**Лабораторная работа № 1**

**«Исследование линейной разветвленной цепи постоянного тока»**

по дисциплине Электротехника

**Вариант 3**

1. Цель работы. Проверить выполнение законов Кирхгофа, принципов наложения и взаимности, теоремы о линейных соотношениях.

2. Схема электрической цепи



Рис. 1

3. Ответы на вопросы по подготовке к работе

1)Как выбирать контуры, чтобы уравнения Кирхгофа для них оказались взаимно независимыми?

**Ответ:** Для любой цепи взаимно независимые уравнения для напряжений получаются, если, записав уравнение для любого контура, мысленно разорвать в нем одну ветвь, а следующие уравнения, также с разрывом ветви, записывать для оставшихся целых контуров до их исчерпания.

2)На рис. 2 дана структурная схема некоторой цепи (ветви изображены линиями, узлы – точками). Определить для нее число взаимно независимых уравнений, которые можно составить по первому и второму законам Кирхгофа.



Рис. 2

**Ответ:** Данная цепь содержит 9 ветвей, 6 узлов и 4 независимых контура, следовательно, по первому закону Кирхгофа можно составить 6-1=5 уравнения, а по второму закону 4 уравнения и решив эту систему линейных уравнений, можно найти токи в девяти ветвях.

3) На рис. 3 изображена исследуемая цепь без измерительных приборов и ключей. Записать для нее необходимое число взаимно независимых уравнений по законам Кирхгофа.



Рис. 3

**Ответ:**

Составим уравнения для данной схемы

$$\left\{\begin{array}{c}I\_{1}+I\_{2}=I\_{3}\\I\_{1}R\_{1}+I\_{3}R\_{3}=E\_{1}\\I\_{2}R\_{2}+I\_{3}R\_{3}=E\_{2}\end{array}\right.$$

Решив эту систему линейных уравнений можно найти все неизвестные токи в трех ветвях.

4) Каковы правила знаков при записи уравнений Кирхгофа?

**Ответ:** По первому закону Кирхгофа сумма приходящих и отходящих от узла токов равна нулю. Приходящие токи берутся с одним, определенным знаком, а отходящие токи – с противоположным.

По второму закону Кирхгофа для контура, сумма падений напряжения на резисторах равна сумме напряжений источников ЭДС. Если направление обхода контура совпадает с направлением тока, то падение напряжения берется со знаком плюс, если не совпадает, то со знаком минус. Если направление действия ЭДС совпадает с направлением обхода контура, то ЭДС берется со знаком плюс, если не совпадает, то со знаком минус.

5) В чем сущность принципа наложения? Как его проверить на примере цепи рис.1

**Ответ:** Принцип наложения*.* Ток любой ветви линейной электрической цепи с несколькими источниками может быть представлен в виде алгебраической суммы составляющих от действия каждого источника в отдельности. Для того чтобы определить токи методом наложения на Рис.1, надо рассчитать все токи от действия Е1, закоротив при этом зажимы Е2. Потом рассчитать все токи от действия Е2, закоротив Е1. А затем надо алгебраически сложить одноименные токи.

6) Поясните принцип взаимности применительно к цепи рис. 3 и выведите формулы для аналитической его проверки (доказать тождество выражений для двух токов).

**Ответ:**

Принцип взаимности. *Принцип взаимности.* Если в пассивной линейной цепи выделить две ветви *ab* и *cd*, в одну из них включить ЭДС *Еab* = *Е*, а в другой измерить ток *Icd* = *I*, затем переставить ту же ЭДС во вторую ветвь (*Еcd* = *Е*),а ток измерить в первой, то эти два тока окажутся равными (*Iab* = *I*).

