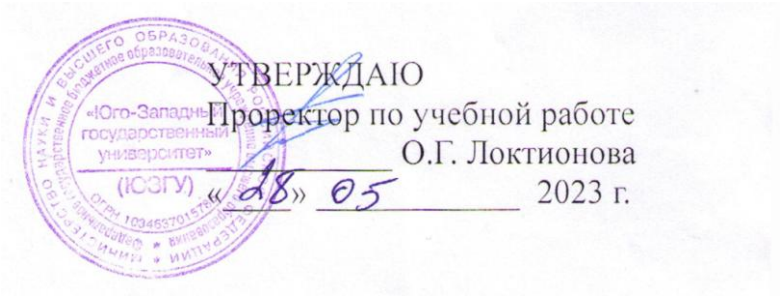
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения



ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Методические указания по выполнению лабораторной работы
по теоретическим основам электротехники

Курск 2023

УДК 621.3 (076.1)

Составители: А. С. Романченко, И. А. Башмакова

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент *А .С. Чернышёв*

Эквивалентный генератор : методические указания по выполнению лабораторной работы по теоретическим основам электротехники для студентов технических специальностей и направлений подготовки / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А. С. Романченко, И. А. Башмакова. Курск, 2023. 9 с.: ил. 3, табл. 2. Библиогр.: с. 9.

Методические указания содержат сведения по исследованию метода эквивалентного генератора, используемого при расчете электрических цепей. Указывается порядок выполнения лабораторной работы, правила оформления отчета. Лабораторная работа охватывает материал по следующим темам: электрические цепи постоянного и синусоидального тока и методы их расчета, измерение параметров электрической цепи.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Теоретическим основам электротехники».

Предназначены для студентов технических специальностей и направлений подготовки при проведении лабораторных занятий.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. . Уч.-изд.л. . Тираж 50 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение и экспериментальная проверка основных положений метода эквивалентного генератора.

2. ПОДГОТОВКА К ИССЛЕДОВАНИЯМ

2.1. Изучить по конспекту лекций и рекомендованному учебнику в разделах «Электрические цепи постоянного тока», «Электрические цепи однофазного синусоидального тока» методы расчета электрических цепей постоянного и синусоидального тока, в первую очередь обратив внимание на метод эквивалентного генератора.

2.2. Освоить методику выполнения лабораторной работы по настоящим методическим указаниям.

2.3. Заготовить отчёт со схемами экспериментальной установки, таблицами для экспериментальных данных.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Метод эквивалентного генератора является одним из методов расчета электрических цепей и основывается на представлении, что если в заданной цепи выделить ветвь, режим которой подлежит определению, то остальная часть цепи по отношению к выделенной ветви выступает как источник, обладающий некоторыми значениями ЭДС и внутреннего сопротивления.

Значения ЭДС и сопротивления являются параметрами эквивалентного (по действию на выделенную ветвь) источника, которым можно заменить упомянутую часть цепи. Такая замена, составляющая сущность метода, показана на рисунке 1, где выделенная ветвь имеет обозначение Z_{ab} , заменяемая часть цепи обозначена прямоугольником, $E_Э$ и $Z_Э$ – ЭДС и внутреннее сопротивление эквивалентного генератора.

В зависимости от задачи выделяется не только ветвь, но и часть цепи, и эта часть может оказаться сложнее той, что подлежит замене. Искомый ток выделенной ветви равен току эквивалентной схемы:

$$\underline{I}_{ab} = \frac{\underline{E}_Э}{\underline{Z}_Э + \underline{Z}_{ab}}, \qquad (3.1)$$

Здесь уже видно то преимущество метода, что если параметры $\underline{E}_Э$ и $\underline{Z}_Э$ найдены, то тем самым определена зависимость $\underline{I}_{ab}(\underline{Z}_{ab})$.

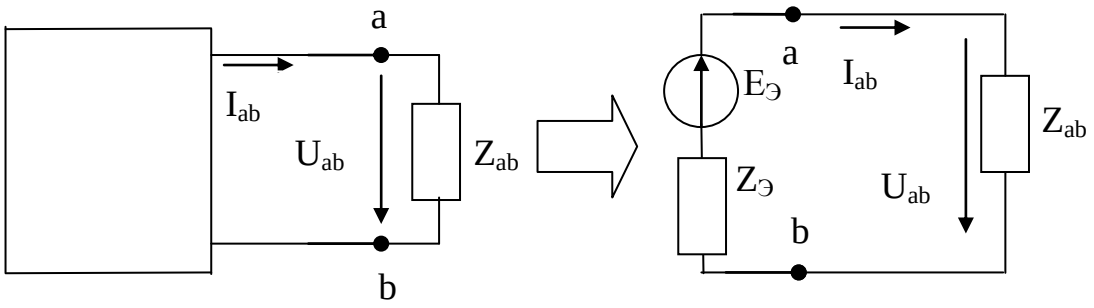


Рисунок 1. Замена части заданной цепи эквивалентным генератором

При определении параметров эквивалентного генератора необходимо ясно понимать, что они собой представляют. Смысл параметров выявляется в следующем.

