7	—	3	—	5	1	9	—
	1	140	4	8	—	2	—	4	2	8	—
	2	150	5	—	7	1	9	—	3	—	5
	3	160	6	—	6	2	10	—	4	—	4
	4	170	7	—	5	3	9	—	5	7	—
	5	180	8	—	4	4	8	—	6	6	—
	6	190	9	9	—	5	—	3	7	—	3
	7	200	10	10	—	6	—	2	8	—	2
	8	210	9	9	—	7	7	—	9	—	1
	9	220	8	8	—	8	6	—	10	—	2
О,П,Р,С	0	140	7	7	—	5	—	3	7	3	—
	1	150	6	6	—	6	—	4	8	2	—
	2	160	5	—	1	7	5	—	9	—	3
	3	170	4	—	2	8	4	—	10	—	4
	4	180	3	—	3	9	3	—	9	1	—
	5	190	2	—	4	10	2	—	8	2	—
	6	200	1	5	—	9	—	5	7	—	5
	7	210	2	4	—	8	—	6	6	—	6
	8	220	3	3	—	7	1	—	5	—	7
	9	230	4	2	—	6	2	—	4	—	8
Т,У,Ф, Х,Ц	0	150	5	9	—	1	—	3	3	7	—
	1	160	6	10	—	2	—	2	4	6	—
	2	170	7	—	5	3	9	—	5	—	3
	3	180	8	—	4	4	8	—	6	—	2
	4	190	9	—	3	5	7	—	7	5	—
	5	200	10	—	2	6	6	—	8	4	—
	6	210	9	9	—	7	—	1	9	—	1
	7	220	8	8	—	8	—	2	10	—	2
	8	230	7	7	—	9	5	—	9	—	3
	9	240	6	6	—	10	4	—	8	—	4
Щ,Щ, Э,Ю,Я	0	160	5	5	—	5	—	7	3	9	—
	1	170	4	6	—	4	—	6	2	10	—
	2	180	3	—	9	3	7	—	1	—	7
	3	190	2	—	8	2	8	—	2	—	6
	4	200	1	—	7	1	9	—	3	9	—
	5	210	2	—	6	2	10	—	4	8	—
	6	220	3	7	—	3	—	5	5	—	5
	7	230	4	8	—	4	—	4	6	—	4
	8	240	5	9	—	5	9	—	7	—	3
	9	250	6	10	—	6	8	—	8	—	2

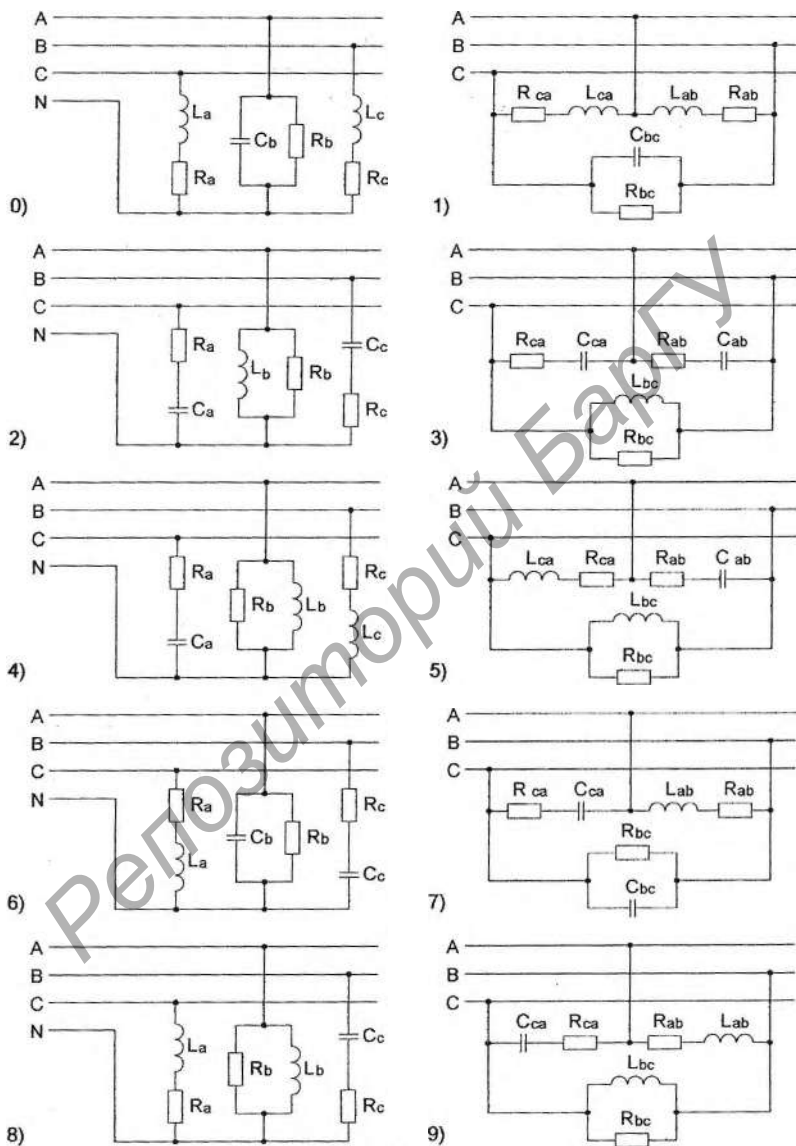


Рис. 3. Варианты принципиальных электрических схем к задаче 3.

Задача 4. Трехфазный силовой понижающий трансформатор со схемой соединения обмоток $Y/Y-0$ имеет технические параметры (табл. 4): номинальная мощность $S_{ном}$, номинальное напряжение первичной обмотки $U_{1ном}$, напряжение вторичной обмотки на холостом ходу $U_{2х}$. Известны результаты испытания трансформатора на холостом ходу (активная мощность P_X при токе холостого хода $i_{х\%}$ в процентах от номинального) и в режиме короткого замыкания (потребляемая мощность P_K при напряжении $u_{к\%}$ от номинального), а также коэффициент мощности вторичной обмотки $\cos \varphi_2$. Номер варианта исходных данных определяется по последней букве фамилии студента, номер схемы – по последней цифре шифра (номера зачетной книжки).

Требуется:

1. Определить параметры схемы замещения (при условии $R_1 = R'_2$ и $X_1 = X'_2$) и угол магнитных потерь δ .

2. Построить внешнюю характеристику $U_2 = f(k_3)$ и зависимость КПД от коэффициента загрузки $\eta = f(k_3)$.

Т а б л и ц а 4. Исходные данные к задаче 4

Первая буква фамилии	Последняя цифра шифра	Величины и их значения								
		$S_{ном}$	$U_{1ном}$	$U_{2х}$	$u_{к\%}$	P_K	P_X	$i_{х\%}$	$\cos \varphi_2$	
		кВА	кВ	кВ	%	кВт	кВт	%	—	
1	2	4	6	7	8	9	10	11	12	
А,Б,В,Г	0	25	6,3	0,4	3,6	0,7	0,12	3,2	0,70	
	1	40	6,3	0,4	3,8	1,0	0,18	3,0	0,71	
	2	63	6,3	0,4	4,0	1,5	0,26	2,8	0,74	
	3	100	6,3	0,4	4,2	2,2	0,36	2,7	0,75	
	4	160	6,3	0,4	4,4	3,2	0,54	2,5	0,76	
	5	250	6,3	0,4	4,6	3,4	0,78	2,1	0,77	
	6	320	6,3	0,4	4,8	4,2	1,10	1,8	0,78	
	7	400	6,3	0,4	5,0	6,8	1,25	1,4	0,79	
	8	480	6,3	0,4	5,2	8	1,7	1,4	0,80	
9	630	6,3	0,4	5,4	12	2,4	1,2	0,82		
Д,Е,Ж, З,И	0	25	6,3	0,4	3,6	0,5	0,12	3,2	0,71	
	1	40	6,3	0,4	3,7	0,9	0,18	3,0	0,74	
	2	63	6,3	0,4	4,0	1,4	0,25	2,8	0,75	
	3	100	6,3	0,4	4,2	2,1	0,36	2,9	0,77	
	4	160	6,3	0,4	4,4	3,1	0,54	2,5	0,78	
	5	250	6,3	0,4	4,6	3,3	0,73	2,1	0,78	
	6	320	6,3	0,4	4,8	4,2	1,10	1,8	0,79	
	7	400	6,3	0,4	5,1	6,7	1,25	1,4	0,80	
	8	480	6,3	0,4	5,2	8,0	1,7	1,3	0,82	
9	630	6,3	0,4	5,4	12,0	2,4	1,2	0,85		