**Дано**

$$E\_{1}=6 B, E\_{2}=6 B, R\_{1}=140 Ом, R\_{2}=80 Ом, R\_{3}=60 Ом$$

**4. Опыт № 1**



Рис.1

**Опыт № 2**



Рис 2

**Опыт № 3**



Рис 1.3

Таблица 1.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Опыт | ЭДС | Показания приборов | Результаты вычислений |
| Е1 | Е2 | I1 | I2 | I3 | ƩIR(1) | ƩIR(2) | ƩI |
| B | B | мA | мA | мA | B | B | мA |
| 1 | 6 | 0 | 34,4 | -14,7 | -19,7 | 6 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 6 | -14,7 | 49,2 | -34,4 | 0 | 6 | 0 |
| 3 | 6 | 6 | 19,7 | 34,4 | -54,1 | 6 | 6 | 0 |
| Расчет | 6 | 6 | 19,7 | 34,5 | -54,1 | Проверка принципаналожения |

**Опыт № 4**



Рис 4

Таблица 1.2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер опыта | U1 | U2 | I2 | I3 | Примечание |
| B | B | мА | мА |
| 4 | 6 | 6 | 34,4 | -54,1 | I3=aI2+ba=1,331b=-99,88 |
| 3 | 6 | 6 | 34,4 | -54,1 |
| 2 | 0 | 6 | 49,2 | -34,4 |

**Опыт № 5.** Проверка принципа взаимности.



Рис 1.5

Таблица 1.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Опыт | Показания приборов | Расчет |
|  | U1 | U2 | I1 | I2 | I1 | I2 |
|  | B | B | мА | мА | мА | мА |
| 2 | 0 | 6 | -14,7 | - | -14,7 | - |
| 5 | 6 | 0 | - | -14,7 | - | -14,7 |

4. Пояснение к таблицам 1.1, 1.2, 1.3, показывающие справедливость законов или соотношений, а также примеры расчетов строки или столбца.

4.1. Результаты первых трех опытов сведены в таблицу 1. 1. В этой таблице проверяется справедливость принципа наложения. Первая и вторая строки этой таблицы отражают справедливость первого закона Кирхгофа, а третья и четвертая строки – справедливость принципа наложения

Расчет первой строки

$$ƩI=I\_{1}+I\_{2}+I\_{3}=34,4-14,7-19,7=0$$

Расчет второй строки

$$ƩI=I\_{1}+I\_{2}+I\_{3}=-14,7+49,2-34,4=0$$

Расчет третьего столбца

$$I\_{1}=I\_{1-1}+I\_{1-2}=34,4-14,7=19,7 мА$$

Справедливость второго закона Кирхгофа (Первая строка таблицы 1.1, опыт № 1, для первого контура)

$$I\_{1}R\_{1}+I\_{3}R\_{3}=E\_{1}$$

$$0,0344\*140+0,0197\*60=6 $$

$$6 B=6B $$

Справедливость второго закона Кирхгофа (Первая строка таблицы 1.1, опыт № 1, для второго контура)

$$I\_{3}R\_{3}-I\_{2}R\_{2}=0$$

$$0,0197\*60-0,0147\*80=0$$

$$0=0 $$

То есть справедливость второго закона Кирхгофа выполняется. Аналогично можно составить уравнения для второй и третьей строки.

4.2. Результаты опытов 2, 3 и 4 внесены в таблицу 1.2. В этой таблице проверяется теорема о линейном соотношении токов I2 и I3.

На основании опытов 3 и 2 составим систему линейных уравнений

$$\left\{\begin{array}{c}I^{'}\_{3}=aI^{'}\_{2}+b опыт 3\\I"\_{3}=aI"\_{2}+b опыт 2\end{array}\right.$$

Подставим численные значения опытов

$$\left\{\begin{array}{c}-54,1=34,4a+b\\-34,4=49,2a+b\end{array}\right.$$

Решив эту систему линейных уравнений с двумя неизвестными, получим

$$a=1,331 b=-99,88$$

Проверим величину тока I3 в четвертом опыте

$$I\_{3}=aI\_{2}+b=1,331\*34,4-99,88=-54,094$$

То есть теорема о линейном соотношении токов I2 и I3 выполняется.

4.3 Принцип взаимности (Таблица 1.3). Если в пассивной линейной цепи выделить две ветви, в одну из них включить ЭДС, а в другой измерить ток, затем переставить ту же ЭДС во вторую ветвь, а ток измерить в первой, то эти два тока окажутся равными.