Пусть $\underline{Z}_{ab}$ принимает любые значения. Тогда в эквивалентной схеме при холостом ходе ($\underline{Z}_{ab}$ стремится к бесконечности) напряжение на зажимах *ab* равно $\underline{E}_Э$. Следовательно, ЭДС эквивалентного генератора $\underline{E}_Э$ равна напряжению холостого хода эквивалентной схемы или, что то же самое, напряжению на зажимах *ab* заданной цепи, когда ветвь с $\underline{Z}_{ab}$ разомкнута.

Пусть теперь в эквивалентной схеме устранен без разрыва цепи источник ЭДС $\underline{E}_Э$. В заданной цепи этому будет соответствовать устранение всех имеющихся источников, но с сохранением путей для токов, т.е. вместо источников остаются их внутренние сопротивления. Тогда в такой цепи без источников к ветви с $\underline{Z}_{ab}$ будет подключена вся оставшаяся часть цепи, состоящая из одних только сопротивлений. В эквивалентной же схеме к ветви с $\underline{Z}_{ab}$ будет подключено только сопротивление эквивалентного генератора $\underline{Z}_Э$. Следовательно, внутреннее сопротивление эквивалентного генератора $\underline{Z}_Э$ (другое название – *входное* сопротивление) равно сопротивлению всей заменяемой части цепи, причем, если выделенной является ветвь с $\underline{Z}_{ab}$, сопротивление части цепи должно быть определено между зажимами *a* и *b*, если выделена ветвь, например, с $\underline{Z}_{cd}$, сопротивление должно быть найдено между зажимами *c* и *d*, и т.д.

Если в эквивалентной схеме $\underline{Z}_{ab}$=0 (короткое замыкание), то значение тока ограничивается только сопротивлением $\underline{Z}_Э$: $\underline{I}_{abK3}= \underline{E}_Э / \underline{Z}_Э$. Тогда

$$\underline{Z}_Э= \underline{E}_Э / \underline{I}_{abK3} \qquad (3.2)$$

Детальное теоретическое обоснование метода эквивалентного генератора дано в учебной литературе. Экспериментальная проверка

метода состоит в сравнении измеренного и рассчитанного значений тока выделенной ветви *ab*. При этом строгой проверке соответствует использование в (3.1) рассчитанных значений $\underline{E}_Э$ и $\underline{Z}_Э$. Рассчитать их можно, действуя согласно смыслу параметров $\underline{E}_Э$ и $\underline{Z}_Э$, если известна схема и параметры всех входящих в неё элементов.

В настоящей лабораторной работе параметры эквивалентного генератора определяются экспериментально. Для этого проводятся опыты холостого хода и короткого замыкания. В опыте холостого хода измеряют напряжение U_{ab0}, равное $E_Э$. Опыт короткого замыкания дает показание амперметра I_{abK3}, который закорачивает собой зажимы *a* и *b*. Значение I_{abK3} затем используется в формуле (3.2).

Законченный результат по формуле (3.2) для экспериментальных данных получается только для цепи постоянного тока. На переменном токе из опыта короткого замыкания находят лишь модуль комплекса $\underline{Z}_Э$. Комплексное значение $\underline{Z}_Э$ можно измерить, например, методом амперметра, вольтметра и ваттметра. При этом все источники исследуемой части цепи заменяются их внутренними сопротивлениями, а для питания используется посторонний источник, включенный вместо ветви с Z_{ab}.

При необходимости рассмотренная последовательная эквивалентная схема с источником ЭДС (схема Тевенина) заменяется параллельной схемой с источником тока (схема Нортона) – схемой замещения реального источника тока.

Метод эквивалентного генератора (другое название – *метод активного двухполюсника*) справедлив при условии линейности той части цепи, для которой определяются параметры $E_Э$ и $Z_Э$. В случае нелинейности эти величины будут зависимы от сопротивления другой – выделенной части цепи. При переменном токе еще одним ограничением является требование совпадения частот всех источников заданной цепи.

4. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

При выполнении лабораторной работы используются:

- три реостата с номинальным сопротивлением 540 Ом и максимально допустимым (по условиям нагрева) током 0,5 А. Рекомендуемые рабочие значения их сопротивлений (см. рисунок 2): R_1 – от 300 до 400 Ом (60-70% по длине обмотки реостата), R_2 – 540 Ом (полностью введенный реостат), R_{ab} – переменное от 0 до 540 Ом;

- батарея конденсаторов. Рекомендуется выбирать емкость в пределах 8-18 мкФ;

- автотрансформатор (ЛАТР);

- измерительные приборы: амперметр электромагнитной системы на 1 А, вольтметры электромагнитной системы на 150 В и 300 В, ваттметр электродинамической системы на 150 Вт (пределы измерения тока 1 А и напряжения 150 В).

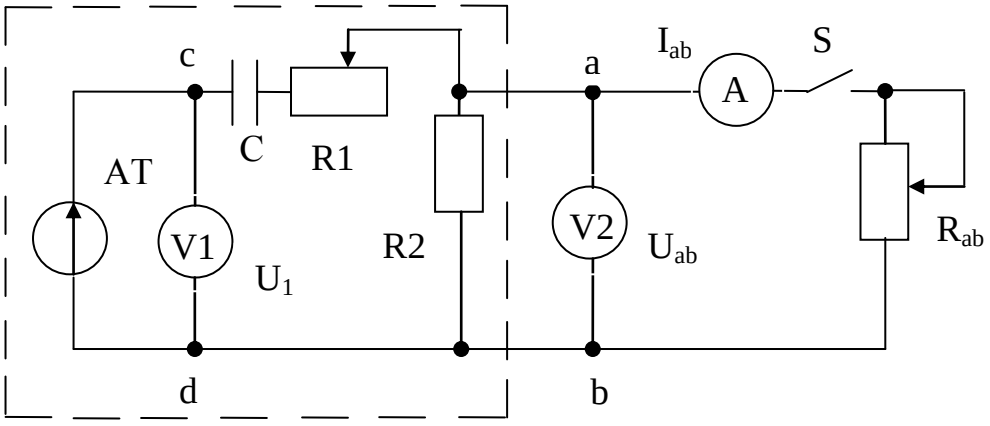


Рисунок 2. Схема рабочей цепи

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Ознакомиться с используемыми приборами и аппаратурой, определить цену деления измерительных приборов.

5.2. Собрать электрическую схему (рисунок 2) и дать её проверить лаборанту или преподавателю. При этом выключатели должны находиться в выключенном состоянии (нижнее положение), а регулятор автотрансформатора в положении до упора против часовой стрелки.

На рисунке 2 в качестве выделенной ветви, ток в которой требуется определять методом эквивалентного генератора, принимается ветвь с выключателем *S* и реостатом R_{ab}. Параметры эквивалентного генератора опытным путем необходимо искать для остальной части цепи, содержащей элементы *C*, R_1, R_2, а также источник питания - автотрансформатор (ЛАТР), внутренним сопротивлением которого можно пренебречь. Далее эту часть цепи будем называть «заданный двухполюсник» (обведена пунктиром на рисунке 2).

5.3. Установить требуемое значение сопротивления R_1. Для этого:

- ввести полное сопротивление реостата R_1;

- включить автотрансформатор и установить его напряжение в пределах 170-200 В;

- замкнуть выключатель *S* и установить режим короткого замыкания, выводя реостат R_{ab} до нулевого сопротивления;

- уменьшая R_1, довести ток I_{ab} до 0,5 А (допустимое значение).

5.4. Подать автотрансформатором на исследуемую цепь напряжение U_1 в пределах 100-150 В, которое в дальнейшем поддерживается неизменным. Изменяя сопротивление R_{ab} от нуля (режим короткого замыкания для эквивалентного источника) до максимального, снять 6-8 точек зависимости $I_{ab}(R_{ab})$. Измерить также напряжение холостого хода U_{ab0}. Показания приборов внести в таблицу 1.

Таблица 1. Данные эксперимента для цепи на рисунке 2.

№ п/п	U_1, *В*	U_{ab}, *В*	I_{ab}, *А*	$R_{ab}= U_{ab}/ I_{ab}$, *Ом*	I_{ab} согласно (3.1)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

5.5. Для определения сопротивления заданного двухполюсника (между зажимами *a* и *b*) собрать цепь по схеме на рисунке 3. Двухполюсник этой цепи (на рисунке 3 обведен пунктиром) отличается от заданного только отсутствием источника ЭДС (вместо источника – закороченный участок *c*-*d*). ЛАТР используется для питания цепи со стороны зажимов *a* и *b*.

