

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



**Уральский  
федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Уральский энергетический институт

**Белошабский В.В., Громов В.В., Дехтяр С.А., Томашевич В.Г.**

## **ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ**

Электронный текстовый ресурс

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники» для студентов всех форм и технологий обучения направления 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Содержат описание лабораторных работ, задания по подготовке к выполнению работ и по обработке результатов опытов.

Подготовлено кафедрой «Электротехника»

Екатеринбург  
2021

## Содержание

Введение	3
Работа № 1 Цепь постоянного тока	4
Работа № 2 Катушка в цепи переменного тока	5
Работа № 3 Конденсатор в цепи переменного тока	7
Работа № 4 Резонанс напряжений	9
Работа № 5 Резонанс токов	11
Работа № 6 Цепи с магнитной связью	12
Работа № 7 Линейные цепи несинусоидального тока	15
Рекомендуемая литература	18

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия являются важной составной частью процесса изучения курса «Теоретические основы электротехники» и преследуют цели:

- 1) более глубокое понимание электромагнитных явлений путем экспериментальной проверки основных теоретических положений курса;
- 2) приобретение необходимых для бакалавров общих навыков экспериментального исследования процессов в электротехнических устройствах.

Для осознанного выполнения эксперимента принят следующий порядок проведения лабораторного практикума. Перед каждой лабораторной работой студенты готовят предварительный отчет (по сути, сдают коллоквиум). Предварительный отчет включает в себя выполнение расчетов, построение графиков и диаграмм, составление экспериментальных схем и ответы в письменной форме на вопросы, сформулированные в разделе «Подготовка к работе» настоящего руководства. Студенты, не сдавшие коллоквиум, к дальнейшей работе не допускаются.

Окончательный отчет по проделанной работе оформляется каждым студентом. В отчет включаются:

1. Ответы на каждый вопрос раздела «Подготовка к работе» (представляются при сдаче коллоквиума).
2. Результаты эксперимента по каждому пункту раздела «Экспериментальная часть и обработка результатов опытов».
3. Обработка данных эксперимента и выводы, вытекающие из сопоставления результатов расчета и опыта, достижения цели работы.

Отчет оформляется в формате docx, схемы допускается вычерчивать эскизно и вставлять в отчет в виде рисунка (изображений). Однотипные расчеты и измерения, то есть значения функций, многократные измерения одной величины, представляющие числовые множества сводятся в таблицы. Несколько (семейства) кривых в функции одного аргумента, для удобства их сравнения, как правило, строятся на одном графике.

# РАБОТА № 1

## ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

### *Цель работы*

В работе экспериментально проверяются основные законы электрической цепи и принципы наложения и взаимности.

Проверка производится на примере цепи постоянного тока (рис. 1.1). Варианты параметров цепи приведены в табл. 1.1.

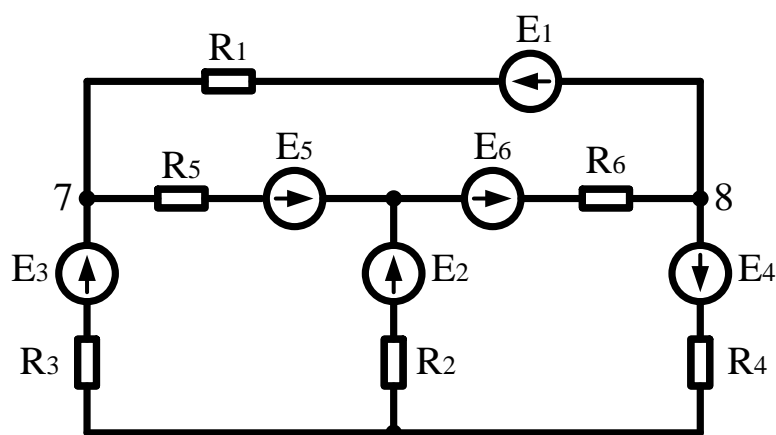


Рис. 1.1

Таблица 1.1

$R_1 = 150 \text{ Ом}, \quad R_5 = 91 \text{ Ом}, \quad R_6 = 82 \text{ Ом}, \quad E_A = E_B = 12,6 \text{ В.}$									
№ варианта	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$
1	90	80	50	0	0	$-E_A$	$E_B$	0	0
2	60	90	60	0	0	$-E_A$	$E_B$	0	0
3	70	90	30	0	0	$-E_A$	$E_B$	0	0
4	90	90	30	0	0	$-E_A$	$E_B$	0	0
5	90	70	30	0	0	$-E_A$	$E_B$	0	0
6	100	60	40	0	0	$-E_A$	$E_B$	0	0
7	90	80	50	0	0	0	$-E_A$	$E_B$	0
8	80	70	60	0	0	0	$-E_A$	$E_B$	0
9	80	40	90	0	0	0	$-E_A$	$E_B$	0
10	90	20	90	0	0	0	$-E_A$	$E_B$	0
11	60	90	80	0	0	0	$-E_A$	$E_B$	0
12	70	80	60	0	0	0	$-E_A$	$E_B$	0

### *1. Подготовка к работе*

1.1. Сформулировать первый закон Кирхгофа.

