

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ**

**Кафедра «Электроника и радиотехника»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ  
ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

**ТАШКЕНТ 2022**

Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Теория электрических цепей». Ташкент: ТУИТ, 2022, 56 с.

Методическое руководство содержит описание 6 лабораторных работ, включая работу для изучения устройства стенда и назначения его элементов, с краткими теоретическими сведениями. Методическое руководство предназначено для студентов, обучающихся по направлению 5330800-«Программируемые мобильные системы».

## ВВЕДЕНИЕ

Методическое руководство составлено в соответствии с программой дисциплины «Теория электрических цепей» (ТЭЦ) для студентов Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми СФИТ ТУИТ-БГУИР, где для проведения лабораторного практикума выделяется до 16 часов аудиторных занятий, включая время на допуск, выполнение лабораторной работы, оформление результатов лабораторного исследования и защиту лабораторной работы.

Экспериментальные исследования в работах позволяют наблюдать электрические процессы и измерять на практике их параметры в достаточно простых электрических цепях и в отдельных компонентах цепей (резисторах, конденсаторах, катушках индуктивности, нелинейных компонентах, колебательных контурах). Однако проведение этих исследований принесет студентам ощутимую пользу только в том случае, если соответствующие электрические устройства и процессы в них предварительно изучены теоретически. Поэтому исследованиям в лаборатории должны предшествовать самостоятельные занятия студента с конспектом лекций и учебной литературой, на которую приводятся ссылки в описаниях лабораторных работ.

Студент может быть допущен к выполнению лабораторной работы только при условии, если он отчетливо понял суть и задачи лабораторного исследования очередной работы. Он должен сформулировать название и цель исследования письменно.

Особое внимание студенту необходимо обратить в каждой из работ на контрольные вопросы. Эти вопросы в будущем могут встретиться студентам при подготовке к текущим, промежуточным и итоговым контролям по дисциплине ТЭЦ. Студент должен знать ответы на эти вопросы. Только при этом условии он может быть допущен к выполнению очередной лабораторной работы.

Во время домашней самостоятельной подготовки к лабораторной работе студент должен провести предварительные расчеты, которые указаны в разделе самостоятельной подготовки студентов или в контрольных вопросах.

Для допуска к выполнению лабораторной работы следует нарисовать все необходимые измерительные схемы, которые придется собрать на лабораторном стенде при ее выполнении. При выполнении лабораторных работ студент должен собирать ~~измерительные~~ электрические цепи по нарисованным им дома схемам, не обращаясь к

учебной литературе. Поэтому подготовленные измерительные схемы должны быть достаточно полными и точными.

Во время подготовки к допуску по многим из приведенных работ необходимо также подготовить таблицу по заданной в описаниях работ форме, в графах которой будут размещаться результаты измерений и последующих расчетов.

Помимо экспериментальных навыков, студент должен научиться составлять отчет по работе. В нем должны быть отражены все записи, которые необходимо произвести при подготовке к работе, во время ее выполнения в лаборатории и, наконец, во время последующей обработки результатов проведенных исследований. В отчете все измеренные и рассчитанные величины должны быть представлены в соответствии с Государственным стандартом O'z DSt 8/012:2005 «Государственная система обеспечения единства измерений Республики Узбекистан. ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИН» (Основные величины, используемые в ТЭЦ, приведены в приложении 1). Отчет следует представлять перед допуском к выполнению и при защите очередной лабораторной работы. В конце семестра он сдается преподавателю для подсчета набранных баллов и получения допуска к итоговым контролям. Отчет должен быть аккуратно заполнен. Приводимые в нем схемы нужно вычерчивать с учетом известных стандартов. В нем могут быть аккуратные исправления допущенных ошибок.

Отчет должен иметь титульный лист (образец титульного листа приведен в приложении 2), на котором указываются наименование университета, факультета, номер группы, фамилия и инициалы студента, название работы. При отсутствии отчета с правильно записанными письменными ответами на контрольные вопросы очередной (согласно календарному плану группы) лабораторной работы студент к занятию не допускается.

Все лабораторные работы выполняются на универсальных лабораторных стендах или на симуляторе NI Multisim.

При выполнении лабораторных работ должны строго соблюдаться меры безопасности. Нельзя отходить от включенного стенда. Включение стенда производится только после получения разрешения преподавателя. По окончании эксперимента необходимо, не разбирая цепи, предъявить преподавателю результаты измерений. Закончив работу, студенты должны выключить приборы, разобрать электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### Изучение лабораторного стенда

**Цель работы:** изучить лабораторный стенд и научиться пользоваться его элементами.

Для выполнения лабораторных работ по дисциплине ТЭЦ используется универсальный специализированный стенд ТЭЦ (рис.1.1).

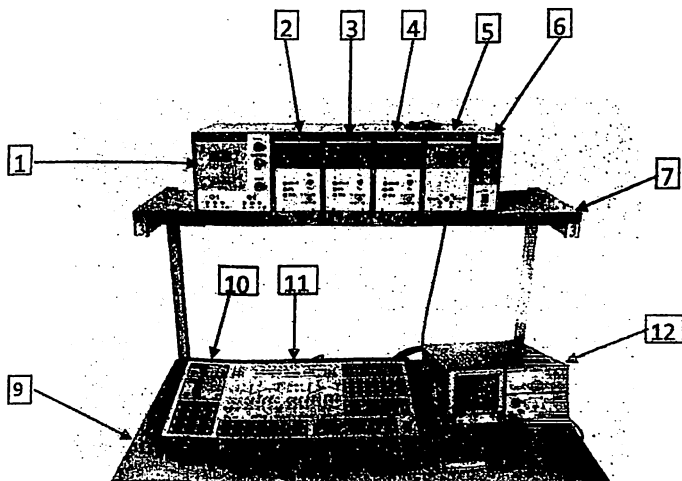


Рис.1.1 Лабораторный стенд ТЭЦ

### 1. ГЕНЕРАТОРНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ

предназначен для совместной работы с лабораторным модулем установки по дисциплине ТЭЦ. Электропитание модуля осуществляется от сети переменного напряжения 220 В.