Продолжение табл. 4

1	2	4	6	7	8	9	10	11	12
К,Л,М,Н	0	25	6,3	0,4	3,5	0,6	0,12	3,2	0,74
	1	40	6,3	0,4	3,7	1,1	0,17	3,0	0,75
	2	63	6,3	0,4	4,0	1,5	0,26	2,8	0,77
	3	100	6,3	0,4	4,1	2,3	0,36	2,9	0,78
	4	160	6,3	0,4	4,4	3,3	0,55	2,5	0,78
	5	250	6,3	0,4	4,5	3,4	0,72	2,1	0,79
	6	320	6,3	0,4	4,8	4,3	1,11	1,8	0,80
	7	400	6,3	0,4	5,1	6,7	1,24	1,4	0,82
	8	480	6,3	0,4	5,2	8,1	1,72	1,3	0,85
9	630	6,3	0,4	5,5	12,2	2,41	1,2	0,88	
О,П,Р,С	0	25	10	0,4	3,6	0,7	0,17	3,1	0,70
	1	40	10	0,4	3,7	1,0	0,26	2,9	0,71
	2	63	10	0,4	4,0	1,6	0,36	2,8	0,74
	3	100	10	0,4	4,2	2,4	0,55	2,4	0,75
	4	160	10	0,4	4,4	3,2	0,72	2,0	0,76
	5	250	10	0,4	4,6	3,5	1,11	1,7	0,77
	6	320	10	0,4	4,8	4,4	1,24	1,3	0,78
	7	400	10	0,4	5,1	6,9	1,72	1,2	0,79
	8	480	10	0,4	5,2	8,5	2,41	1,1	0,80
9	630	10	0,4	5,4	12,3	2,77	1,0	0,82	
Т,У,Ф, Х,Ц	0	25	10	0,4	3,3	0,6	0,17	3,0	0,71
	1	40	10	0,4	3,6	1,0	0,26	2,8	0,74
	2	63	10	0,4	3,7	1,5	0,36	2,9	0,75
	3	100	10	0,4	4,0	2,2	0,55	2,5	0,77
	4	160	10	0,4	4,2	3,2	0,72	2,1	0,78
	5	250	10	0,4	4,4	3,4	1,11	1,8	0,78
	6	320	10	0,4	4,6	4,3	1,24	1,4	0,79
	7	400	10	0,4	4,8	6,8	1,72	1,3	0,80
	8	480	10	0,4	5,1	8,1	2,41	1,2	0,82
9	630	10	0,4	5,2	12,2	2,77	1,1	0,85	
Ч,Ш,Щ, Э,Ю,Я	0	25	10	0,4	3,2	0,8	0,17	3,4	0,74
	1	40	10	0,4	3,6	1,2	0,26	3,2	0,75
	2	63	10	0,4	3,7	1,7	0,36	3,0	0,77
	3	100	10	0,4	4,0	2,4	0,55	2,8	0,78
	4	160	10	0,4	4,2	3,5	0,72	2,9	0,78
	5	250	10	0,4	4,4	3,8	1,11	2,5	0,79
	6	320	10	0,4	4,6	4,4	1,24	2,1	0,80
	7	400	10	0,4	4,8	6,9	1,72	1,8	0,82
	8	480	10	0,4	5,1	8,3	2,41	1,4	0,85
9	630	10	0,4	5,2	12,8	2,77	1,3	0,88	

Задача 5. В табличном виде задана нагрузочная характеристика рабочего механизма (табл. 5), кратность его пускового момента $\mu_{пм}$ и требуемая частота вращения n_M . Требуется:

1. Вычертить нагрузочную диаграмму рабочего механизма (рис. 4).
2. Выбрать трехфазный асинхронный электродвигатель, пользуясь паспортными данными серийных двигателей (прилож. 1).

3. Определить номинальный ток I_N , пусковой ток $I_{п}$, скольжение при номинальной нагрузке s_N , потребляемую из сети мощность $P_{1,Н}$ при номинальной нагрузке.

4. Построить механическую характеристику электродвигателя $M_{дв} = f(\omega)$. Определить угловую скорость и момент вращения электродвигателя при максимальной мощности рабочего механизма.

Номер варианта исходных данных определяется по последней букве фамилии студента, номер схемы – по последней цифре шифра (номера зачетной книжки).

Т а б л и ц а 5. Исходные данные к задаче 5

Первая буква фамилии	Последняя цифра шифра	Величины и их значения									
		n_M	$\mu_{пм}$	$P_{сн}$	t_1	$P_{с2}$	t_2	$P_{с3}$	t_3	$P_{с4}$	t_4
		об/мин	—	кВт	с	кВт	с	кВт	с	кВт	с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А,Б,В,Г	0	710	0,3	2	10	4	70	6	40	4	80
	1	710	0,4	4	10	8	70	12	40	8	80
	2	710	0,5	6	20	12	60	18	50	12	70
	3	720	0,6	8	20	16	60	24	50	16	70
	4	720	0,7	10	30	20	50	30	60	20	60
	5	720	0,8	12	30	24	50	36	60	24	60
	6	725	0,9	14	40	28	40	42	70	28	50
	7	725	1,0	16	40	32	40	48	70	32	50
	8	725	1,1	18	50	36	30	54	80	36	40
9	730	1,2	20	50	40	30	60	80	40	40	
Д,Е,Ж, З,И	0	970	1,2	2	25	40	30	6	20	4	75
	1	970	1,1	4	25	45	30	12	20	8	75
	2	970	1,0	6	20	50	30	18	30	12	70
	3	975	0,9	8	20	55	30	24	30	16	70
	4	975	0,8	10	15	60	30	30	40	20	65
	5	975	0,7	12	15	65	30	36	40	24	65
	6	975	0,6	14	10	70	30	42	50	28	60
	7	980	0,5	16	10	75	30	48	50	32	60
	8	980	0,4	18	5	80	30	54	60	36	55
9	980	0,3	20	5	85	30	60	60	40	55	

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К,Л,М,Н	0	970	0,1	2	10	6	70	12	40	2	50
	1	970	0,3	3	10	8	70	14	40	3	50
	2	970	0,5	4	20	10	60	16	50	4	40
	3	975	0,7	5	20	12	60	18	50	5	40
	4	975	0,9	6	30	14	50	20	60	6	30
	5	975	1,1	7	30	16	50	22	60	7	30
	6	975	1,3	8	40	18	40	24	70	8	20
	7	980	1,5	9	40	20	40	26	70	9	20
	8	980	1,7	10	50	22	30	28	80	10	10
	9	980	1,8	11	50	24	30	30	80	11	10
О,П,Р,С	0	1470	1,6	35	40	32	25	60	15	32	50
	1	1465	1,5	32	40	30	25	56	15	30	50
	2	1465	1,4	29	45	28	20	52	20	28	45
	3	1465	1,3	26	45	26	20	48	20	26	45
	4	1460	1,2	23	50	24	15	44	25	24	40
	5	1460	1,1	20	50	22	15	40	25	22	40
	6	1460	1,0	17	55	20	10	36	30	20	35
	7	1450	0,9	14	55	18	10	32	30	18	35
	8	1450	0,8	11	60	16	5	28	35	16	30
	9	1450	0,7	8	60	14	5	24	35	14	30
Т,У,Ф Х,Ц	0	2850	0,15	2	15	4	35	6	20	4	30
	1	2855	0,20	4	15	8	35	12	20	8	30
	2	2935	0,25	6	25	12	30	18	20	12	25
	3	2935	0,30	8	25	16	30	24	20	16	25
	4	2940	0,35	10	35	20	25	30	20	20	20
	5	2940	0,40	12	35	24	25	36	20	24	20
	6	2940	0,45	14	45	28	20	42	20	28	15
	7	2940	0,50	16	45	32	20	48	20	32	15
	8	2940	0,55	18	50	36	15	54	20	36	15
	9	2940	0,60	20	50	40	15	60	20	40	15
Ч,Ш,Щ, Э,Ю,Я	0	2850	0,65	35	15	4	35	60	10	2	30
	1	2855	0,70	32	20	8	35	56	10	4	30
	2	2935	0,75	29	25	12	30	52	10	6	25
	3	2935	0,80	26	30	16	30	48	10	8	25
	4	2940	0,85	23	35	20	25	44	10	10	20
	5	2940	0,90	20	40	24	25	40	10	12	20
	6	2940	0,85	17	45	28	20	36	10	14	15
	7	2940	0,75	14	50	32	20	32	10	16	15
	8	2940	0,65	11	55	36	15	28	10	18	10
	9	2940	0,55	8	60	40	15	24	10	20	10

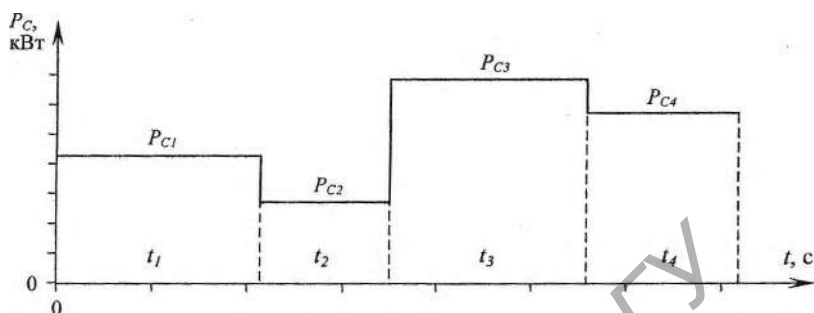


Рис. 4. Нагрузочная характеристика рабочего механизма в общем виде.

Задача 6. Для трехфазного асинхронного электродвигателя, принятого по результатам решения задачи 5, с использованием соответствующей справочной литературы необходимо:

1. Выбрать аппарат управления и защиты: автоматический выключатель, магнитный пускатель и тепловое реле.
2. Вычертить принципиальную электрическую схему реверсивного и неререверсивного управления асинхронным электродвигателем.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

1. Цепи постоянного тока. Решение задач по расчету токов, протекающих в ветвях электрической схемы, необходимо выполнить одним из предлагаемых методов, который выбирается студентом самостоятельно.