1.2. Сформулировать принцип наложения. Для заданного варианта включения источников ЭДС (табл. 1.1) привести схемы экспериментальной провер-

ки принципа наложения для одной из ветвей: третьей, четвертой, пятой или шестой – по выбору студента (включение амперметра в первую и вторую ветви на лабораторном стенде не предусмотрено).

1.3. Сформулировать принцип взаимности. Привести схемы экспериментальной проверки этого принципа на примере тех двух ветвей, в которых включены источники ЭДС в Вашем варианте.

1.4. Нарисовать схемы для экспериментального определения ЭДС и сопротивления эквивалентного генератора, которым может быть заменена цепь (рис. 1.1) по отношению к одному из резисторов  $R_3$  или  $R_4$  – по указанию преподавателя. Привести формулу для расчета тока этого резистора по известным значениям его сопротивления, ЭДС и сопротивления эквивалентного генератора.

*Примечание:* ввиду большого количества схем, их допускается вычерчивать эскизно.

## **2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов**

Собрать цепь и установить параметры согласно заданному варианту.

2.1. Проверить первый закон Кирхгофа, измерив, токи ветвей:  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ ,  $I_5$ ,  $I_6$ . Применяв закон Кирхгофа к узлу 7, определите  $I_1$  по величине и направлению. То же для узла 8. Сравните результаты.

2.2. Проверить принцип наложения по методике п. 1.2.

2.3. Проверить принцип взаимности по методике п. 1.3.

2.4. Измерить ЭДС и внутреннее сопротивление эквивалентного генератора по методике п.1.4. Выставив произвольное значение сопротивления  $R_3$  (или  $R_4$  – в зависимости от принятого в п.1.6), но не меньшее указанного в табл.1.1, измерить его ток. Сравнить с рассчитанным по формуле п.1.4.

## **РАБОТА № 2**

### **КАТУШКА В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

#### ***Цель работы***

Экспериментальное изучение простейшей неразветвленной цепи, содержащей катушку и резистор. В работе сопоставляются некоторые частотные характеристики цепи, полученные расчетным путем и опытным.

Объект исследования – три последовательно соединенных элемента лабораторного стенда, а именно, катушки с маркировкой « $L_1$ », « $L_2$ » резистор

«10R». Номинальные параметры резистора «10R»: 118 Ом, 50 Вт, 0,65 А или 100 Ом, 50 Вт, 0,7 А – в зависимости от рабочего места. Номинальный ток каждой катушки 1 А. Индуктивность  $L$  и сопротивление  $R_K$  последовательно соединенных катушек, а также сопротивление  $R_{доб}$  резистора «10R» приведены в табл. 2.1 для каждого рабочего места.

Таблица 2.1

№ варианта	$L$ , Гн	$R_K$ , Ом	$R_{доб}$ , Ом	№ варианта	$L$ , Гн	$R_K$ , Ом	$R_{доб}$ , Ом
1	0,25	22	118	7	0,25	27,2	102
2	0,25	21,6	100	8	0,23	23	100
3	0,25	23,7	100	9	0,23	22,4	102
4	0,24	20,7	100	10	0,26	21,6	100
5	0,25	22,6	100	11	0,26	19,7	120
6	0,27	25,4	100	12	0,24	26,7	120

### 1. Подготовка к работе

1.1. Как по показаниям приборов (рис. 2.1) рассчитать полное, активное, индуктивное сопротивления цепи, ее индуктивность, а также проводимости полную  $Y$ , активную  $G$ , реактивную  $B$ ? Как найти угол отставания тока от напряжения  $\varphi$ ? Привести формулы. Построить векторную диаграмму цепи.

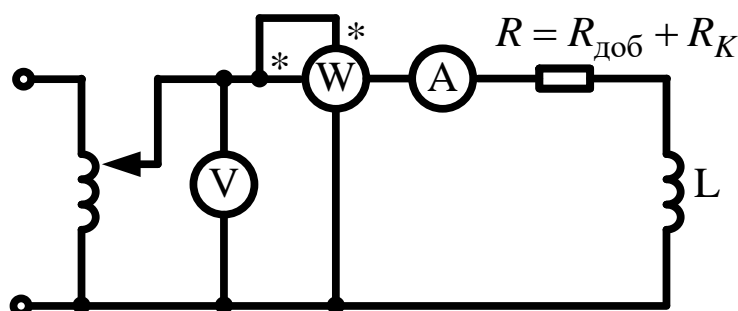


Рис. 2.1

1.2. По известным  $R$  и  $L$  цепи (см. табл. 2.1) рассчитать и построить частотные характеристики цепи, т. е. зависимости  $X(f)$ ,  $Z(f)$ ,  $B(f)$ ,  $G(f)$ ,  $Y(f)$  в диапазоне частоты  $0 \leq f \leq (f^* + 50)$  Гц, где  $f^*$  – частота, при которой  $\varphi = 45^\circ$ , (предварительно находится по заданным  $R$  и  $L$ ). Значения частоты и характеристик свести в таблицу. Графики  $X(f)$ ,  $Z(f)$  построить семейством в одних координатных осях, указав там же значение  $R$ . То же для  $B(f)$ ,  $G(f)$ ,  $Y(f)$ , указав значение  $1/R$ .