Модуль включает в себя следующие составные части:

1. Генератор НЧ со встроенным индикатором частоты.
2. Вольтметр постоянного – переменного напряжения (3 шт.).
3. Фазометр.
4. Панель сопряжения с компьютером.
5. Платы питания (3 шт.).

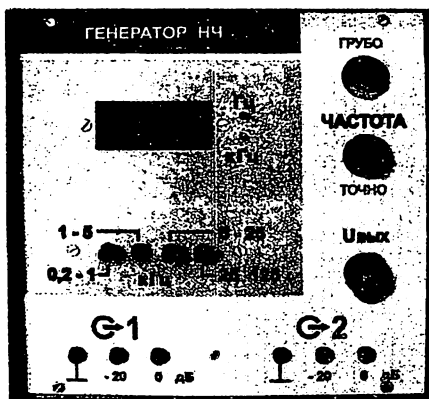
На полке 7 (рис.1.1) расположен инструментальный (измерительный) блок, содержащий следующие приборы:

- генератор гармонического регулируемого по частоте и уровню напряжения 1;

- три цифровых вольтметра постоянного и переменного напряжения 2, 3, 4;
- фазометр 5;
- устройство согласования измеряемых напряжений с персональным компьютером (ПК) 6.

### 1.1. Генератор НЧ

Блок генератора синусоидальных колебаний размещен в левой верхней части стенда (рис.1.2). Он вырабатывает синусоидальное напряжение в 4-х частотных диапазонах:



- 0,2 кГц – 1 кГц;
- 1 кГц – 5 кГц;
- 5 кГц – 25 кГц;
- 25 кГц – 125 кГц.

В пределах диапазонов изменение частоты производится переменными резисторами «ЧАСТОТА-ГРУБО» и «ЧАСТОТА-ПЛАВНО». Диапазоны имеют некоторое перекрытие по частоте.

В панель генератора встроены 4-значный индикатор частоты с автоматическим переключением указателей единиц измерения частоты.

Рис. 1.2. Генератор НЧ

Выходное напряжение генератора регулируется переменным резистором « $U_{\text{вых}}$ ». Генератор имеет следующие выходы:

- «G1 - 0 дБ» - напряжение от 0 В до 1 В, выходное сопротивление 5 Ом;
- «G1 - 20 дБ» - напряжение от 0 В до 0,1 В, выходное сопротивление 0,5 Ом;
- «G2-0 дБ» -напряжение от 0 В до 5 В, выходное сопротивление 600 Ом;
- «G2-20 дБ» -напряжение от 0 В до 0,5 В, выходное сопротивление 600 Ом.

Гнезда «L» выходов G1 и G2 соединены с корпусом установки.

На панели находится цифровой частотомер с переключателями диапазонов частот и регуляторами «ЧАСТОТА» - «ПЛАВНО» и «ГРУБО».

### 1.2. Вольтметр

Лабораторный стенд содержит три одинаковых цифровых вольтметра (рис.1.3), измеряющих действующее значение напряжения синусоидальной формы и постоянное напряжение.

В генераторно-измерительный модуль встроены 3 вольтметра (рис.1.3), позволяющие измерять как постоянные напряжения, так и действующие значения переменных напряжений частотой от 200 Гц до 125 кГц.

Вход вольтметра гальванически не связан с корпусом установки, поэтому в режиме измерения постоянных напряжений вольтметры могут быть подключены к любым точкам исследуемой цепи.

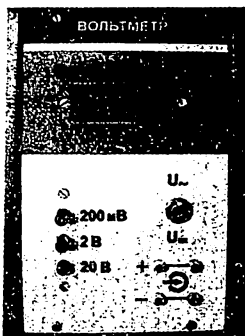


Рис. 1.3. Вольтметр

Однако, следует учесть, что гнездо «-» входа вольтметра связано с общей шиной схемы вольтметра и имеет значительную емкость относительно корпуса установки. Поэтому при измерении переменных напряжений частотой выше 5 кГц во избежание существенных ошибок показаний следует подключать гнездо «-» входа вольтметра к точкам исследуемой цепи, соединенным с гнездами «L» или находящимся под меньшим переменным напряжением относительно «L».

Вольтметр имеет 3 предела измерения: 200 мВ; 2 В; 20 В.

Относительная погрешность измерения постоянного напряжения - не более 2 % от измеряемой величины при условии  $0,1 U_{\text{пл}} < U_{\text{изм}} < U_{\text{пл}}$ , где  $U_{\text{пл}}$  - предел измерения;  $U_{\text{изм}}$  - измеряемое напряжение.

Относительная погрешность измерения переменного гармонического напряжения частотой от 200 Гц до 125 кГц - не более 3 % от измеряемой величины при условии  $0,1 U_{\text{пл}} < U_{\text{изм}} < U_{\text{пл}}$ .

Входное сопротивление вольтметра - 1 МОм.

Входная емкость - не более 20 пФ.

### 1.3. Фазометр

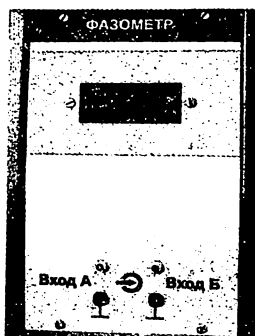


Рис. 1.4. Фазометр

Фазометр (рис.1.4) позволяет измерять фазовый сдвиг между двумя синусоидальными напряжениями, поданными на входы А и Б:  $\Delta\varphi = \varphi_A - \varphi_B$ .

Характеристики фазометра:

- пределы измерения фазового сдвига -180 град. <  $\varphi$  < +180 град.;
- индикация - цифровая трехразрядная (отрицательные значения фазового сдвига индицируются со знаком «-»);
- минимальное напряжение на входах фазометра, при

котором обеспечивается его устойчивая работа - 100 мВ;

- максимальное напряжение на входах фазометра, при котором обеспечивается его устойчивая работа 2,0 В;

- частотный диапазон устойчивой работы фазометра 200 Гц – 100 кГц;
- погрешность измерения фазового сдвига в диапазоне  $|4 \text{ град.} < \varphi < 176 \text{ град.}|$  при обеспечении устойчивой работы фазометра не более 1 град.;
- входное сопротивление фазометра не менее 1 МОм;
- входная емкость не более 20 пФ;
- одно из гнезд каждого входа соединено с корпусом установки.