Решение задачи по расчету сложных электрических цепей существенно упрощается, если преобразовать ее к более простому виду. Для этого необходимо ветвь без источников ЭДС, в которых резисторы соединены последовательно или параллельно, заменить ветвью, содержащей одно эквивалентное сопротивление. Ветви, в которых действуют источники ЭДС, нельзя объединять между собой, так как в них протекают различные токи. Однако если в ветви с источником ЭДС включено несколько последовательно соединенных резисторов, то это соединение можно заменить одним эквивалентным сопротивлением. Отмеченные преобразования позволяют сократить число решаемых уравнений и избежать возможных ошибок при расчете токов в ветвях схемы.

Порядок расчета электрической цепи при известных сопротивлениях резисторов и ЭДС источников рассмотрим на примере (рис. 5, а).

Заменяя соответствующие соединения сопротивлений их эквивалентными схемами, получим упрощенную электрическую схему (рис. 5, б), где эквивалентные сопротивления равны

$$\begin{aligned}
 R_{\Sigma 1} &= R_1 + R_2 + R_8; \\
 R_{\Sigma 2} &= R_3 + R_4 + R_9; \\
 R_{\Sigma 3} &= R_5 + R_{6,7} = R_5 + [R_6 \cdot R_7 / (R_6 + R_7)].
 \end{aligned}$$

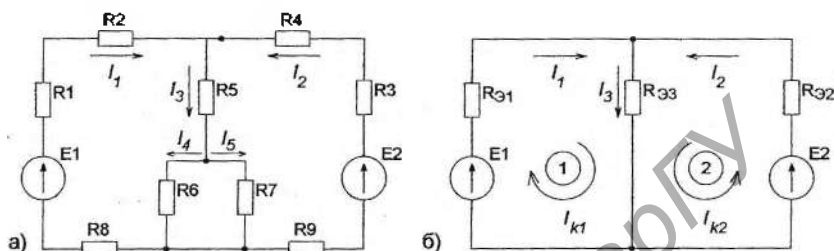


Рис. 5. Расчет цепи постоянного тока: а – заданная принципиальная электрическая схема; б – упрощенная расчетная схема.

Упрощенная схема содержит три ветви ($b = 3$), два узла ($y = 2$) и два независимых контура, число которых определяется выражением

$$k = b - y + 1.$$

Последовательность вычисления токов, протекающих в ветвях схемы, определяется выбранным методом расчета.

Метод непосредственного применения законов Кирхгофа заключается в следующем:

1. Устанавливают направления токов в ветвях.
2. Составляют независимые узловые уравнения по первому закону Кирхгофа. При этом токи, направленные к узлу, записываются со знаком минус, а от узла – со знаком плюс. Число независимых уравнений на единицу меньше числа узлов схемы.

3. Выбираем независимые контуры и указывают стрелкой направление их обхода. Составляют контурные уравнения по второму закону Кирхгофа. Если направление обхода контура совпадает соответственно с направлением ЭДС, тока или напряжения, то слагаемые в этих уравнениях записывают со знаком «+». Если не совпадает, то слагаемые записываются со знаком «-»:

С учетом изложенного система уравнений для схемы (рис. 19, б) будет иметь вид:

$$\begin{cases}
 I_1 + I_2 - I_3 = 0; \\
 R_{\Sigma 1} I_1 + R_{\Sigma 3} I_3 = E_1; \\
 R_{\Sigma 2} I_2 + R_{\Sigma 3} I_3 = E_2.
 \end{cases} \quad (1)$$

4. Решают систему (1) любым известным численным методом и находят неизвестные токи. Если расчетное значение тока в какой-либо ветви получится со знаком минус, то следует считать его направление противоположным выбранному.

5. Определяют токи в ветвях с сопротивлениями R_6 и R_7 :

$$I_4 = U_{67} / R_6; \quad I_5 = U_{67} / R_7, \quad (2)$$

где U_{67} – напряжение на разветвленном участке с резисторами R_6 и R_7 :

$$U_{67} = I_3 \cdot R_6 R_7 / (R_6 + R_7). \quad (3)$$

Метод контурных токов позволяет уменьшить число одновременно решаемых уравнений. Расчет токов ведется следующим образом:

1. Устанавливают независимые контуры (их количество $k = b - y + 1$) и указывают в них направления контурных токов.

2. Составляют систему уравнений по второму закону Кирхгофа для выбранных контуров. Для схемы (рис. 5, б) система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} I_{1k}(R_{y1} + R_{y3}) + I_{2k}R_{33} = E_1; \\ I_{1k}R_{33} + I_{2k}(R_{y2} + R_{y3}) = A_2, \end{cases}$$

где R_{11} , R_{12} , R_{21} и R_{33} – контурные сопротивления, Ом:

$$R_{11} = R_{31} + R_{33}; \quad R_{12} = R_{21} = R_{33}; \quad R_{22} = R_{32} + R_{33};$$

E_1 и E_2 – контурные ЭДС, В.

3. Реальные токи в ветвях схемы находят алгебраическим суммированием контурных токов, протекающих в данной ветви: если контурные токи в ветви имеют одинаковое направление, то их значения складывают, если встречное – из большего тока вычитают меньший. Для рассматриваемой схемы (рис. 5, б)

$$I_1 = I_{1k}; \quad I_2 = I_{2k}; \quad I_3 = I_{1k} - I_{2k}.$$

4. Другие токи, протекающие в ветвях исходной схемы (рис. 5, а), рассчитываются аналогично изложенному выше по выражению (2).

Потенциальная диаграмма отражает электрическое состояние каждого элемента участка цепи. Вдоль оси абсцисс последовательно откладываются значения сопротивления между каждой парой соседних точек анализируемого участка цепи, а по оси ординат – потенциалы ф этих точек.

Для построения сначала необходимо выбрать нулевой уровень потенциала ($\varphi = 0$). Обычно за начало отсчета выбирают заземленную (соединенную с землей) точку. Если такой точки нет, то в качестве нулевого потенциала принимают любую точку цепи.

При перемещении вдоль анализируемого контура потенциал каждой последующей точки определяется с учетом падения напряжения или

наличия источника ЭДС на участке. При возврате в начальную точку замкнутого контура потенциал начальной и конечной точек на диаграмме должен совпасть ($\varphi_1 = \varphi'_1$), что является признаком правильного построения диаграммы (см. также [1-5]).

2. Однофазные электрические цепи. В предлагаемых задачах заданы численные значения активного сопротивления резисторов, индуктивности катушек и емкостей конденсаторов. Заданы также входное напряжение или ток в цепи и их частота.

При расчете цепей синусоидального тока, в отличие от цепей постоянного тока, необходимо учитывать три сопротивления: активное R , реактивное индуктивное X_L и реактивное емкостное X_C . Значение тока в цепи определяется их совокупным действием, т.е. полным сопротивлением Z согласно закону Ома для цепи переменного тока:

$$I = U / Z. \quad (4)$$

Индуктивное сопротивление X_L катушки (Ом)

$$X_L = 2\pi fL = \omega L, \quad (5)$$

где ω – угловая частота тока, рад./с;

f – частота тока, Гц;

L – индуктивность, Гн.

Емкостное сопротивление X_C конденсатора (Ом)

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C}. \quad (6)$$

где C – емкость конденсатора, Ф.

При последовательном соединении нескольких однотипных элементов формулы для вычислений C и L (без учета взаимной индукции) имеют вид:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n + \dots \quad (7)$$

$$L = L_1 + L_2 + \dots + L_n + \dots \quad (8)$$

Комплексный метод является наиболее современным способом расчета цепей переменного тока. При этом все электрические параметры записывают в виде комплексных чисел в алгебраической, показательной или тригонометрической форме. Наиболее употребительными являются представления в алгебраической и показательной формах.

Комплексные действующие ток и напряжение

– в алгебраической форме

$$I^\circ = I' + jI''; \quad U^\circ = U' + jU'' \quad (9)$$

где I' и U' – действительные части тока и напряжения;

I'' и U'' – мнимые части этих величин;

– в тригонометрической форме

$$I^{\circ} = I' \cos \psi_i + jI'' \sin \psi_i; \quad (10)$$

$$U^{\circ} = U' \cos \psi_u + jU'' \sin \psi_u \quad (11)$$

где ψ_U и ψ_i – фазовые углы соответственно тока и напряжения.

– в показательной форме

$$U^{\circ} = U e^{j\psi_u}; \quad I^{\circ} = I e^{j\psi_i}. \quad (12)$$

Комплексное полное сопротивление i -й ветви в алгебраической, тригонометрической и показательной формах:

$$\underline{Z}_i = R_i \pm jX_i = Z_i (\cos \psi_i \pm j \sin \psi_i) = Z_i e^{\pm j\psi_i}, \quad (13)$$

где ψ_i – угол сдвига по фазе между напряжением и током:

$$\psi_i = \arctg (X_i / R_i); \quad (14)$$

Z_i – модуль полного сопротивления ветви:

$$Z_i = R_i \cos \psi_i \pm X_i \sin \psi_i = \sqrt{R_i^2 + X_i^2}. \quad (15)$$

Знак «+» в выражениях (13) – (15) соответствует индуктивному характеру нагрузки, знак «-» – емкостному.

