

6735

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины  
Кафедра радиофизики и электроники

Богданович В.И., Мышковец В.Н.

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Практическое пособие для студентов физического факультета Гомельского государственного университета им. Ф.Скорины специальностей "Физика", "Физика с дополнительной специализацией "Техническое творчество", "Физическая электроника", АСОИ  
(часть 5)

и 5

Гомель 2000

№. 14

32,1973  
-----  
5735

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Практическое пособие для студентов физического факультета Гомельского государственного университета им. Ф.Скорины специальностей «Физика», «Физика с дополнительной специализацией «Техническое творчество», «Физическая электроника», АСОИ (часть 5).

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

ПРАКТИКА  
2014

Б/ч  
Установа культуры  
"Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт  
імя Францішка Скарыны"  
БІБЛІЯТЭКА

В авторской редакции

Авторы – составители: Богданович В. И. , Мышковец В. Н.

Рецензенты: Ефимчик М. К., Яковцев И. Н.

Рекомендовано к изданию научно – методическим советом  
Гомельского государственного университета  
им. Ф.Скорины

Практическое пособие «Электротехника» часть 5 включает в себе методические указания по выполнению следующих лабораторных работ: «Исследование трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой», «Исследование трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником», «Изучение работы однофазного трансформатора», «Определение группы соединения трехфазного трансформатора».

© Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины

## Лабораторная работа № 6

### Исследование трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой

#### Цель работы:

- усвоить основные понятия, определения и величины, характеризующие трехфазные электрические цепи;
- установить экспериментально взаимосвязь между линейными и фазными напряжениями и токами при соединении трехфазной нагрузки звездой;
- исследовать влияние нулевого провода для несимметричной нагрузки;
- научиться строить векторные и топографические диаграммы токов и напряжений при соединении нагрузки звездой;
- исследовать влияние изменения нагрузки в фазе С, оставляя ее неизменной в фазах А и В на фазные напряжения и перемещение т. О, т.е. нулевой точки.
- исследовать изменения параметров цепи при обрыве одной из фаз.

Продолжительность работы 4 часа.

#### 1. Сведения из теории

Трехфазной цепью называют совокупность трех однофазных электрических цепей, в каждой из которых действуют значения напряжения одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга на угол  $\sqrt{3}120^\circ$ . Графики их мгновенных значений и векторная диаграмма изображена на рис. 1.

Трехфазная система э.д.с. на зажимах трехфазного синхронного генератора обозначают следующим образом: одну из э.д.с. обозначают  $\dot{E}_A$ , отстающую от нее на  $120^\circ$  э.д.с. –  $\dot{E}_B$ , а опережающую на  $120^\circ$  –  $\dot{E}_C$ .

На схемах замещения фазы трехфазного генератора или вторичной обмотки трехфазного трансформатора изображаются двумя способами (рис. 1,2 а,б). Начала фаз обозначены буквами А,В,С, а концы – X, Y, Z.

Если э.д.с. одной фазы (например, фазы А) принять за исходную и считать ее начальную фазу равной нулю, то выражения для мгновенных значений э.д.с. можно записать в виде:

$$e_A = E_m \sin \omega t$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 4\pi/3) = E_m \sin(\omega t + 2\pi/3).$$

Графики мгновенных значений симметричной трехфазной системы э.д.с. показаны на рис. 2. Комплексные действующие значения э.д.с. будут иметь соответственно выражения:

$$\dot{E}_A = E,$$

$$\dot{E}_B = E e^{-j2\pi/3},$$

$$\dot{E}_C = E e^{j2\pi/3}$$

Векторная диаграмма симметричной трехфазной системы э.д.с. показана на рис.3, а из диаграммы следует, что в любой момент времени  $\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$ .

На рис. 3,а изображена трехфазная система э.д.с. прямой последовательности фаз, а на рис. 3,б- обратной.

## 2.Схемы соединения трехфазного генератора и трехфазных нагрузок звездой

### 2.1. Соотношения между линейными и фазными напряжениями и токами

На рис.4 показаны схемы соединения трехфазного генератора звездой и треугольником, отметим, что обмотки фаз генератора предпочитают соединять звездой, т.к. в случае нарушения симметрии э.д.с. в обмотке, соединенной треугольником, уже при холостом ходе возникнут токи, которые вызовут нагревание обмоток и соответствующее увеличение потерь энергии. Что касается вторичных обмоток трехфазных трансформаторов, то их

можно соединять и звездой и треугольником. На рис. 5. показаны схемы соединения нагрузки в звезду. Точка О называется нулевой точкой,  $OO'$  – нулевым проводом. Наличие нулевого провода превращает трехфазную цепь в четырехпроводную. На рис.6 даны векторные диаграммы действующих значений токов и напряжений для соединения звездой для случая равномерной активной нагрузки (рис. 6, а), активной и индуктивной нагрузок (рис.6, б).

На рисунках  $U_A = U_B = U_C$  - векторы фазных напряжений, угол между ними  $120^\circ$ ,  $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$  - векторы линейных напряжений,  $I_A = I_B = I_C$  - векторы линейных токов,  $Z_A = Z_B = Z_C$  - сопротивления нагрузки. При соединении звездой каждая фазная обмотка генератора, линии и фазы нагрузки соединены между собой последовательно. Линейный ток равен фазному

$$I_{л} = I_{ф}$$

Ток в нулевом проводе определяется по первому закону Кирхгофа:

$$I_N = I_A + I_B + I_C$$

Соотношения между линейными и фазными напряжениями трехфазного источника определяется из уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа;

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

$$U_{BC} = U_B - U_C$$

$$U_{CA} = U_C - U_A$$

На рис. 7. Приведена топографическая диаграмма напряжений. Линейные напряжения  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  сдвинуты друг относительно друга на угол  $2\pi/3$  и опережают соответственно векторы фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  на угол  $2\pi/6$ , а значение каждого из линейных напряжений в  $\sqrt{3}$  раз больше фазного, т.к.

$$U_{л} = U_{AB} = 2 U_{\phi} \cos 30^{\circ} = \sqrt{3} U_{\phi},$$

При равномерной нагрузке ток в нулевом проводе равен нулю и в этом случае нулевой провод не нужен

$$(I_A + I_B + I_C = 0).$$

Для случая несимметричной нагрузки расчет трехфазной цепи удобно вести методом узловых напряжений (метод двух узлов). При этом находят напряжение

$$U_{00} = \frac{U_A Y_A + U_B Y_B + U_C Y_C}{(Y_A + Y_B + Y_C + Y_{00})}$$

где  $Y_A, Y_B, Y_C, Y_{00}$ , - комплексные проводимости ветвей нагрузки и нулевого провода.

Токи в фазах нагрузки определяют как

$$I_A = (U_A - U_{00}) Y_A, \quad I_B = (U_B - U_{00}) Y_B, \quad I_C = (U_C - U_{00}) Y_C$$

В случае если заданы линейные напряжения  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  расчет трехфазной цепи можно проводить следующим образом:

$$I_A = U_A Y_A, \quad I_B = U_B Y_B, \quad I_C = U_C Y_C,$$

$$U_A = (U_{AB} Y_B - U_{CA} Y_C) / (Y_A + Y_B + Y_C),$$

$$U_B = (U_{BC} Y_C - U_{AB} Y_A) / (Y_A + Y_B + Y_C),$$

$$U_C = (U_{CA} Y_A - U_{BC} Y_B) / (Y_A + Y_B + Y_C).$$

На рис. 8. Представлена топографическая диаграмма для случая неравномерной нагрузки.

Если нагрузку одной из фаз изменить, то ввиду отсутствия нулевого провода все векторы фазных напряжений изменяются как по величине, так и по направлению. Геометрическая разность каждой пары смежных векторов фазных напряжений при этом остается прежней, выражает величину и направление линейного напряжения. Если изменять нагрузку в фазе С, оставляя ее неизменной и равной в фазах А и В (т.е.  $R_A = R_B$ ), то величина  $U_C$  будет изменяться. Величины  $U_B$  и  $U_A$  также будут изменяться по величине и направлению, оставаясь равными друг другу.

Изменение фазных напряжений вызовет перемещение т.О, т.е. нулевой точки, причем ее перемещение будет происходить по перпендикуляру  $CO_4$ . Изменение фазного напряжения  $U_C$  при изменении нагрузки фазы, очевидно, может происходить в пределах от  $U_C = CO1=0$  до  $U_C = CO4=3/2U_{\phi}$  (рис.9). Первый случай ( $U_C = 0$ ) будет соответствовать короткому замыканию между фазой С и нулевой точкой О (сопротивление фазы С равно нулю). При этом точка О переместится в точку С. В этом случае фазные напряжения возрастут до значений линейного напряжения, а  $U_{00}$  возрастет до значения фазного напряжения сети (рис.9, 10). При увеличении сопротивления фазы С точка О будет перемещаться от точки С к точке  $O_4$ . При полном обрыве фазы С, что будет соответствовать  $R_C = \infty$  (случай, соответствующий перегоранию предохранителей в фазе С), нагрузка цепи будет состоять из последовательно соединенных фаз А и В (рис. 9, 11), т.к. в эти фазы включены одинаковые сопротивления, т.е.  $R_A = R_B$ , то оба фазных напряжения будут равны между собой:  $U_A = U_B = U_{\phi}/2$ . При этом напряжения  $U_C = \sqrt{(ac)^2 - (o_4a)^2} = co_4 = 3/2 U_{\phi}$  Если нагрузка во всех фазах будет различна, т.е.  $R_A \neq R_B \neq R_C$  то и фазные напряжения будут различны по величине и фазе (рис. 12).

