

Камчатский государственный технический университет



Кафедра радиооборудования судов

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Часть 1

*Руководство к лабораторным работам для курсантов
специальности 201300 "Техническая эксплуатация
транспортного радиооборудования"*

Петропавловск-Камчатский
2004

УДК 621.396.61(075)
ББК 72.4(2)
О28

Рецензент:

А.А. Дуров,
кандидат технических наук, заведующий кафедрой
радиооборудования судов КамчатГТУ

Составители:

Д.А. Бакеев,
кандидат технических наук, профессор кафедры
радиооборудования судов КамчатГТУ

А.И. Парфёнкин,
доцент кафедры радиооборудования судов КамчатГТУ

А.В. Безумов,
старший преподаватель кафедры
радиооборудования судов КамчатГТУ

О28 **Общая электротехника и электроника.** Ч. 1. Руководство к лабораторным работам для курсантов специальности 201300 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования / Сост. Д.А. Бакеев, А.И. Парфенкин и др. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2004. – 42 с.

Сборник методических указаний разработан в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Общая электротехника и электроника» для специальности 201300 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

Рекомендовано к изданию решением учебно-методического совета КамчатГТУ (протокол № 1 от 25 сентября 2003 г.).

УДК 621.396.61(075)
ББК 72.4(2)

© КамчатГТУ, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора методом холостого хода	4
Лабораторная работа № 2. Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора методом короткого замыкания	13
Лабораторная работа № 3. Расчет сложных электрических цепей постоянного тока методом контурных токов	20
Лабораторная работа № 4. Исследование сложной электрической цепи постоянного тока	27
Лабораторная работа № 5. Исследование сложных электрических цепей постоянного тока методом эквивалентных преобразований	34
Литература	42

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ ХОЛОСТОГО ХОДА

Цель работы: Определить параметры схемы замещения, построить векторную диаграмму и схему замещения трансформатора при холостом ходе. По данным опыта и расчета построить графики.

Контрольно-испытательная аппаратура

1. Лабораторный стенд – 1 шт.
2. Универсальный цифровой вольтметр В7-38 2шт
3. Ваттметр – 1 шт.
4. Соединительные провода.

Краткие сведения

Трансформатор представляет собой статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте.

Трансформаторы с одной первичной и с одной вторичной обмоткой называются двух обмоточными. Во многих случаях применяются трансформаторы с несколькими первичными или вторичными обмотками и такие трансформаторы называются многообмоточными.

Чаще всего используются однофазные и трехфазные трансформаторы.

Трансформаторы с другим числом фаз используются в специальных устройствах.

Трансформаторы классифицируются по ряду признаков:

- по характеру нагрузки:
 1. силовые – для изменения напряжения в силовых сетях и сетях освещения;
 2. измерительные – для расширения пределов измерения приборов;

3. в устройствах радиоэлектронной аппаратуры;
 4. специальные - сварочные и др.
- по числу фаз:
 - Одно-, двух-, трех- и многофазные.
 - по числу обмоток:
 - Одно – двух – трех – и многообмоточные;
 - по способу охлаждения трансформаторы:
 1. с воздушным естественным охлаждением,
 2. с принудительным воздушным охлаждением,
 3. с масляным охлаждением,
 4. с жидкостным охлаждением.

Трансформатор состоит из следующих основных частей: магнитопровода, обмоток, кожуха, соединительных частей и клемной панели.

Магнитопровод служит для создания переменного магнитного потока по замкнутой цепи магнитопровода. Часть магнитопровода, охваченная обмоткой называется стержнем, а магнитопровод соединяющий между собой стержни – ярмом. Магнитопровод собирают из специальных пластин, изготовленных из электротехнической стали, толщиной (0,1...0,5) мм. Пластины друг относительно друга изолированы с помощью пленки окисла.

Каркас служит для укладки обмотки и обеспечивает электрическую изоляцию от корпуса магнитопровода.

Обмотки служат для создания Э.Д.С. при наличии переменного магнитного потока в замкнутой цепи магнитопровода.

Клемная панель обеспечивает возможность подключения выводов обмоток трансформатора к внешним электрическим цепям.

Кожух для защиты обмоток трансформатора соединительной панели и других частей.

Режимы работы трансформаторов

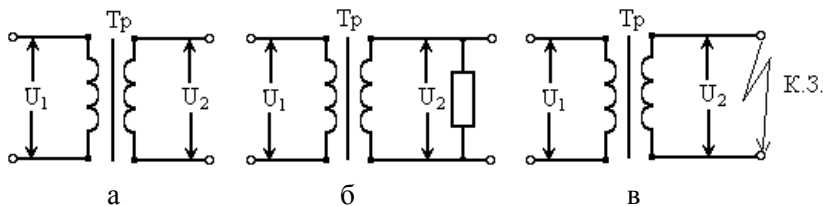


Рис.1 режимы работы трансформаторов: а) режим холостого хода. б) работа под нагрузкой. в) режим короткого замыкания.

Основные электрические соотношения
в идеальном трансформаторе

1. Э.Д.С. первичной и вторичной обмоток:

$$e_1 = -W_1 \frac{d\phi}{dt}; e_2 = -W_2 \frac{d\phi}{dt}.$$

где e_1 и e_2 - Э.Д.С. первичной и вторичной обмоток трансформатора.

W_1 W_2 - число витков обмоток.

Φ – периодически изменяющийся магнитный поток, возникающий в замкнутой цепи магнитопровода.

2. Действующие значения этих Э.Д.С.

$$E_1 = \frac{\omega W_1 \Phi_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} W_1 \Phi_{\max} = 4,44 f W_1 \Phi_{\max},$$
$$E_2 = \frac{\omega W_2 \Phi_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} W_2 \Phi_{\max} = 4,44 f W_2 \Phi_{\max},$$

если пренебречь потерями мощности в трансформаторе:

$$E_1 \approx U_1 \text{ и } E_2 \approx U_2$$

3. Коэффициент трансформации трансформатора:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2},$$

4. Согласно закона сохранения энергии:

$$I_1 U_1 = I_2 U_2, \text{ то } \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad K = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{и} \quad I_2 = K I_1.$$

Режим холостого хода трансформатора

Работа трансформатора в режиме холостого хода характеризуется тем, что его первичная обмотка включена на номинальное напряжение сети переменного тока, а вторичная обмотка разомкнута. В этом режиме трансформатор потребляет незначительную мощность, которая расходуется на покрытие внутренних потерь мощности:

$$\Delta P_0 = U_1 \cdot I_0 \cos \varphi_1,$$

где: U_1 - напряжение подводимое к первичной обмотке трансформатора;

I_0 - ток холостого хода;

$\cos\varphi_1$ - коэффициент мощности первичной обмотки.

Потери мощности в режиме холостого хода можно представить в виде суммы потерь:

$$\Delta P_0 = I_0^2 r_1 + \Delta P_{\text{осн}} + \Delta P_{\text{доб}},$$

где: I_0 - ток холостого хода,

r_1 - активное сопротивление первичной обмотки. Слагаемое $I_0^2 r_1$ (потери в проводах обмоток) составляет 0,05...0,1 от $\Delta P_{\text{осн}}$ и при расчетах потерь при х.х. во внимание не принимаются.

$\Delta P_{\text{осн}}$ - основные потери в пластинах магнитопровода, идущие на перемагничивание стали и создание вихревых токов.

$\Delta P_{\text{доб}}$ - зависят от качества сборки магнитопровода, эти потери точно учтены быть не могут и принимаются $\Delta P_{\text{доб}} = (0.15...0,2)\Delta P_{\text{осн}}$.

$$\Delta P_{\text{осн}} = \Delta P_{\text{с1}} B^\alpha \left(\frac{f}{50} \right)^\beta \cdot G_{\text{с}},$$

Где $G_{\text{с}}$ - масса магнитопровода (кг).

$\Delta P_{\text{с1}}$ - удельные потери на 1 кг стали (вт).

