

Лабораторная работа №3

Исследование цепи постоянного тока с двумя источниками ЭДС

Цель работы – с помощью электронной лаборатории **Electronics Workbench** экспериментально проверить уравнения, составленные для заданной цепи по законам Кирхгофа, а также методы наложения и эквивалентного генератора.

Краткие сведения из теории

Электрическую цепь, содержащую два и более источника энергии в различных ветвях называют сложной. **Ветвью** электрической цепи (схемы) называется участок цепи, состоящий из последовательно включенных элементов, по которым течёт один и тот же ток.

Узел электрической цепи - место или точка соединения трёх и более ветвей. Любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, называется **контуром**. При этом каждый узел в рассматриваемом контуре встречается не более одного раза.

Токи сложной цепи рассчитывают при помощи уравнений Кирхгофа, методом контурных токов, узловых потенциалов, наложения. Ток одной ветви может быть определён методом эквивалентного генератора.

Основные соотношения между токами и напряжениями определяются законами Ома и Кирхгофа. **Закон Ома: Ток в проводнике равен отношению напряжения на участке проводника к электрическому сопротивлению этого участка.**

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам и формулируется следующим образом: «Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю». **Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю или сумма токов подтекающих к узлу равна сумме токов утекающих от узла.**

Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрической цепи и формулируется следующим образом: **В любом контуре алгебраическая сумма напряжений на всех элементах и участках электрической цепи, входящих в этот контур равна нулю или в контуре электрической цепи алгебраическая сумма падений напряжения в пассивных элементах равна алгебраической сумме ЭДС этого контура.**

Графическим выражением второго закона Кирхгофа является **потенциальная диаграмма**, отражающая распределение потенциала в замкнутом контуре в зависимости от сопротивлений ветвей $\varphi = f(R)$.

Потенциальная диаграмма может быть построена расчётным путем по известным токам, ЭДС, сопротивлениям или по результатам экспериментальных измерений.

Рассмотрим применение расчётных методов и построение потенциальной диаграммы на примере схемы рисунка 1.

Здесь изображён потребитель R , получающий питание централизованно от сети (источник E_1 с внутренним сопротивлением r_1) по линии сопротивлением R_1 , а также от аккумулятора E_2 с внутренним сопротивлением r_2 .

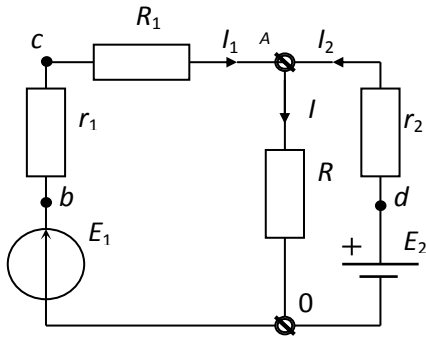


Рисунок 1 – Питание потребителя от двух источников

Для расчёта трёх неизвестных токов можно составить систему из трёх уравнений по законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} I = I_1 + I_2, \\ (R_1 + r_1)I_1 + RI = E_1, \\ r_2 I_2 + RI = E_2. \end{cases} \quad (1)$$

Решив систему уравнений можно определить искомые токи. В лабораторной работе уравнения

проверяют, подставляя в них измеренные значения токов.

Метод наложения заключается в том, что в линейной электрической цепи с несколькими источниками ток в любой ветви равен *алгебраической* сумме частичных токов, каждый из которых вызывается одним из действующих в цепи источников. Это справедливо и для напряжений. При определении частичных токов от одного источника остальные источники отключаются, но их внутренние сопротивления оставляются. В лабораторной работе измеряются частичные токи I' и I'' напряжения и суммируются с учётом направления $I = I' + I''$, $U = U' + U''$.

Метод эквивалентного генератора заключается в том, что в исследуемой цепи выделяется ветвь, а остальная часть цепи представляется в виде источника ЭДС U_{xx} с внутренним сопротивлением r . U_{xx} это напряжение холостого хода между зажимами оставшейся части цепи при отключённой ветви, его можно рассчитать или измерить. Внутреннее сопротивление тоже можно рассчитать или измерить, а можно определить, вычисляя или измеряя ток $I_{кз}$ короткого замыкания оставшейся части цепи (не все цепи позволяют это сделать, могут

скореть). Внутреннее сопротивление равно $r = U_{XX} / I_{KЗ}$, а искомый ток ветви $I = U_{XX} / (R + r)$.

