

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

**Одобрено кафедрой
«Электрификация и
электрообеспечение»**

**ТЯГОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ
ПОДСТАНЦИИ
(дополнительные разделы)**

**Задание на контрольную работу с методическими указаниями для
студентов V курса**

**специальности
СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ**

Москва – 2015

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Контрольная работа предусматривает выполнение студентами трех заданий. В первом задании рассматриваются теоретические вопросы, связанные с использованием тяговых трансформаторов в системе электроснабжения 2×25 кВ. Во втором задании требуется выбрать мощность однофазных трансформаторов подстанции 2×25 кВ. В третьем задании необходимо рассчитать значения токов в фазах трехфазного трансформатора тяговой подстанции 27,5 кВ.

Вариант задания определяется по двум последним цифрам учебного шифра студента.

Требования к оформлению контрольной работы:

1. Работа выполняется в отдельной тетради или, в случае применения компьютерных технологий, на листах формата А4; на обложке указывают название дисциплины, курс, фамилию, имя, отчество, учебный шифр студента.

2. Расчетную часть каждой задачи следует сопровождать краткими и четкими пояснениями.

3. Следует давать расшифровку каждого условного обозначения, входящего в формулу.

4. При выполнении расчетов необходимо соблюдать следующий порядок: сначала приводят расчетную формулу, затем подставляют числовые значения величин, входящих в формулу, без каких либо преобразований, после этого записывают результат вычислений с указанием единицы измерения.

5. К работе прилагают перечень использованной литературы, в конце работы ставят дату и подпись.

6. Работа, выполненная не по своему варианту, а также написанная неразборчиво, не рецензируется.

7. После получения отрецензированной работы студент должен к зачету исправить все замечания, при большом количестве исправлений они делаются в конце работы.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 51559-2000 Трансформаторы силовые масляные классов напряжения 110 и 220 кВ и автотрансформаторы напряжением 27,5 кВ для электрических железных дорог переменного тока. Общие технические условия.
2. К о п ы л о в И.П. Электрические машины. —М.: Высшая школа, 2002.
3. П о ч а е в е ц В.С. Электрические подстанции. —М.: Желдориздат, 2001.
4. М а р к в а р д т К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. —М.: Транспорт, 1982.
5. Б е й Ю.М., М а м о ш и н Р.Р., П у п ы н и н В.Н., Ш а л и м о в М.Г. Тяговые подстанции. —М.: Транспорт, 1986.
6. Система тягового электроснабжения 2×25 кВ /Б.М. Бородулин, М.И. Векслер, В.Е. Марский, И.В. Павлов. —М.: Транспорт, 1989.
7. В и н о к у р о в В.А., П о п о в Д.А. Электрические машины железнодорожного транспорта. —М.: Транспорт, 1986.
8. С е р г е е н к о в Б.Н. Электрические машины: Трансформаторы. —М.: Высшая школа, 1989.
9. Справочник по электроснабжению железных дорог. Т 2. /Под ред. К.Г. Марквардта. —М.: Транспорт, 1981.
10. В о л ь д е к А.И. Электрические машины. —Л.: Энергия, 1978.

ЗАДАНИЕ 1

1. Привести принципиальную схему системы электроснабжения 2×25 кВ, пояснить ее работу и назначение основных элементов.
2. В соответствии с последней цифрой шифра привести упрощенную схему:
 - 0, 4, 7 — подстанции с трехобмоточными однофазными трансформаторами;
 - 1, 3, 5, 9 — подстанции с двухобмоточными однофазными трансформаторами;
 - 2, 6, 8 — автотрансформаторного пункта.

3. В соответствии со своим вариантом привести основные технические данные используемых трансформаторов, расшифровать их тип и привести схему соединения обмоток.

Методические указания к заданию 1

Система электроснабжения 2×25 кВ имеет ряд преимуществ по сравнению с системой переменного тока 27,5 кВ [6]:

- снижение потерь напряжения и энергии в тяговой сети;
- уменьшение влияния на воздушные линии связи;
- уменьшение нагрузок на провода контактной сети за счет наличия питающего провода;
- увеличение расстояния между тяговыми подстанциями до 80–90 км.