α и β - показатели степеней, которые зависят от своих оснований, так: при $f = 50$ Гц, $\beta = 1,25$; при $B \approx 1,2$ Тл $\alpha = 2$.

$\Delta P_{\text{осн}} \equiv K_1 B_{\text{max}}^2 \equiv K_2 \Phi_{\text{max}}^2 \equiv K_3 E_1^2 \equiv K_4 U_1^2$.

Где - $K_1 K_2 K_3 K_4$ коэффициенты пропорциональности..

Для опытного определения некоторых параметров трансформатора или при его испытании проводят опыт холостого хода.

Для энергетических расчетов параметров трансформатора выполняется схема замещения, которая электромагнитную связь между обмотками заменяет электрической связью.

При этом для определения потерь мощности на перемагничивание вводится понятие намагничивающего контура.

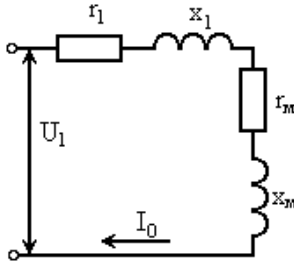


Рис.2 Эквивалентная схема замещения трансформатора в режиме холостого хода.

Где r_1 – активное сопротивление первичной обмотки.

$X_1 = \omega L_1$ – индуктивное сопротивление первичной обмотки.

$R_{\text{магн}}$ – активное сопротивление, эквивалентное активным потерям в стали;

$X_{\text{магн}}$ – индуктивное сопротивление от основного магнитного потока.

$$\frac{\overline{U}_1}{\overline{I}_0} = Z_0 = Z_1 + Z_{\text{магн}} = (r_1 + jX_1) + (r_{\text{магн}} + jX_{\text{магн}}) = r_0 + jX_0 ;$$

$$r_0 = r_1 + r_{\text{магн}}; \quad X_0 = X_1 + X_{\text{магн}}.$$

Порядок выполнения работы

1. Подготовка работы.

С помощью штепсельного разъема ШРЗ ваттметр (W) подключить к лабораторному стенду (согласно рис. 3).

Цифровой вольтметр В7-38 подключить к разъемам x_1 x_2 через шунт (общ - 0,2А) – режим измерения переменного тока, кнопка « $\approx U$ » - нажата.

Второй вольтметр В7-38 подключить к ШР2 (режим измерения переменного напряжения, кнопка « $\approx U$ » - нажата).

Поворотный вал скользящего контакта автотрансформатора установить в крайнее левое положение.

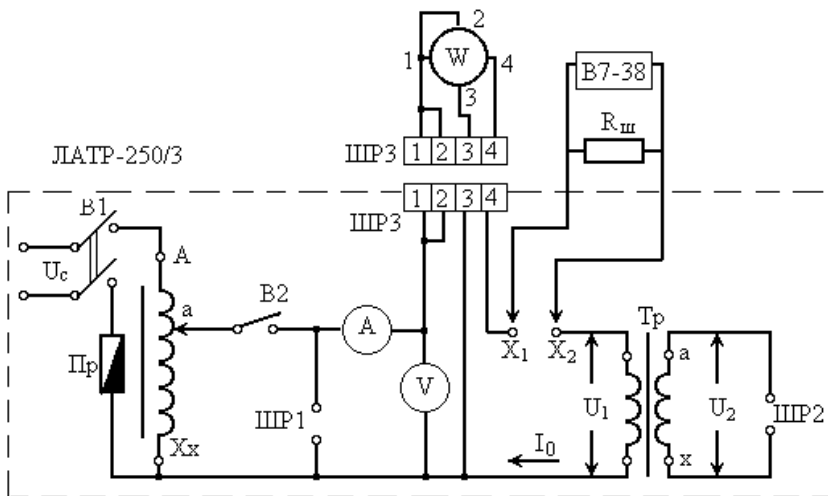


Рис.3 Лабораторный стенд для испытания трансформаторов

Порядок выполнения опыта холостого хода трансформатора

1. Подать напряжение 220 В $f = 50$ Гц на лабораторный стенд и включить тумблеры В1, В2, при этом убедиться, что $U_1 = 0$, $P(w) = 0$, $I_0 = 0$.

2. Устанавливая значения U_1 (по показаниям встроенного вольтметра) с помощью поворотного вала скользящего контакта автотрансформатора через интервалы, указанные в табл. 1, считывать показания: ΔP_0 , U_2 , I_0 .

Полученные результаты занести в табл.1.

Таблица 1

Устанавливаемая величина напряжения								
U_1, B	0	30	50	80	140	170	200	230
Результаты опыта								
I_0, A								
ΔP_0								
U_2, B								

3. По результатам опыта произвести расчеты: g_0 , Z_0 , x_0 , $\cos\varphi$, K и полученные результаты занести в табл. 2.

$$A) r_0 = r_1 + r_{\text{магн}} = \frac{\Delta P(\text{вт})}{I_0^2(\text{амп})} (\text{Ом}).$$

$$B) Z_0 = r_0 + jX_0 = \frac{U_1(\text{вольт})}{I_0(\text{амп})} = (\text{Ом})$$

$$B) X_0 = X_2 + X_{\text{магн}} = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} (\text{Ом})$$

$$Г) \cos \varphi = \frac{\Delta P_0}{U_1 \cdot I_0}$$

$$Д) K = \frac{U_1}{U_2} - \text{коэффициент трансформации}$$

Где: r_1 – активное сопротивление первичной обмотки.

$r_{\text{магн}}$ – активное сопротивление эквивалентное активным потерям в стали.

X_1 – индуктивное сопротивление первичной обмотки.

$X_{\text{магн}}$ – индуктивное сопротивление основного магнитного потока.

Таблица 2

U_1 (вольт)	Устанавливаемая величина							
	0	30,0	50,0	80,0	140,0	170,0	200,0	230,0
r_0 (Ом)	Результаты расчетов опыта Х.Х.							
Z_0 (Ом)								
X_0 (Ом)								
$\cos \varphi$								
K								

4. Построить графики зависимости $\Delta P_0 = f(U_1)$; $I_0 = f(U_1)$; $\cos \varphi = f(U_1)$; $Z_0 = f(U_1)$ согласно опыта и полученных расчетных данных.

5. Построить векторную диаграмму трансформатора при холостом ходе.

На основании 2-го правила Кирхгофа в схеме замещения трансформатора при х. х.:

$$\bar{U}_1 = -\bar{E}_1 + jX_1 \bar{I}_0 + \bar{I}_0 \cdot r_1$$

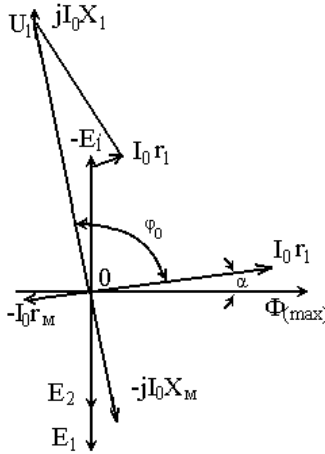


Рис 4. Векторная диаграмма холостого хода трансформатора

Последовательность построения векторной диаграммы

- горизонтально откладывается вектор основного магнитного потока (Φ_{\max});

- определяется вектор $\bar{E}_1 = -I_0(r_m + jX_m)$; в противоположном направлении вектора I_0 откладываем $-I_0 \cdot r_m$, а т.к. $r_1 \ll r_m$, то $r_m \approx r_0$ и

- $I_0 \cdot r_m = -I_0 \cdot r_0$

- Вектор $jI_0 X_m$ опережает вектор $I_0 \cdot r_m$ на 90°

- Вектор E_1 – как результат сложения $I_0 r_m$ и $jX_m \cdot I_0$

- Вектор E_1 повернем на 180° и произведем сложение с вектором $I_0 r_1$ (совпадающим по направлению с вектором I_0) и $jI_0 X_1$ – опережающим на 90° вектор $I_0 r_1$ и получаем вектор

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= -E_1 + I_0 r_1 + jI_0 X_1 = -I_0 \cdot r_m - jI_0(X_m) + I_0 r_1 + jI_0(X_1) = \\ &= I_0(r_1 - r_m) + jI_0(X_1 - X_m) \end{aligned}$$

и при $r_1 \ll r_m$ и $X_1 \ll X_m$.

$$\bar{U} = -I_0 \cdot r_m - jI_0 X_m = -I_0 \cdot r_0 - jI_0 Z_0.$$

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схемная сборка для исследования трансформатора.
4. Таблицы 1, 2 с результатами исследования.
5. Графики зависимости: $\Delta P_0 = f(U_1)$; $I_0 = f(U_1)$ $\cos\varphi = f(U_1)$ и $Z_0 = f(U_1)$
6. Векторная диаграмма трансформатора в режиме холостого хода.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назначение трансформатора и классификация их по отдельным признакам.
2. Основные электрические соотношения в идеальном трансформаторе.
3. Будет ли изменяться ток холостого хода и как: при увеличении или при уменьшении сечения стержней магнитопровода?
4. Как изменится ток холостого хода и потери в стали, если напряжение на первичной обмотке увеличить выше номинального.
5. В какой зависимости от частоты тока находятся потери на вихревые токи и потери на гистерезис (перемагничивание)?

ЛАБОЛАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Цель работы: определить потери в трансформаторе (потери в «меди»). По данным, полученным в результате опыта построить векторную диаграмму и графики (согласно задания)

Контрольно-испытательная аппаратура

- 1 Лабораторный стенд
- 2 Универсальный цифровой вольтметр В7-38 - 2шт
- 3 Ваттметр (на 15 Вт)
- 4 Соединительные провода.

Краткие сведения

Короткое замыкание (к.з.) в трансформаторе возникает в результате каких-либо неисправностей в сетях (или электрических схемах) вследствие ряда причин:

- при механических повреждениях изоляции;
- электрическом пробое;
- при ошибочных действиях обслуживающего персонала.

Такой режим работы представляет серьезную опасность для трансформатора, поскольку при замыкании вторичной обмотки сопротивление нагрузки почти равно нулю, что приводит к увеличению тока в обмотках трансформатора,

Это объясняется тем, что подведенное к первичной обмотке номинальное напряжение $U_1(\text{ном})$, уравнивается падением напряжения на полном сопротивлении трансформатора, которое в режиме короткого замыкания равно:

$$Z_{\text{к.з.}} = Z_1' + Z_2'$$

где: $Z_1 = r_1 + j x_1$, $Z_2' = r_2' + j x_2'$.

$$r_2' = r_2 \cdot K^2, \quad x_2' = x_2 \cdot K^2,$$

$$K = \frac{U_1}{U_2}.$$

Полное сопротивление короткого замыкания незначительно, поэтому ток резко возрастает.

Такой ток называется током короткого замыкания и определяется выражением:

$$I_{к.з.} = \frac{U_1}{Z_{к.з.}}.$$

Величину тока короткого замыкания можно объяснить так: при прохождении номинального тока $I_{(ном)}$ падение напряжения на полных сопротивлениях обмоток трансформатора составляет (5-7%) номинального напряжения, т.е. $I_{(ном)} \cdot Z_{к.з.} = (0,05-0,07)U_1(ном)$

$I(ном)[(r_1 + r_2') + J(x_1 + x_2')] = (0,05 - 0,07)U_1(ном)$, а в режиме короткого замыкания ток возрастет во столько раз, во сколько номинальное напряжение больше падения напряжения на полных сопротивлениях обмоток при номинальном токе, т.е.

$$\frac{I_{к.з.}}{I_{ном}} = \frac{U_{1(ном)}}{I_{ном} Z_{к.з.}} = \frac{U_{1(ном)}}{U_{1(ном)}(0,05 - 0,07)} = (20 \div 14).$$

Ток короткого замыкания резко повышает температуру обмоток, т.к. потери мощности (тепловой) в проводах обмоток:

$$\Delta P = I_{к.з.}^2 \cdot r_{к.з.}$$

где $r_{к.з.} = r_1 + r_2' = r_1 + r_2 \cdot K^2$.

r_1 и r_2 – сопротивления обмоток.

Трансформатор по постоянному току, и в случае, когда $I_{к.з.} = 20 I_{(ном)}$,

Потери в проводах обмоток будут в 400 раз большими, чем при номинальном токе.

Это вызовет резкое повышение температуры в результате чего изоляционный материал проводов утрачивает свои изоляционные свойства, что может привести к пробое изоляции, а следовательно, к выходу из строя трансформатора, кроме того резко увеличиваются механические взаимодействия между проводниками, которые могут стать причиной сильной деформации обмотки трансформатора и разрушения ее изоляции.

Большое практическое значение имеет опыт короткого замыкания. Опыт проводят при пониженном напряжении на первичной обмотке, так согласно представленной схеме замещения трансформатора на рис1, рис2.

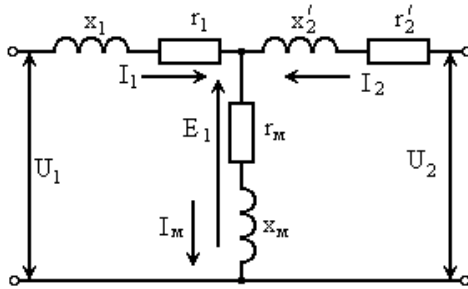


Рис 1

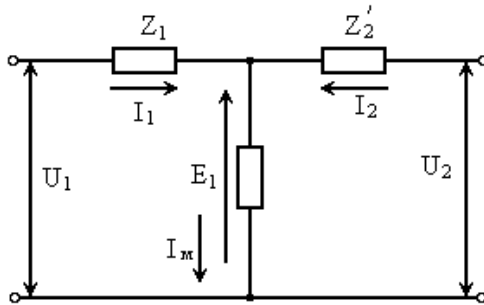


Рис 2

Где $Z_1 = r_1 + jx_1$; $Z_2' = r_2' + jx_2'$; $Z_3 = r_m + jx_m$.

$$Z_{\text{общ}} = Z_1 + \frac{Z_m \cdot Z_2'}{Z_m + Z_2'}$$

и так как вторичная обмотка замкнута накоротко, то $I_m \ll I_2'$

$$Z_m \gg Z_2'$$

$$Z_{\text{общ(к.з.)}} \approx Z_1 + Z_2'$$

Схему замещения можно представить в виде, так как на рис 3.

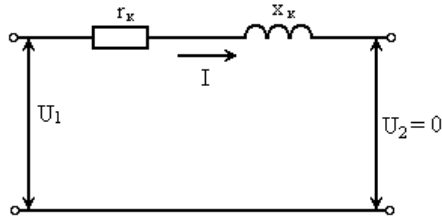


Рис. 3 Схема замещения короткозамкнутого трансформатора.

Опыт короткого замыкания дает возможность определения ряда параметров трансформатора:

- собственные активные потери «потери в меди»

$\Delta P_{\text{акт}} = I_0^2 \cdot r_k$ (согласно данного выражения определяются активные составляющие по постоянному току первичной и вторичной обмоток.)

$$r_k = \frac{\Delta P_{\text{акт}}}{I_0^2}.$$

- полное сопротивление трансформатора в режиме короткого замыкания:

$$Z_k = \frac{U_1}{I_0},$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2},$$

где X_k –индуктивные сопротивления первичной и вторичной обмоток трансформатора.

$$\cos \varphi = \frac{\Delta P_{\text{акт}}}{U_1 \cdot I_0},$$

а также величину номинального напряжения короткого замыкания.

$$U_{\text{к.з.}} = \frac{U_{1\text{к.з.}}}{U_{1\text{ном}}} \cdot 100\%,$$

где $U_{1\text{к.з.}}$ – напряжение подводимое к первичной обмотке короткозамкнутого трансформатора, при котором ток в обмотках будет равен номинальному.