Во избежание неустойчивой работы фазометра и связанных с этим ошибок измерения, рекомендуется контролировать величину его входных напряжений с помощью вольтметров, подключаемых параллельно его входам.

Фазометр (рис.1.4) измеряет разность фаз двух напряжений гармонической формы. Напряжение, относительно которого измеряется сдвиг фаз, подключается к клемме «Вход Б», а напряжение, фазу которого необходимо измерить, - к клемме «Вход А». На фазометре имеется индикатор, указывающий характер исследуемой цепи – индуктивный или емкостной. Загорание индикатора соответствует отрицательному значению угла сдвига фаз.

#### 1.4. Панель сопряжения с компьютером

Панель предназначена для вывода на компьютер напряжений из двух различных точек исследуемой цепи с целью их последующей обработки и анализа с помощью различных программ ПК.

Соединение входов А и Б, расположенных на панели №6 генераторно-измерительного модуля, с ПК производится экранированным проводом на задней панели модуля через штеккер-соединитель.

Для защиты ПК от высоких входных напряжений, производится их понижение в 10 раз (по входу «1:1») и в 100 раз (по входу 1:10).

Входные сопротивления: по входу 1:1 - 100 кОм; по входу 1:10 - 1 МОм.

## 2. ЛАБОРАТОРНЫЙ МОДУЛЬ ПО КУРСУ ТЭЦ

Лабораторный модуль установки по курсу ТЭЦ расположен на лабораторном столе 9 (рис. 1.1).

Фотография лабораторного модуля установки по курсу ТЭЦ представлена на рис.1.5.

На лабораторном столе 9 под номером 10 (рис.1.1) расположен источник напряжения, который содержит:

- источник регулируемого постоянного напряжения  $E_1$ ;
- источник нерегулируемого синусоидального напряжения  $E_2$  ( $f = 50 \text{ Гц}$ ,  $U=1 \text{ В}$ ),





линии; два операционных усилителя (ОУ).

На лабораторном столе под номером 12 (рис.1.1) расположен двухканальный осциллограф (рис.1.6).

### 3. ОСЦИЛЛОГРАФ

Прибор (рис.1.6), с помощью которого можно наблюдать форму напряжений и выполнять различные измерения, называется осциллографом. В данном лабораторном стенде используется двухканальный осциллограф типа С1-220, с помощью которого можно одновременно наблюдать и сравнивать форму двух напряжений.

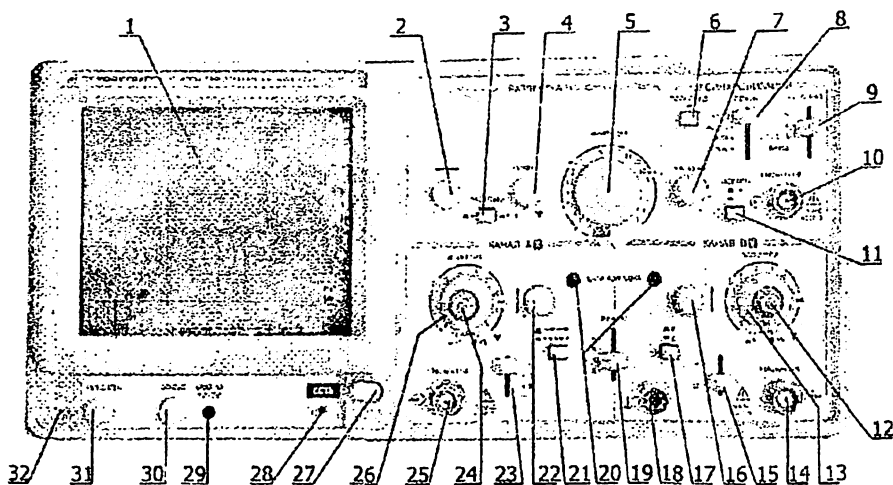


Рис.1.7. Передняя панель осциллографа

#### 3.1. Расположение и назначение органов управления передней панели осциллографа

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Экран                              | 11. Полярность синхронизации                              |
| 2. Смещение луча по горизонтали       | 12. Регулировка усиления канала В                         |
| 3. Кнопка растяжки развертки в 10 раз | 13. Переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ.» канала В                   |
| 4. Время развертки плавно             | 14. Вход канала В   |
| 5. Переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ.»         | 15. Переключатель -L - канала В                           |
| 6. Синхронизация поочередная          | 16. Вертикальное смещение канала. Инвертирование канала В |
| 7. Уровень синхронизации              | 17. Клемма «Земля»  |
| 8. Режим запуска развертки            | 18. Переключатель «РЕЖИМ» каналов                         |

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 9. Источник синхронизации                | 19. Балансировка каналов А и В    |
| 10. Вход внешней синхронизации           | 20. Полярность синхронизации      |
| 21. Кнопка «последовательно попеременно» | 27. Кнопка «СЕТЬ»                 |
| 22. Вертикальное смещение канала А       | 28. Индикатор кнопки «СЕТЬ»       |
| 23. Переключатель JL ~ канала А          | 29. Поворот луча                  |
| 23. Регулировка усиления канала А        | 30. Фокус                         |
| 24. Вход канала А                        | 31. Яркость                       |
| 25. Переключатель JL ~ канала А          | 32. Выход встроенного калибратора |

### 3.2. Органы управления ЭЛТ

(27) **СЕТЬ.** Когда этот выключатель включен, загорается индикатор (28).

(31) **ЯРКОСТЬ.** Регулирует яркость изображения.

(30) **ФОКУС.** Регулировка фокуса изображения.

(29) **ПОВОРОТ ЛУЧЕЙ.** Регулировка угла наклона линий развертки, параллельно линиям шкалы.

(32) Выход сигнала калибратора амплитудой 2 В и частотой 1 кГц.

Органы управления усилителей вертикального отклонения:

(25) Вход канала А. В режиме X-Y, входной канал X-оси.