При обрыве одной из фаз, например фазы С, и при разных нагрузках в фазах А и В топографическая диаграмма принимает вид, данный на рис.13, в этом случае фазные напряжения  $U_A$  и  $U_B$  не будут равны между собой, т.к. нагрузка этих фаз не одинаковая.

### 3. Экспериментальная часть

3.1. Собрать на монтажной панели стенда лабораторного К4826 схему трехфазной цепи для активной нагрузки соединенной звездой, (рис.14), подключить ее проводами к клеммам ГТН.

3.1.1. Для несимметричной активной нагрузки ( $R_A = 100 \text{ Ом}$ ,  $R_B = 2,2 \text{ кОм}$ ,  $R_C = 10 \text{ кОм}$ ) измерить и записать линейные и фазные токи и напряжения:

- а) без нулевого провода;
- б) с нулевым проводом.

3.1.2. Для симметричной активной нагрузки ( $R_A = R_B = R_C = 680$  Ом) измерить и записать линейные и фазные токи и напряжения:

- а) без нулевого провода;
- б) с нулевым проводом.

3.1.3. Изменить нагрузку фазы С, оставляя ее неизменной в фазах А и В ( $R_A = R_B$ ). Сопротивление фазы С взять равным нулю, т.е.  $U_C = 0$ . Измерить фазные и линейные токи и напряжения. Измерить фазные и линейные токи и напряжения для случаев  $R_C = 100$  Ом ( $R_A = R_B = 680$  Ом) и  $R_C = 10$  кОм ( $R_A = R_B = 680$  Ом).

3.1.4. Для случая обрыва фазы С при равных сопротивлениях на фазах А и В ( $R_A = R_B = 680$  Ом) измерить фазные и линейные токи и напряжения.

3.2. Собрать на монтажной панели стенда лабораторного К4826 схему трехфазной цепи для активной и индуктивной нагрузок соединенной звездой (рис.15), подключив проводами к ГТН.

3.2.1. Настроить ГТН с помощью осциллографа на частоту, заданную в таблице 1.

Таблица 1.

№ подгр.	2			3					
	1	2	3	1	2	3			
№ бригады	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
f, Гц									

3.2.2. Для симметричной нагрузки ( $R_1 = R_2 = R_3 = 680$  Ом) измерить и записать линейные и фазные токи и напряжения:

- а) без нулевого провода;
- б) с нулевым проводом.

3.2.3. Для несимметричной нагрузки ( $R_1 = 100$  Ом,  $R_2 = 2,2$  кОм,  $R_3 = 10$  кОм) измерить и записать линейные и фазные токи и напряжения, а также напряжения  $U_K$  и  $U_R$  на индуктивностях и резисторах в каждой фазе:

- а) без нулевого провода;
- б) с нулевым проводом.

3.2.4. Измерить активные сопротивления катушек индуктивностей.

#### 4. Контрольные вопросы

- 4.1. Дать определение трехфазной системы э.д.с.?
- 4.2. Что представляет собой трехфазная цепь?
- 4.3. Чем отличается несимметричная трехфазная система от симметричной.
- 4.4. Что такое нулевая точка генератора (нагрузки)?
- 4.5. Что такое 4-проводная система?
- 4.6. Дать определение несвязанной трехфазной системы и нарисовать ее схему?
- 4.7. Дать определение фазных и линейных напряжений и токов?
- 4.8. Каковы соотношения между линейными и фазными величинами для источника и нагрузки, соединенной звездой?
- 4.9. К чему приводит обрыв или отсутствие нейтрального провода при несимметричной нагрузке фаз?
- 4.10. Как рассчитывается активная, реактивная и полная мощность трехфазной цепи?
- 4.11. Что такое коэффициент мощности и какую роль он играет в энергетике?
- 4.12. Уметь рассчитать для разных режимов работы трехфазную цепь при соединении нагрузки в звезду и настроить векторные и топографические диаграммы.

#### 5. Требования к содержанию отчета

- 5.1. Название и цель работы.
- 5.2. Схемы рис. 14.
- 5.3. Результаты измерений по п.п. 3.1.1., 3.1.2., 3.1.3, 3.1.4.
- 5.4. По результатам построить векторные и топографические диаграммы.
- 5.5. Проанализировать, как изменяются параметры цепи при подключении нулевого провода.
- 5.6. Проанализировать, как изменяются параметры цепи при изменении нагрузки в фазе С. Проанализировать, как изменяются параметры цепи на обрыве фазы С.
- 5.7. Схема рис. 15
- 5.8. Результаты измерений по п.п. 3.2.2, 3.2.3. По результатам построить векторные диаграммы.
- 5.9. Вычислить значения:  $P_\phi$ ,  $Q_\phi$ ,  $S_\phi$ ,  $\cos\phi_\phi$  для схемы рис. 15.

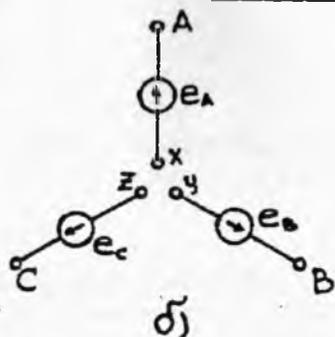
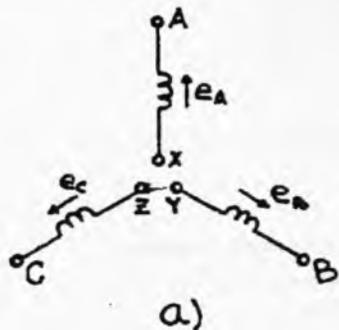


Рис. 1

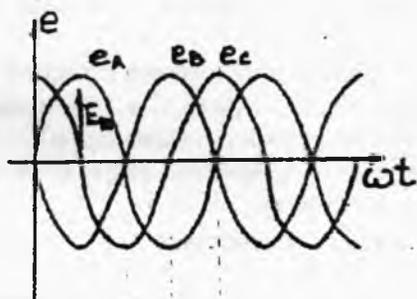


Рис. 2.

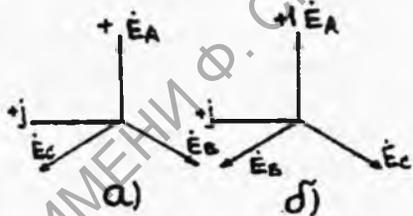


Рис. 3

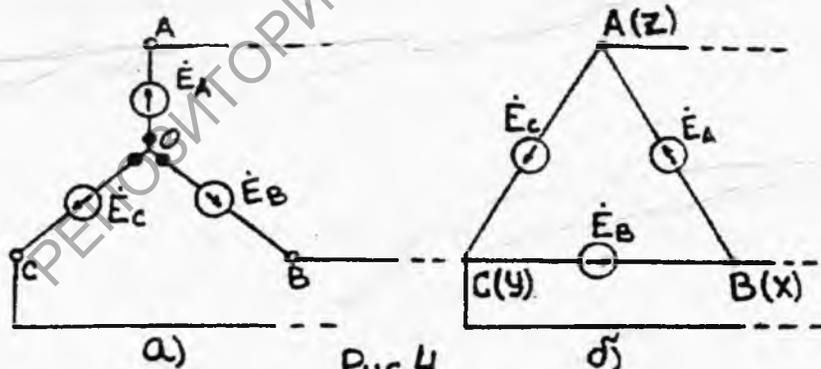
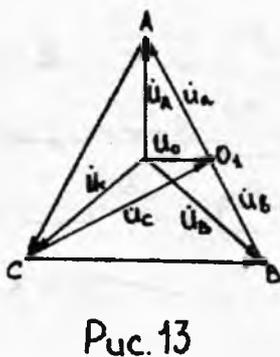
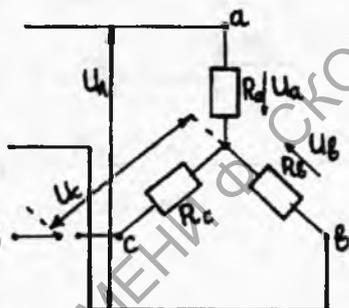
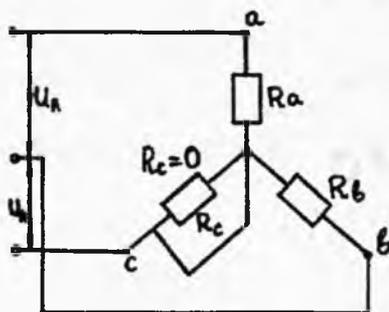
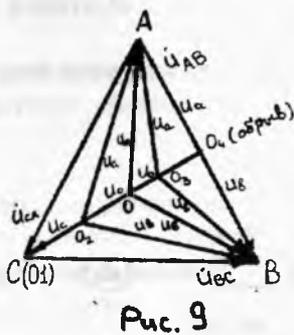