На тяговых подстанциях системы 2×25 кВ устанавливают однофазные двухобмоточные и трехобмоточные трансформаторы мощностью 16000 и 25000 кВ·А с расщепленной обмоткой низкого напряжения (НН), каждая из секций которой выполнена на напряжение 27,5 кВ и имеет мощность, равную половине номинальной мощности трансформатора. Обе секции обмотки НН снабжены устройством регулирования напряжения под нагрузкой (РПН). Каждое плечо подстанции питается от отдельного трансформатора, что позволяет регулировать напряжение на шинах каждого плеча питания подстанции независимо друг от друга.

На межподстанционной зоне для понижения напряжения 50 кВ устанавливают автотрансформаторы (АТ) с номинальным коэффициентом трансформации, равным двум. Основным требованием к их параметрам являются малые потери напряжения и мощности.

Весь необходимый теоретический материал для выполнения данного задания приведен в [1; 3; 6, с. 5–15, 45–47, 55–65].

ЗАДАНИЕ 2

Для питания плеча подстанции системы 2×25 кВ необходимо выбрать мощность однофазных трансформаторов (районная нагрузка на подстанции отсутствует). Напряжение сети

внешнего электроснабжения (выбирается по предпоследней цифре):

0, 2, 4, 6 — 220 кВ;

1, 3, 5, 7, 9 — 110 кВ.

Исходные данные представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Суточный расход энергии через фидеры 1-го и 2-го пути, кВ·А·ч·10 ³	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$W_{\text{ф1}}$	201,5	220,4	240,8	180,2	195,6	210,3	131,1	150,7	120,6	142,8
$W_{\text{ф2}}$	290,7	340,5	172,3	128,7	140,6	150,2	183,5	212,0	168,8	200,5

Таблица 2

Наибольшая часовая нагрузка плеча подстанции, кВ·А·10 ³	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$S_{\text{ичф1}}$	17,9	18,4	20,1	15,2	16,3	17,5	10,9	12,6	10,1	11,5
$S_{\text{ичф2}}$	26,7	28,3	14,4	10,8	11,7	12,6	15,3	17,6	14,0	16,7

Методические указания к задаче 2

Выбор номинальной мощности трансформатора осуществляется исходя из условия [4], что наибольшая температура масла в верхних слоях не должна превосходить 95°С, а температура наиболее нагретой точки обмотки трансформатора должна быть не более 140°С. Увеличение температуры обмотки вызывает необратимые процессы в материале изоляции обмотки, которые называют старением или износом изоляции [4]. Согласно ГОСТ–14209–85 нормальный срок службы трансформатора составляет 25 лет при постоянной температуре обмотки 98°С. В указанном ГОСТе определено, так называемое, шестиградусное правило: каждое увеличение температуры обмотки на 6°С ведет к уменьшению в два раза срока службы трансформатора, и наоборот.

Согласно [6] требуемая мощность однофазных трансформаторов для питания плеча подстанции 2×25 кВ рассчитывается:

$$S_H = K_{\text{HO}} \left(\frac{W_{\text{ТСИМ}}}{48} + K_{\text{ДТ}} S_{\text{ИЧТ}} \right) + 0,33 S_P,$$

где K_{HO} — коэффициент, учитывающий различия нагрузок секций расщепленной обмотки, принимаем [6] $K_{\text{HO}} = 1,1$;

$W_{\text{ТСИМ}}$ — расход полной энергии плеча подстанции в средние сутки месяца наибольшего энергопотребления:

$$W_{\text{ТСИМ}} = K_{\text{ИМ}} W_T,$$

где $K_{\text{ИМ}}$ — коэффициент месячной неравномерности, $K_{\text{ИМ}} = 1,15$;

W_T — среднесуточный расход энергии плеча питания подстанции

$$W_T = K_{\text{МП}} \sum_{j=1}^{N_{\text{Ф}}} W_{\text{Ф}j},$$

где $K_{\text{МП}}$ — коэффициент потерь и дополнительного расхода энергии, $K_{\text{МП}} = 1,1$;

$N_{\text{Ф}}$ — число фидеров, относящихся к данной подстанции;

$W_{\text{Ф}}$ — среднесуточный расход энергии, передаваемой в тяговую сеть через фидеры;

$K_{\text{ДТ}}$ — коэффициент, учитывающий максимальные токи поездов, при наличии поездов с двумя восьмиосными электровазми $K_{\text{ДТ}} = 0,63$ [6];

$S_{\text{ИЧТ}}$ — наибольшая часовая нагрузка плеча питания подстанции:

$$S_{\text{ИЧТ}} = \sum_{j=1}^{N_{\text{Ф}}} S_{\text{ИЧФ}j},$$

$S_{\text{ИЧФ}}$ — наибольшая часовая нагрузка фидеров;

S_P — мощность районной трехфазной нагрузки, $S_P = 0$.