При заданной тригонометрической или показательной форме записи комплексного сопротивления для перехода к алгебраической используются формулы:

$$R_i = Z_i \cos \psi_i; \quad (16)$$

$$X_i = Z_i \sin \psi_i. \quad (17)$$

Расчет однофазных цепей при смешанном соединении элементов R, L, C при известном входном напряжении U и параметрах элементов схемы рассмотрим на примере (рис. 6).

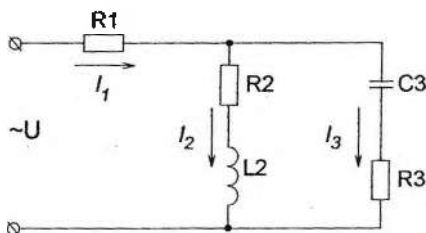


Рис. 6. Приемлемая электрическая схема однофазной цепи переменного тока со смешанным соединением сопротивлений.

1. По заданным параметрам индуктивного и емкостного элементов и частоте f определяют их сопротивления (Ом) по выражениям (5) – (7):

$$\begin{aligned} X_2 &= X_L = 2\pi f L_2 \cdot 10^{-3}; \\ X_3 &= X_C = 1 / (2\pi f C_3) \cdot 10^6, \end{aligned}$$

где L_2 — индуктивность катушки L_2 , мГн;

C_3 — емкость конденсатора C_3 , мкФ;

2. Определяют комплексные сопротивления отдельных ветвей в алгебраической и показательной формах по выражениям (13) – (15):

$$\begin{aligned} \underline{Z}_1 &= R_1 = R_1 e^{j0}; \\ \underline{Z}_2 &= R_2 + jX_2 = Z_2 e^{j\psi}; \\ \underline{Z}_3 &= R_3 - jX_3 = Z_3 e^{-j\psi}. \end{aligned}$$

Знак перед мнимой частью комплексного сопротивления отражает характер реактивного сопротивления: знак "+" соответствует индуктивному, знак "-" — емкостному;

3. Находят комплексное эквивалентное сопротивление двух параллельно соединенных ветвей, затем общее эквивалентное сопротивление схемы

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{23} &= \underline{Z}_2 \underline{Z}_3 / (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3); \\ \underline{Z} &= \underline{Z}_1 + \underline{Z}_{23}. \end{aligned}$$

4. Определяют комплексный входной ток на неразветвленном участке цепи на основании закона Ома

$$I^o = U^o / \underline{Z} = I_1 + jI''_1 = I_1 e^{j\varphi_1}.$$

5. Определяют комплексное напряжение на неразветвленном и разветвленном участках

$$\begin{aligned} U^o_1 &= I^o_1 \underline{Z}_1 = U'_1 + jU''_1 = U_1 e^{j\varphi_1}; \\ U^o_{23} &= I^o_{23} \underline{Z}_{23} = U'_{23} + jU''_{23} = U_{23} E^{j\varphi_{23}}. \end{aligned}$$

6. Комплексные токи ветвей

$$\begin{aligned} I_2 &= U^o_{23} / \underline{Z}_2 = I_2 + jI''_2 = I_2 E^{j\varphi_{23}}; \\ I_3 &= U^o_{23} / \underline{Z}_3 = I_3 + jI''_3 = I_3 E^{j\varphi_{23}}. \end{aligned}$$

7. Комплексная мощность, потребляемая от источника

$$S = U^o I^*_1 = U e^{j\psi_u} \cdot I_1 e^{-j\psi_i} = UI_1 e^{j\varphi} = P + jQ,$$

где I^*_1 — сопряженный комплексный ток, отличающийся от тока I_1 , знаком перед мнимой частью или аргумента ($\varphi = \psi_U - \psi_I$).

Вещественная составляющая комплексной мощности является активной, а мнимая — реактивной мощностью. Если при этом перед мнимой составляющей получился знак плюс ($P + jQ$), то в цепи преобладает реактивная индуктивная мощность Q_L ($\varphi > 0$), если знак минус ($P - jQ$) — реактивная емкостная мощность Q_C ($\varphi < 0$);

8. Составляют уравнение баланса мощностей

$$S = I_1^2 Z_1 + I_2^2 Z_2 + I_3^2 Z_3,$$

где I_1, I_2, I_3 — модули комплексных токов.

9. Определяют мгновенные входные напряжения и ток. При заданном значении напряжения U его начальную фазу считаем равной $\psi_U = 0$. Начальная фаза тока

$$\psi_i = \psi_U - \varphi = -\varphi,$$

тогда

$$U = U_M \sin \omega t; \quad I_1 = I_{1M} \sin (\omega t - \varphi) = \sqrt{2} I_1 \sin (\omega t - \varphi).$$

Комплексный действующий входной ток

$$I_1 = I_1 e^{j\psi_i} = I_1 e^{-j\varphi},$$

где $I_1 = I_{1M} / \sqrt{2}$ — действующее значение тока.

Если угол φ имеет знак «-», то в токе I_1 имеет место индуктивная составляющая, т. е. ток I_1 отстающий от напряжения, если плюс — емкостная (ток I_1 опережает напряжение U).

Выполняя расчет по методу комплексных чисел, необходимо помнить, что вещественная и мнимая составляющие комплексного сопротивления (проводимости) и комплексной мощности всегда представляют собой активную и реактивную составляющие этих величин. Вещественная и мнимая части комплексного напряжения и тока определяются начальными фазами величин, а их активная и реактивная составляющие определяются фазовым сдвигом между током и напряжением.

Метод проводимостей (алгебраический или метод модулей) для расчета однофазных цепей рассмотрим на примере схемы (рис. 6):

1. Определяют индуктивные и емкостные сопротивления ветвей (Ом)

$$X_1 = 0; \quad X_2 = 2\pi f L_2; \quad X_3 = 1 / (2\pi f C_3).$$

2. Определяют полные сопротивления всех участков цепи (Ом)

$$Z_1 = R_1; \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}; \quad Z_3 = \sqrt{R_3^2 + X_3^2}.$$

3. Активные и реактивные проводимости ветвей разветвления (Ом⁻¹)

$$g_2 = R_2 / Z_2^2; \quad g_3 = R_3 / Z_3^2;$$

$$b_2 = X_2 / Z_2^2; \quad b_3 = X_3 / Z_3^2.$$

4. Эквивалентные активная, реактивная и полная проводимости двух параллельно соединенных ветвей (Ом^{-1})

$$g_{23} = g_2 + g_3; \quad b_{23} = b_2 - b_3; \quad y_{23} = \sqrt{g_{23}^2 + b_{23}^2}.$$

В общем случае сумма реактивных проводимостей b_{23} (как и сумма реактивных сопротивлений) алгебраическая. Если реактивные проводимости (сопротивления) однородные, то будет иметь место сумма, если реактивные проводимости (сопротивления) разнородные, то – разность. Знак результата указывает на характер эквивалентной реактивной проводимости (сопротивления): плюс – индуктивный, минус – емкостной.

В данном примере будем считать проводимость b_{23} индуктивной.

5. По вычисленным значениям проводимостей параллельного участка цепи находят полное, активное и реактивное сопротивления эквивалентного ему последовательного участка (Ом):

$$Z_{23} = 1 / y_{23}; \quad R_{23} = g_{23} \cdot Z_{23}^2; \quad X_{23} = b_{23} \cdot Z_{23}^2.$$

6. Находят эквивалентные активное, реактивное и полное сопротивления всей цепи (Ом):

$$R = R_1 + R_{23}; \quad X = X_{23}; \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

7. Определяют ток в неразветвленной части цепи I_1 , равный входному току I , и угол сдвига фаз φ относительно входного напряжения:

$$I_1 = I = U / Z; \quad \varphi = \arctg (X / R).$$

8. Напряжение на разветвленном участке цепи и фазовый сдвиг тока I относительно напряжения U_{23}

$$U_{23} = I_1 Z_{23}; \quad \varphi_{23} = \arctg (b_{23} / g_{23}).$$

9. Токи в ветвях разветвленного участка и соответствующие фазовые сдвиги относительно напряжения U_{23}

$$I_2 = U_{23} / Z_2; \quad \varphi_2 = \arctg (b_2 / g_2); \\ I_3 = U_{23} / Z_3; \quad \varphi_3 = \arctg (b_3 / g_3).$$

10. Напряжение на неразветвленном участке и фазовый сдвиг тока I_1

$$U_1 = I_1 Z_1; \quad \varphi_1 = \arctg (X_1 / R_1).$$

11. Полная (ВА), активная (Вт) и реактивная (вар) мощности цепи

$$S = U \cdot I; \quad P = S \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

12. Уравнения баланса активных и реактивных мощностей:

$$P = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3;$$

$$Q = I_1^2 X_1 + I_2^2 X_2 + I_3^2 X_3.$$

При ином составе исходных данных порядок расчета однофазных цепей аналогичен. Полное напряжение цепи, как и полный ток, могут быть определены через их активные и реактивные составляющие:

$$U = \sqrt{U_A^2 + U_P^2} = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X^2} = IZ.$$

Собственная частота колебаний f_0 параллельного контура

Прежде чем приступить к построению векторной диаграммы, следует записать уравнения по первому и второму законам Кирхгофа для рассматриваемой схемы в векторном представлении токов и напряжений. Для схемы цепи (рис. 6):

$$\vec{I}_1 = \vec{I}_2 + \vec{I}_3; \quad \vec{U} = \vec{U}_1 + \vec{U}_{23}.$$

При построении векторной диаграммы по данным, полученным комплексным методом, удобно выбрать одинаковый масштабный отрезок для токов и напряжений. Если комплексные токи и напряжения записаны в алгебраической форме, то коэффициенты вещественной и мнимой частей величин являются координатами конца соответствующего вектора. Соединив точку конца вектора с началом координат комплексной плоскости и придав отрезку направление от начала координат, получим вектор комплексного тока или напряжения.