(14) Вход канала В. В режиме X-Y, входной канал Y-оси.

(18) Гнездо подключения заземления.

(15)(23) ~, -L — Переключатель режима входов

(13)(26) **ВОЛЬТ/ДЕЛ.** Переключатели чувствительности каналов вертикального отклонения от 5 мВ /дел до 5 В /дел в 10 диапазонах.

(12)(24) **ПЛАВНО x5 РАЗ.** Плавное изменение коэффициентов усиления каналов с перекрытием не менее чем в 2,5 раза в каждом положении переключателей Вольт/Дел. Когда ручка выгнута, происходит увеличение амплитуды в 5 раз.

(20) **БАЛАНСИРОВКА** - Балансировка каналов А и В.

(22)(16) t ■ регулировка положения развертки каналов А и В по вертикали.

(17) Кнопка инвертирования сигнала в канале В

(19) **РЕЖИМ.** Переключатель режима работы усилителей каналов, имеющий следующие положения:

А: на экране наблюдается сигнал канала А.

В: на экране наблюдается сигнал канала В.

А, В: на экране наблюдаются изображения сигналов обоих каналов.

А+В: на экране наблюдается алгебраическая сумма или разность (при нажатии кнопки В) сигналов каналов А и В.

(21)  $\overset{\sim}{\sim}$  Кнопка управления работой коммутатора в двухканальном режиме. Когда кнопка отжата, то коммутатор устанавливает последовательный режим отображения каналов. При нажатии на кнопку коммутатор устанавливает попеременный режим отображения информации.

### 3.3 Органы управления синхронизации

(9) **ИСТОЧНИК.** Выбирает источник внутренней и внешней синхронизации.

А: Развертка синхронизируется сигналом с канала А.

В: Развертка синхронизируется сигналом с канала В.

**ОТ СЕТИ:** Развертка синхронизируется от сети. **ВНЕШ.:**

Развертка синхронизируется внешним сигналом.

(10) Вход внешней синхронизации. Чтобы использовать этот вход, выберете переключателем «ИСТОЧНИК» (9) положение ВНЕШ.

(6) **ПООЧЕРЕД:** Развертка поочередно синхронизируется сигналом с каналов А и В.

(11) **ПОЛЯРН.** Переключатель полярности синхронизирующего сигнала.

«+»: развертки синхронизируются положительным перепадом исследуемого сигнала. «-»: развертки синхронизируются отрицательным перепадом исследуемого сигнала.

(7) **УРОВЕНЬ.** Выбирает уровень исследуемого сигнала, при котором происходит запуск развертки.

(8) **РЕЖИМ.** Выбирает режим работы запуска развертки.

**АВТО.** автоматический запуск развертки при отсутствии сигнала синхронизации или при частоте сигнала меньше 25 Гц.

**ЖДУЩ.** развертка запускается только при наличии входного сигнала.

**КАДР.** синхронизация по вертикали (по ТВ-кадрам). **СТРОК,** синхронизация по горизонтали (по ТВ-строкам). В двух последних режимах полярность сигнала должна быть отрицательной.

Органы управления разверткой:

(5) **ВРЕМЯ/ДЕЛ.** Устанавливает коэффициент развертки от 0,2 мкс/дел до 0,5 с/дел 20 ступенями. При переводе в положение X-Y обеспечивается наблюдение фигур Лиссажу.

(4) **РАЗВЕРТКА ПЛАВНО.** Обеспечивает плавную регулировку времени развёртки с перекрытием 2,5 раза в каждом положении переключателя **ВРЕМЯ/ДЕЛ.**

(2) **<->** Перемещает развёртку по горизонтали.

(3) **РАСТЯЖКА.** Длина луча увеличивается в 10 раз при нажатии кнопки.

### 3.4. Назначение конструктивных элементов задней панели

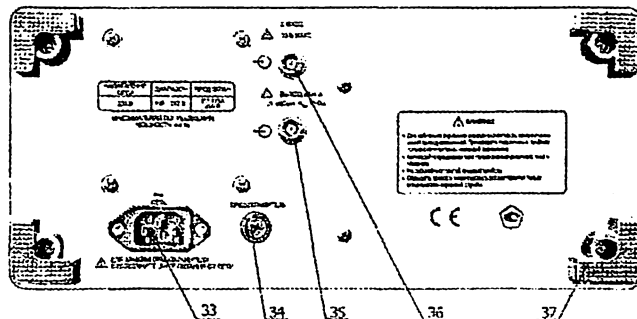


Рис. 1.8. Расположение и назначение разъемов и конструктивных элементов задней панели

(33) Сетевой разъем для подключения шнура питания.

(34) Предохранитель.

(35) Выход сигнала канала А для подключения частотомера или другого измерительного прибора, с напряжением приблизительно 20 мВ/дел при нагрузке 50 Ом.

(36) **Z-ВХОД.** Вход для подачи сигнала модулирующего яркость луча.

(37) Ножки осциллографа.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### Исследование независимых источников напряжения

**Цель работы:** изучение внешних характеристик независимых источников напряжения.

#### 1. Краткие пояснения

Реальный источник электрической энергии можно представить двумя схемами замещения:

- 1) последовательной, содержащий источник напряжения с неизменной ЭДС, численно равной напряжению источника в режиме холостого хода, и внутреннее сопротивление источника  $R_{вн}$  (рис. 2.1, а);
- 2) параллельной, содержащей источник тока  $J$ , численно равным току короткого замыкания, и внутреннее сопротивление  $R_{вн}$  (рис. 2.1, б).