### 2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Измерить параметры цепи  $R$ ,  $L$  и сравнить с исходными (табл. 2.1). Опыт провести для трех значений напряжения на входе цепи и результаты усреднить. Напряжение ограничивается номинальным током элементов цепи.

2.2. Снять частотные характеристики цепи, подключив цепь к генератору синусоидального сигнала переменной частоты. Опыт проводится при пяти значениях частоты: при частоте  $f^*$ , соответствующей  $\varphi = 45^\circ$ , двух больших и двух меньших, чем  $f^*$ . Интервал изменения частоты – приблизительно 20 Гц.

Перед началом опыта проверить отсутствие постоянной составляющей в выходном напряжении генератора. Амплитуда переменной составляющей устанавливается наибольшей. Результаты опыта занести в таблицу.

По данным опыта вычислить  $Z$ ,  $R$ ,  $X$ ,  $G$ ,  $B$ ,  $Y$  для каждой частоты, внести в таблицу опытных значений и отметить на расчетных зависимостях, полученных при выполнении п.1.2. Сравнить расчетные характеристики с опытными и сделать выводы о частотных свойствах цепи.

### РАБОТА № 3 КОНДЕНСАТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

#### *Цель работы*

Экспериментальное изучение неразветвленной цепи, содержащей конденсатор и резистор, и сопоставление некоторых характеристик этой цепи, полученных расчетным и опытным путями.

Варианты параметров цепи указаны в табл. 3.1.

Таблица 3.1

№ варианта	$C$ , мкФ	$R$ , Ом	№ варианта	$C$ , мкФ	$R$ , Ом
1	60	106	7	40	160
2	60	27	8	50	127
3	20	318	9	40	40
4	20	80	10	50	32
5	30	212	11	60	106
6	30	53	12	60	27

#### *1. Подготовка к работе*

1.1. Каким образом по приборам схемы рис. 3.1 можно установить соотношения:  $R = X_C$ ,  $R < X_C$ ,  $R > X_C$ ? Построить качественно векторные диаграммы тока и напряжения для каждого из этих соотношений.

1.2. Как по приборам схемы рис. 3.1 определить активные, реактивные по модулю и полные сопротивления и проводимости, а также емкость и угол сдвига фаз напряжения и тока ( $|\varphi|$ )? Привести выражения.

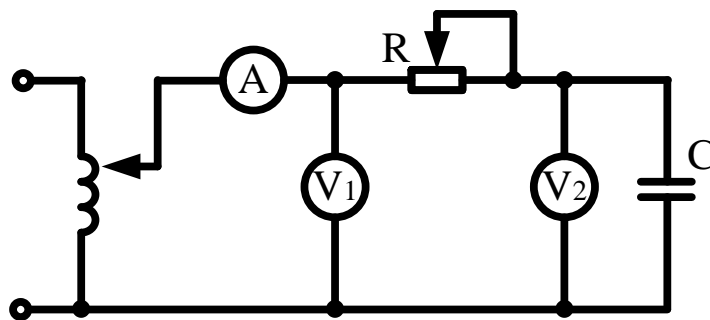


Рис. 3.1

1.3. При частоте 50 Гц и емкости  $C$  из табл. 3.1 для цепи (рис. 3.1) найти сопротивление  $R$  из условия  $\varphi = -45^\circ$ . По этим значениям  $R$  и  $C$  рассчитать и построить частотные характеристики цепи: зависимости реактивного  $X$ , полного  $Z$  сопротивлений цепи от частоты в диапазоне от 20 до 120 Гц. Значения частоты и характеристик свести в таблицу. Графики построить в общих координатных осях, указав значение  $R$ . То же - для активной  $G$ , реактивной  $B$  и полной  $Y$  проводимостей, указав на графиках значение  $1/R$ .

1.4. Ставится задача: по известным значениям  $R$ ,  $C$  и  $f$  цепи (рис. 3.1) определить параметры  $R_0$  и  $C_0$  эквивалентной параллельной цепи. Привести формулы перехода, рассчитать по ним  $R_0$  и  $C_0$  для частоты 50 Гц и значений  $R$  и  $C$  из таблицы 3.1.

1.5. Предложить методику экспериментальной проверки эквивалентности цепей п.1.4. Привести схемы эксперимента, если в Вашем распоряжении амперметры, вольтметры, ваттметр.

## 2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. По схеме (рис. 3.1) при питании от сети экспериментально воспроизвести п. 1.1. Используется резистор «10R» (220 Ом,  $I_{\text{ном}} = 0,48$  А). Напряжение питания ограничивается номинальным током резистора.

2.2. Снять частотные характеристики цепи (случай  $R = X_C$  на частоте 50 Гц), подключив цепь к генератору синусоидального сигнала переменной частоты. Опыт провести при частотах в диапазоне (40÷120) Гц. Перед началом опыта проверить отсутствие постоянной составляющей в выходном напряжении гене-



ратора. Амплитуда переменной составляющей устанавливается наибольшей. Результаты опыта занести в таблицу.