Упрощенная векторная диаграмма представлена на рис. 4

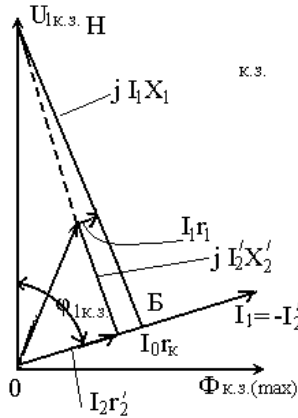


Рис. 4 Векторная диаграмма.

Где: $jI_1(x_1 + x_2') = jI_0 \cdot x_k$.

$$I_1 = I_2' = I_0.$$

$$I_1 \cdot r_1 + I_2' \cdot r_2' = I_0 r_k.$$

$$U_{к.з.} = \sqrt{(I_0 \cdot r_k)^2 + (I_0 \cdot X_k)^2}$$

ОБ – активная составляющая напряжения к.з.

АБ - реактивная составляющая напряжения к.з.

ОА – и полное напряжение короткого замыкания.

Порядок выполнения работы

1 Подготовительные работы.

- Произвести сборку электрической схемы, указанной на рис.5.
- Через разъем ШРЗ подключить ваттметр (W) к лабораторному стенду.
- К разъемам X_1 X_2 подключить шунт цифрового вольтметра В7-38 (режим измерения переменного напряжения)
- Вторичную обмотку трансформатора закоротить (установить перемычку в гнезда ШР2).
- Перед подачей питающего напряжения убедиться, что поворотный вал скользящего контакта автотрансформатора находится в крайнем левом положении (для исключения выхода из строя ваттметра и исследуемого трансформатора)

2 Порядок выполнения опыта короткого замыкания трансформатора

- подать напряжение 220 В с частотой 50Гц на лабораторный стенд и включить тумблеры В1 и В2. При этом убедиться, что $I_0 = 0$ и $P(w) = 0$.
- устанавливая значения U_1 (по показаниям встроенного вольтметра) с помощью поворотного вала скользящего контакта автотрансформатора через интервалы, указанные в табл.1, считывать показания ΔP_0 и I_0 .
- Полученные результаты занести в табл.1.

Таблица 1

U ₁ Вольт	Устанавливаемая величина						
	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0
Результаты опыта к.з.							
I ₀ (амп)							
ΔP ₀ (Вт)							

При проведении опыта короткого замыкания $U_{1(vax)}$ не должно превышать (10-15)% от $U_{1(ном)} = 220$ В т.к. дальнейшее увеличение U_1 может вызвать значительное увеличение I_0 в результате чего возможен выход из строя ваттметра и исследуемого трансформатора.

- по результатам опыта короткого замыкания произвести расчеты. Полученные данные занести в табл. 2.

$$а) \quad r_k = r_1 + r'_2 = \frac{\Delta P_{0(Bm)}}{I_{0(амп)}} , \quad r'_2 = r_2 \cdot K^2 .$$

$$б) \quad Z_k = r_k = j(X_k) = \frac{U_1}{I_0} , \quad X'_2 = X_2 \cdot K^2 .$$

$$где: \quad K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1}{W_2} ,$$

W_1 W_2 –число витков обмоток трансформатора.

$$в) \quad X_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} .$$

$$\text{г) } \cos \varphi_k = \frac{\Delta P_0}{U_1 \cdot I_0} \cos \varphi_k = \frac{\Delta P_0}{U_1 I_0}$$

$$\text{д) } U_{к.з.} = \frac{U_{1к.з.}}{U_1} \cdot 100\% \quad U_{к.з.} = \frac{U_{1к.з.}}{U_{1(ном)}} \cdot 100\%$$

Таблица 2

U ₁ (Вольт)	Устанавливаемая величина						
	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0
Результаты расчетов опыта к.з.							
R _к (Ом)							
Z _к (Ом)							
X _к (Ом)							
Cosφ _к							

- построить графики зависимости:

$$I_0 = f(U_1); \quad \Delta P_0 = f(U_1); \quad \cos \varphi_k = f(U_1).$$

-построить векторную диаграмму опыта короткого замыкания.

-выводы.

Содержание отчета

1. Название работы
 2. Цель работы
 3. Схемная сборка для исследования трансформатора в опыте короткого замыкания.
 4. Таблицы 1, 2 с результатами исследования и расчетов.
 5. Графики зависимостей: $I_0 = f(U_1)$; $\Delta P_0 = f(U_1)$; $\cos \varphi_k = f(U_1)$.
- Выводы по результатам исследования.

Контрольные вопросы

1. Чем опасно аварийное короткое замыкание.
2. В чем заключается опыт короткого замыкания.
3. Какие потери мощности учитываются при опыте короткого замыкания.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕТОДОМ КОНТУРНЫХ ТОКОВ

Цель работы: приобретение практических навыков расчета сложных электрических цепей и экспериментальное подтверждение полученных расчетов.

Контрольно-испытательная аппаратура

1. Лабораторный стенд.
2. Универсальный цифровой вольтметр В7-38.
3. Резисторы (согласно указанных номиналов).
4. Перемычки П1 – П5 и соединительные провода.

Краткие сведения

Электрические цепи, состоящие из приемников энергии (сопротивлений), соединенных последовательно, параллельно или смешанно при питании их от одного источника электрической энергии, принято называть простыми цепями.

При заданных сопротивлениях и Э.Д.С. (напряжений) источника питания токи и напряжения на всех участках простой электрической цепи можно определить, пользуясь законом Ома и первым правилом Кирхгофа.

Разветвленные электрические цепи, имеющие несколько контуров с произвольным размещением потребителей и источников питания, относятся к сложным электрическим цепям, для расчета которых целесообразно применение двух правил Кирхгофа.

Одним из методов расчета является метод контурных токов, который требует меньшего числа расчетных уравнений по сравнению с методом узловых и контурных уравнений и поэтому сокращает расчеты электрических цепей.

Порядок и последовательность проведения расчетов сложной электрической цепи

Для расчета в заданной электрической цепи выбираются контуры и произвольно для каждого контура задается направление тока – контурного тока (I_1' , I_2' и т.д.).

Для каждого контура составляется уравнение по второму правилу Кирхгофа:

«В замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма Э.Д.С. равна алгебраической сумме падений напряжения в отдельных потребителях энергии».

При этом направление обхода контура принимается совпадающим с направлением контурного тока (при совпадении направления обхода с отдельными источниками и потребителями) значения Э.Д.С. и падения напряжения на потребителях записываются со знаком «плюс», а при несовпадении – со знаком «минус».

Число независимых уравнений должно быть равно числу контуров ячеек.

Если в результате расчетов окажется, что значение одного или нескольких контурных токов со знаком «минус», то направление контурных токов меняется на противоположное.

Ток в ветви, где протекает только один контурный ток равен контурному току и совпадает по направлению.

В ветвях с двумя и более контурными токами ток ветви определяется алгебраической суммой контурных токов и имеющего направление, совпадающего с большим контурным током.

Определяются численные значения токов отдельных ветвей сложной электрической цепи и на схеме указывается направление данных токов.

Правильность произведенных расчетов проверяется составлением баланса мощностей.

Пример расчета сложной электрической цепи методом контурных токов

Дано: $E_1 = 5,0$ В; $E_2 = 10,0$ В;

$R_1 = 0,2$ кОм; $R_2 = 0,47$ кОм; $R_3 = 0,27$ кОм; $R_4 = 0,2$ кОм

$R_5 = 0,2$ кОм.