Рис. 4



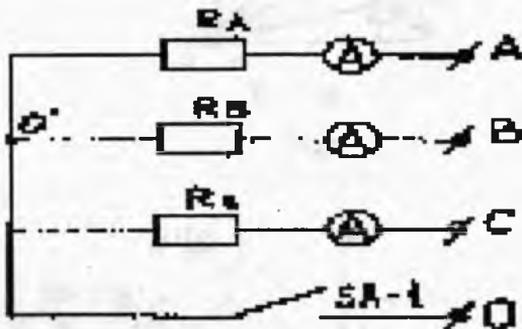
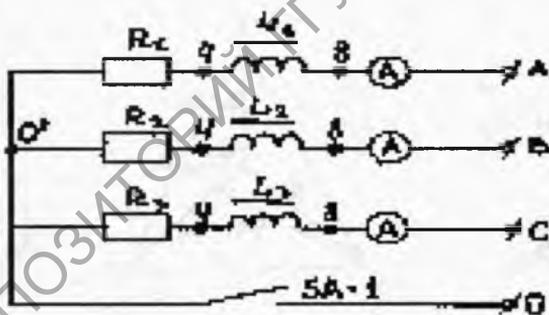


Рис. 14

Рис. 15



## Лабораторная работа № 7

### Исследование трёхфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник

#### Цель работы:

- усвоить основные понятия, определения и величины, характеризующие трёхфазные электрические цепи;
  - изучить способы соединения трёхфазных цепей;
  - изучить режимы работы трёхфазной цепи при соединении нагрузки в «треугольник»;
  - установить экспериментально взаимосвязь между линейными и фазными напряжениями и токами при соединении нагрузки в «треугольник»;
  - научиться строить векторные и топографические диаграммы.
- Продолжительность работы 4 часа.

#### 1. Сведения из теории

Если конец первой фазы генератора А соединить с началом второй фазы В, конец второй фазы В - с началом третьей фазы С и конец третьей фазы С с началом первой фазы А, то получим систему трёхфазного тока при соединении обмоток генератора треугольником.

В связи с тем, что значительная часть приёмников, включаемых в трёхфазные цепи, бывают несимметричными, очень важно на практике обеспечить независимость режима работы отдельных фаз. Кроме четырехпроводной цепи подобными свойствами обладают и трехпроводные цепи при соединении фаз приёмника (нагрузки) треугольником. Такое соединение получится, если три фазы приёмника с фазными комплексными сопротивлениями  $Z_{ав}$ ,  $Z_{вс}$ ,  $Z_{са}$  включить между линейными проводами (рис.1). При этом фазные напряжения нагрузки равны соответствующим линейным напряжениям источника питания-генератора или вторичной обмотки трансформатора, т.е.

$$U_{ab} = U_{AB}, U_{cb} = U_{BC}, U_{ca} = U_{CA}; (U_L = U_\Phi).$$

Токи в фазах нагрузки в этом случае определяются по формулам:

$$I_{ab} = U_{ab}/Z_{ab}, I_{bc} = U_{bc}/Z_{bc}, I_{ca} = U_{ca}/Z_{ca}$$

Линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа для узлов a,b,c:

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}; I_B = I_{bc} - I_{ab}; I_C = I_{ca} - I_{bc};$$

С помощью этих уравнений можно определить линейные токи графически, воспользовавшись векторной диаграммой. Для случая равномерной активной нагрузки векторная диаграмма изображена на рисунке 2, для случая активной и индуктивной нагрузки - на рисунке 3. Для случая симметричной нагрузки

$$I_L = I_\Phi \sqrt{3}$$

Для случая равномерной нагрузки достаточно определить ток в одной фазе. Следует обратить внимание на то, что в трёхпроводной цепи независимо от характера нагрузки геометрическая сумма линейных токов равна нулю:

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

При необходимости расчёт трёхфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник можно выполнить заменив треугольник сопротивлений в эквивалентную звезду. Сопротивления в этом случае вычислять по формулам:

$$Z_A = Z_{ab} \cdot Z_{ca} / (Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}),$$

$$Z_B = Z_{bc} \cdot Z_{ab} / (Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}),$$

$$Z_C = Z_{ca} \cdot Z_{bc} / (Z_{ab} + Z_{bc} + Z_{ca}).$$

Рассмотрим как будут меняться фазные и линейные токи при различных случаях нагрузки трёхфазной цепи, соединённой треугольником.

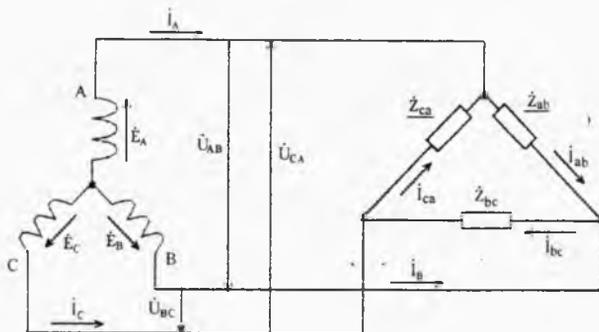


Рис. 1

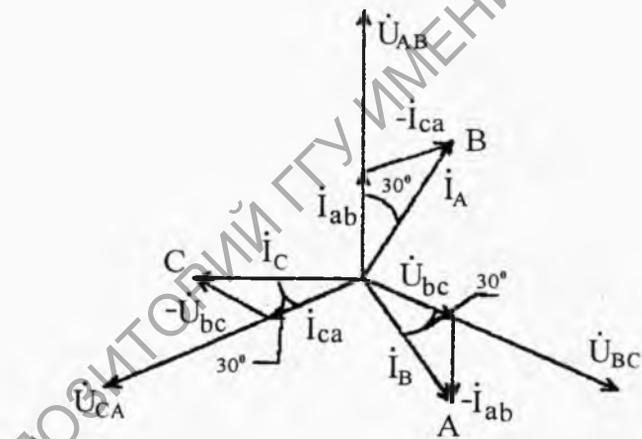


Рис. 2

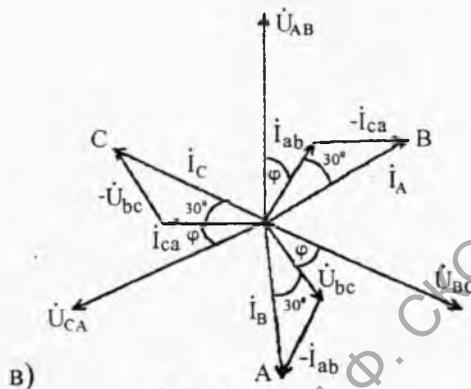


Рис.3

### 1.1.Обрыв одного из линейных проводов при равномерной нагрузке всех трёх фаз

Пусть например производится обрыв фазы С (рис. 4). Тогда между А и В, между которыми действует линейное напряжение  $U_{ав}$ , образуется две параллельные ветви, одна из них будет состоять из нагрузочного сопротивления  $R_{ав}$ , а другая - из двух последовательно соединённых нагрузочных сопротивлений  $R_{вс}$  и  $R_{са}$ .

В этом случае линейный ток  $I_A$  равен току  $I_B$  и равен по первому закону Кирхгофа :

$$I_A = I_B = I_{ав} + I_{вс} = I_{ав} + I_{са} , \text{ т.к. } I_{вс} = I_{са}$$

При этом соотношения токов  $I_{ав}$  и  $I_{вс}$  в обоих ветвях будет обратно пропорционально сопротивлениям , т.е.:

$$I_{ав} / I_{вс} = (R_{ав} + R_{са}) / R_{ав}$$

Так как  $R_{вс} = R_{са} = R_{ав}$ , то в рассмотренном случае фазный ток  $I_{ав}$  будет в два раза больше фазного тока  $I_{вс}$ .

Фазное напряжение по-прежнему будет равно линейному

напряжению, а фазные напряжения  $U_{bc}$  и  $U_{ca}$  ,будут равны

между собой и равны половине напряжения линейного (т.к.  $R_{bc} = R_{ca}$  ).

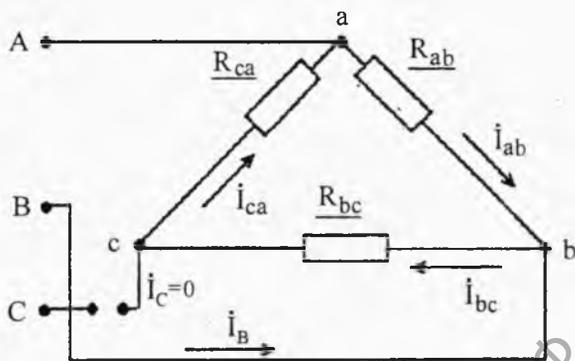


Рис. 4

## 1.2. Изменение нагрузки в одной из фаз при равномерной активной нагрузке двух других фаз

При изменении сопротивления нагрузки в одной из фаз, например bc, величина фазного тока в этой фазе будет меняться, при этом величина и направление линейного тока  $I_A$  будет оставаться без изменения , т.к.

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}$$

а величина и направление линейных токов  $I_B$  и  $I_C$  будет меняться в зависимости от величины изменения фазного тока  $I_{bc}$  , т.к.

$$I_B = I_{bc} - I_{ab} , I_C = I_{ca} - I_{bc}$$

Сказанное подтверждается векторной диаграммой рис.5 .