При построении векторной диаграммы по данным, полученным методом проводимостей, удобно в качестве первого вектора использовать вектор межузловое напряжения U_{23} , который можно произвольно отложить на плоскости. Затем под углами φ_2 и φ_3 откладываются векторы токов I_2 и I_3 и т. д. (рис. 7).

Фазовый угол φ_i сдвига тока I_i в i -й ветви относительно напряжения U зависит от характера сопротивления в ветви – активного, индуктивного или емкостного:

1. Если в ветви имеется только активное сопротивление ($X_L = X_C = 0$), то $\varphi_i = 0$, вектор активной составляющей тока \vec{I}_R совпадает по фазе с напряжением \vec{U} ,

2. Если сопротивление имеет индуктивный характер ($X_L > X_C$), то угол φ_i может принимать значения в диапазоне от 0 до $\pi/2$ и откладывается по часовой стрелке. При отсутствии активного сопротивления в ветви вектор индуктивной составляющей \vec{I}_L тока отстает от вектора напряжения на угол $\varphi_i = \pi/2$.

3. Если сопротивление имеет емкостной характер ($X_L < X_C$), то угол φ_i может принимать значения в диапазоне от 0 до $-\pi/2$ и откладывается против часовой стрелки. При отсутствии активного сопротивления в ветви $\varphi_i = -\pi/2$.

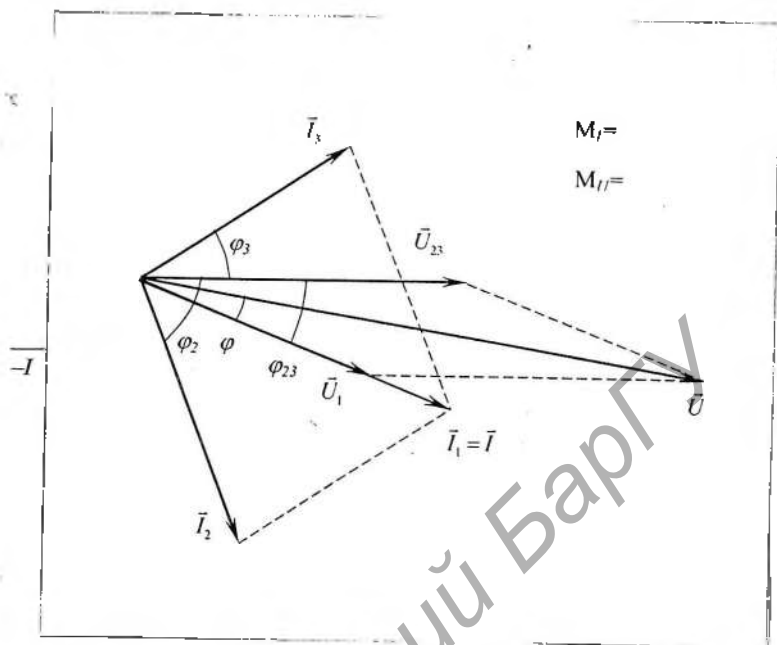


Рис. 7. Пример построения векторной диаграммы напряжений и токов в смешанной однофазной цепи переменного тока.

Если, в результате построения векторной диаграммы, треугольники токов и напряжений получились замкнутыми, это свидетельствует о правильности выполнения расчетов, если разомкнутыми – то расчет неверен и следует искать ошибку.

Задача 3. Для заданной трехфазной цепи с соединением приемников по схеме «звезда» или «треугольник» необходимо определить фазные сопротивления, фазные и линейные токи, активные, реактивные и полные мощности фаз и цепи в целом, построить топографическую векторную диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

Расчет рекомендуется вести в следующем порядке.

1. Полное сопротивление фазы (Ом) при последовательном включении сопротивлений

$$Z = \sqrt{R_i^2 + (X_{Li} - X_{Ci})^2},$$

где R_i , X_{Li} и X_{Ci} – активное, индуктивное и емкостное сопротивления приемников в i -й фазе цепи.

Если сопротивления рассматриваемой фазы включены параллельно, то нужно определить полную проводимость фазы (Ом⁻¹)

$$y = \sqrt{g_i^2 + (b_{Li} - b_{Ci})^2},$$

где g_i , b_{Li} и b_{Ci} – соответственно активная, индуктивная и емкостная проводимости фазы (Ом^{-1}):

$$g_i = 1 / R_i; \quad b_{Li} = 1 / X_{Li}; \quad b_{Ci} = 1 / X_{Ci}.$$

2. При известном фазном напряжении сила тока (А) в i -й фазе соответственно при последовательном и параллельном включении сопротивлений

$$I_i = U / Z_i; \quad I_i = U y_i,$$

Следует иметь ввиду, что при схеме соединения фаз «звезда» фазное напряжение в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного, которое задано по условиям задачи, при схеме «треугольник» фазные и линейные напряжения равны.

3. Активная P_i (Вт), индуктивная Q_{Li} (вар) и емкостная Q_{Ci} (вар) мощности i -й фазы при последовательном и параллельном включении сопротивлений соответственно равны

$$\begin{aligned} P_i &= I_i^2 R_i; & P_i &= U_i^2 g_i; \\ Q_{Li} &= I_i^2 X_{Li}; & Q_{Li} &= U_i^2 b_{Li}; \\ Q_{Ci} &= I_i^2 X_{Ci}; & Q_{Ci} &= U_i^2 b_{Ci}. \end{aligned}$$

4. Полная мощность фазы S_i (ВА) вычисляется по следующей формуле, исключая при этом ненужные слагаемые:

$$S_i = \sqrt{P_i^2 + (Q_{Li} - Q_{Ci})^2}.$$

5. Активная, индуктивная и емкостная мощности всей цепи, Вт

$$P = \Sigma P_i; \quad Q_L = \Sigma Q_{Li}; \quad Q_C = \Sigma Q_{Ci}.$$

6. Полная мощность всей цепи, ВА

$$S = \sqrt{(\Sigma P_i)^2 + (\Sigma Q_{Li} - \Sigma Q_{Ci})^2}.$$

7. Углы сдвига между фазным напряжением и соответствующим фазным током φ_i i -й фазы при последовательном и параллельном соединении сопротивлений на фазе соответственно

$$\varphi_i = \arctg (X_i / R_i); \quad \varphi_i = \arctg (b_i / g_i),$$

где X_i и b_i – реактивное сопротивление и проводимость фазы (Ом^{-1}):

$$X_i = \Sigma X_{Li} - \Sigma X_{Ci}; \quad b_i = \Sigma b_{Li} - \Sigma b_{Ci}.$$

8. Для построения векторной диаграммы напряжений и токов необходимо руководствоваться следующими правилами.

При использовании комплексного метода для расчета цепи векторная диаграмма строится на основе комплексной плоскости с соответствующими координатными осями i и j [1, 3, 4].

При схеме соединения фаз «звезда» с нейтральным проводом следует записать одно векторное уравнение для токов (по первому закону Кирхгофа) и три векторных уравнения для напряжений (по второму закону Кирхгофа):

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{I}_N; \quad (18)$$

$$\begin{cases} \vec{U}_{AB} = \vec{U}_A - \vec{U}_B; \\ \vec{U}_{BC} = \vec{U}_B - \vec{U}_C; \\ \vec{U}_{CA} = \vec{U}_C - \vec{U}_A, \end{cases} \quad (19)$$

Затем в соответствующем масштабе напряжений M_U необходимо построить симметричную трехлучевую звезду векторов фазных напряжений \vec{U}_A, \vec{U}_B и \vec{U}_C (рис. 8). Фазовые углы между векторами равны между собой и составляют по 120° , начала всех векторов – в точке N (нейтраль). Векторы линейных напряжений $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$ строятся на основании уравнений (19) как векторные разности соответствующих фазных напряжений. Векторы линейных (фазных) токов $\vec{I}_A, \vec{I}_B, \vec{I}_C$ откладываются в масштабе токов M_I относительно векторов одноименных фазных напряжений под соответствующими фазовыми углами φ_i . Положительные значения угла φ_i (при индуктивном характере нагрузки i -й фазы), откладываются по часовой стрелке, отрицательные значения угла φ_i (при емкостном характере нагрузки) – против часовой стрелки.

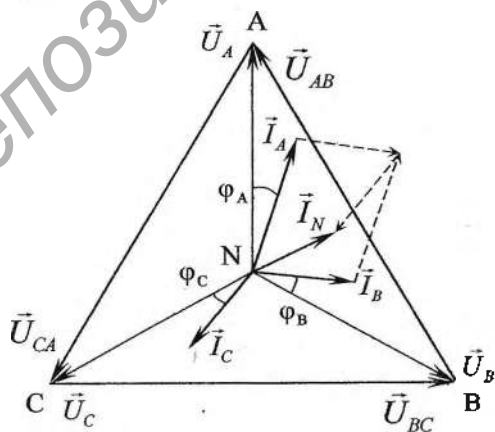


Рис. 8. Топографическая векторная диаграмма напряжений и векторная диаграмма токов при соединении фаз нагрузки по схеме «звезда» с нейтральным проводом.