Нарисуем потенциальную диаграмму (рисунок 2). От точки 0 в масштабе сопротивлений влево отложим R_1 и r_1 , а вправо – r_2 . По вертикали в масштабе напряжений отложим слева E_1 , справа E_2 , из точки 0 напряжение U .

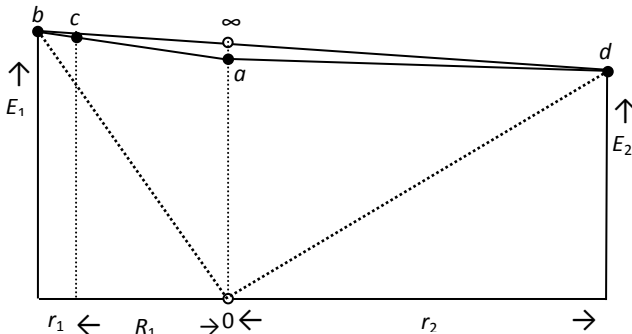



Рисунок 2 – Потенциальная диаграмма для схемы рисунка 1

Наклонная линия ba показывает, как энергия сети поступает к потребителю. Чем больше ток, тем круче наклон линии. Линия ad показывает, что по аккумулятору протекает небольшой ток зарядки. Отключим потребитель, и сопротивление нагрузки станет равно ∞ (точка a переместится вверх) При этом ток, потребляемый из сети, уменьшится, а ток зарядки аккумулятора увеличится. Уменьшим сопротивление потребителя и точка a переместится вниз; ток, потребляемый из сети, возрастёт, а аккумулятор начнёт разряжаться. Предельный случай короткого замыкания соответствует перемещению точки a в точку 0.

Порядок выполнения работы

1 Запустить электронную лабораторию нажатием на иконку .

2 Выбрать элементы в соответствии со схемой измерения рисунка 3 и разместить их в рабочем поле (источники – из Sources, резисторы, реостат и переключатели – из Basic, амперметры и вольтметр – из Indicators. При необходимости повернуть (правая кнопка мыши, Rotate)

3 Назвать и установить напряжение источника E_1 , 14 V; E_2 , 12 V; r_1 , 0.1 Ом (десятичная дробь набирается с **точкой**); R_1 , 0.4 Ом; r_2 , 1 Ом; R , 5 Ом; для реостата устанавливается управляющая клавиша Key R (через щелчок правой кнопкой, Component Properties, label и value OK). Сделать клавиши переключателей Key 1 и 2, назвать амперметры и вольтметр.

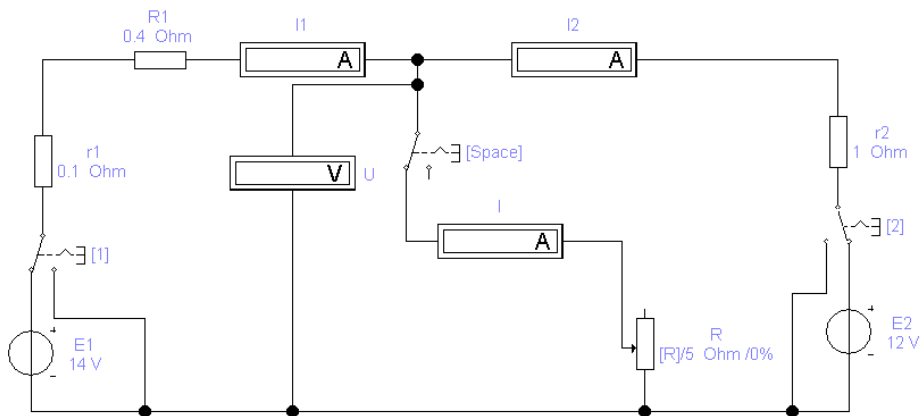


Рисунок 3 – Схема измерений

4 Собрать схему, установить R 100 % (клавишами Shift+R, язык EN) и включить I . Измерить токи и напряжение, записать их в таблицу 1. **Внимание!** Амперметр показывает ток слева направо положительным, а справа налево отрицательным. На схеме рисунка 1 ток I_2 показан справа налево, поэтому в показаниях этого амперметра нужно менять знак: + на -, а - на +. Подставить токи, а также сопротивления и ЭДС в уравнения, составленные по законам Кирхгофа (1). Сделать выводы об их правильности.