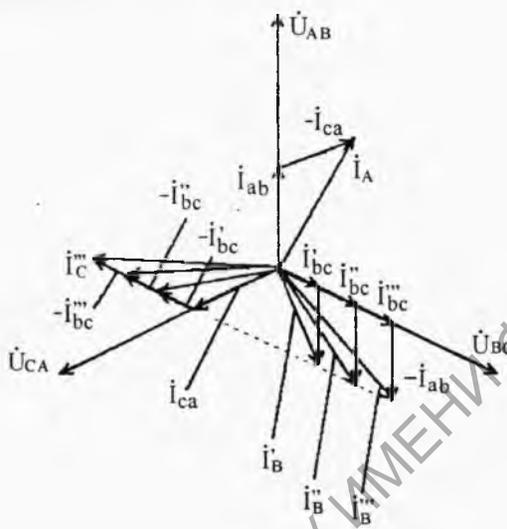


Рис. 5

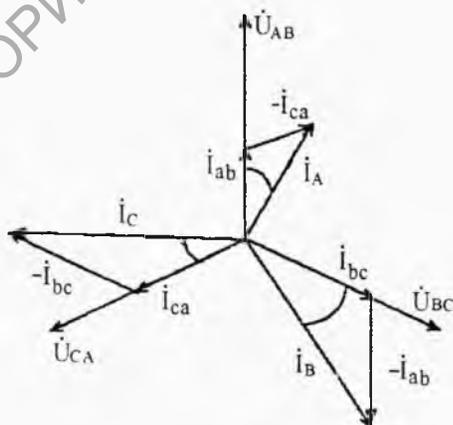


Рис. 6

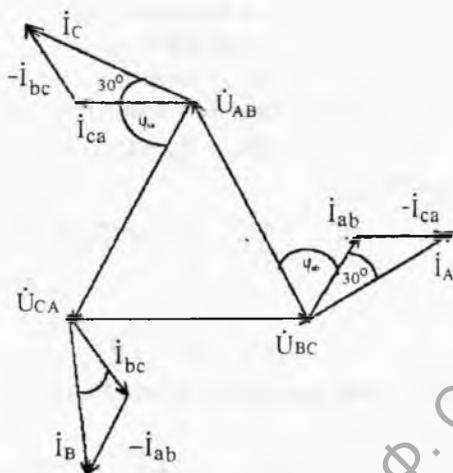


Рис. 7

### 1.3. Неравномерная нагрузка всех трёх фаз

В этом случае изменяется величина и направление всех трёх линейных токов соответственно изменению фазных токов (рис.6). Топографическая диаграмма для случая неравномерной нагрузки показана на рисунке 7.

### 1.4. Мощность трёхфазного тока

Так как система трёхфазного тока представляет собой совокупность трёх однофазных токов, то мощность такой системы определяется как сумма мощностей трёх однофазных токов.

Обозначив через  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  - действующие значения напряжений, через  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  - действующие значения токов,  $\cos\varphi_a$ ,  $\cos\varphi_b$ ,  $\cos\varphi_c$  - коэффициенты мощностей отдельных фаз, получим общую мощность трёхфазной системы:

активная мощность:

$$P = U_A \cdot I_A \cdot \cos\varphi_A + U_B \cdot I_B \cdot \cos\varphi_B + U_C \cdot I_C \cdot \cos\varphi_C = \\ = P_A + P_B + P_C$$

реактивная мощность:

$$Q = U_A \cdot I_A \cdot \sin\varphi_A + U_B \cdot I_B \cdot \sin\varphi_B + U_C \cdot I_C \cdot \sin\varphi_C = \\ = Q_A + Q_B + Q_C$$

полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

комплекс полной мощности трёхфазной системы определяется по формуле :

$$S = U_A \cdot I_A^* + U_B \cdot I_B^* + U_C \cdot I_C^* = P + j \cdot Q$$

активная мощность симметричного трёхфазного приёмника :

$$P = 3 \cdot P_\phi = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos\varphi_\phi$$

реактивная мощность симметричного трёхфазного приёмника :

$$Q = 3 \cdot Q_\phi = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin\varphi_\phi$$

Так как за номинальные величины обычно принимают линейные напряжения и токи, то мощность удобнее выражать через линейные величины  $U_l$  и  $I_l$ .

При соединении фаз нагрузки звездой

$$U_\phi = U_l \cdot \sqrt{3}, I_\phi = I_l, \text{ при соединении треугольником}$$

$U_\phi = U_l, I_\phi = I_l \cdot \sqrt{3}$ . Поэтому независимо от соединения фаз симметричного приёмника его активная мощность

$$P = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \cos\varphi_\phi, \text{ а реактивная мощность}$$

$Q = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \sin\varphi_\phi$ , где  $U_l$  и  $I_l$  - линейные напряжение и ток. Обычно индексы «л» и «ф» не указывают и формулы принимают вид:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi, Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi, S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

## 2. Экспериментальная часть

2.1. Собрать на монтажной панели стенда лабораторного K4826

схему рис.8 для равномерной активной нагрузки

$R_{ав} = R_{вс} = R_{са} = 680 \text{ Ом}$  и подключить её к клеммам ГТН.

2.2. Измерить фазные и линейные токи и напряжения.

2.3. Для обрыва фазы С измерить фазные и линейные напряжения.

2.4. Изменить сопротивление в фазе вс на сопротивление  $470 \text{ Ом}$ .

Измерить фазные и линейные токи и напряжения.

2.5. Собрать схему рис.8, изменив в ней равномерную нагрузку на неравномерную, для чего заменить сопротивления  $R_{ав} = R_{вс} = R_{са} = 680 \text{ Ом}$  на сопротивления  $R_{ав} = 470 \text{ Ом}$   $R_{вс} = 680 \text{ Ом}$   $R_{са} = 1 \text{ кОм}$ . Измерить фазные и линейные токи и напряжения.

2.6. Собрать на монтажной панели стенда схему рис.9 для равномерной активной нагрузки ( $R_{ав} = R_{вс} = R_{са} = 680 \text{ Ом}$ ) и индуктивной.

2.7. Настроить ГТН с помощью осциллографа на частоту заданную в таблице 1.

Таблица 1

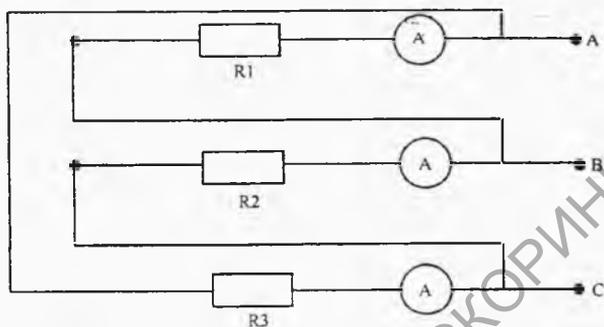
№ подгруппы	1			2			3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
№ бригады	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$f_i, \text{ kHz}$	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9

2.8. Измерить фазные и линейные токи и напряжения.

2.9. Для неравномерной активной нагрузки

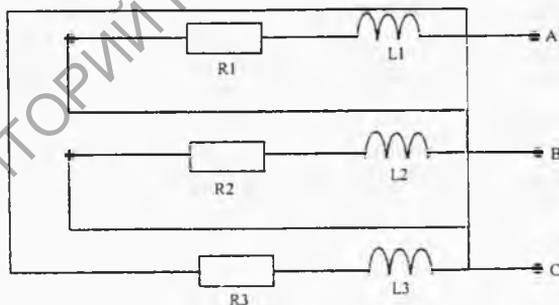
( $R_{ав} = 470 \text{ Ом}$   $R_{вс} = 680 \text{ Ом}$   $R_{са} = 1 \text{ кОм}$ ) и индуктивной собрать схему рис.9. Измерить фазные и линейные токи и напряжения.

2.10. Для обесточенной схемы измерить и записать активное сопротивление катушек индуктивности  $R_{к1}$ ,  $R_{к2}$ ,  $R_{к3}$ .



РА-1 - комбинированный прибор 43101; РV-1- комбинированный прибор Ц 4342;  $L_1, L_2, L_3$  - катушки индуктивности (выводы 4,8 обмотки трансформатора TV-1);  $R_1$ -резистор 680 Ом (100 Ом);  $R_2$  - резистор 680 Ом (2,2 кОм);  $R_3$  - резистор 680 Ом (10 кОм); SA-1 - тумблер.

**Рис. 8**



РА-1 - комбинированный прибор 43101; РV-1- комбинированный прибор Ц 4342;  $L_1, L_2, L_3$  - катушки индуктивности (выводы 4.8 обмотки трансформатора TV-1);  $R_1$ -резистор 680 Ом (100 Ом);  $R_2$  - резистор 680 Ом (2,2 кОм);  $R_3$  - резистор 680 Ом (10 кОм).