При решении задачи необходимо определить значение тока I_N в нейтральном проводе, разделив длину полученного вектора \vec{I}_N на принятый ранее масштаб токов M_I . Вектор силы тока в нейтральном проводе \vec{I}_N определяется как геометрическая сумма векторов фазных токов по формуле (18).

Для построения векторной диаграммы при схеме соединения фаз «треугольник» сначала необходимо записать три векторных уравнения для токов (по первому закону Кирхгофа):

$$\begin{cases} \vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}; \\ \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}; \\ \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}. \end{cases} \quad (20)$$

Построение топографической векторной диаграммы напряжений и векторной диаграммы токов (рис. 9) начинают с построения в выбранном масштабе напряжений M_U равнобедренного треугольника линейных (фазных) напряжений $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}, \vec{U}_{CA}$. Фазовые углы между векторами равны между собой (120°), начала векторов $\vec{U}_{AB}, \vec{U}_{BC}$ и \vec{U}_{CA} располагаются в точках В, С и А соответственно.

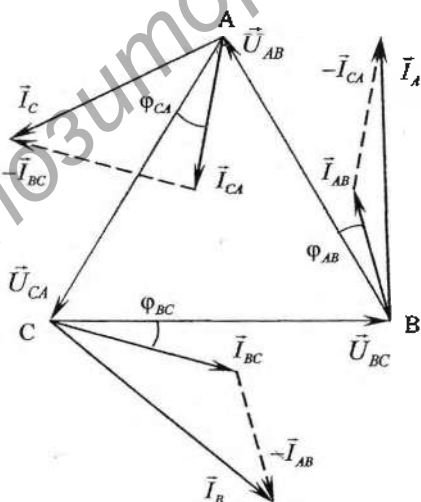


Рис. 9. Топографическая векторная диаграммы напряжений и векторная диаграмма токов при соединении фаз нагрузки по схеме «треугольник».

Затем в выбранном масштабе токов M_i строят векторы фазных токов \vec{I}_{AB} , \vec{I}_{BC} и \vec{I}_{CA} . Их откладывают из тех же точек, что и соответствующие напряжения, но с учетом фазовых углов φ . Положительному значению угла φ_i (индуктивный характер нагрузки) соответствует направление поворота вектора тока относительно напряжения по часовой стрелке, отрицательному значению угла φ_i (емкостной характер нагрузки) – направление поворота вектора тока против часовой стрелки. Если в качестве нагрузки на i -й фазе используется активное сопротивление, то в этом случае фазовый угол $\varphi_i = 0$.

Для построения вектора линейного тока \vec{I}_A к вектору фазного тока \vec{I}_{AB} необходимо прибавить в соответствии с первым уравнением системы (20) вектор $-\vec{I}_{AB}$, равный по длине и противоположный по направлению вектору \vec{I}_{AB} . Аналогичным образом могут быть получены и векторы токов в остальных линейных проводах.

Задача 4. Известны технические параметры трехфазного силового понижающего трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Y-0: номинальная мощность $S_{НОМ}$, номинальное напряжение первичной обмотки $U_{1НОМ}$, напряжение вторичной обмотки на холостом ходу $U_{2Х}$. Заданы также результаты испытания трансформатора на холостом ходу (потребляемая мощность P_X при токе холостого хода I_X) и в режиме короткого замыкания (потребляемая мощность P_K при напряжении U_K), а также коэффициент мощности вторичной обмотки $\cos \varphi_2$.

Требуется определить параметры схемы замещения (при условии $R_1 = R_2$ и $X_1 = X_2$) и угол магнитных потерь δ , построить зависимость вторичного напряжения $U_2 = f(k_3)$ и КПД $\eta = f(k_3)$ от коэффициента загрузки.

Расчет параметров трансформатора проводится в следующем порядке.

1 Определяют номинальный ток $I_{1НОМ}$ (А) первичной обмотки. При соединении трех фаз по схеме «звезда»

$$I_{1НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{1НОМ}}$$

2. Коэффициент трансформации по фазному напряжению вторичной обмотки $U_{2Х}$ на холостом ходу:

$$n = U_{1НОМ} \cdot \varphi / U_{2Х} \cdot \varphi \cdot \sqrt{3} = U_{2Х} \cdot \sqrt{3} / U_{1НОМ}$$

3. Ток холостого хода (А)

$$I_X = i_X\% \cdot I_{1НОМ} / 100\%$$

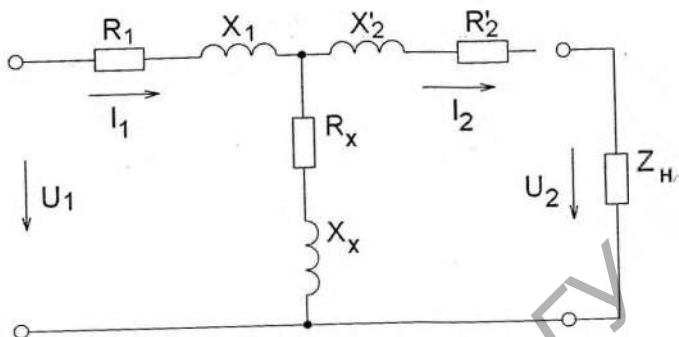


Схема замещения фазы трансформатора

2. Коэффициент трансформации по фазному напряжению вторичной обмотки $U_{2\phi}$ на холостом ходу:

$$n = U_{1\text{НОМ}\phi} / U_{2\phi}$$

3. Ток холостого хода (А)

$$I_X = i_{X\%} \cdot I_{1\text{НОМ}} / 100\%$$

4. Определяют коэффициент мощности на холостом ходу, принимая напряжение первичной обмотки равным номинальному $U_{1\phi} = U_{1\text{НОМ}\phi}$:

$$\cos \varphi_X = \frac{P_X}{\sqrt{3} U_{1\phi} I_X}$$

5. Находят угол магнитных потерь

$$\delta = 90^\circ - \varphi_X$$

6. Фазное напряжение опыта короткого замыкания (В)

$$U_{K\phi} = \frac{U_{1\text{НОМ}} \cdot u_{K\%}}{\sqrt{3} \cdot 100\%}$$

7. Полное сопротивление при коротком замыкании (ВА)

$$Z_K = U_{K\phi} / I_{K\phi}$$

где $I_{K\phi}$ – фазный ток короткого замыкания. При схеме соединения фаз «звезда» и «треугольник» соответственно

$$I_{K\phi} = I_{K\Delta} = I_{1\text{НОМ}}; \quad I_{K\phi} = I_{K\Delta} / \sqrt{3} = I_{1\text{НОМ}} / \sqrt{3};$$

8. Активное сопротивление при коротком замыкании (Ом)

$$R_K = P_K / 3 I_K^2$$

9. Индуктивное сопротивление при коротком замыкании (Ом)

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

10. Составляющие сопротивления обмоток (Ом)

$$R_1 = R'_2 = R_K / 2; \quad X_1 = X'_2 = X_K / 2;$$

$$R_2 = R'_2 / n^2; \quad X_2 = X'_2 / n^2.$$

11. Сопротивления намагничивающей цепи (Ом)

$$Z_X = \frac{U_{1НОМ}}{\sqrt{3}I_X \Phi}; \quad R_X = \frac{P_X}{3I_X^2}; \quad X_X = \sqrt{Z_X^2 - R_X^2}.$$

12. Активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания

$$u_{A\%} = \frac{P_K}{U_{1НОМ} S_{1НОМ}} \cdot 100\%;$$

$$u_{P\%} = \sqrt{u_{K\%}^2 - u_{A\%}^2}.$$

18. По графику $\eta = f_1(k_3)$ определяют максимальное значение КПД η_{max} .

Т а б л и ц а 6. Результаты расчета внешней характеристики в КПД трансформатора при различной нагрузке

k_3	$\Delta u_2, \%$	$U_2, \text{В}$	η
0,01			
0,025			
0,05			
0,1			
0,2			
0,4			
0,6			
0,8			
1,0			

Задача 5. Основанием для расчета трехфазного асинхронного электродвигателя служит нагрузочная диаграмма, характеризующая изменение во времени потребной мощности на валу рабочего механизма.

При известных параметрах нагрузочной диаграммы расчет проводится в следующем порядке.

1. Определяется эквивалентная потребная мощность (кВт)

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{в}}^2 \cdot t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i}},$$

где P_{Ci} и t_i – потребная мощность в i -й период цикла (кВт) и его продолжительность (с).

2. По справочным данным (см. приложение) производится выбор электродвигателя, исходя из условия

$$P_H \geq P_{ЭКВ}$$

где P_H – номинальная мощность двигателя, кВт.

3. Определяют номинальный вращающий момент двигателя, Н·м:

$$M_H = 9550 P_H / n_H = 1000 P_H / \omega_H,$$

где n_H – номинальная частота вращения ротора, об/мин;

ω_H – угловая скорость ротора, c^{-1} .