Весь необходимый теоретический материал для выполнения данного задания приведен в [1; 3; 6, с.111–123].

ЗАДАНИЕ 3

1. Начертить распределение токов по фазам в тяговой обмотке 27,5 кВ трехфазного трехобмоточного трансформатора ТДТНЖ.

2. Построить в соответствии со своим вариантом нагрузки (табл. 3, 4) векторную диаграмму напряжений и токов в фазах трансформатора.

3. Рассчитать значения токов в фазах трансформатора и сравнить их с полученными значениями из векторной диаграммы.

Таблица 3

Значение нагрузки, А	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$I_{Л}$	180	300	390	510	600	120	360	450	180	480
$I_{П}$	570	420	210	240	150	540	270	330	450	120

Таблица 4

Угол сдвига, С	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\varphi_{Л}$	15	25	35	30	18	20	25	35	15	30
$\varphi_{П}$	35	15	20	12	25	30	35	17	30	20

Методические указания к задаче 3

На тяговых подстанциях переменного тока 27,5 кВ питание тяговой сети осуществляется от трехфазных трехобмоточных трансформаторов типа ТДТНЖ [1] со схемой соединения $Y/Y/\Delta$ и группой соединения 0–11, и $Y/\Delta/\Delta$ с группой соединения 11–11. Одна из вторичных обмоток (тяговая) соединяется в треугольник, от двух вершин которого подается напряжение в контактную сеть, а третья вершина подключается к рельсам. Другая вторичная обмотка служит для питания районных потребителей. Схема подключения трансформатора показана на рис. 1.

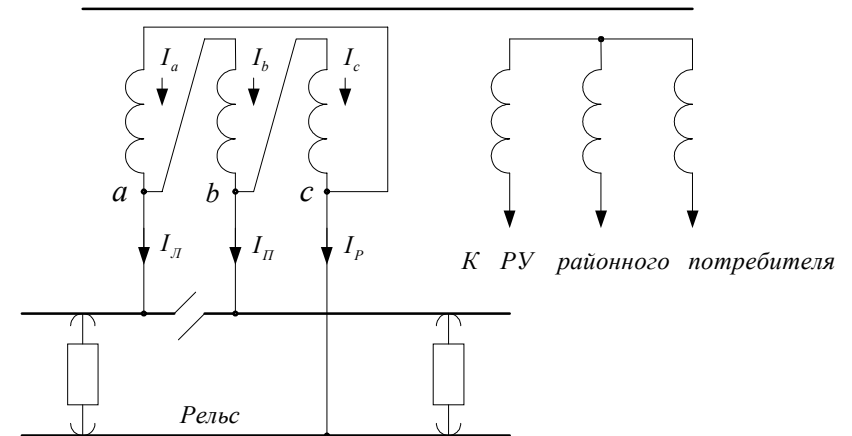
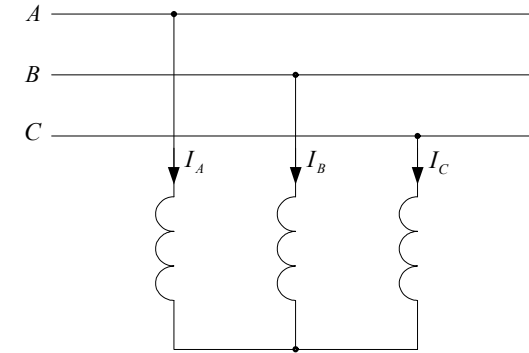


Рис. 1. Схема подключения трансформатора

Нагрузки на фидерных зонах, расположенных с правой и левой стороны от тяговой подстанции, могут существенно различаться, следовательно, имеет место неравномерная и несимметричная нагрузка по фазам трансформатора.