**Рис. 9**

### 3. Требования к содержанию отчёта

- 3.1. Название и цель работы.
- 3.2. Схемы соединений нагрузки треугольником.
- 3.3. Результаты измерений линейных и фазных токов и напряжений.
- 3.4. Результаты расчёта индуктивности катушек  $L_1, L_2, L_3$ .
- 3.5. Результаты расчёта мощности и коэффициента мощности.
- 3.6. Векторные диаграммы.
- 3.7. Выводы. Обратить особое внимание на следующие вопросы:
  - 3.7.1. Как влияет на параметры трёхфазной цепи изменение нагрузки в одной из фаз при равномерной активной нагрузке двух других фаз.
  - 3.7.2. Как влияет на параметры трёхфазной цепи обрыв одного из линейных проводов при равномерной нагрузке всех трёх фаз.

### 4. Контрольные вопросы

- 4.1. Дать определение трёхфазной цепи.
- 4.2. Что представляет собой соединение фаз нагрузки в треугольник в трёхфазной цепи?
- 4.3. Каковы соотношения фазных и линейных токов и напряжений в трёхфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник (равномерная и неравномерная нагрузки)?
- 4.4. Как рассчитывается активная, реактивная и полная мощность цепи?
- 4.5. Как изменятся фазные и линейные токи и напряжения при обрыве одного из линейных проводов при равномерной нагрузке?
- 4.6. Как изменяются фазные и линейные токи и напряжения при изменении нагрузки в одной фазе при равномерной активной нагрузке двух других фаз?
- 4.7. Что такое векторная и топографическая диаграммы? Построить диаграмм для случаев описанных выше.

## Лабораторная работа № 8

### Изучение работы однофазного трансформатора

#### Цель работы:

- ознакомиться с устройством, принципом работы, назначением однофазного трансформатора;
- научиться получать зависимости между величинами напряжения и токов в первичной и вторичной обмотках трансформатора, устанавливать энергетические соотношения и определять условия параллельной работы трансформаторов;
- научиться определять коэффициент трансформации однофазного трансформатора;
- ознакомиться с возможностью расширения пределов измерения электроизмерительных приборов с помощью трансформаторов.

Продолжительность работы 4 часа.

#### 1. Сведения из теории

##### 1.1. Однофазный двухобмоточный трансформатор

Трансформатором называют статический аппарат, передающий электромагнитным путем электрическую энергию из одной цепи в другую, имеющую другие характеристики, чаще всего другие напряжения и ток. По числу фаз различают трансформаторы однофазные и многофазные (обычно трехфазные). Принципиальная схема устройства трансформатора приведена на рис. 1.

На стальном замкнутом магнитопроводе 3, собранном из отдельных листов электротехнической стали размещены две обмотки 1 и 2, выполненные из изолированной медной проволоки. Обмотка 1, соединяемая с источником питания, называется первичной. Обмотка 2, питающая нагрузку, называется вторичной. Все величины, относящиеся к первичной обмотке, обозначаются с индексом 1, например число витков  $W_1$ , напряжение на зажимах обмотки  $U_1$ , ток в цепи  $I_1$  и т. д. Те же

величины, относящиеся ко вторичной обмотке имеют индекс 2:  $W_2, U_2, I_2$  и т. д.

Если первичная обмотка трансформатора присоединена к источнику переменного тока напряжением  $U_1$ , а вторичная обмотка остается разомкнутой, то трансформатор работает в режиме холостого хода. Под действием приложенного напряжения в первичной обмотке протекает ток  $I_0$ , называемый током холостого хода трансформатора. Ток  $I_0$  возбуждает синусоидально изменяющийся магнитный поток; состоящий из суммы двух потоков: главного потока  $\Phi$ , замыкающегося по стальному магнитопроводу и пронизывающего витки первичной и вторичной обмоток, и потока рассеяния  $\Phi_1$ , замыкающегося по воздуху и не пронизывающего витков вторичной обмотки. По закону электромагнитной индукции этот поток наведет в обеих обмотках трансформатора э. д. с. :

$$E_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad E_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

где  $W_1, W_2$  - число витков первичной и вторичной обмоток,  
 $\Phi$  - мгновенное значение магнитного потока, пронизывающего обмотки, В/С.

Действующие значения э. д. с. обмоток, можно вычислить по следующим формулам:

$$E_1 = 4.44 \Phi_m W_1 f$$

$$E_2 = 4.44 \Phi_m W_2 f$$

Откуда

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = k$$

Число  $k$  называется коэффициентом трансформации.

Коэффициентом трансформации называется отношение напряжений первичной и вторичной обмоток при холостом ходе трансформации

$$k = \frac{U_1}{U_2}$$

На рис. 2 изображены векторные диаграммы трансформатора в режиме холостого хода:

а) - точная, б) - приближенная, где

$$\begin{aligned} U_1 &= -E_1 - E_1 \sigma + I_0 R_1 \\ E_1 \sigma &= -j I_0 X_1 \end{aligned}$$

тогда  $U_1 = -E_1 + I_0 R_1 + j I_0 X_1$

Если вторичную обмотку включенного трансформатора замкнуть на нагрузочное сопротивление  $Z_n = R_n + j X_n$ , то под действием э. д. с.  $E_2$  во вторичной цепи возникает ток  $I_2$ .

Уравнение намагничивающих сил трансформатора представляет собой зависимость между токами  $I_1$  и  $I_2$ .

$$F = I_1 W_1 + I_2 W_2 \approx I_0 W_1$$

Построение векторной диаграммы нагруженного трансформатора удобно начать, взяв в качестве исходного вектора напряжение  $U_2$  на зажимах вторичной обмотки (рис. 3).

Параметры обмоток ( $W_1, W_2, R_1, R_2, X_1, X_2$ ), данные холостого хода ( $I_0, \sigma$ ), величина и характер нагрузочного сопротивления ( $Z_n, \cos \alpha_{нагр}$ ) принимаются при этом

известными. Вектор тока  $I_2 = \frac{U_2}{Z_n}$ , отложен под углом  $\varphi_2 = \varphi_{нагр}$

к вектору напряжения  $U_2$ .

Во вторичной обмотке индуцируется э. д. с.  $E_2$  (главным потоком) и  $E_2 \sigma$  (потоком рассеяния). Напряжение  $U_2$  равно сумме этих э. д. с. за вычетом падения напряжения в активном сопротивлении  $R_2$ :

$$E_2 + E_2 \sigma - I_2 R_2 = U_2 = I_2 Z_n,$$

где

$$E_2 \sigma = -j I_2 X_2.$$

определяем значение  $E_1 = k E_2 = E_2 \frac{W_1}{W_2}$  и откладываем вектор

$E_1$ , совпадающий по фазе с вектором  $E_2$ . Откладываем вектор  $\Phi_m$  учитывая, что он опережает по фазе э. д. с.  $E_1$  и  $E_2$  на четверть периода.

Под углом  $\sigma$  к вектору  $\Phi_m$  откладываем вектор тока холостого хода  $I_0$ . Ток первичной обмотки  $I_1$  находим как

$$I_1 = I_0 - I_2 \frac{W_1}{W_2} = I_0 - \frac{1}{K} I_2 = I_0 - I_2$$

Напряжение  $U_1$ , приложенное к первичной обмотке, определяем из уравнения:

$$U_1 = -E_1 = I_1 R_1 = j I_1 X_1$$

Потребляемый трансформатором ток  $I_1$  можно рассматривать как геометрическую сумму двух составляющих: тока холостого хода  $I_0$ , поддерживающего главный магнитный поток  $\Phi$ , и нагрузочного тока

$-I_1 = -\frac{1}{K} I_2$ , компенсирующего размагничивающее действие тока вторичной обмотки.

## 1.2. Трансформаторы напряжений

Эти трансформаторы применяют в установках высокого напряжения для присоединения вольтметров и параллельных катушек ваттметров, счетчиков и других приборов. Принципиальная схема трансформатора напряжения (а) и его условное обозначение (б) показано на рис. 4.

Первичная (высоковольтная) обмотка с большим числом витков  $W_1$  включается параллельно в сеть, напряжение которой изменяется. Ко вторичной (низковольтной) обмотке с меньшим числом витков  $W_2$  присоединяются параллельные обмотки измерительных приборов. Для получения большей точности измерений нагрузку трансформатора напряжения (т. е. число

числом витков  $W_1$  присоединяются параллельные обмотки измерительных приборов. Для получения большей точности измерений нагрузку трансформатора напряжения (т. е. число присоединяемых параллельных катушек) ограничивают настолько, чтобы он работал в условиях, близких к режиму холостого хода.

Первичное номинальное напряжение трансформаторов напряжения  $U_{1н}$  равно номинальному напряжению высоковольтной установки, а его вторичное номинальное напряжение  $U_{2н}$  обычно равно 100 В. Трансформаторы напряжения обычно изготавливаются однофазными и трехфазными. Коэффициентом трансформации трансформатора напряжения называется отношение номинального напряжения первичной обмотки к номинальному напряжению вторичной обмотки:

$$K_{т.н} = \frac{U_{1н}}{U_{2н}} = \frac{W_1}{W_2}$$

Для получения действительных значений напряжения в контролируемой цепи показание вольтметра следует умножить на  $K_{т.н}$ .