4. Электродвигатель проверяется по условиям перегрузки. В упрощенных расчетах принимают изменение мощности пропорциональным изменению момента ($P_{МАХ} / P_H = M_M / M_H$), тогда должно выполняться условие

$$P_{МАХ} = k_M \cdot P_H > P_{СМАХ}, \quad (23)$$

где $M_M = \mu_M \cdot M_H$ – максимальный момент двигателя, Н·м;

k_M – перегрузочная способность двигателя;

$P_{СМАХ}$ – наибольшее значение потребной мощности рабочего механизма по нагрузочной диаграмме, кВт.

При невыполнении условия (23) необходимо выбрать двигатель большей мощности.

4. Проверяют электродвигатель по условиям пуска:

$$M_{П} = k_{П} M_H = \frac{9550 k_{П} P_H}{n_H} > \frac{\mu_{ПМ} P_{ЭКВ}}{n}, \quad (24)$$

где $M_{П}$ и M_H – соответственно пусковой и номинальный моменты, Н·м;

$k_{П} = M_{П} / M_H$ – кратность пускового момента двигателя;

$\mu_{ПМ}$ – кратность пускового момента рабочего механизма;

n_H – номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин.;

n – заданная частота вращения вала механизма, об/мин.

При невыполнении условия (24) необходимо выбрать двигатель с повышенным пусковым моментом.

5. Номинальное скольжение электродвигателя

$$s_H = (n_0 - n_H) / n_0,$$

где n_0 – синхронная частота вращения магнитного поля статора, об/мин:

$$n_0 = 60 f / p;$$

f – частота тока питающей сети, Гц;

p – число пар полюсов статора.

Вместо частоты вращения n в расчетах может быть использована угловая скорость ротора двигателя ω (с^{-1}):

$$\omega = \pi n / 30.$$

6. Мощность, потребляемая двигателем из сети при номинальной нагрузке (кВт)

$$P_1 = P_H / \eta_H.$$

7. Расчетные данные для построения механической характеристики электродвигателя $M_{ДВ} = f(s)$ или $M_{ДВ} = f(n)$ (табл. 7) можно получить по различным формулам. В условиях задачи рекомендуется воспользоваться упрощенным выражением для двигательного режима (Н·м)

$$M_{ДВ} = \frac{2M_M}{\frac{s}{s_M} + \frac{s_M}{s}},$$

где $s_M = s_H (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1})$ – критическое скольжение;

$s = 0; s_H; 0,1; 0,2; s_M; 0,3; 0,5; 0,7; 1$ – текущее значение скольжения.

Т а б л и ц а 7. Результаты расчета крутящего момента двигателя

s	0	s_H	0,1	0,2	s_{KP}	0,5	1
$\frac{\omega, \text{с}^{-1}}{M_{ДВ}, \text{Н} \cdot \text{м}}$							

8. Механическая характеристика рабочего механизма в условиях данной задачи задается уравнением

$$M_C = M_0 + (M_{CH} - M_0)(n/n_H)^2,$$

где M_C – момент сопротивления рабочего механизма, Н·м;

M_0 – начальный момент сопротивления рабочего механизма при $n = 0$, Н·м;

$$M_0 = \mu_{ПМ} M_{CH};$$

M_{CH} – номинальный момент сопротивления рабочего механизма, Н·м (принимается равным M_{MAX});

α – показатель степени, зависящий от типа механизма (при решении задач принимается $\alpha = 2$).

Результаты расчетов следует занести в табл. 7.

Механические характеристики электродвигателя и рабочего механизма строятся в следующих координатных осях: скольжение s , угловая

скорость ω или частота вращения n – по оси абсцисс (аргумент), момент $M_{ДВ}$ – по оси ординат (функция). Значение вращающего момента при установившемся режиме работы системы «электродвигатель – рабочий механизм» определяется ординатой точки пересечения их механических характеристик.

Задача 6. Для выбора аппаратов управления и защиты необходимо знать номинальный I_H и пусковой I_P токи электродвигателя.

Номинальный ток электродвигателя I_H определяется по формуле (А)

$$I_H = \frac{1000 P_H}{\sqrt{3} U_D \eta_H \cos \varphi_H}, \quad (25)$$

где U_D – номинальное линейное напряжение сети, В;

η_H – номинальный коэффициент полезного действия электродвигателя;

$\cos \varphi_H$ – номинальный коэффициент мощности электродвигателя.

Ток, потребляемый двигателем при пуске

$$I_P = K I_H,$$

где K – кратность пускового тока.

Автоматический выключатель с комбинированной защитой (тепловой от перегрузок и электромагнитной от токов коротких замыканий) выбирают исходя из следующих условий:

$$U_{НАВ} \geq U_{НУСТ};$$

$$I_{НТР} \geq (1,1 \dots 1,3) I_H;$$

$$I_{НЭЛ} \geq (1,1 \dots 1,6) I_H.$$

где $U_{НАВ}$ и $U_{НУСТ}$ – номинальные напряжения автоматического выключателя и электроустановки, В;

$I_{НАВ}$ и $I_{НУСТ}$ – номинальные токи автоматического выключателя и электроустановки, А;

$I_{НТР}$ и $I_{НЭЛ}$ – номинальные токи теплового расцепителя и электромагнитного расцепителя максимального тока, А.

При решении задачи необходимо выбрать автоматический выключатель типа АЕ2000 и записать для него величины $U_{НАВ}$, $I_{НАВ}$, $I_{НТР}$ и $I_{НЭЛ}$, исходя из приведенных ниже параметров:

– номинальный ток уставки тепловых (термобиметаллических) расцепителей: 0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100 А;

– кратность тока отсечки электромагнитного расцепителя максимального значения по отношению к номинальному – 3; 5; 7; 10; 12.

Магнитные пускатели (табл. 8) выбирают по назначению, величине (габариту) по передаваемой мощности, защищенности, наличию теп-

ловых реле, числу и типу блок-контактов, номинальному напряжению втягивающей катушки, а также наличию механической блокировки (у реверсивных пускателей). Широкое применение на производстве получили магнитные пускатели серии ПМЛ различных исполнений в сочетании с тепловыми реле серии РТЛ (табл. 8).

При выборе теплового реле (табл. 10) сначала определяют его габарит по величине магнитного пускателя. Ток нагревательного элемента $I_{Н.НЭ}$ с учетом разброса по току срабатывания не должен превышать номинальный ток электродвигателя более чем на 20...30%, т.е.

$$I_{Н.НЭ} = (1,2 \dots 1,3) I_{Н.дв.}$$

При решении задачи необходимо выбрать магнитный пускатель и тепловое реле, записать их тип, величину (габарит), исполнение и номинальные токи. Кроме того, следует составить принципиальные электрические схемы нереверсивного и реверсивного управления электродвигателем с использованием соответствующих магнитных пускателей и тепловых реле [1, 9].

Т а б л и ц а 8. Основные технические параметры магнитных пускателей ПМЛ и тепловых реле РТЛ

Тип пускателя	Мощность управляемого двигателя P_n , кВт (при $U = 380$ В)	Тип теплового реле	Пределы регулирования номинального тока несрабатывания, А
ПМЛ-1200	0,37	РТЛ-1006	0,95...1,6
	0,75	РТЛ-1007	1,5...2,6
	1,5	РТЛ-1008	2,4...4,0
	2,2	РТЛ-1010	3,8...6,0
	3,0	РТЛ-1012	5,5...8,0
	4,0	РТЛ-1014	7,0...10
ПМЛ-2200	5,5	РТЛ-1016	9,5...14
	7,5	РТЛ-1021	13...19
	11,0	РТЛ-1022	18...25
ПМЛ-3200	15,0	РТЛ-2053	23...32
	18,5	РТЛ-2055	30...41
ПМЛ-4200	25,0	РТЛ-2057	38...52
	30,0	РТЛ-2059	47...64
ПМЛ-5200	37,0	РТЛ-2061	54...74
ПМЛ-6200	45,0	РТЛ-2063	63...86
	50,0	РТЛ-3105	75...105
ПМЛ-7200	75,0	РТЛ-3125	95...125

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Технические данные электродвигателей серии 4А основного исполнения