По данным опыта вычислить  $Z$ ,  $R$ ,  $X$ ,  $G$ ,  $B$ ,  $Y$  для каждой частоты, внести в таблицу опытных значений и отметить на расчетных зависимостях, полученных при подготовке к работе. Сравнить расчетные характеристики с опытными и сделать выводы о частотных свойствах цепи.

2.3. Проверить эквивалентность преобразования последовательной цепи в параллельную, рассчитанную в п.1.4, по предложенной в п.1.5 методике.

## РАБОТА № 4 РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

### *Цель работы*

Экспериментальное исследование последовательного резонансного контура, состоящего из индуктивной катушки и конденсатора.

Катушка составляется из двух катушек с маркировкой « $L_1$ » и « $L_2$ », соединенных последовательно. Параметры такой катушки приведены в табл. 2.1 (см работу № 2). Схема исследуемой цепи показана на рис. 4.1.

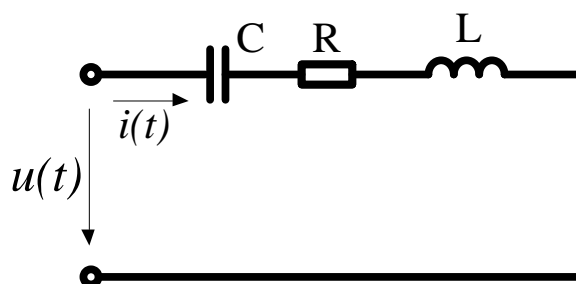


Рис. 4.1

### *1. Подготовка к работе*

1.1. По известным параметрам индуктивной катушки рассчитать резонансную емкость конденсатора при частоте 50 Гц (округлить до целого значения).

1.2. Построить качественно векторные диаграммы цепи для  $C < C_{рез}$ ,  $C > C_{рез}$ ,  $C = C_{рез}$ .

1.3. Определить действующее значение входного напряжения (синусоидального), при котором ток в цепи с изменением емкости конденсатора в широких пределах не превысит величины 0,8 от  $I_{ном}$  ( $I_{ном}$  – номинальный ток катушки, равный 1 А).

1.4. По известным параметрам катушки и конденсатора (емкость конденсатора определена в п.1.1) рассчитать отношения  $\frac{U_C}{U}$ ,  $\frac{U_{RL}}{U}$  в резонансном режиме.

1.5. Рассчитать и построить графики зависимости действующих значений тока  $I$ , напряжения на конденсаторе  $U_C$  и реактивной составляющей напряжения на катушке  $U_L$  от емкости конденсатора. При расчетах принять напряжение питания, найденное в п.1.3. Значение емкости в пределах (0÷60) мкФ с шагом 10 мкФ. Обязательной точкой расчета является значение  $C = C_{рез}$ . Значения емкости и характеристик свести в таблицу. Графики построить семейством в одних координатных осях

1.6. Рассчитать и построить графики зависимости тех же, что и в п. 1.5, величин, но в функции частоты  $f$  питающего напряжения. Действующее значение напряжения принять 5 В, значение емкости конденсатора  $C = C_{рез}$ , (по п.1.1). Диапазон изменения частоты (0÷100) Гц с шагом 10 Гц. Значения частоты и характеристик свести в таблицу. Графики построить семейством на одной координатной плоскости.

## **2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов**

2.1. Снять резонансные кривые цепи (емкостные характеристики) при изменении емкости конденсатора. Измерению подлежат: входное напряжение  $U$ , ток  $I$ , напряжение на конденсаторе  $U_C$  и напряжение на катушке  $U_{RL}$ . Входное напряжение поддерживается постоянным и равным расчетному согласно п.1.3. По данным опытов рассчитать реактивную составляющую напряжения на катушке  $U_L$ . Результаты опыта занести в таблицу и отметить на расчетных зависимостях, полученных в п.1.3. Сделать выводы о влиянии емкости на характеристики цепи.

2.2. Снять резонансные кривые (частотные характеристики) при изменении частоты питающего напряжения в диапазоне (30÷70) Гц с шагом 10 Гц, подключив цепь к генератору синусоидального сигнала переменной частоты. Перед началом опыта проверить отсутствие постоянной составляющей в выходном напряжении генератора. Действующее значение напряжения генератора поддерживать постоянным и равным 5 В, емкость конденсатора  $C = C_{рез}$  (согласно п.1.1). Измерению подлежат те же переменные, что и в опыте п.2.1, но с контролем частоты. Обработка результатов опыта – по аналогии с опытом п.2.1.

## РАБОТА № 5 РЕЗОНАНС ТОКОВ

### *Цель работы*

Экспериментальное исследование параллельного резонансного контура, состоящего из индуктивной катушки и конденсатора. Катушка состоит из двух катушек с маркировкой « $L_1$ » и « $L_2$ », соединенных последовательно. Ее параметры приведены в табл. 2.1 (см работу № 2). Схема исследуемой цепи показана на рис. 5.1

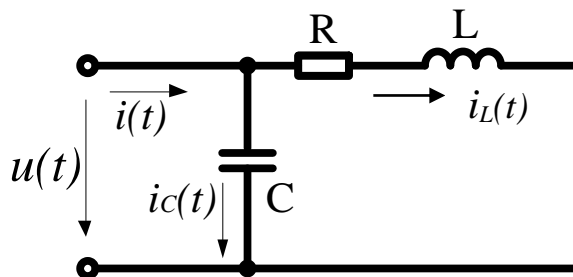


Рис. 5.1

### *1. Подготовка к работе*

1.1. Получить формулу комплексной проводимости двухполюсника (рис. 5.1)

1.2. По известным параметрам катушки, используя условие резонанса, рассчитать резонансную емкость конденсатора при частоте 50 Гц.