Применение трансформатора напряжения вносит некоторую неточность в результаты измерений. Из-за падения напряжения в обмотках трансформатора приведенное напряжение  $U'_1$  несколько отличается от первичного напряжения  $U_1$ . Благодаря этому действительный коэффициент

трансформации, равный отношению  $\frac{U_1}{U_2}$ , отличается от

номинального значения  $K_{т.н}$ , отличается от номинального  $K_{т.н}$ . Кроме погрешности в коэффициенте трансформации, наблюдается угловая погрешность, определяемая  $\alpha$  между векторами  $U_1$  и  $U'_1$  на совмещенной диаграмме (рис. 4, в)). Погрешности возрастают с увеличением нагрузки трансформатора. На точность показаний вольтметров влияет погрешность в коэффициенте трансформации. Для ваттметров,

счетчиков электрической энергии и фазометров имеют значение обе погрешности, поскольку угловая погрешность искажает величину  $\cos\varphi$ .

### 1.3. Трансформаторы тока

Эти трансформаторы применяют в установках высокого и низкого напряжений для присоединения амперметров и токовых катушек ваттметров, счетчиков и других приборов. Принципиальная схема трансформатора тока (а) и его условное обозначение (б) показаны на рис. 4.5.

Первичная обмотка трансформатора зажимами  $U_1$  и  $U_2$  включается последовательно в контролируемую цепь (линию). К зажимам вторичной обмотки  $U_1$  и  $U_2$  присоединяют токовые катушки приборов. Последние соединяются между собой последовательно, так что через эти катушки проходит один и тот же ток. Число витков  $W_2$  вторичной обмотки трансформатора тока обычно в несколько раз больше числа витков  $W_1$  первичной обмотки. Коэффициентом трансформации трансформатора тока называется отношение номинального тока  $I_{1н}$  первичной обмотки к номинальному току  $I_{2н}$  вторичной обмотки:

$$K_{т.т} = \frac{I_{1н}}{I_{2н}} = \frac{W_1}{W_2}$$

У трансформатора тока независимой величиной является не первичное напряжение (как у силовых трансформаторов напряжения), а измеряемый ток  $I_1$ . Номинальный ток вторичной обмотки  $I_2$  обычно равен 5 А. Для получения действительных значений тока в контролируемой цепи показания амперметра следует умножить на  $K_{т.т}$ .

Суммарное сопротивление амперметра и токовых катушек других приборов достаточно мало (меньше 1 Ом), поэтому трансформатор тока нормально работает в условиях, близких к режиму короткого замыкания. Если во время работы трансформатора тока разомкнуть его вторичную обмотку, то ток  $I_2$  станет равным нулю, а намагничивающая сила первичной обмотки  $I_1 W_1$  останется без изменения. В связи с этим поток  $\Phi$  в магнитопроводе увеличивается во много раз. Это повлечет за собой увеличение потерь в магнитопроводе и может вызвать

недопустимый его перегрев. Кроме того, увеличенный магнитный поток может наводить во вторичной обмотке значительную э. д. с., опасную для обслуживающего персонала и для целостности изоляции. Поэтому вторичную цепь работающего трансформатора тока нельзя размыкать. В тех случаях, когда требуется отсоединить прибор от работающего трансформатора тока, предварительно закорачивают его вторичную обмотку.

На рис. 6 представлены схемы включения комплекта приборов через трансформаторы тока и напряжения: для двухпроводной сети (а) и для трехфазной трех проводной сети (б).

## 2. Экспериментальная часть

2.1.Расширение пределов измерения электроизмерительных приборов с помощью трансформаторов:

2.1.1.Собрать схему согласно рис. 3.7.

2.1.2.Настроить ГТН с помощью осциллографа на частоту, заданную в таблице 2.

Таблица 2.

№ подгруппы	1			2			3		
№ бригады	1	2	3	1	2	3	1	2	3
f, кГц	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9

2.1.3.Подключить схему к клеммам А, О генератора трехфазного напряжения.

2.1.4.Снять показания тока  $I_1$  - в первичной обмотке трансформатора,  $I_2$  - во вторичной обмотке трансформатора.

2.1.5.Рассчитать коэффициент трансформации трансформатора по току:

$$K = \frac{I_1}{I_2} = \frac{W_1}{W_2} ,$$

где  $W_1$ ,  $W_2$  - число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора,  $I_1$ ,  $I_2$  - ток первичной и вторичной цепи.

2.2. Произвести испытание трансформатора, определить коэффициент трансформации:

2.2.1. Собрать схему согласно рис. 6.8.

2.2.2. Подать на вход трансформатора (выводы 1 - 3) сигнал синусоидальной формы ГТН заданной частоты и последовательно измерить с помощью вольтметра напряжения на вторичных обмотках трансформатора 4-6, 4-7, 4-8; опыт повторить, подавая на напряжение на выход 1-2 и для каждого случая по данным измерений вычислить коэффициенты трансформации:

$$K_1 = \frac{U_{ax}}{U_{4-6}} ; \quad K_2 = \frac{U_{ax}}{U_{4-7}} ; \quad K_3 = \frac{U_{ax}}{U_{4-8}} .$$

2.2.3. Исследовать возможность поддержания постоянного выходного напряжения путем изменения числа задействованных витков вторичной обмотки. Для чего с помощью переменного резистора R1 добиться подачи на вход трансформатора 1-3 последовательно напряжений 9,6 В; 5,6 В; 4,4 В. Для каждого случая измерить соответственно выходные напряжения U4-6, U4-7, U4-8.

2.2.4. Исследовать возможность поддержания постоянного выходного напряжения путем изменения числа задействованных витков первичной обмотки. Для этого на входы схемы 4-6, 4-7, 4-8 последовательно подать входное напряжение 4,4 В; 5,6В; 9,6 В. Для каждого случая измерить входное напряжение.

### 3. Требования к содержанию отчета

3.1. Название и цель работы.

3.2. Схемы рис. 7, 8.

3.3. Результаты измерений.

3.4. Результаты расчета коэффициентов трансформации.

3.5. Выводы по работе.

#### 4. Контрольные вопросы.

- 4.1. Что такое трансформатор?
- 4.2. Дайте определение однофазного трансформатора.
- 4.3. Дайте определение многофазного трансформатора.
- 4.4. Как работает трансформатор в режиме холостого хода?
- 4.5. Как работает трансформатор в нагруженном режиме?
- 4.6. Что называется коэффициентом трансформации?
- 4.7. Как построить векторную диаграмму трансформатора в режиме холостого хода?
- 4.8. Как построить векторную диаграмму нагруженного трансформатора?
- 4.9. Как работает трансформатор напряжения?
- 4.10. Назначения трансформатора напряжения.
- 4.11. Как определить коэффициент трансформации трансформатора напряжений?
- 4.12. Чем вызвана погрешность значений в трансформаторе напряжений?
- 4.13. Назначение трансформатора тока.
- 4.14. Принцип работы трансформатора тока.
- 4.15. Как определяется коэффициент трансформации трансформатора тока?
- 4.16. Почему нельзя размыкать вторичную цепь работающего трансформатора тока?
- 4.17. Как можно расширить пределы измерений электроизмерительных приборов?

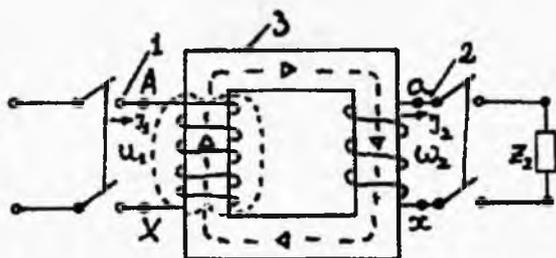


Рис 1.

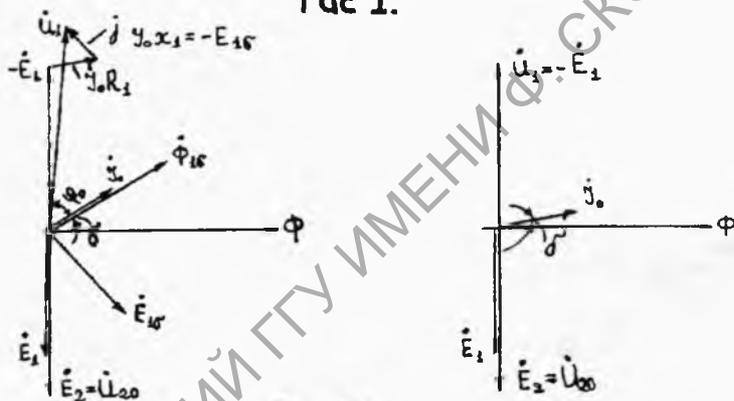


Рис 2.

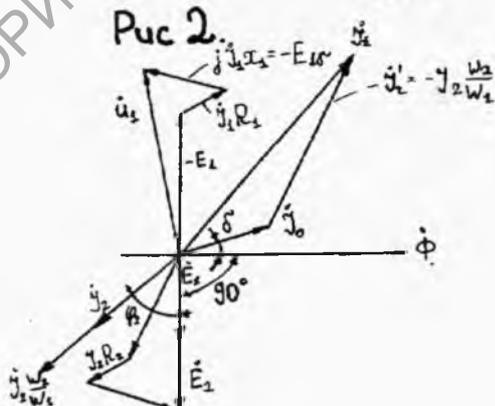


Рис 3.