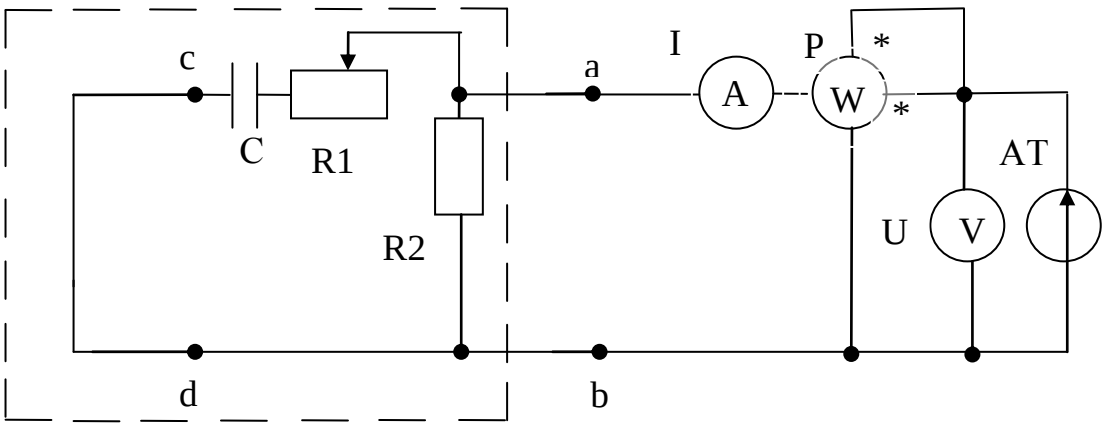


Рисунок 3. Схема определения сопротивления двухполюсника

Измерения выполнить дважды – при различных напряжениях (например, при 100 и 140 В). Показания приборов внести в таблицу 2.

Таблица 2. Данные для определения сопротивления эквивалентного генератора

№ п/п	Измерено			Вычислено		
	U, В	*I, А*	*P, Вт*	$Z_Э$, *Ом*	$\varphi_Э$,*град.*	$\underline{Z}_Э$, *Ом*
1						-
2						-
Среднее значение:						

5.6. Отключить стенд от сети. Не разбирая схемы, показать результаты измерений преподавателю.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. По полученным экспериментальным данным рассчитать значения сопротивлений и внести их в таблицы 1 и 2.

6.2. На основании данных таблицы 1 построить график зависимости $I_{ab}(R_{ab})$ (значения сопротивления R_{ab} откладываются по горизонтальной оси).

6.3 По данным таблицы 1 определить значения $E_Э$ (из опыта холостого хода) и $R_Э$ (из опыта короткого замыкания): $E_Э = U_{ab0}$,

$R_Э = E_Э / I_{abKЗ} = Z_Э$.

6.4. По данным таблицы 2 определить комплексное значение сопротивления эквивалентного генератора $\underline{Z}_Э = Z_Э \exp(\varphi_Э)$ и внести его в таблицу 2 (в строку «Среднее значение»), сравнив его модуль с величиной $Z_Э$, полученной в п. 6.3.

6.5. Считая начальную фазу $E_Э$ равной нулю, определить параметры элементов параллельной схемы замещения эквивалентного генератора (параметры эквивалентного источника тока). Начертить обе – последовательную и параллельную – эквивалентные схемы. Указать на них найденные значения параметров.

6.6. Записать выражение (3.1), подставив в него найденные значения $E_Э$ и $\underline{Z}_Э$. Рассчитать 6-8 точек зависимости действующего значения тока I_{ab} от сопротивления R_{ab} по полученному выражению (значения R_{ab} взять из таблицы 1) и построить эту зависимость в одной системе координат вместе с построенным согласно п. 6.2 графиком экспериментальной зависимости $I_{ab}(R_{ab})$.

6.7. Сравнивая на графике расчетную и экспериментальную зависимости $I_{ab}(R_{ab})$, сделать выводы об экспериментальной проверке метода эквивалентного генератора.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается сущность метода эквивалентного генератора?

2. Дайте определение смысла понятий ЭДС и внутреннего (входного) сопротивления эквивалентного генератора.

3. В чем состоит экспериментальная проверка метода?

4. Поясните способы экспериментального определения параметров $\underline{E}_Э$ и $\underline{Z}_Э$.

5. Как найти параметры элементов параллельной эквивалентной схемы (эквивалентного источника тока)?

6. Найдите на схеме рабочей цепи на рисугке 2, используя указанные обозначения, общие выражения параметров эквивалентного генератора относительно ветви R_{ab} .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с. – Текст непосредственный.

2. Попов, В. П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В. П. Попов. - 3-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2000. - 575 с. – Текст непосредственный.

3. Бакалов, В. П. Основы теории электрических цепей и электроники : учебник для вузов / В. П. Бакалов, А. Н. Игнатов, Б. И. Крук. – М.: Радио и связь, 1989. – 525 с. – Текст непосредственный.

4. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с. – Текст непосредственный.