1.3. Рассчитать и построить зависимости действующих значений входного тока  $I$ , тока катушки  $I_L$  и тока конденсатора  $I_C$  от емкости конденсатора. При расчете принять действующее значение напряжения питания  $U = 20$  В,  $f = 50$  Гц. Емкость конденсатора меняется в интервале  $0 \div 60$  мкФ с шагом 10 мкФ. Обязательной точкой расчета является точка  $C = C_{рез}$ . Значения емкости и характеристик свести в таблицу. Графики построить семейством в одних координатных осях

1.4. Построить качественно-векторные диаграммы цепи для  $C < C_{рез}$ ,  $C > C_{рез}$ ,  $C = C_{рез}$ .

1.5. Рассчитать резонансную емкость конденсатора при частоте 80 Гц.

1.6. Пренебрегая активным сопротивлением катушки, рассчитать и построить зависимости действующих значений всех токов при изменении частоты от 30 до 140 Гц с шагом 20 Гц. Емкость конденсатора принимается рассчитанной в п.1.5. Действующее значение входного напряжения  $U = 5$  В. Значения ча-

стоты и характеристик свести в таблицу. Графики построить семейством на одной координатной плоскости.

## 2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Снять резонансные кривые цепи (емкостные характеристики), то есть экспериментально проверить расчетные зависимости  $I(C)$ ,  $I_L(C)$  и  $I_C(C)$  при питании от сети с  $U = 20$  В,  $f = 50$  Гц. Достаточно снять пять точек: при  $C = C_{рез}$  и по две при  $C < C_{рез}$  и  $C > C_{рез}$ . Результаты опыта занести в таблицу и отметить на расчетных зависимостях, полученных в п.1.3. Сделать выводы о влиянии емкости на характеристики цепи.

2.2. Снять резонансные кривые (частотные характеристики) цепи, т.е. зависимости действующих значений всех токов от частоты. Подключить цепь к генератору синусоидального сигнала переменной частоты, проверив отсутствие постоянной составляющей в выходном напряжении. Емкость постоянная  $C = C_{рез}$  при  $f = 80$  Гц; напряжение на входе цепи  $U = 5$  В поддерживать постоянным для всех частот 30÷140 Гц. Результаты опыта занести в таблицу и отметить на расчетных зависимостях. Сделать выводы о влиянии частоты на характеристики цепи.

Поскольку при расчетах активное сопротивление индуктивной катушки не учитывалось, экспериментальные и расчетные зависимости будут отличаться. Ожидаемое расхождение велико при частотах меньших резонансной и в окрестности резонансной частоты. Дать объяснение этому результату.

## РАБОТА № 6 ЦЕПИ С МАГНИТНОЙ СВЯЗЬЮ

### Цель работы

Экспериментальное определение взаимной индуктивности магнитосвязанных катушек и исследование цепей, содержащих такие катушки.

В работе используются две катушки с маркировкой « $L_1$ » и « $L_2$ », электрически и индуктивно (магнитно) связанные между собой (рис.6.1).

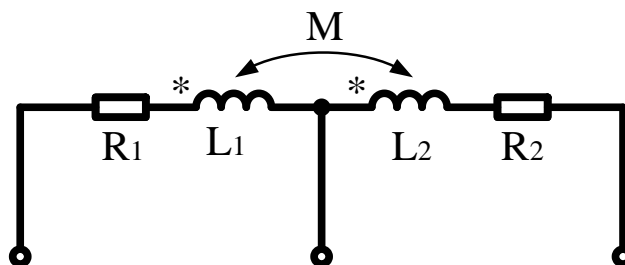


Рис. 6.1

## 1. Подготовка к работе

1.1. Предложить способ определения модуля взаимной индуктивности  $|M|$  при неизвестных параметрах катушек  $R_1, L_1, L_2, R_2$ . Результатом выполнения этого задания должны быть:

- а) схема эксперимента, с изображением необходимых приборов;
- б) расчетные формулы, использующие показания приборов для определения модуля взаимной индуктивности  $|M|$ .

1.2. Предложить методику определения модуля и знака взаимной индуктивности при данном соединении катушек (рис. 6.1) и при известных параметрах каждой катушки  $R_1, L_1, R_2, L_2$  (табл. 6.1). Результат представить в виде:

- а) схемы эксперимента, с изображением необходимых приборов;
- б) расчетных формул, использующих показания приборов.

1.3. Предложить методику определения знака взаимной индуктивности при данной разметке зажимов (рис. 6.1), исходя из закона электромагнитной индукции. Этот метод широко применяется на практике и основан на следующем:

Если первую катушку подключить к источнику постоянного напряжения  $E$ , то ток в ней  $i_1(t)$  устанавливается не мгновенно, а будет нарастать до установившегося значения, как показано на рис. 6.2. При этом, согласно закону электромагнитной индукции на зажимах второй катушки возникает напряжение  $u_2(t)$ . Положительные направления  $i_1(t)$  и  $u_2(t)$  также показаны на рис. 6.2.