Определить:

I_1, I_2, I_3, I_4, I_5

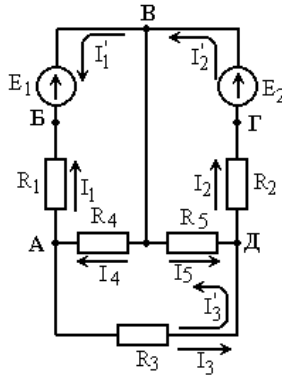


Рис.1. Сложная электрическая цепи постоянного тока

1. Произвольно выбираем направления контурных токов I_1' , I_2' , I_3' для контуров АБВА, ВГДВ и АВДА и составляем по второму закону Кирхгофа

$$\begin{cases} -E_1 = I_1'(R_1 + R_4) - I_3'R_4 \\ 0 = I_3'(R_3 + R_4 + R_5) - I_1'R_4 - I_2'R_5 \\ E_2 = I_2'(R_2 + R_5) - I_3'R_5 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,4I_1' + I_2' \cdot 0 - 0,2I_3' = -5 \\ -0,2I_1' - 0,2I_2' + 0,67I_3' = 0 \\ 0I_1' + 0,67I_2' - 0,2I_3' = 10 \end{cases}$$

2. Определяем значения контурных токов:

$$\text{a) } I_1 = \frac{\Delta I_1'}{\Delta} = \frac{1,645}{-0,13672} = -12 / 02 (\text{мА})$$

$$\text{Где: } \Delta = \begin{vmatrix} 0,4 & 0 & -0,2 \\ -0,2 & -0,2 & 0,67 \\ 0 & 0,67 & -0,2 \end{vmatrix} = -0,13672$$

$$\Delta I_1 = \begin{vmatrix} -5 & 0 & -0,2 \\ 0 & -0,2 & 0,67 \\ 10 & 0,67 & -0,2 \end{vmatrix} = 1,645$$

$$\text{б) } I_2' = \frac{\Delta I_2'}{\Delta} = \frac{-2,08}{-0,13676} = 15,21$$

$$\text{где: } \Delta = I_2 = \begin{vmatrix} 0,4 & -5 & -0,2 \\ -0,2 & 0 & 0,67 \\ 0 & 10 & -0,2 \end{vmatrix} = -2,08$$

$$\text{в) } I_3' = \frac{\Delta I_3'}{\Delta} = \frac{-0,13}{-0,13676} = 0,95$$

$$\text{где: } \Delta I_3' = \begin{vmatrix} 0,4 & 0 & -5 \\ -0,2 & -0,2 & 0 \\ 0 & 0,67 & 10 \end{vmatrix} = -0,13$$

3. Определяем направления контурных токов.

Направления токов I_2' и I_3' не меняются, а контурный ток I_1' по результатам расчета – со знаком «минус» и направление I_1' нужно изменить на противоположное.

4. Определяем направления и величины токов в ветвях:

А) $I_1 = I_1' = 12,02$ мА – совпадает с направлением I_1'

Б) $I_2 = I_2' = 15,21$ мА – совпадает с направлением I_2'

В) $I_3 = I_3' = 0,95$ мА – совпадает с направлением I_3'

Г) $I_4 = I_1' + I_3' = 12,95$ мА – совпадает с направлением I_1', I_3'

Д) $I_5 = I_2' - I_3' = 14,26$ мА – совпадает с направлением I_2'

5. Проверка правильности решения при помощи составления баланса мощностей

$$P_1 + P_2 = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_4^2 \cdot R_4 + I_5^2 \cdot R_5$$

$$5 \cdot 12,02 + 10 \cdot 15,21 = 12,02^2 \cdot 0,2 + 15,21^2 \cdot 0,47 + 0,95^2 \cdot 0,27 + 14,26^2 \cdot 0,2$$

$$212,2 = 28,9 + 108,73 + 0,24 + 33,64 + 40,67$$

$$212,2 \approx 212,18$$

где: $P_1 = E_1 \cdot I_1$; $P_2 = E_2 \cdot I_2$

Баланс мощностей соответствует, расчеты произведены правильно.

Рабочее задание

1. Произвести расчет сложной электрической цепи (рис. 1) методом контурных токов. Данные элементов и источников питания электрической цепи приведены в табл. 1.

Производится расчет общий для всех членов звена (стенд, варианты I – 0, II – 0, III – 0) и для каждого члена звена – индивидуально (стенд и один из вариантов 1 – 5).

Определить величины и направления токов в ветвях, составить баланс мощностей, данные расчетов занести в табл. 2.

2. На лабораторном стенде собрать сложную электрическую цепь (источники питания, элементная база и схемное решение – согласно выше произведенных расчетов).

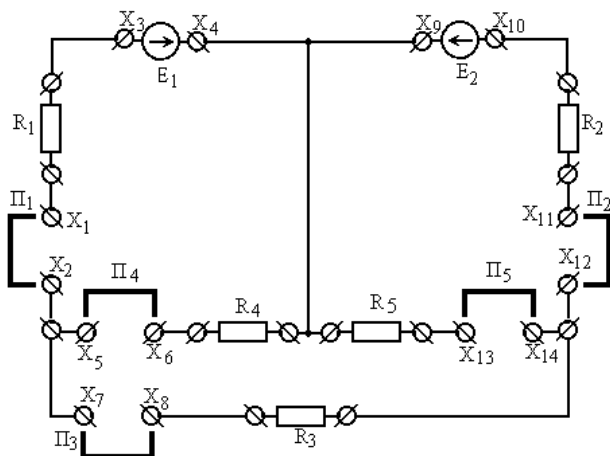


Рис. 2 Схема сборки исследуемых цепей.

- к клеммам $X_3, X_4; X_9, X_{10}$ подключить источники стабилизированного питания $E_1 = 5,0 \text{ В}; E_2 = 15,0 \text{ В}$ (с соблюдением полярности подключения)
- резисторы R_1, R_2, R_3, R_4 и R_5 (согласно рис. 2)
- на клеммы $X_1, X_2; X_5, X_6; X_7, X_8; X_{11}, X_{12}; X_{13}, X_{14}$ установить переключки П1 – П5
- лабораторный стенд подать напряжение питания $U = 220 \text{ В}; f = 50 \text{ Гц}$
- включить тумблеры «+5»; «+15В» и потенциометром «Регул. +15» - установить требуемое напряжение E_2 (согласно задания)
- поочередно снимаем переключки П1 – П5 и включаем в разрыв универсальный цифровой вольтметр В7-38, в режиме измерения постоянного тока (кнопка «+U» на передней панели В7-38 – нажата) с использованием шунта – клеммы «Общ.», 0,2А измерить токи в ветвях, определить направление токов.

Результаты измерений занести в табл. 2. Проверить соответствие расчетных данных и результаты измерений.

где: I, II и III данные для расчета,

для группы курсантов 1, 2, 3, 4, 5, - индивидуальные задания.

Таблица 1

№ стенда	Вариант	Исходные данные для расчета						
		E_1 В	E_2 В	r_1 кОм	r_2 кОм	r_3 кОм	r_4 кОм	r_5 кОм
Стенд	I-0	5,0	10,0	0,47	0,2	0,2	0,27	0,2
	1	5,0	2,0	0,47	0,2	0,2	0,27	0,2
	2	5,0	4,0	0,47	0,2	0,2	0,27	0,2
	3	5,0	6,0	0,47	0,2	0,2	0,27	0,2
	4	5,0	8,0	0,47	0,2	0,2	0,27	0,2
	5	5,0	12,0	0,47	0,2	0,2	0,27	0,2
Стенд	II-0	5,0	10,0	0,2	0,2	0,47	0,2	0,27
	1	5,0	2,0	0,2	0,2	0,47	0,2	0,27
	2	5,0	4,0	0,2	0,2	0,47	0,2	0,27
	3	5,0	6,0	0,2	0,2	0,47	0,2	0,27
	4	5,0	8,0	0,2	0,2	0,47	0,2	0,27
	5	5,0	12,0	0,2	0,2	0,47	0,2	0,27
Стенд	III-0	5,0	10,0	0,2	0,47	0,2	0,27	0,2
	1	5,0	2,0	0,2	0,47	0,2	0,27	0,2
	2	5,0	4,0	0,2	0,47	0,2	0,27	0,2
	3	5,0	6,0	0,2	0,47	0,2	0,27	0,2
	4	5,0	8,0	0,2	0,47	0,2	0,27	0,2
	5	5,0	12,0	0,2	0,47	0,2	0,27	0,2

Таблица 2

Стенд, вариант	Результаты расчета электрической цепи							
	I_1 мА	I_2 мА	I_3 мА	I_4 мА	I_5 мА	$P = \sum EI$ мВт	$P = \sum I^2 \cdot r$ мВт	Прим.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Результаты лабораторных исследований							

Контрольные вопросы

1. Какие электрические схемы являются простыми, а какие относятся к сложным?
2. В чём основное преимущество расчёта сложных электрических цепей методом контурных токов?
3. Какова последовательность расчёта электрической цепи методом контурных токов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: приобретение практических навыков расчёта сложных электрических цепей методом составления узловых и контурных уравнений и экспериментальное подтверждение полученных результатов.