Значение токов фаз можно получить, используя законы Кирхгофа:

$$\dot{I}_a - \dot{I}_b - \dot{I}_{Л} = 0,$$

$$\dot{I}_b - \dot{I}_c - \dot{I}_{П} = 0.$$

Токи фаз вторичной обмотки, соединенной в треугольник

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0.$$

Решая совместно эти уравнения относительно токов фаз, получим:

$$\dot{I}_a = \frac{2}{3}\dot{I}_л + \frac{1}{3}\dot{I}_п;$$

$$\dot{I}_b = -\frac{1}{3}\dot{I}_л + \frac{1}{3}\dot{I}_п;$$

$$\dot{I}_c = -\frac{1}{3}\dot{I}_л - \frac{2}{3}\dot{I}_п.$$

Совмещенная векторная диаграмма напряжений и токов первичной и вторичной обмотки трансформатора при условии, что коэффициент трансформации равен 1, представлена на рис. 2. Вектор $\dot{I}_л$ ориентирован относительно вектора напряжения \dot{U}_{ac} и отстает от него на угол $\varphi_л$. Вектор тока $\dot{I}_п$ ориентирован относительно напряжения U_{CB} и отстает от него на угол $\varphi_п$. Построим токи в фазах треугольника $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ и покажем углы сдвига фаз $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ между векторами токов $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ и соответствующими векторами напряжений $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ (рис. 2). Из векторной диаграммы видно, что токи в фазах несимметричны и не равны между собой по модулю. Наименее загруженной фазой (нерабочей) оказалась фаза B , рабочими фазами — A и C . Причем $\varphi_A > \varphi_л$, фаза A является «отстающей»; $\varphi_C < \varphi_п$, фаза C является «опережающей».

Несимметричная нагрузка по фазам трансформатора приводит к дополнительным потерям напряжения в трансформа-

торе и питающей линии, а также вызывает дополнительные потери мощности и энергии в питающей энергосистеме.

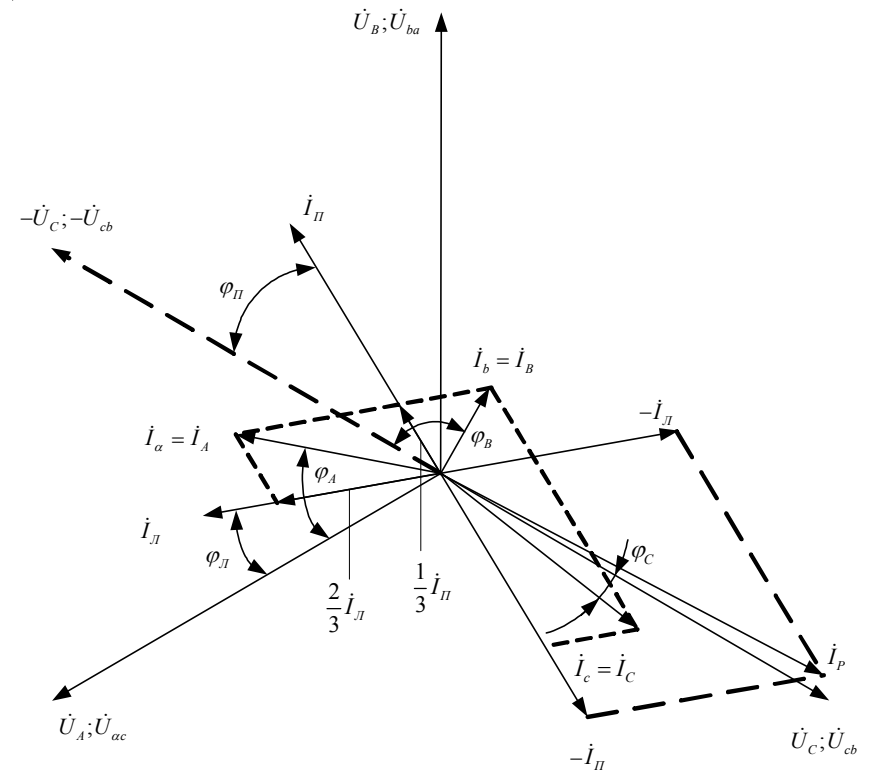


Рис. 2. Векторная диаграмма для определения токов фаз трехфазного трансформатора

Весь необходимый теоретический материал для выполнения данного задания приведен в [3; 4; 5, с.173–175].