Произведем расчет тока I2 в пятом опыте (вторая строчка таблицы 1.3). Рассчитаем входное сопротивление схемы (Рис 1.5) относительно первой ветви, где включен источник Е1

$$R\_{BX}=R\_{1}+\frac{R\_{2}R\_{3}}{R\_{2}+R\_{3}}=140+\frac{60\*80}{60+80}=174,286 Ом$$

Величина тока I1

$$I\_{1}=\frac{E\_{1}}{R\_{BX}}=\frac{6}{174,286}=0,0344 А=34,4 мА$$

Падение напряжения на второй и третьей ветвях

$$U\_{23}=I\_{1}\*\frac{R\_{2}R\_{3}}{R\_{2}+R\_{3}}=0,0344\*\frac{60\*80}{60+80}=1,179 B$$

Величина тока во второй ветви

$$I\_{2}=\frac{U\_{23}}{R\_{2}}=\frac{1,179}{80}=0,0147 A=14,7 мА$$

То есть принцип взаимности соблюдается.

Произведем расчет тока I1 во втором опыте (первая строчка таблицы 1.3). Рассчитаем входное сопротивление схемы (Рис 1.2) относительно второй ветви, где включен источник Е2

$$R\_{BX}=R\_{2}+\frac{R\_{1}R\_{3}}{R\_{1}+R\_{3}}=80+\frac{60\*140}{60+140}=122 Ом$$

Величина тока I2

$$I\_{2}=\frac{E\_{1}}{R\_{BX}}=\frac{6}{122}=0,0492 А=49,2 мА$$

Падение напряжения на первой и третьей ветвях

$$U\_{13}=I\_{2}\*\frac{R\_{1}R\_{3}}{R\_{1}+R\_{3}}=0,0492\*\frac{60\*140}{60+140}=2,066 B$$

Величина тока в первой ветви

$$I\_{1}=\frac{U\_{13}}{R\_{1}}=\frac{2,066}{140}=0,0147 A=14,7 мА$$

То есть принцип взаимности и здесь соблюдается.

**Выводы:**

 По первому закону Кирхгофа сумма приходящих и отходящих от узла токов равна нулю. Приходящие токи берутся с одним, определенным знаком, а отходящие токи – с противоположным.

 По второму закону Кирхгофа для контура, сумма падений напряжения на резисторах равна сумме напряжений источников ЭДС. Если направление обхода контура совпадает с направлением тока, то падение напряжения берется со знаком плюс, если не совпадает, то со знаком минус. Если направление действия ЭДС совпадает с направлением обхода контура, то ЭДС берется со знаком плюс, если не совпадает, то со знаком минус.

 Принцип наложения*.* Ток любой ветви линейной электрической цепи с несколькими источниками может быть представлен в виде алгебраической суммы составляющих от действия каждого источника в отдельности

 Принцип взаимности. Если в пассивной линейной цепи выделить две ветви, в одну из них включить ЭДС, а в другой измерить ток, затем переставить ту же ЭДС во вторую ветвь, а ток измерить в первой, то эти два тока окажутся равными.

**Лабораторная работа № 3.**

**Вариант № 3**

**Конденсатор и катушка индуктивности в цепи синусоидального тока**

Цель работы. Научиться определять параметры конденсатора и катушки индуктивности с помощью амперметра, вольтметра и фазометра, строить векторные диаграммы, а также проверить выполнение законов Кирхгофа в цепи синусоидального тока.

Ответы на вопросы

1 Реальный конденсатор обладает активной проводимостью g (из-за несовершенства изоляции в конденсаторе), и емкостью С. В схемах замещения конденсатор обычно представляется параллельной схемой этих составляющих. Катушка индуктивности тоже имеет индуктивную L и активную R составляющие, которые в схемах замещения обычно представляют последовательной цепочкой этих составляющих.

2. Активная, емкостная, индуктивная, реактивная, полная проводимости — это величины, обратные сопротивлениям: активному, емкостному, индуктивному, реактивному и полному. Между собой они связаны следующими соотношениями

Полная проводимость конденсатора

$$y=\frac{I}{U}$$

Активная проводимость конденсатора

$$g=ycos φ$$

Емкостная проводимость конденсатора

$$b\_{C}=-ysin φ$$

3. Активное, емкостное, индуктивное, реактивное, полное сопротивления — это величины, которые определяют величины сопротивления переменному току.

Между собой они связаны следующими соотношениями:

$$X\_{C}=\frac{1}{2πfC}, X\_{L}=2πfL, Z=\sqrt{R^{2}+(X\_{L}-X\_{C})^{2}}$$

4. Угол сдвига фаз между напряжением и током на входе двухполюсника может меняться от минус 900 до плюс 900. Причем ток отстает от напряжения при индуктивной нагрузке и опережает при емкостной.