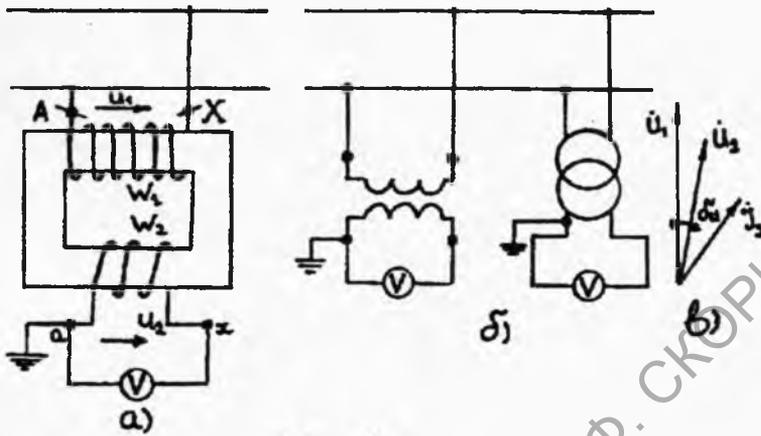


Рис. 4

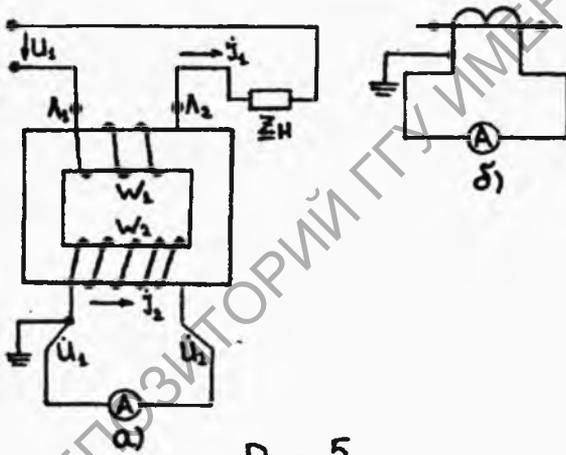


Рис. 5

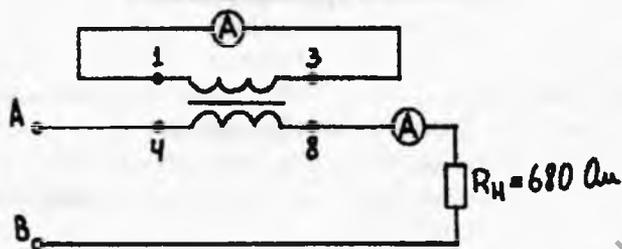


Рис. 7

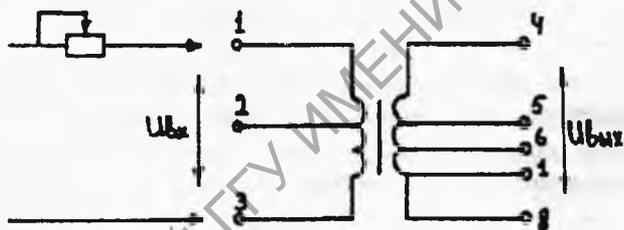


Рис. 8

## Лабораторная работа № 9

### Определение группы соединения трехфазного трансформатора

#### Цель работы:

- Ознакомиться с устройством, принципом действия, назначением трехфазного трансформатора;
- научиться измерять фазное и линейное напряжение;
- научиться вычислять коэффициент трансформации трехфазного генератора;
- научиться строить векторные диаграммы и по ним определять группы соединения трехфазного генератора.

Продолжительность работы 4 часа.

#### 1. Сведения из теории.

##### 1.1. Трехфазные трансформаторы.

Наиболее часто применяемая конструкция магнитной цепи трехфазного трансформатора состоит из трех стержней, объединенных сверху и снизу прямыми ярами, по которым замыкаются магнитные потоки (рис. 1).

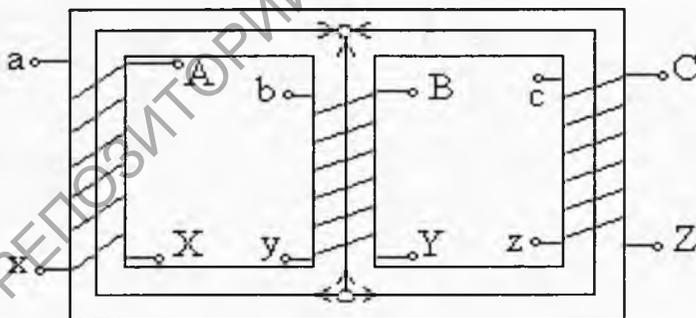


Рис. 1

На стержнях располагаются обмотки отдельных фаз. Магнитные потоки, создаваемые каждой фазой, имеют одинаковую амплитуду и взаимно сдвинуты по фазе на  $120^\circ$ . Сумма мгновенных значений трех синусоидальных величин, взаимно сдвинутых по фазе на  $120^\circ$  равна нулю. Поэтому поток в одном стержне всегда равен сумме потоков в двух других стержнях трансформатора. Обмотки трансформатора можно соединить звездой или треугольником.

Выводы обмоток высшего напряжения обозначаются большими буквами: А, В, С - начало обмоток, Х, У, Z - концы обмоток. Выводы обмоток низшего напряжения обозначаются соответственно малыми буквами: а, b, с - начала обмоток, х, у, z - концы обмоток. Выводы соединенных вместе концов обмоток фаз, то есть нулевые точки, обозначаются соответственно О, о. Буквенные значения в схемах указываются в том порядке, в котором они представляются наблюдателю, стоящему перед трансформатором со стороны соответствующего напряжения. Порядок следования векторов на векторных диаграммах э.д.с. должен быть следующим. Вектор напряжения фазы В отстает от вектора напряжения фазы А на  $120^\circ$ , а вектор напряжения фазы С - на  $240^\circ$ .

В таблице 1 приведены способы соединения обмоток трехфазных трансформаторов. Имеются следующие группы трехфазных трансформаторов:  $Y/Y_0$  - 12,  $Y/\Delta$  - 11,  $Y_0/\Delta$  - 11. Соединения обмоток в звезду обозначаются Y, а в треугольник -  $\Delta$ . Над чертой помещается знак, обозначающий соединение обмоток высшего напряжения, под чертой - высшего напряжения. Индекс О означает, что выведена нулевая точка.

Поясним значения индексов 11 и 12 при условных обозначениях групп соединений трансформаторов. Между векторами линейных э.д.с. обмоток низшего напряжения и соответствующими векторами э.д.с. обмоток высшего напряжения имеется угловое смещение, зависящее от способа соединения обмоток, а также от направления э.д.с. в обмотках трансформатора, которое зависит от обозначения концов обмотки и направления намотки обмотки. Это угловое смещение обозначается числом, которое при умножении на  $30^\circ$  угловое

смещение, принятое за единицу, дает угол смещения в градусах, между соответствующими векторами линейных э.д.с. обмоток низшего и высшего напряжений. Например, число 11 указывает, что векторы линейных э.д.с. обмотки низшего напряжения смещены относительно соответствующих векторов линейных э.д.с. обмотки высшего напряжения на  $11 \cdot 30 = 330^\circ$ .

Таблица 1.

Схемы соединения обмоток		Диаграммы ЭДС		Условные обозначения
ВН	НН			
				УУ <sub>0</sub> -12
				Y/Δ-11
				Y <sub>0</sub> /Δ-11

э.д.с. обмоток высшего и низшего напряжения на  $12 \cdot 30 = 360^\circ$ , или что то же, на  $0^\circ$ . Числа 11 и 12 взяты потому, что согласно ГОСТ принят следующий простой и удобный способ сдвига фаз между э.д.с.

Линейное э.д.с., действующее между зажимами обмотки высшего напряжения трансформатора, совмещается с большой минутной стрелкой часов, а э.д.с., действующая между соответствующими зажимами низковольтной обмотки, совмещается с малой часовой стрелкой часов. Теперь, если большую стрелку часов считать постоянно установленной на 12ч., то сдвиг фаз между векторами э.д.с. низшего и высшего

напряжений можно характеризовать определенным числом, например 11 или 12. Это и будет означать сдвиг на  $330^\circ$  и  $360^\circ$ . Сказанное иллюстрируют рис.3 и 4, где даны схемы соединений и векторные диаграммы для соединений  $Y/Y_0 - 12$  и  $Y/\Delta - 11$ .

Угловое смещение э.д.с. обмоток высшего и низшего напряжений и способ соединения обмоток ( $\Delta$  или  $Y$ ) имеют чрезвычайно важное значение при параллельной работе трансформаторов.

Коэффициент трансформации трехфазного трансформатора при одинаковых соединениях обмоток высшего и низшего напряжений, т.е.  $Y/Y$  или  $\Delta/\Delta$ , вычисляются как отношение линейных напряжений.

Если же соединение обмоток различно, т.е.  $\Delta/Y$  или  $Y/\Delta$ , то коэффициент трансформации вычисляется как отношение фазовых напряжений.

## 2. Экспериментальная часть.

2.1 Определение группы соединения трехфазного трансформатора.