Контрольно-испытательная аппаратура

1. Устройство лабораторное электронное К-4826 – 1 комп.
2. Универсальный цифровой вольтметр В7-38 – 1 шт.
3. Резисторы (согласно указанных номиналов).
4. Переключатели и соединительные провода.

Краткие сведения

При экспериментальном исследовании сложных электрических цепей постоянного тока возникает необходимость подтверждения полученных результатов.

Так при лабораторных исследованиях методом «амперметра» и «вольтметра» достоверность полученных результатов (значения токов в ветвях и их направление) можно подтвердить аналитически:

- методом составления баланса мощностей;
- методом контурных токов;
- методом составления узловых и контурных уравнений;

- методом наложения (суперпозиции);
- методом преобразования.

Порядок и последовательность проведения расчетов методом составления узловых и контурных уравнений

Если в рассматриваемой электрической цепи заданы величины всех Э.Д.С. и сопротивлений, то для нахождения всех токов требуется столько расчетных уравнений, сколько в цепи неизвестных токов (по числу ветвей).

При этом число независимых узловых уравнений, составляемых по первому правилу Кирхгофа, должно быть на единицу меньше числа узлов цепи.

Остальные уравнения должны быть контурные, т.е. составляться по второму правилу Кирхгофа.

Контурные уравнения следует составлять для более простых контуров с меньшим числом сопротивлений и источников питания.

Кроме того, каждый новый контур, для которого составляется очередное уравнение, должен содержать не менее одной ветви, не входившей в ранее составленные уравнения.

Для составления узловых и контурных уравнений необходимо определить количество ветвей, число узлов в схеме и число независимых контуров.

Произвольно проставляется направления токов в ветвях и согласно, указанных направлений токов составляются узловые уравнения (число уравнений должно быть равным $n - 1$, где n – число узлов в данной схеме).

Остальные уравнения должны быть контурные и составляются по второму правилу Кирхгофа.

При составлении контурных уравнений направление обхода для всех контуров выбирается по часовой стрелке.

И если направление обхода совпадает с направлением Э.Д.С. и токов в ветвях, то значения Э.Д.С. и падений напряжений данных токов записываются со знаком «плюс», при несовпадении – со знаком «минус».

Если после составления уравнений и их решения будет получено отрицательное значение для какого-либо из токов, то этот ток в действительности будет проходить в направлении, противоположном выбранному и показанному на схеме.

Если в одной из ветвей, содержащий источник Э.Д.С., направление (действительное) тока ветви окажется встречным относительно источника Э.Д.С., то данный источник будет работать в режиме потребителя и при составлении баланса мощностей $P = E \cdot I_i$ данного источника записывается в строке мощностей потребителей.

Пример расчета электрической цепи методом составления узловых и контурных уравнений

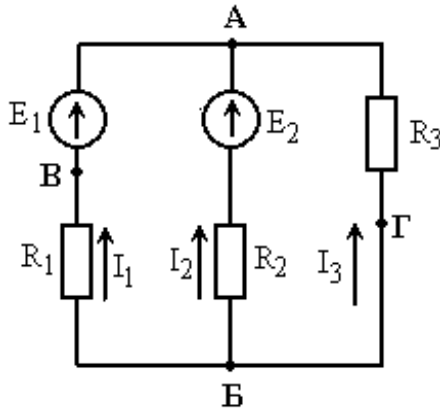


Рис. 1. Электрическая цепи постоянного тока

Дано: $E_1 = 5,0 \text{ В}$
 $E_2 = 10,0 \text{ В}$; $R_1 = R_2 = 0,2 \text{ кОм}$;
 $R_3 = 0,27 \text{ кОм}$.

Определить I_1 , I_2 и I_3 .

Данная электрическая цепь состоит из 2 узлов (А, Б) и 2-х независимых контуров (ВАБВ и АГБА).

1. Произвольно выбираем направления токов в ветвях (I_1 ; I_2 ; I_3) и составляем одно уравнение по первому правилу Кирхгофа (для узла А) и два уравнения по второму правилу Кирхгофа.

$$\begin{cases} E_1 - E_2 = 0,2I_1 - 0,2I_2 \\ E_2 = 0,2I_2 - 0,27I_3 \\ 0 = I_1 + I_2 + I_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -5,0 = 0,2I_1 - 0,2I_2 + 0I_3 \\ 10,0 = 0I_1 + 0,2I_2 - 0,27I_3 \\ 0 = 1I_1 + 1I_2 + 1 \cdot I_3 \end{cases}$$

2. Определяем значения токов в ветвях:

$$\text{А) } I_1 = \frac{\Delta I_1}{\Delta} = \frac{-0,35}{0,148} = -2,36(\text{мА})$$

$$\text{Где: } \Delta = \begin{vmatrix} 0,2 & -0,2 & 0 \\ 0 & 0,2 & -0,27 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0,148;$$

$$\Delta I_1 = \begin{vmatrix} -5 & -0,2 & 0 \\ 10 & 0,2 & -0,27 \\ 0 & 1 & 1 \end{vmatrix} = -0,35$$

$$\text{Б) } I_2 = \frac{\Delta I_2}{\Delta} = \frac{3,35}{0,148} = 22,63(\text{мА});$$

$$\text{Где: } \Delta I_2 = \begin{vmatrix} 0,2 & -5 & 0 \\ 0 & 10 & -0,27 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix} = 3,35$$

$$\text{В) } I_3 = \frac{\Delta I_3}{\Delta} = \frac{-3,0}{0,148} = -20,27(\text{мА});$$

$$\text{Где: } \Delta I_3 = \begin{vmatrix} 0,2 & -0,2 & -5 \\ 0 & 0,2 & 10 \\ 1 & 1 & 0 \end{vmatrix} = -3,0$$

3. Согласно полученных расчетов действительные направления токов I_1 и I_3 будут противоположными относительно предварительно выбранных, а так как ток I_1 направлен встречно источнику Э.Д.С E_1 , то данный источник работает в режиме потребителя электрической энергии.
4. Проверка правильности расчетов подтверждается составлением баланса мощностей:

$$I_2 \cdot E_2 = I_1 \cdot E_1 + I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3;$$

$$226,3 = 2,36 \cdot 5 + 2,36^2 \cdot 0,2 + 22,63^2 \cdot 0,2 + 20,27^2 \cdot 0,27$$

$$226,3 = 11,8 + 1,11 + 102,42 + 110,94 = 226,27$$

Баланс мощностей соответствует, расчеты произведены правильно.

Рабочее задание

1. Произвести расчет электрической цепи (рис.1) методом составления узловых и контурных уравнений.
Данные элементов (резисторов) и источников питания приведены в таблице №1.
Производится расчет общей для всех членов звена (стенд, варианты I-0, II-0, III-0) и для каждого члена звена индивидуально (стенд и один из вариантов 1-5).
Определить величины и направления токов в ветвях, составить баланс мощностей, данные расчета занести в таблицу 2.
2. На лабораторном электронном устройстве К-4826 собрать электрическую схему (рис.2). Элементная база (согласно выданного задания).