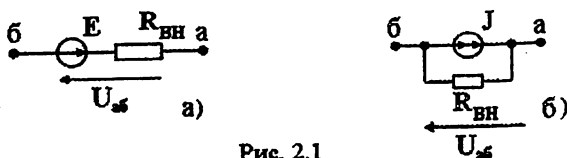
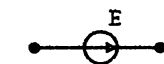


Рис. 2.1

Переход от последовательной схемы замещения к параллельной осуществляется по формулам:

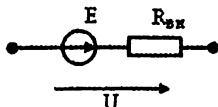
$$J = E / R_{вн}; \quad E = R_{вн} \cdot J.$$

Источники напряжения (тока) могут быть независимыми или зависимыми (управляемыми). Независимыми называют источники напряжения (тока), величина напряжения (тока) которых не зависит от напряжения (тока) на других участках цепи. Зависимым (управляемым) является такой источник, ЭДС или ток которого меняет своё значение в зависимости от напряжения на некоторых участках цепи или токов, протекающих в определенных ветвях цепи. Независимый источник напряжения может быть представлен двумя схемами:



- идеальный источник напряжения

(внутреннее сопротивление  $R_{вн} \rightarrow 0$ );

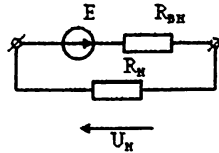


- реальный источник напряжения,

где ( $R_{вн} \neq 0$ ).

$$U = E - R_{вн} \cdot I$$

Для исследования источника ЭДС используется следующая схема:



Для определения напряжения источника и его внутреннего сопротивления используются формулы:

$$U_n = \frac{E \cdot R_n}{R_n + R_{вн}} ; \quad \begin{cases} \text{при } R_n \rightarrow \infty \text{ (обрыв)}; U_n \rightarrow E \\ \text{при } R_n = R_{вн}, U_n = \frac{E}{2} \end{cases}$$

При  $R_n = R_{вн}$  цепь работает в согласованном режиме.

График зависимости  $U_n (R_n)$  называется нагрузочной характеристикой (рис. 2.2).

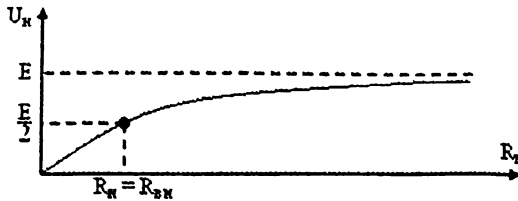


Рис. 2.2

В работе исследуется независимый источник напряжения.

## 2. Предварительный расчет

Для исследуемой цепи (рис.2.1) в соответствии с вариантом задания (табл. 2.1) рассчитать и построить графики следующих функций:

- ток в цепи  $I = E / (R_{вн} + R_n) \Rightarrow I = f(R_n)$ ;
- напряжение на нагрузке  $U_n = I \cdot R_n \Rightarrow U = f(R_n)$ ;
- мощность на нагрузке  $P_n = I^2 \cdot R_n \Rightarrow P = f(R_n)$ ;
- коэффициент полезного действия  $\eta = R_n / (R_n + R_{вн}) \Rightarrow \eta = f(R_n)$ .

Результаты расчета занести в табл. 2.2.

## Исходные данные для расчета

№ варианта	$E_2$	$R_{вн}$	$R_H$	$R_H$	$R_H$	$R_H$
	[V]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
1	2	100	50	100	200	500
2	3	50	20	50	500	1000
3	4	150	100	150	1000	2000
4	5	100	50	100	1000	2000
5	6	200	100	200	500	1000
6	7	100	50	100	200	500
7	7,5	200	100	200	500	2000
8	8	100	50	100	300	5000
9	8,5	50	10	50	1000	2000
10	9	100	50	100	500	2000

## 3. Порядок выполнения работы

Подготовка стенда к работе

3.1. Собрать схему (рис. 2.3). 3.2. Включить питание: тумблер “Сеть” – отжать.

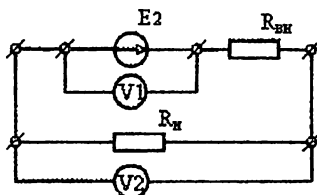


рис.2.3.



### 3.3. Последовательность измерений:

- вольтметр  $V_1$  подключить к источнику  $E_2$  и с помощью ручек регулировки выходного напряжения установить напряжение источника  $E_2$  (табл. 2.1);

- подключить вольтметр  $V_2$  к резистору  $R_n$ ;

- меняя значение  $R_n$ , измерить напряжение  $U_{R_n}$ .

### 3.4. Измерение нагрузочной характеристики источника ЭДС.

При заданном значении ЭДС источника  $E_2$  и различных значениях сопротивления нагрузки  $R_n$  (согласно данным табл. 2.1) измерить напряжение  $U_n$ . Результаты измерений и дальнейших расчетов записать в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Задано		$E_2 = V; R_{вн} = \Omega$							
$R_n,$ $\Omega$	Получено экспериментально	Расчёт по экспериментальным данным				Предварительный расчет			
		$U_n$	$I$	$P_{ист}$	$P_n$	$\eta$	$I$	$U_n$	$P_n$
[ $\Omega$ ]	[V]	[A]	[W]	[W]	-	[A]	[V]	[W]	-
1									
2									
3									
4									

## 4. Обработка результатов измерений

4.1. Зная сопротивление  $R_n$  и напряжение  $U_n$ , для схемы (рис.2.1) рассчитать:

$$\text{ток } I = U_n / R_n;$$

$$\text{мощность в нагрузке } P_n = I^2 \cdot R_n;$$

$$\text{КПД } \eta = P_{нагр} / P_{ист}, \text{ где } P_{ист} = E \cdot I = I^2 (R_n + R_{вн})$$

SHARIF MIY NOMIDAGI  
SHARIF MIY AXBOROT  
MARKAZI UNIVERSITETI

SHARIF MIY AXBOROT  
MARKAZI

Результаты расчета занести в табл. 2.2.

4.2. Построить графики зависимостей  $I = f(R_n)$ ;  $U_n = f(R_n)$ ;  $P_n = f(R_n)$ ;  
 $\eta = f(R_n)$ .

### 5. Содержание отчета

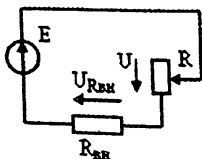
В отчете по лабораторной работе должны быть приведены:

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Электрическая схема исследуемой цепи и её исходные данные.
- 5.3. Расчетные формулы.
- 5.4. Таблицы с результатами предварительного расчета и эксперимента.
- 5.5. Графики функций  $I = f(R_n)$ ;  $U_n = f(R_n)$ ;  $P_n = f(R_n)$ ;  $\eta = f(R_n)$ .
- 5.6. Выводы по результатам исследований.