2.1.1 Собрать схему согласно рис. 4

2.1.2 Вольтметром измерить линейные напряжения первичной и вторичной обмоток и определить коэффициент трансформации:

$$K = \frac{K_A + K_B + K_C}{3}$$

$$K_A = \frac{U_{AB}}{U_{ab}}; K_B = \frac{U_{BC}}{U_{bc}}; K_C = \frac{U_{CA}}{U_{ca}};$$

2.1.3 Соединить обмотки трансформатора по схеме рис. 5

2.1.4 Экспериментально определить группу соединения трансформатора. Для этого нужно соединить два одноименных зажима, например А и а, подключить трансформатор к сети трехфазного напряжения и измерить напряжения.

$$U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}, U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}, U_{Bb}, U_{cb};$$

Построить треугольники линейных и фазных (если соединение  $Y$ ) напряжений и определить группу соединения.

2.1.5 Соединить обмотки трансформатора по схеме 6.

2.1.6 Экспериментально определить группу соединения трансформатора. Для этого нужно соединить два одноименных зажима, например А и а, подключить трансформатор к сети трехфазного напряжения и измерить напряжения.

$$U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}, U_{ab}, U_{bc}, U_{co}, U_{ca}, U_{Bb}, U_{cb}.$$

Построить треугольники линейных и фазных ( если соединение  $Y$  ) напряжений и определить группу.

2.1.7 Соединить обмотки трансформатора по схеме 7.

2.1.8 Экспериментально определить группу соединения трансформатора. Для этого нужно соединить два одноименных зажима, например А и х, подключить трансформатор к сети трехфазного напряжения и измерить напряжения.

$$U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}, U_{ab}, U_{bc}, U_{co}, U_{ca}, U_{Bb}, U_{cb}.$$

Построить треугольники линейных и фазных ( если соединение  $Y$  ) напряжений и определить группу.

### 3. Требования к содержанию отчета.

3.1 Название работы и ее цель.

3.2 Схемы соединения трансформаторов.

3.3 Рассчитанные коэффициенты трансформации.

3.4 Результаты измерений фазных и линейных напряжений.

3.5 Векторные диаграммы.

3.6 Результаты определения групп соединения трехфазных трансформаторов.

3.7 Выводы по работе.

### 4. Контрольные вопросы.

4.1 Что называется трансформатором?

4.2 Как определяется коэффициент трансформации?

4.3 Устройство, принцип работы, назначение, трехфазного трансформатора.

4.4 Какие способы соединения обмоток трехфазных трансформаторов вы знаете?

4.5 Что означает индекс "0"?

4.6 Что означает угловое смещение?

4.7 Что такое векторные диаграммы, правила их построения?

4.8 Как по векторным диаграммам определить угловое смещение?

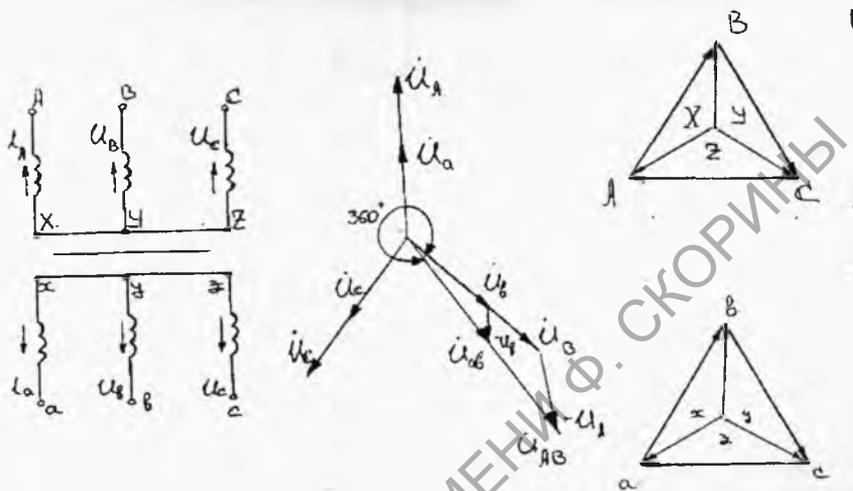


Рис. 3

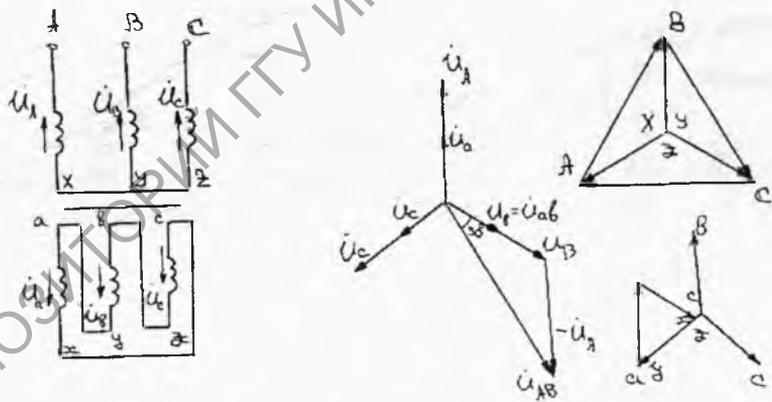


Рис. 4

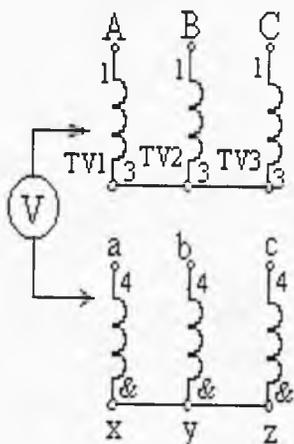
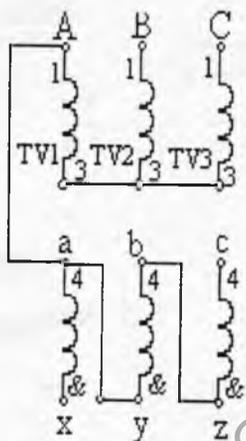


Рис. 4



У/У - 11

Рис. 6

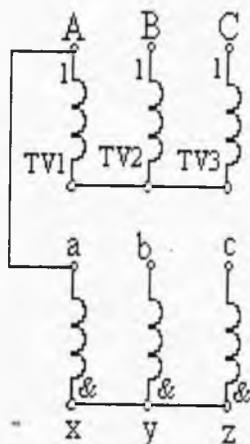
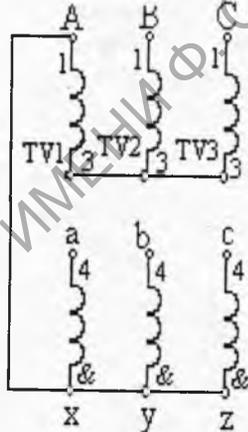


Рис. 5



У/У - 6

Рис. 7

У/У - 12

## Литература

1. Бокалов В.П. и др. Основы теории электрических цепей и электроники. М. Радио и связь, 1989г.
2. Электротехника под ред. В.Г. Герасимова. М. Высшая школа, 1985г.
3. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М. «Энергоатомиздат», 1983г.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электроники. Часть 1, М. Радио.
5. А.И.Иванов - Цыганов Электротехнические устройства радиосистем. М. «Высшая школа», 1979г.
6. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. Под ред. В.Г. Герасимова. М. Высшая школа, 1987г.
7. О.Н.Веселовский, Л.М.Браславский. Основы электротехники и электротехнические устройства радиоэлектронной аппаратуры. М., «Высшая школа», 1977г.
8. Шебес М.Р. Задачник по теории линейных электрических цепей. М. Высшая школа.
9. Сборник задач по общей электротехнике под ред. В.С.Пантюшина. Изд-во «Высшая школа», 1973г.
10. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. Под ред. Л.А.Бессонова, М., «Высшая школа», 1980г.

## Содержание

Лабораторная работа № 6 Исследование трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой.....	3
Лабораторная работа № 7 Исследование трехфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник....	13
Лабораторная работа № 8 Изучение работы однофазного трансформатора.....	24
Лабораторная работа № 9 Определение группы соединения трехфазного трансформатора.....	36
Литература.....	43



РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Практическое пособие для студентов физического факультета Гомельского государственного университета им. Ф.Скорины специальностей «Физика», «Физика с дополнительной специализацией «Техническое творчество», «Физическая электроника», АСОИ (часть 5).

Авторы – составители :

Богданович Валентина Иосифовна , старший преподаватель кафедры радиофизики и электроники Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины;  
Мышковец Виктор Николаевич, к. ф.-м. н., старший преподаватель кафедры радиофизики и электроники Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины.

Рецензенты:

Ефимчик Михаил Константинович, к. ф.-м. н., доцент кафедры АСОИ Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины;  
Яковцев Игорь Николаевич, старший преподаватель кафедры общей физики Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины

Подписано к печати 26. 04. 2000 г. Формат 60x 84 1/16. Бумага писчая № 1. Печать офсетная. Усл. п. л. 2,5. Уч. - изд. л. 1,7.  
Тираж 50 экз. Заказ 151. Отпечатано на ротапринте Гомельского госуниверситета им. Ф.Скорины. 246099, г. Гомель, ул. Советская, 104