Тип	P_n , кВт	I_n , А	n_n , об/мин	$\cos \varphi_n$	η_n , %	k_f	k_p	k_M
Синхронная частота вращения 3000 мин⁻¹								
4A63A2Y3	0,37	0,93	2750	0,86	70	4,5	2,0	2,2
4A63B2Y3	0,55	1,33	2740	0,86	73	4,5	2,0	2,2
4A71A2Y3	0,75	1,7	2840	0,87	77	5,5	2,0	2,2
4A71B2Y3	1,1	2,5	2810	0,87	77,5	5,5	2,0	2,2
4A80A2Y3	1,5	3,3	2850	0,85	81	6,5	2,1	2,6
4A80B2Y3	2,2	4,7	2850	0,87	83	6,5	2,1	2,6
4A90L2Y3	3,0	6,1	2840	0,88	84,5	6,5	2,1	2,5
4A100S2Y3	4,0	7,8	2880	0,89	86,5	7,5	2,0	2,5
4A100L2Y3	5,5	10,5	2880	0,91	87,5	7,5	2,0	2,5
4A112M2Y3	7,5	14,9	2900	0,88	87,5	7,5	2,0	2,8
4A132M2Y3	11	21,2	2900	0,90	88	7,5	1,7	2,8
4A160S2Y3	15	28,5	2940	0,91	88	7	1,4	2,2
4A160M2Y3	18,5	34,5	2940	0,92	88,5	7	1,4	2,2
4A180S2Y3	22	41,6	2945	0,91	88,5	7,5	1,4	2,5
4A180M2Y3	30	56	2945	0,90	90,5	7,5	1,4	2,5
4A200M2Y3	37	70	2945	0,89	90	7,5	1,4	-
4A200L2Y3	45	83,8	2945	0,90	91	7,5	1,4	-
4A225M2Y3	55	100	2945	0,92	91	7,5	1,4	-
4A250S2Y3	75	140	2960	0,89	91	7,5	1,2	-
4A250M2Y3	90	165	2960	0,90	92	7,5	1,2	-
Синхронная частота вращения 1500 мин⁻¹								
4A63B4Y3	0,37	1,2	1365	0,69	68	4	2,0	2,2
4A71A4Y3	0,55	1,7	1390	0,7	70,5	4,5	2,0	2,2
4A71B4Y3	0,75	2,17	1390	0,73	72	4,5	2,0	2,2
4A80A4Y3	1,1	2,76	1420	0,81	75	5	2,0	2,2
4A80B4Y3	1,5	3,57	1415	0,83	77	5	2,0	2,2
4A90L4Y3	2,2	5,02	1425	0,83	80	6	2,1	2,4
4A100S4Y3	3,0	6,7	1435	0,83	82	6	2,0	2,4
4A100L4Y3	4,0	8,6	1430	0,84	84	6	2,0	2,4
4A112M4Y3	5,5	11,5	1445	0,85	84,5	7	2,0	2,2
4A132S4Y3	7,5	15,1	1455	0,86	87,5	7,5	2,2	3,0
4A132M4Y3	11	22	1460	0,87	87,5	7,5	2,2	3,0
4A160S4Y3	15	29,3	1465	0,88	89	7	1,4	2,3
4A160M4Y3	18,5	35,7	1465	0,88	90	7	1,4	2,3
4A180S4Y3	22	41,3	1470	0,9	90	6,5	1,4	2,3
4A180M4Y3	30	56	1470	0,89	91	6,5	1,4	2,3
4A200M4Y3	37	68,8	1475	0,9	91	7	1,4	-
4A200L4Y3	45	82,6	1475	0,9	92	7	1,4	-
4A225M4Y3	55	100	1480	0,9	92,5	7	1,3	-
4A250S4Y3	75	136	1480	0,9	93	7	1,2	-
4A250M4Y3	90	162	1480	0,91	93	7	1,2	-

Тип	P_n , кВт	I_n , А	n_n , об/мин	$\cos \varphi_n$	η_n , %	k_d	k_{II}	k_M
Синхронная частота вращения 1000 мин⁻¹								
4A71A6Y3	0,37	1,26	910	0,69	64,5	4	2,0	2,0
4A71B6Y3	0,55	1,74	900	0,71	67,5	4	2,0	2,2
4A80A6Y3	0,75	2,24	915	0,74	69	4	2,0	2,2
4A80B6Y3	1,1	3,05	920	0,74	74	4	2,0	2,2
4A90L6Y3	1,5	4,1	935	0,74	75	4,5	2,0	2,2
4A100L6Y3	2,2	5,65	950	0,73	81	5	2,0	2,2
4A112MA6Y3	3,0	7,4	955	0,76	81	6	2,0	2,5
4A112MB6Y3	4,0	9,13	950	0,81	82	6	2,0	2,5
4A132S6Y4	5,5	12,2	965	0,8	85	6,5	2,0	2,5
4A132M6Y3	7,5	16,5	970	0,81	85	6,5	2,0	2,5
4A160S6Y3	11	22,6	975	0,86	86	6	1,2	2,0
4A160M6Y3	15	30	975	0,87	87,5	6	1,2	2,0
4A180M6Y3	18,5	36,6	975	0,87	88	5	1,2	2,0
4A200M6Y3	22	41,3	975	0,9	90	6,5	1,3	2,4
4A200L6Y3	30	56	980	0,9	90,5	6,5	1,3	2,4
4A225M6Y3	37	69,4	980	0,89	91,5	6,5	1,2	2,3
4A250S6Y3	45	84	985	0,89	91,5	6,5	1,2	2,1
4A250M6Y3	55	103	985	0,89	91,5	6,5	1,2	2,1
4A280S6Y3	75	139	985	0,89	92	5,5	1,4	2,2
4A280M6Y3	90	165	985	0,89	92,5	5,5	1,4	2,2
Синхронная частота вращения 750 мин⁻¹								
4A80A8Y3	0,37	1,4	675	0,65	61,5	3,5	1,6	1,7
4A80B8Y3	0,55	2,0	700	0,65	64	3,5	1,6	1,7
4A90LA8Y3	0,75	2,7	700	0,62	68	3,5	1,6	1,9
4A90LB8Y3	1,1	3,5	700	0,68	70	3,5	1,6	1,9
4A100L8Y3	1,5	4,7	700	0,65	74	4	1,0	1,9
4A112MA8Y3	2,2	6,18	700	0,71	76,5	5	1,9	2,2
4A112MB8Y3	3,0	7,8	700	0,74	78	5	1,9	2,2
4A132S8Y3	4,0	10,3	720	0,70	83	5,5	1,9	2,6
4A132M8Y3	5,5	13,6	720	0,74	83	5,5	1,9	2,6
4A160S8Y3	7,5	17,7	730	0,75	86	6	1,4	2,2
4A160M8Y3	11	25,6	730	0,75	87	6	1,4	2,2
4A180M8Y3	15	32	730	0,82	87	6	1,2	2,0
4A200M8Y3	18,5	37,8	735	0,84	88,5	5,5	1,2	2,2
4A200L8Y3	22	45	730	0,84	88,5	5,5	1,2	2,0
4A225M8Y3	30	62,4	735	0,81	90	6	1,3	2,1
4A250S8Y3	37	75	735	0,83	90	6	1,2	2,0
4A250M8Y3	45	89,6	740	0,84	91	6	1,2	2,0
4A280S8Y3	55	108	735	0,84	92	5,5	1,2	2,0
4A280M8Y3	75	146	735	0,85	92,5	5,5	1,2	2,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Технические данные электродвигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом

Тип	P_N , кВт	I_N , А	$n_{\text{н}}$, об/мин	$\cos \varphi_N$	η_N , %	k_I	k_{II}	k_M
Синхронная частота вращения 1500 мин⁻¹								
4AP160S4Y3	15	29,6	1465	0,87	87,5	7,5	2,0	2,2
4AP160M4Y3	18,5	36,1	1465	0,87	88,5	7,5	2,0	2,2
4AP180S4Y3	22	42,2	1460	0,87	90	7,5	2,0	2,2
4AP180M4Y3	30	57,5	1460	0,87	90	7,5	2,0	2,2
4AP200M4Y3	37	69,5	1470	0,88	91	7,5	2,0	2,2
4AP200L4Y3	45	83,5	1470	0,88	92	7,5	2,0	2,2
4AP225M4Y3	55	101	1475	0,88	92,5	7	2,0	2,2
4AP250S4Y3	75	139	1475	0,87	93	7,5	2,0	2,2
4AP250M4Y3	90	165	1475	0,88	93	7,5	2,0	2,2
Синхронная частота вращения 1000 мин⁻¹								
4AP160S6Y3	11	23,5	975	0,83	85,5	7	2,0	2,2
4AP160M6Y3	15	31,4	975	0,83	87,5	7	2,0	2,2
4AP180M6Y3	18,5	40,4	970	0,8	87	6	2,0	2,2
4AP200M6Y3	22	43,4	975	0,85	90,5	6,5	2,0	2,2
4AP200L6Y3	30	58,5	975	0,86	90,5	6,5	2,0	2,2
4AP225M6Y3	37	73,8	980	0,84	90,5	7	2,0	2,2
4AP250S6Y3	45	91	980	0,82	91,5	6,5	2,0	2,2
4AP250M6Y3	55	110	980	0,83	91,5	6,5	2,0	2,2
Синхронная частота вращения 750 мин⁻¹								
4AP160S8Y3	7,5	17,6	730	0,75	86	6	1,8	—
4AP160M8Y3	11	25,6	730	0,75	87	6	1,8	—
4AP180M8Y3	15	34,2	730	0,77	86,5	5,5	1,8	—
4AP200M8Y3	18,5	41	730	0,78	88	5,5	1,8	—
4AP200L8Y3	22	47,3	730	0,8	88,5	5,5	1,8	—
4AP225M8Y3	30	63,4	735	0,8	90	5,5	1,8	—
4AP250S8Y3	37	87	735	0,72	90	5,5	1,8	—
4AP250M8Y3	45	101	735	0,75	90,5	5,5	1,8	—

Примечание. При отсутствии необходимых данных следует воспользоваться справочной литературой.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общие указания по выполнению контрольной работы	5
Условия задач контрольной работы	6
Методические указания по решению задач	19
Приложения	39

Репозиторий БарГУ

57106

42

Учебно-методическое издание

Дубень Игорь Викторович

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

Контрольные задачи и методические указания по их решению

Компьютерный набор и верстка: Дубень Е.А.

Подписано в печать 22.11.2004.

Формат 60×84 1/16. Бумага для множительных аппаратов.

Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс».

Усл. печ. л. 2,5. Уч.-изд. л. 2,9.

Тираж 150 экз. Заказ 151.

Редакционно-издательский отдел БарГУ
213410, г. Барановичи Брестской обл., ул. Войкова, 21