### 6. Контрольные вопросы

- 6.1. Как формулируется закон Ома для пассивного участка цепи?
- 6.2. Как формулируется закон Ома для активного участка цепи?
- 6.3. Как формулируется закон Ома для замкнутого контура?
- 6.4. Перечислите виды источников энергии, применяемые в ТЭЦ.
- 6.5. Как выглядят схемы замещения идеального и реального источника напряжения?
- 6.6. Как выглядят схемы замещения идеального и реального источника тока?

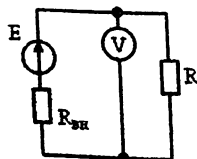
6.7. Каково соотношение между  $U$ ,  $U_{R_{вн}}$  и  $E$  для приведенной схемы?



Ответы:

- А.  $U_{R_{вн}} = 0$ ;  $E = UR$     Б.  $U_{R_{вн}} = E$ ;  $U = 0$   
В.  $U_{R_{вн}} = U$ ;  $E = 0$     Г.  $U_{R_{вн}} = 0,5 E$ ;  $U = 0,5 E$ .

6.8. Как изменится показание вольтметра при условии, если  $R$  и  $R_{вн}$  увеличить в 2 раза?

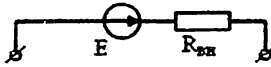


Ответы:

- А. Увеличится в 2 раза  
Б. Уменьшится в 2 раза  
В. Не изменится

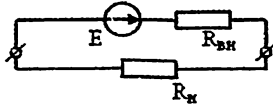
6.9. При каком сопротивлении нагрузки  $R_n$  реальный источник ЭДС можно считать идеальным?

Ответы:



А.  $R_n = R_{вн}$    Б.  $R_n \gg R_{вн}$    В.  $R_n \ll R_{вн}$

6.10. Определить напряжение на сопротивлении  $R_n$  в данной цепи при согласованном режиме работы



Дано:  $E = 20 \text{ V}$ ;  $R_{вн} = 20 \text{ }\Omega$ .

Ответы: А. 10 V.   Б. 20 V.   В. 5 V.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Экспериментальная проверка законов Кирхгофа в резистивных цепях

**Цель работы:** экспериментально убедиться в справедливости законов Кирхгофа в резистивных цепях, содержащих источники тока и напряжения.

#### 1. Краткие пояснения

Распределение токов и напряжений в электрических цепях подчиняются законам Кирхгофа.

**Первый закон Кирхгофа** – алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи равна нулю.

$$(3.1) \sum_{k=1}^n I_k = 0, \quad \text{где } n - \text{ количество ветвей, сходящихся в узле.}$$

Токи, направленные к узлу, условно принимаются положительными, а от узла – отрицательными.

**Второй закон Кирхгофа** – алгебраическая сумма ЭДС в замкнутом контуре равна алгебраической сумме падений напряжений на сопротивлениях этого контура

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{x=1}^m I_x R_x \quad (3.2)$$

где  $n$  – количество источников напряжений;  $m$  – число резистивных элементов в замкнутом контуре.

Обход контура совершается в произвольно выбранном направлении. При этом соблюдается следующее правило знаков для ЭДС и падений напряжений: ЭДС и падения напряжения, совпадающие по направлению с обходом контура, берутся со знаком «+», а не совпадающие – со знаком «-».

#### 2. Предварительный расчет

2.1. Рассчитать в соответствии с законом Ома падения напряжения на резисторах  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  в схеме (рис. 3.1).

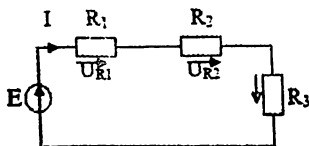


Рис. 3.1

Ток в цепи равен 
$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Падения напряжений на резисторах определяются по формулам

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = \frac{E \cdot R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$U_{R2} = I \cdot R_2 = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$U_{R3} = I \cdot R_3 = \frac{E \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Данные для расчета взять из таблицы выбора вариантов значений (табл. 3.1).

Результаты вычислений занести в таблицу результатов вычислений и измерений (табл. 3.2).

2.2. Для подтверждения второго закона Кирхгофа исследуем двухконтурную цепь, содержащую источник напряжения и три резистора (рис. 3.2).

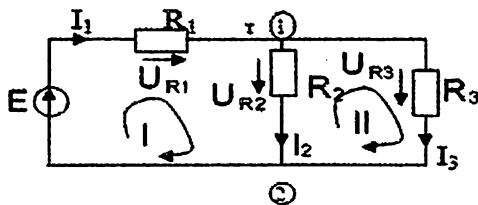


Рис. 3.2

Формулы для вычисления токов ветвей и падений напряжений на резисторах определяются на основании законов Ома и Кирхгофа:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}, \quad I_2 = \frac{E - I_1 R_1}{R_2}, \quad I_3 = \frac{E - I_1 R_1}{R_3},$$

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1; \quad U_{R2} = I_2 \cdot R_2; \quad U_{R3} = I_3 \cdot R_3.$$

Проверка правильности расчета производится на основании законов Кирхгофа:

I закон Кирхгофа:  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$  (для узла 1).

II закон Кирхгофа:

для I контура:  $E = I_1 R_1 + I_2 R_2$

для II контура:  $I_3 R_3 - I_2 R_2 = 0$

Данные для расчета взять из таблицы выбора вариантов значений (табл. 3.1).

Результаты вычислений занести в таблицу (табл. 3.3).

Таблица 3.1

Таблица выбора вариантов значений

№ стенда	E	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
	[V]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
1	2	100	200	1000
2	2,5	200	100	500
3	3	300	500	1000
4	3,5	400	200	100
5	4	500	100	200
6	4,5	600	500	100
7	5	150	200	500
8	5,5	100	200	500
9	6	200	500	100
10	7	1000	200	100

### 3. Порядок выполнения работы

3.1. Собрать цепь (рис. 3.3), в соответствии с вариантом исходных данных (табл. 3.1).