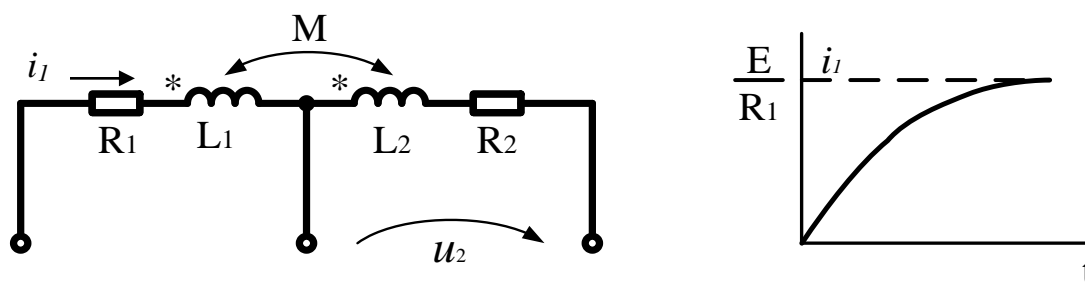


Рис. 6.2

Направление тока в первой катушке определяется полярностью источника и может быть задано нужным образом относительно размеченных зажимов. О знаке  $M$  при заданной разметке можно судить по направлению напряжения на индуктивной катушке. Результатом выполнения этого задания являются:

- а) качественно построенные графики зависимости  $u_2(t)$  при  $M < 0$  и  $M > 0$ ;
- б) схема эксперимента.

1.4. Рассчитать режим цепи (рис. 6.4 или рис. 6.5) согласно варианту (табл. 6.1). Требуется определить: токи и напряжения всех элементов схемы и активную мощность, потребляемую от источника. Построить полную векторную диаграмму цепи.

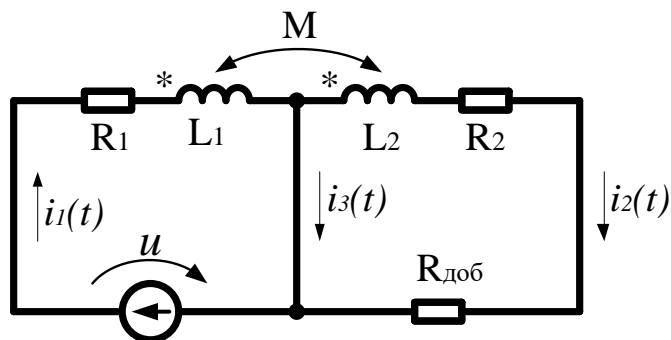


Рис. 6.4

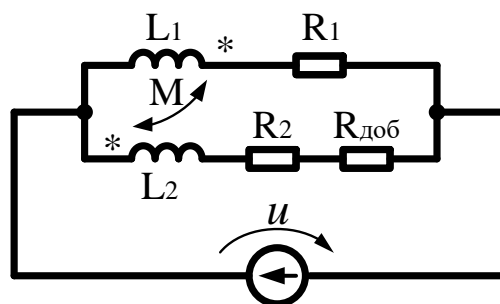


Рис. 6.5

Таблица 6.1

№ варианта	Схема на рисунке	$L_1$ , мГн	$R_1$ , Ом	$L_2$ , мГн	$R_2$ , Ом	$M$ , мГн	$U$ , В	$R_{доб}$ , Ом
1	6.4	170	17	18	5	36	20	0
2	6.4	87	12,2	59	9,4	52	12	0
3	6.4	90	13,2	59	10,5	54	25	40
4	6.5	90	11,7	53	9	52	12	30
5	6.5	94	12,6	60	10	53	18	60
6	6.5	115	16,3	45	9,1	47	20	50
7	6.4	77	14,4	68	12,8	51	20	35
8	6.4	95	14,2	50	8,8	44	30	50
9	6.4	88	12,6	51	9,8	50	25	100
10	6.5	92	12	61	9,6	56	12	40
11	6.5	91	11	62	9	54	15	50
12	6.5	89	15,7	44	11	46	10	20

## 2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Опытным путем найти абсолютную величину взаимной индуктивности по схеме, предложенной в п. 1.1. Сравнить с табличным значением.

2.2. Опытным путем определить знак взаимной индуктивности по схеме, предложенной в п. 1.2.

2.3. Опытным путем определить знак взаимной индуктивности по схеме, предложенной в п. 1.3.

2.4. Проверить экспериментально результат расчета цепи в п. 1.4. При сборке цепи в качестве  $R_{\text{доб}}$  использовать резистор «10 R», предварительно выставив с помощью омметра требуемое значение сопротивления.

## РАБОТА № 7

### ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

#### *Цель работы*

Исследование процессов в линейных цепях при периодических, но несинусоидальных напряжениях и токах.

#### *1. Подготовка к работе*

Каждый студент должен ответить на вопросы 1.1, 1.2 и 1.3 или 1.4 в соответствии с вариантом по табл.7.1.