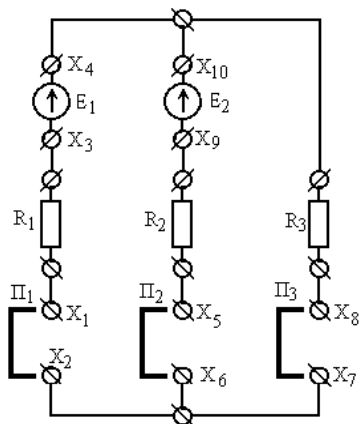


Рис.2 Электрическая схема

- подать напряжение питания на лабораторное устройство К-4826;
- включить тумблер «Сеть» устройства;
- потенциометром «+15 В» установить требуемое напряжение E_2 ;
- поочередным снятием перемычек П1 – П3 и включением в разрыв универсального цифрового вольтметра В7-38, в режиме измерения постоянного тока (кнопка «= U» нажата с использованием шунта – клеммы «Общ; 0,2 А»), измерить токи в ветвях, определить направление токов. Результаты измерений занести в табл. 2. Проверить соответствие расчетных данных и результатов измерения.

Таблица 1

Номер стенда	Вариант	Исходные данные для расчета				
		E_1 (В)	E_2 (В)	R_1 (кОм)	R_2 (кОм)	R_3 (кОм)
1	2	3	4	5	6	7
Стенд № 1	I-0	5,0	10,0	0,2	0,27	0,47
	1	5,0	2,0	0,2	0,27	0,47
	2	5,0	4,0	0,2	0,27	0,47
	3	5,0	6,0	0,2	0,27	0,47
	4	5,0	8,0	0,2	0,27	0,47
	5	5,0	12,0	0,2	0,27	0,47

1	2	3	4	5	6	7
Стенд № 2	II-0	5,0	10,0	0,27	0,47	0,2
	1	5,0	2,0	0,27	0,47	0,2
	2	5,0	4,0	0,27	0,47	0,2
	3	5,0	6,0	0,27	0,47	0,2
	4	5,0	8,0	0,27	0,47	0,2
	5	5,0	12,0	0,27	0,47	0,2
Стенд № 3	III-0	5,0	10,0	0,47	0,2	0,27
	1	5,0	2,0	0,47	0,2	0,27
	2	5,0	4,0	0,47	0,2	0,27
	3	5,0	6,0	0,47	0,2	0,27
	4	5,0	8,0	0,47	0,2	0,27
	5	5,0	12,0	0,47	0,2	0,27

Где: I - 0; II - 0; III-0 – данные для расчета группы
1, 2, 3, 4, 5 – индивидуальные задания.

Таблица 2

Номер Стенда	Вари- ант	Результаты расчета электрической цепи				
		I_1 (ма)	I_2 (ма)	I_3 (ма)	$P=\Sigma E \cdot I$ (мавт)	$P=\Sigma I^2 \cdot r$ (мавт)

Стенд	Вари- ант	Результаты лабораторных исследований				

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Электрическая схема исследуемой электрической цепи.
4. Таблицы 1, 2 с результатами расчетов лабораторных исследований.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими выбирают направления токов в ветвях при составлении уравнений?
2. Какие ветви и контуры относятся к независимым в сложной электрической цепи?
3. В каком случае один из источников Э.Д.С. электрической цепи работает в режиме потребителя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Цель работы: приобретение практических навыков расчета сложных электрических цепей с помощью метода преобразования и экспериментальное подтверждение полученных расчетов.

Контрольно-испытательная аппаратура

1. Устройство лабораторное электронное К-4826.
2. Универсальный цифровой вольтметр В7-38.
3. Резисторы (согласно указанных номиналов).
4. Переключки П1 – П5 и соединительные провода.

Краткие сведения

Схему соединения трех резисторов, образующих замкнутый контур с тремя узлами А, Б, В называют треугольными, а схему соединения трех резисторов, с тремя узлами А, Б, В и с дополнительным общим узлом О, называют звездой.

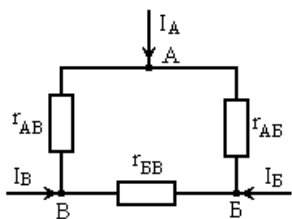


Рис.1

Соединение сопротивлений
треугольником

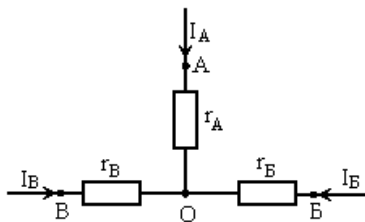


Рис.2

Соединение сопротивлений
звездой

В некоторых случаях расчет сложной цепи значительно упрощается, если треугольник сопротивлений заменить звездой сопротивлений или наоборот.

Эти замены треугольника и звезды сопротивлений должны быть эквивалентными, т.е. при соответственно равных напряжениях между вершинами А, Б, В (внешней цепи) треугольника и звезды, токи в подводящих проводах, соединяющие эти вершины с остальной частью сложной цепи, должны оставаться без изменений.

Равенство токов должно выполняться при любых изменениях или переключениях в остальной части и, в частности, при обрывах некоторых ее ветвей.

При преобразовании схемы соединения резисторов треугольником в эквивалентную схему соединения звездой, значения сопротивлений резисторов определяются:

$$r_A = \frac{r_{AB} \cdot r_{BC}}{r_{AB} + r_{BC} + r_{CA}}; \quad r_B = \frac{r_{AB} \cdot r_{CA}}{r_{AB} + r_{BC} + r_{CA}};$$

$$r_C = \frac{r_{BC} \cdot r_{CA}}{r_{AB} + r_{BC} + r_{CA}}.$$

Т.е. сопротивление луча эквивалентной звезды равно произведению сопротивлений двух сторон треугольника, которые присоединены к той же точке, что и луч звезды, деленному на сумму сопротивлений всех сторон треугольника.

При обратном преобразовании звезды в эквивалентный треугольник, при заданных значениях r_A, r_B, r_B , значения сопротивления треугольника определяются:

$$r_{AB} = r_A + r_B \frac{r_A \cdot r_B}{r_B}; \quad r_{AB} = r_A + r_B \frac{r_A \cdot r_B}{r_B};$$

$$r_{BB} = r_B + r_B \frac{r_B \cdot r_B}{r_A}.$$

Сопротивление стороны эквивалентного треугольника равно сумме сопротивлений двух лучей звезды, присоединенных к тем же точкам что и сторона треугольника, и их произведения деленного на сопротивление третьего луча звезды.

Примера расчета сложной электрической цепи методом преобразования

Определить токи в ветвях мостовой схемы (рис.3)

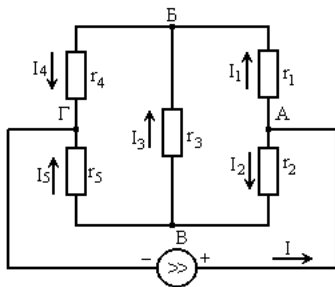


Рис.3
Мостовая схема

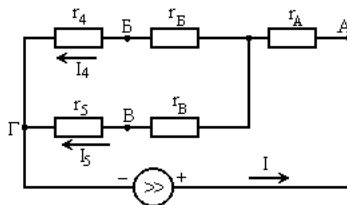


Рис.4
Преобразованная схема.

Исходные данные:

$$E=3,4\text{В}$$

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 0,3 \text{ (кОм)}, \quad r_5 = 0,5 \text{ (кОм)}$$

Определить: $I_1; I_2; I_3; I_4; I_5$.