Уравнение первого закона для данной схемы

$$\dot{I}=\dot{I}\_{1}+\dot{I}\_{2}$$



Для этой схемы уравнение второго закона Кирхгофа

$$U=I\*R+I\*jX\_{L}+I\*R\_{2}$$

* 1. Соберем схему своего варианта (вариант 3)



Рис. 2.1

2.1. Разомкнем ключ 1, включим питание (Рис. 2.1) и запишем показания приборов в таблицу 2.1

Таблица 2.1

|  |  |
| --- | --- |
| Данные опыта | Результаты расчета |
| *U* | *I* | *φ* | *I1* | *I2* | *C* | *g* | *δ* | *İ* | *İ1* | *İ2* | *İ* |
| B | A | град | А | А | мкФ | См | град | А | А | А | А |
| 100 | 1,43 | -87,9 | - | 1,43 | 45 | 0,0005 | -2,1 | 1,43 | - | 1,43 | 1,43 |
| 99,8 | 2,20 | -40 | 1,63 | 1,43 | 45 | 0,0005 | -2,1 | $$2,21\*$$$$\*e^{j40^{0}}$$ | 1,63 | $$1,427\*\*e^{j87,9^{0}}$$ | $$2,21\*$$$$\*e^{j40^{0}}$$ |

Полная проводимость конденсатора

$$y\_{2}=\frac{I}{U}=\frac{1,43}{100}=0,0143 См$$

Активная и реактивная проводимости конденсатора

$$g\_{2}=y\_{2}\cos(φ)=0,0143\*\cos(87,9^{0})=0,000524 См$$

$$b\_{C}=-y\_{2}\sin(φ)=-0,0143\*\sin(\left(-87,9^{0}\right)=0,01429 См)$$

Полная проводимость в комплексном виде в алгебраической и показательной формах

 $\dot{y}\_{2}=g\_{2}+jb\_{c}=0,000524+j0,01429=0,0143e^{j87,9^{0}} См$

Угол потерь конденсатора

$$δ=φ-90^{0}=87,9-90=-2,1^{0}$$

Величина тока в цепи

$$I=I\_{2}=y\_{2}\*U=0,0143\*100=1,43 A$$

Данные расчетов занесем в таблицу 2.1

1.4. Замкнем ключ и с помощью реостата установим угол сдвига фазы напряжения и тока φ1=-400 (Рис. 2.2)



Рис. 2.2

Показания приборов внесем в нижнюю строку таблицы 2.1.

1.5. Определим все токи расчетным путем

Сопротивление первой ветви

$$R\_{1}=\frac{R\*90\%}{100\%}=\frac{306,8\*20}{100}=61,36 Ом$$

Проводимость первой ветви

$$g\_{1}=у\_{1}=\frac{1}{61,36}=0,01630 См$$

Общая проводимость первой и второй ветви

$$\dot{y}\_{12}=y\_{1}+\dot{y}\_{2}=0,01630+0,000524+j0,01429=0,01682+j0,01429=$$

$$=0,0221e^{40^{0}} См$$

Определим комплексное сопротивление первой и второй ветвей

$$\overline{Z}\_{12}=\frac{1}{\dot{y}\_{12}}=\frac{1}{0,0221e^{40^{0}}}=45,249e^{-j40^{0}}=34,663-j29,085 Ом$$

Величина общего тока цепи

$$\dot{I}=\frac{U}{Z\_{12}}=\frac{99,81}{45,249e^{-j40^{0}}}=2,206e^{j40^{0}}=1,69+j1,73418 A$$

Определим токи в первой и второй ветвях

$$I\_{1}=\frac{U}{R\_{1}}=\frac{99,81}{61,36}=1,627 А$$

$$\dot{I}\_{2}=U\*\dot{y}\_{2}=99,81\*0,0143e^{j87,9^{0}}=1,427e^{j87,9^{0}}=0,0523+j1,426 A$$

Проверим правильность расчетов по первому закону Кирхгофа

$$I-I\_{1}-I\_{2}=1,69+j1,73418-1,627-0,0523-j1,426 ≈0$$

Расчеты произведены правильно, некоторые расхождения обусловлены погрешностью при округлениях.