Таблица 1 – Проверка метода наложения

Режим измерения	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$
Оба источника	14	12				
Только левый ^I	14	-				
Только правый ^{II}	-	12				
Сумма ^I + ^{II} расч.	14	12				

5 Проверить метод наложения. Переключить контакт 2 влево, измерить частичные токи и напряжение от действия левого источника E_1 (со штрихом), занести в таблицу 1 (! изменить знак I_2). Вернуть переключатель 2 вправо, переключить контакт 1 вправо, измерить частичные токи и напряжение от действия правого источника E_2 (с двумя штрихами, ! изменить знак I_2). Сложить частичные токи и напряжения, занести в строчку 4, сравнить с 1 строчкой, сделать вывод о пригодности метода наложения для расчёта сложных цепей.

6 Проверить метод эквивалентного генератора. При подключенных E_1 и E_2 разомкнуть средний контакт Space клавишей пробел и измерить напряжение холостого хода U_{XX} . Результат занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Проверка метода эквивалентного генератора

$U_{XX}, В$	$I_{КЗ}, А$	$r, Ом$	$I, А$	$U_{при R 50\%}, В$	$I_{при R 50\%}, А$

7 Замкнуть средний контакт и установить $R 0 \%$ (клавишей R), измерить ток короткого замыкания $I_{КЗ}$, занести в таблицу 2.

8 Рассчитать внутреннее сопротивление эквивалентного генератора $r = U_{XX} / I_{КЗ}$, занести в таблицу 2

9 Рассчитать ток в реостате R методом эквивалентного генератора $I = U_{XX} / (R + r)$, занести в таблицу 2, сравнить с измеренным (первая строчка таблицы 1). Сделать вывод о пригодности метода эквивалентного генератора.

8 Установить сопротивление реостата $R 50 \%$ и сделать измерения тока $I_{при R 50\%}$ и напряжения $U_{при R 50\%}$, результаты занести в таблицу 2.

10 Рассчитать ток в реостате при $R 50 \%$ методом эквивалентного генератора, сравнить с измеренным $I_{при R 50\%}$.

11 Построить потенциальную диаграмму для $R 100 \%$. От точки 0 в масштабе сопротивлений влево отложить R_1 и r_1 , а вправо – r_2 . По вертикали в масштабе напряжений слева отложить E_1 , справа E_2 , посередине из точки 0 напряжение U . Обозначить точки b , a и d и соединить их линиями. Проанализировать диаграмму. От E_1 поступает небольшой ток. Ещё меньший ток I_2 подзаряжает аккумулятор E_2 .

12 Достроить потенциальную диаграмму для режима холостого хода. Отметить на средней вертикальной линии напряжение холостого хода, обозначив эту точку ∞ , соединить с b и d . Ток I_1 , поступающий от E_1 уменьшился, ток I_2 подзаряжающий аккумулятор E_2 , увеличился.

13 Достроить потенциальную диаграмму для $R 50 \%$. Отложить на средней вертикальной линии напряжение $U_{при R 50\%}$, куда переместилась точка a . Соединить её с точками b и d . Линия ba стала гораздо круче, это говорит о том, что ток I_1 значительно увеличился. Линия ad поменяла направление наклона, это говорит о том, что ток I_2 поменял направление – аккумулятор разряжается.

14 Соединить точки b и d с точкой 0 . Получим потенциальную диаграмму для случая короткого замыкания реостата $R 0 \%$. Очень крутые сверхбольшие токи в питающей линии и аккумуляторе – аварийный режим.

Содержание отчёта

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Схема измерения токов и напряжения с изображением амперметров и вольтметров кружочками.
- 3 Формулировки 1 и 2 законов Кирхгофа.
- 4 Система уравнений (1) составленная по этим законам; уравнения с подставленными числами, вывод об их справедливости
- 5 Таблица 1.
- 6 Формулировка метода наложения и вывод о его пригодности.
- 7 Формулировка метода эквивалентного генератора; расчёт внутреннего сопротивления.
- 8 Таблица 2.
- 9 Расчёты тока в реостате для двух случаев – R 100 % и R 50 %; вывод о пригодности метода эквивалентного генератора.
- 10 Потенциальная диаграмма.
- 11 Заключение по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Формулировки 1 и 2 законов Кирхгофа.
- 2 Формулировка метода наложения.
- 3 Как определяются частичные токи? Как они суммируются?
- 4 Формулировка метода эквивалентного генератора.
- 5 Как определяется напряжение холостого хода?
- 6 Как определяется внутреннее сопротивление эквивалентного генератора?
- 7 Как определяется ток в ветви методом эквивалентного генератора?
- 8 Как строится потенциальная диаграмма?
- 9 Как по потенциальной диаграмме определить направление и оценить силу тока?