Расчетная часть

1. Произвести замену одного из треугольников мостовой схемы, например, образований резисторами r_1, r_2, r_3 (узлы Б, А, В) эквивалентной звездой, при этом получим простую схему смешанного соединения резисторов (рис.4)
2. Определяем сопротивления лучей звезды:

$$r_A = r_B = r_C \quad \text{т. к.} \quad r_1 = r_2 = r_3$$

$$r_A = \frac{r_{AB} \cdot r_{AB}}{r_{AB} + r_{AB} + r_{BB}} = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2 + r_3} = \frac{0,3 \cdot 0,3}{0,3 + 0,3 + 0,3} = 0,1(\text{кОм})$$

3. Общее сопротивление (эквивалентное) смешанного соединения резисторов (рис.4).

$$\begin{aligned} r_{\text{общ}} &= r_A + \frac{(r_4 + r_B)(r_5 + r_B)}{r_4 + r_B + r_5 + r_B} = 0,1 + \frac{(0,3 + 0,1)(0,5 + 0,1)}{0,3 + 0,1 + 0,5 + 0,1} \\ &= 0,1 + 0,24 = 3,4(\text{кОм}) \end{aligned}$$

4. Ток в неразветвленной части схемы:

$$I = \frac{E}{r_{\text{общ}}} = \frac{3,4\text{В}}{0,34\text{кОм}} = 10,0(\text{mA}).$$

5. Ток в ветви с сопротивлениями r_4, r_B :

$$I_4 = I \cdot \frac{r_5 + r_B}{r_4 + r_B + r_5 + r_B} = 10,0 \frac{0,6}{1,0} = 6,0(\text{mA})$$

6. Ток в ветви с сопротивлениями r_5, r_B :

$$I = I_5 \frac{r_4 + r_B}{r_4 + r_B + r_5 + r_B} = 10,0 \frac{0,4}{1,0} = 4,0(\text{mA}).$$

Для определения токов I_1, I_2, I_3 , которых нет в преобразованной схеме, найдем потенциалы узловых точек Б и В и перейдя к схеме рис.4, определим значения токов I_1, I_2, I_3 .

7. Напряжение на резисторе r_4 :

$$U_{r_4} = U_{BG} = \varphi_B - \varphi_G = I_4 \cdot r_4 = 0,6 \cdot 0,3 = 1,8(\text{В}).$$

8. Напряжение на резисторе r_5 :

$$U_{r_5} = U_{BG} = \varphi_B - \varphi_G = I_5 \cdot r_5 = 4,0 \cdot 0,5 = 2,0(\text{В})$$

9. Напряжение на диаганале моста ВБ :

Полагая, что потенциал точки Г $\varphi_G = 0$.

$$U_{ВБ} = \varphi_B - \varphi_B = 2,0 - 1,8 = 0,2(\text{В}).$$

10. Ток в ветви с сопротивлением r_3 :

$$I = \frac{U_{BG}}{r_3} = \frac{0,2}{0,3} = 0,66(\text{mA}).$$

11. Ток в ветви с сопротивлением r_1 :

$$I_1 = I_4 - I_3 = 6,0 - 0,66 = 5,34 (\text{mA}).$$

(уравнение для узла Б – первое правило Киргофа).

12 Ток в ветви с сопротивлением r_2 :

$$I_2 = I_5 + I_3 = 4,0 + 0,66 = 4,66 (\text{mA}).$$

13. Правильность расчетов проверяем составлением баланса мощностей:

14.

$$I \cdot E = I_1^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot r_2 + I_3^2 \cdot r_3 + I_4^2 \cdot r_4 + I_5^2 \cdot r_5.$$

$$10 \cdot 3,4 = 5,34^2 \cdot 0,3 + 4,66^2 \cdot 0,3 + 0,66^2 \cdot 0,3 + 6,0^2 \cdot 0,3 + 4,0^2 \cdot 0,5.$$

$$34 \approx 33,99$$

Рабочее задание

1. Произвести расчет мостовой схемы (рис.4) методом преобразования. Данные для расчетов приведены в табл. 1.

Расчеты производятся:

- общий (для всех членов звена, бригады – стенд №, варианты I-0, II-0, III-0).
 - индивидуальный (для каждого члена звена – стенд № и один из вариантов).
1. Определить величины и направления токов в ветвях, составить баланс мощностей, данные расчетов занести в табл. 2
 1. На монтажном поле лабораторного электронного устройства К – 4826 собрать электрическую схему (рис.5).

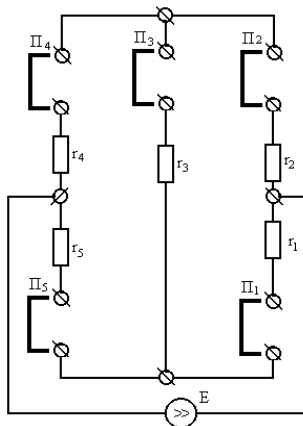


Рис.5

Электронная схема резисторного моста

Выбор источника питания, элементная база и схемное решение – согласно полученного задания.

2. Подать напряжение $U = 220 \text{ В}$; $f = 50 \text{ Гц}$ на электронное устройство К – 4826, на стенде включить тумблер «+15В» и потенциометром «Рег. +15В» установить требуемое напряжение (E).

3. Поочередным снятием перемычек П1 – П5 и включением в разрыв электрической цепи универсального вольтметра В7-38 (в режиме измерения постоянного тока) определить величины токов и их направления.
4. Результаты полученных данных занести в табл. 2.
5. Проверить соответствие расчетных данных и результатов измерений.

Таблица 1

Наименование стенда	Вариант	Исходные данные для расчета					
		Е Вольт	r_1 (кОм)	r_2 (кОм)	r_3 (кОм)	r_4 (кОм)	r_5 (кОм)
1	2	3	4	5	6	7	8
Стенд №1 (К-4826)	I-0	4,4	0,33	0,33	0,33	0,47	0,68
	1	6,0	0,33	0,33	0,33	0,47	0,68
	2	8,0	0,33	0,33	0,33	0,47	0,68
	3	10,0	0,33	0,33	0,33	0,47	0,68
	4	12,0	0,33	0,33	0,33	0,47	0,68
	5	14,0	0,33	0,33	0,33	0,47	0,68
Стенд №2 (К-4826)	II-0	4,1	0,27	0,27	0,27	0,68	0,47
	1	6,0	0,27	0,27	0,27	0,68	0,47
	2	8,0	0,27	0,27	0,27	0,68	0,47
	3	10,0	0,27	0,27	0,27	0,68	0,47
	4	12,0	0,27	0,27	0,27	0,68	0,47
	5	14,0	0,27	0,27	0,27	0,68	0,47
Стенд №3 (К-4826)	III-0	5,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68
	1	6,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68
	2	8,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68
	3	10,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68
	4	12,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68
	5	14,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68

Таблица 2

Стенд №, вариант	Результаты расчетов электрической цепи						
	I_1 (ма)	I_2 (ма)	I_3 (ма)	I_4 (ма)	I_5 (ма)	$P=\sum EI$ (мВт)	$P=\sum I^2 R$ (мВт)
1	2	3	4	5	6	7	8

Результаты лабораторных исследований							

Контрольные вопросы

1. В каких случаях используется метод преобразования при расчетах сложных электрических цепей постоянного тока?
2. Последовательность проведения расчетов методом преобразования.
3. Соотношения сопротивлений при преобразовании треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду и наоборот.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схемная сборка исследуемой сложной электрической цепи.
4. Расчетная часть.
5. Таблицы 1, 2.
6. Контрольные вопросы.

Литература

- 1 В.С. Попов. Теоретическая электротехника. – М.: Энергия, 1970 г.
- 2 И.И. Белопольский. Источники питания радиоустройств. . – М.: Энергия, 1971 г.
- 3 Г.С. Яковлев, Б.Г. Магармак, А.И. Маникин. Судовые электрические машины. – Л.: Судостроение. 1972 г.
- 4 А.И. Вольдек. Электрические машины. – М.: Энергия, 1973 г.
- 5 Н.Н. Мансуров, В.С. Попов. Теоретическая электротехника . – М.: Энергия, 1963 г.

**Бакеев Даут Анатольевич
Парфенкин Александр Иванович
Безумов Александр Валентинович**

ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Часть 1

*Руководство к лабораторным работам для курсантов специальности
201300 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования»*

В авторской редакции
Технический редактор Бабух Е.Е.
Набор текста, верстка Безумов А.В.
Оригинал-макет Бабух Е.Е.

Лицензия ИД № 02187 от 30.06.00 г. Подписано в печать 09.01.2004 г.
Формат 61*86/16. Печать офсетная. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 2,35. Уч.-изд. л. 2,47. Усл. печ. л. 2,91
Тираж 25 экз. Заказ № 201

Редакционно-издательский отдел
Камчатского государственного технического университета

Отпечатано полиграфическим участком РИО КамчатГТУ
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35