1.6. Используя данные таблицы построим диаграмму токов (Рис 2.3).

Вектор напряжения совпадает с горизонтальной осью. Вектор тока первой ветви практически совпадает с приложенным напряжением. Вектор тока второй ветви опережает вектор напряжения на 87,90. Убеждаемся, что алгебраическая сумма двух ветвей равна общему току.



Рис 2.3

**Исследование активно-индуктивной цепи**

2.1. Собираем схему (Рис 2.4).

2.2. Сопротивление реостата устанавливаем равным нулю и данные приборов записываем в таблицу 2.2



Рис. 2.4

Таблица 2.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U | I | φ | U1 | U2 | L | R | QL | Ů | Ů1 | Ů2 | ƩŮ |
| В | А | град | В | В | Гн | Ом | - | В | В | В | В |
| 100 | 0,749 | 72,3 | 0 | 100 | 0,4 | 40,6 | 3,13 | - | 0 | - | - |
| 100 | 0,509 | 40,0 | 55,9 | 67,9 | - | - | - | $$100\*$$$$\*e^{j40,2^{0}}$$ | 55,9 | $$68\*$$$$\*e^{j72,3^{0}}$$ | $$100,2\*$$$$\*e^{j40,2^{0}}$$ |

2.3. Модуль полного сопротивления катушки

$$Z\_{K}=\frac{U}{I}=\frac{100}{0,749}=133,511 Ом$$

Активное и индуктивное сопротивление катушки

$$R\_{K}=Z\_{K}\cos(φ)=133,511\*cos72,3^{0}=40,6 Ом$$

$$X\_{K}=Z\_{K}\sin(φ)=133,511\*sin72,3^{0}=127,2 Ом$$

$$\dot{\overline{Z}\_{K}}=R\_{K}+jX\_{K}=40,6+j127,2=133,52e^{j72,3^{0}} Ом$$

Индуктивность и добротность катушки

$$L=\frac{X\_{K}}{2πf}=\frac{127,2}{2\*3,14\*50}=0,4 Гн$$

$$Q\_{L}=\frac{X}{R}=\frac{127,2}{40,6}=3,13$$

Данные расчетов занесем в таблицу 2.2

2.4. При помощи реостата устанавливаем угол сдвига фаз напряжения и тока на входе согласно третьего варианта φ2=400 (Рис 2.5) и запишем показания приборов в таблицу 2.2.



Рис. 2.5

2.5. Сделаем расчет падений напряжения на реостате и на катушке индуктивности. Примем начальную фазу входного тока равной нулю.

Сопротивление реостата

$$R\_{P}=\frac{199,6\*55\%}{100\%}=109,8 Ом$$

Падение напряжения на реостате

$$\dot{U}\_{1}=IR\_{P}=0,509\*109,8=55,9 B$$

Падение напряжения на катушке индуктивности

$$\dot{U}\_{2}=I\overline{Z}\_{K}=0,509\*133,52e^{j72,3^{0}}=68,0e^{j72,3^{0}}=20,667+j64,78 B$$

Общее сопротивление цепи

$$\overline{Z}=R\_{P}+\overline{Z}\_{K}=109,8+40,6+j127,2=150,4+j127,2=196,98e^{j40,2^{0}} Ом$$

Величина входного напряжения

$$\dot{U}=IZ=0,509\*196,98e^{j40,2^{0}}=100e^{j40,2^{0}}=76,354+j64,576 B$$

Подсчитаем сумму падений напряжений на реостате и катушке индуктивности

$$\dot{U\_{1}}+\dot{U\_{2}}=55,9+20,667+j64,78 =76,567+j64,78=100,2e^{j40,2^{0}}$$

По данным второй строки таблицы 2.2 построим топографическую диаграмму напряжений (Рис 2.6)



Вектор падения напряжения на реостате по направлению совпадает с вектором тока и численно равен 55,9 В. вектор падения напряжения на катушке опережает вектор тока на 72,30 и численно равен 68,0 В. Убеждаемся, что алгебраическая сумма этих двух векторов равна приложенному напряжению.

7. Выводы

При параллельном соединении нагрузок алгебраическая сумма токов в параллельных ветвях равна току в неразветвленной ее части. При последовательном соединении нагрузок алгебраическая сумма падений напряжения на каждой из нагрузок равна приложенному напряжению.