3.2. Последовательность измерений:

- вольтметр  $V_1$  подключить к источнику  $E_2$  и с помощью ручек регулирования выходного напряжения установить напряжение источника  $E_2$  (табл. 3.1);
- вольтметр  $V_2$  поочередно подключается к резисторам  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , показания вольтметра записать в табл. 3.2.

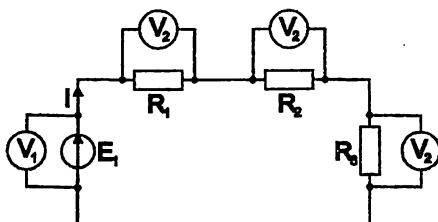


Рис. 3.3

Таблица 3.2

## Результаты вычислений и измерений

Вариант №	$E_2$	$I$	$U_{R1}$	$U_{R2}$	$U_{R3}$
	[V]	[A]	[V]	[V]	[V]
Предварительный расчет					
Эксперимент					

3.3. Собрать цепь (рис. 3.4) в соответствии с вариантом исходных данных (табл. 3.1).

3.4. Последовательность измерений:

- вольтметр  $V_1$  подключить к источнику  $E_2$  и с помощью ручек регулирования выходного напряжения установить напряжение источника  $E_2$  (табл. 3.1);

- затем вольтметр  $V_2$  поочередно подключается к резисторам  $R_1, R_2, R_3$ , показания вольтметра записать в табл. 3.3.

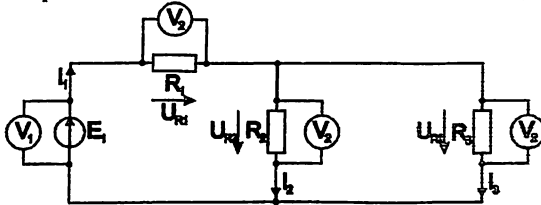


Рис 3.4

Таблица 3.3

## Результаты вычислений и измерений

Вариант №	$E_2$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$U_{R1}$	$U_{R2}$	$U_{R3}$
	[V]	[A]	[A]	[A]	[V]	[V]	[V]
Предварительный расчет							
Эксперимент							

## 4. Обработка результатов измерений

4.1. Рассчитать ток (рис. 3.3):

$$I = \frac{U_{R1}}{R_1}, \quad I = \frac{U_{R2}}{R_2}, \quad I = \frac{U_{R3}}{R_3}.$$

Значения тока  $I$  должно быть одно и тоже.

4.2. Рассчитать токи в ветвях (рис. 3.4):

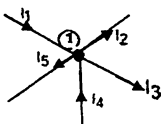
$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U_{R3}}{R_3}.$$

## 5. Содержание отчета

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Электрические схемы исследуемых цепей и их исходные данные.
- 5.3. Расчетные формулы.
- 5.4. Таблицы с результатами предварительного расчета и эксперимента.
- 5.5. Выводы по результатам исследований.

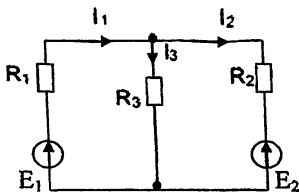
## 6. Контрольные вопросы

- 6.1. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа.
- 6.2. Какие существуют особенности при составлении уравнений по законам Кирхгофа при наличии в цепи источника тока?
- 6.3. Выберите уравнение, соответствующее первому закону Кирхгофа для узла 1.



- Ответы:
- А.  $I_1 - I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$
  - Б.  $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$
  - В.  $I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$
  - Г.  $-I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$

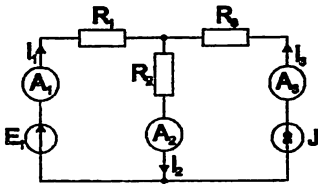
6.4. Укажите уравнение, составленное неверно, применительно к данной цепи



- Ответы:
- А.  $R_1 I_1 + R_3 I_3 = E_1$
  - Б.  $R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$
  - В.  $R_1 I_1 + R_2 I_2 = E_1 - E_2$
  - Г.  $I_1 - I_2 - I_3 = 0$



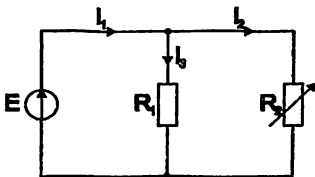
6.5. Как изменятся показания приборов, если замкнуты сопротивление  $R_3$ ?  
 В ответах обозначено:  $\uparrow$  - увеличение,  $\downarrow$  - уменьшение.



Ответы:

- ↑ А.  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $I_3$ ;
- ↑ Б.  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $I_3$ ;
- ↓ В.  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $I_3$ ;
- Г.  $I_1, I_2, I_3 = \text{const}$

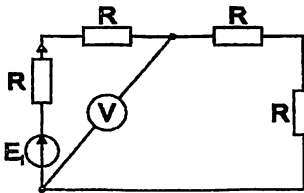
6.6. Как изменятся токи в ветвях при уменьшении сопротивления  $R_2$  при  $E = \text{const}$ ?



Ответы:

- А.  $I_1 = \text{const}$ ;  $I_2 \downarrow$ ;  $I_3$ ;
- ↓ Б.  $I_1 \downarrow$ ;  $I_2 \downarrow$ ;  $I_3$ ;
- ↑ В.  $I_1 \uparrow$ ;  $I_2$ ;  $I_3$ ;
- ↑ Г.  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $I_3 = \text{const}$ .

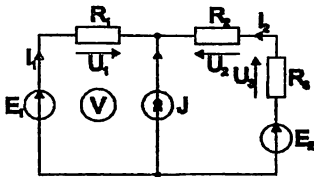
6.7.  $R=10 \Omega$ ,  $E_1 = 30 \text{ V}$ ,  $E_2 = 10 \text{ V}$



Ответы:

- А. 30 В.
- Б. 10 В.
- В. 20 В.
- Г. 40 В.

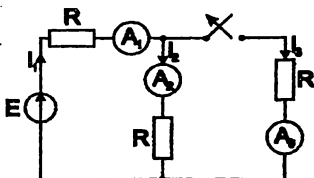
6.8. Укажите уравнение, составленное неверно применительно к данной цепи.