1.1. Что называется коэффициентом амплитуды  $K_a$  напряжения? Чему равны коэффициенты амплитуды напряжений, форма которых указана на рис. 7.1 а), б), в)? Как измерить коэффициент амплитуды напряжения, если в распоряжении экспериментатора имеются осциллограф и вольтметр электромагнитной системы?

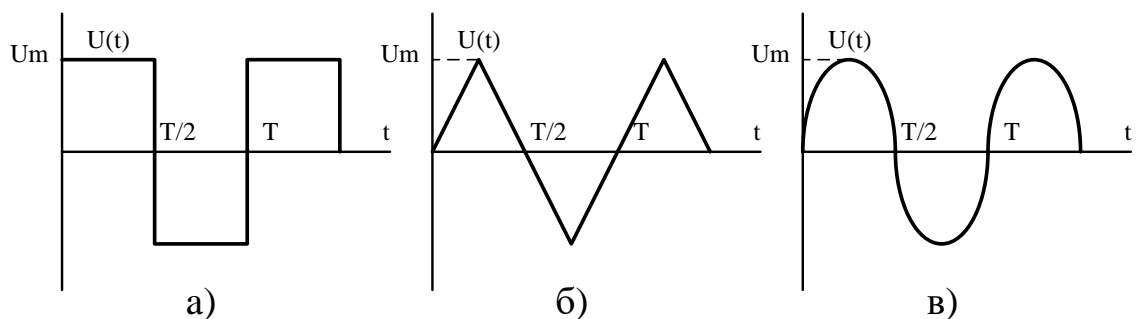


Рис. 7.1

1.2. Для измерения  $K_a$  напряжения может быть использована цепь, составленная из последовательно соединённых диода и конденсатора. На вход цепи включено одно из напряжений  $u(t)$ , изображённых на рис. 7.1. Считая диод и конденсатор идеальными, постройте график напряжения на конденсаторе в функции времени. Как измерить  $K_a$  напряжения с помощью такой цепи, если в распоряжении экспериментатора есть, два вольтметра? Какие требования должны предъявляться к этим вольтметрам? Изобразите схему эксперимента.

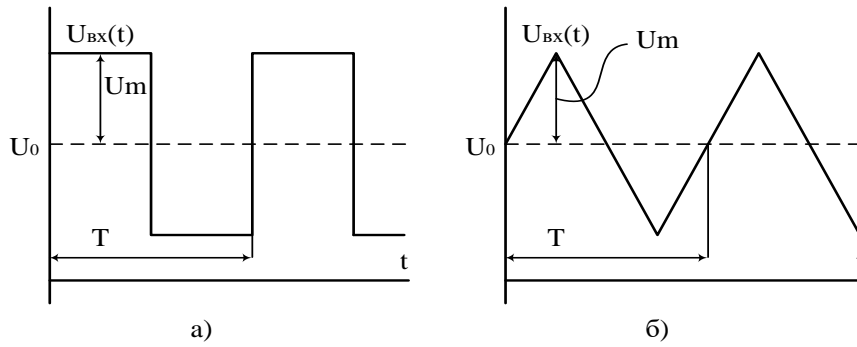


Рис. 7.2

Рис.7.2. а:  $u_{BX}(t) = U_0 + U_m \sum \frac{4}{\pi k} \text{Sink}\omega t = U_0 + U_m (1,27 \cdot \sin \omega t + 0,424 \cdot \sin 3\omega t + 0,254 \cdot \sin 5\omega t)$ .

Рис.7.2. б:  $u_{BX}(t) = U_0 + U_m \sum \frac{8}{\pi^2 k^2} \text{Sin}\left(k \frac{\pi}{2}\right) \text{Sink}\omega t$ , где  $k = 1, 3, 5, \dots$

$u_{BX}(t) = U_0 + U_m (0,811 \cdot \sin \omega t - 0,09 \cdot \sin 3\omega t + 0,0324 \cdot \sin 5\omega t)$ ,

1.3. Для цепи рис. 7.3.а, при входном напряжении  $u_{BX}(t)$  рис. 7.2 (вариант по табл.7.1), разложенном в ряд Фурье с основной и двумя высшими гармониками (значения  $U_0$ ,  $U_m$  используются в общем, буквенном виде), рассчитайте и постройте графики напряжений  $u_{AC}(t)$ ,  $u_{CD}(t)$ . Параметры цепи:  $C = 48$  мкФ,  $R = 200$  Ом; период напряжения  $T = 1$  мс.

1.4. Для цепи рис. 7.3.б при входном напряжении  $u_{BX}(t)$  рис. 7.2 (вариант по табл.7.1), разложенном в ряд Фурье с основной и двумя высшими гармониками, с параметрами  $C_1 = 1$  мкФ,  $R_0 = 100$  Ом,  $R_L, L$  - в табл.7.1, найдите:

а) период  $T$ , при котором напряжение на выходе цепи  $u_{ВЫХ}(t)$  не содержит третью гармонику;

б) ёмкость конденсатора  $C_2$ , при которой основная гармоника напряжения  $u_{ВЫХ}(t)$  имеет максимальное значение;

в) напряжение  $u_{ВЫХ}(t)$ ; постройте графики  $u_{ВХ}(t)$  и  $u_{ВЫХ}(t)$  в одних осях.

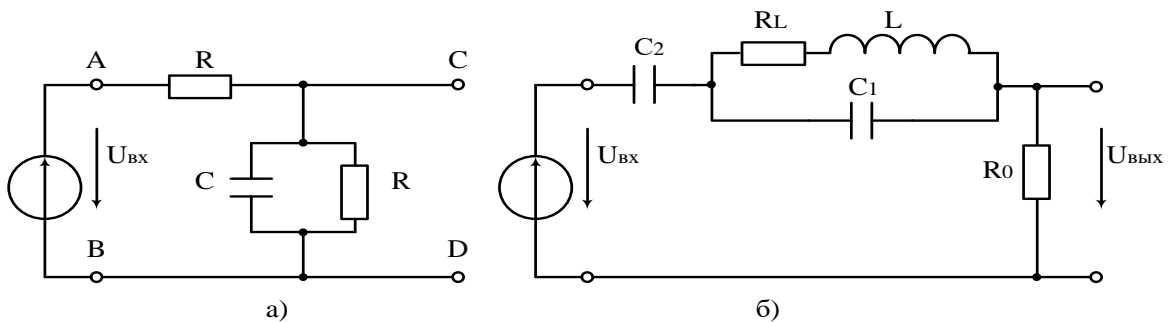


Рис. 7.3



## 2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Измерить коэффициент амплитуды напряжений, изображённых на рис. 7.1 по методике п.1.1. Сравнить с теоретическими значениями. Внимание: при проведении опыта для повышения точности результата постоянную составляющую напряжения генератора установить, как можно ближе к нулю, а переменную - наибольшей. Значение постоянной составляющей проверить также и по вольтметру.

2.2. То же, но по методике п. 1.2.

2.3. Экспериментально проверить результат, полученный в п.1.3 или п.1.4 по варианту. В качестве индуктивного элемента используются две последовательно соединённые катушки с маркировкой « $L_1$ » и « $L_2$ » стенда. Снять осциллограммы необходимых величин, сравнить их с построенными при расчете.

Таблица 7.1

Номер варианта	Номер вопроса	Напряжение на рис.	L (Гн)	R <sub>L</sub> (Ом)
1	1.3	7.2,а		
2	1.3	7.2,б		
3	1.4	7.2,а	0,257	23,7
4	1.3	7.2,б		
5	1.3	7.2,а		
6	1.4	7.2,б	0,254	25,4
7	1.3	7.2,а		
8	1.3	7.2,б		
9	1.4	7.2,а	0,239	22,4
10	1.4	7.2,б	0,265	21,6
11	1.3	7.2,а		
12	1.3	7.2,б		

## Рекомендуемая литература

1. Теоретические основы электротехники – учебник для вузов, 4-е изд., доп. для самостоятельного изучения курса, в 3 томах / Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. – М.; СПб.; Нижний Новгород [и др.]: Питер, 2006 – Т1- 463 с, Т2-576 с, Т3-377 с.
2. Новгородцев А.Б. Теоретические основы электротехники. 30 лекций по теории цепей – учеб. пособие / Новгородцев А.Б.– СПб.: Питер, 2006 – 576с.
3. Основы теоретической электротехники / Бычков Ю.А. Золотницкий В.М., Чернышев Э.П. Белянин А.Н.– СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008 – 592с.
4. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи / Атабеков Г.И.– СПб.: Лань, 2008 – 592 с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи – учеб. пособие / Бессонов Л.А.– М.: Гардарики, 2006 – 701 с.
6. Прянишников В.А. Теоретические основы электротехники – учеб. пособие для студентов высших и сред. учеб. заведений / Прянишников В.А.– СПб.: Корона принт, 2007 – 366 с.
7. *Теоретические основы электротехники. Интернет-тестирование базовых знаний –учеб. пособие / под ред. Бутырина П.А., Коровкина Н.В.– СПб.: Лань, 2012 – 336 с*
8. Коровкин Н.В. *Теоретические основы электротехники. Сборник задач. / Коровкин Н.В., Селина Е.Е., Чечурин В.Л.– М.; СПб.; Нижний Новгород [и др.]: Питер, 2006 – 512 с.*
9. *Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники / под ред. Бутырина П.А. в 2-х томах. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011*
10. *Сборник задач по основам теоретической электротехники. / Белянин А.Н., Бычков Ю.А., Гончаров В.Д. и др. – СПб. [и др.]: Лань, 2011 – 400 с.*
11. *Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники / под ред. Ионкина П.А.— Л.: Энергоиздат, 1982 – 768 с.*

Электронный текстовый ресурс

Белошабский Василий Васильевич  
Громов Владимир Васильевич  
Дехтяр Сергей Александрович  
Томашевич Виктор Григорьевич

## **ЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Теоретические основы электротехники»  
для студентов всех форм и технологий обучения  
направления 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Рекомендовано Методическим советом УрФУ  
Разрешено к публикации .....  
Электронный формат – pdf  
Объем 0,86 уч.-изд. л.

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19  
Информационный портал УрФУ  
[www.study.urfu.ru](http://www.study.urfu.ru)