Ответы:

- А.  $I_1 + I_2 + I_3 = 0$ .
- Б.  $-U_1 + U_2 + U_3 = E_2 - E_1$ .
- В.  $-I_1 - I_2 - I_3 = 0$ .
- Г.  $U_1 - U_2 + U_3 = E_1 - E_2$ .

6.9. Как изменятся показания приборов для размыкания ключа при  $E = \text{const}$ ?



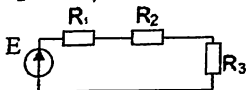
Ответы:

- ↑ А.  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $I_3 = 0$ ;
- ↓ Б.  $I_1 \downarrow$ ;  $I_2 \downarrow$ ;  $I_3$ ;
- ↑ В.  $I_1 \downarrow$ ;  $I_2$ ;  $I_3$ ;
- ↓ Г.  $I_1 \uparrow$ ;  $I_2$ ;  $I_3 = \text{const}$ .

6.10. Изменятся ли величины токов в схеме рис. 3.2, если сопротивление  $R_3$  замкнуть накоротко?

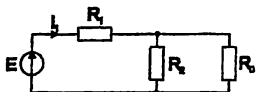
6.11. Для полной проверки законов Кирхгофа можно ли было обойтись схемой с одним источником?

6.12. Определите напряжение на резисторе  $R_3$ , если  $E = 10 \text{ V}$ ,  $R_1 = 1 \Omega$ ,  $R_2 = 3 \Omega$ ,  $R_3 = 6 \Omega$ .



- Ответы: А. 10 V;  
Б. 1 V;  
В. 6 V;  
Г. 4 V;  
Д. 2 V.

6.13. Определить ток  $I_1$ , если  $E = 10 \text{ V}$ ;  $R_1 = 6 \Omega$ ;  $R_2 = R_3 = 8 \Omega$ .



- Ответы: А. 1 A;  
Б. 2 A;  
В. 0,5 A;  
Г. 4 A;  
Д. 10 A.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Исследование $RL$ - и $RC$ -цепей при гармоническом воздействии

**Цель работы:** научиться экспериментально определять действующие значения напряжений, а также сдвиг фаз между током и напряжениями  $RC$ - и  $RL$ -цепей на разных частотах; познакомиться с работой фазометра и его применением для измерения разности фаз между двумя гармоническими величинами.

#### 1. Краткие пояснения

Пусть через некоторый пассивный элемент протекает ток

$$i = I_m \cos(\omega t + \Psi). \quad (4.1)$$

Найдем соотношение между амплитудами и начальными фазами гармонических колебаний напряжения и тока в элементе, при согласном выборе их положительных направлений. В резисторе

$$u_R = R \cdot i = RI_m \cos(\omega t + \Psi) = U_{Rm} \cos(\omega t + \Psi). \quad (4.2)$$

Отсюда следует, что соотношение между амплитудами тока и напряжения на резистивном сопротивлении будут  $U_{Rm} = RI_m$ . Фазы этих колебаний совпадают. Другими словами, колебания тока и напряжения в резисторе находятся в фазе. Их векторная диаграмма приведены на рис.4.1.

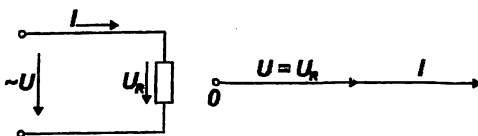


Рис.4.1. Схема резистивной цепи и ее векторная диаграмма

При протекании через индуктивную катушку электрической цепи гармонического тока (4.1) напряжение на индуктивности будет изменяться по закону

$$u_L = L \frac{di}{dt} = -\omega LI_m \sin(\omega t + \Psi) = \omega LI_m \cos(\omega t + \Psi + \frac{\pi}{2}). \quad (4.3)$$

Следовательно, между амплитудами гармонических колебаний напряжения и тока в индуктивности существует зависимость

$$U_{mL} = \omega LI_m. \quad (4.4)$$

Сравнение выражений (4.1) и (4.3) показывает, что гармонические колебания тока отстают по фазе от колебания напряжения в индуктивности

на угол  $\varphi = \pi/2$  или гармонические колебания напряжения опережают по фазе колебания тока в индуктивности на угол  $\pi/2$ .

Если в электрических цепях (рис. 4.2) содержатся последовательно соединенные резистивное и индуктивное сопротивление (сокращенно  $RL$ -цепи), ток будет отставать от напряжения на угол  $0 < \varphi < \pi/2$ . Ток  $I$ , напряжения на резисторе  $U_R$  и на индуктивности  $U_L$ , сдвиг фаз между приложенным напряжением и током  $\varphi = \Psi_U - \Psi_I$  определяются из выражений:

$$I = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}; \quad (4.5)$$

$$U_R = RI = U \frac{R}{z} = \frac{RU}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}; \quad (4.6)$$

$$U_L = \omega LI = U \frac{\omega L}{z} = \frac{\omega LU}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}; \quad (4.7)$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R} = \arctg \frac{U_L}{U_R}. \quad (4.8)$$

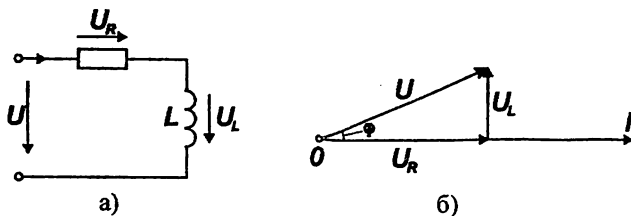


Рис. 4.2. а) схема последовательной  $RL$ -цепи; б) векторная диаграмма

При гармоническом напряжении  $u = U_m \cos(\omega t + \Psi)$  ток на емкости:

$$i_c = C \frac{du}{dt} = -\omega C U_m \sin(\omega t + \Psi) = \omega C U_m \cos(\omega t + \Psi + \frac{\pi}{2}), \quad (4.9)$$

следовательно, кривая напряжения отстает от кривой тока на угол  $\pi/2$ .

Связь между амплитудами гармонических колебаний напряжения и тока в емкости определяется соотношением

$$I_{mC} = \omega C U_m.$$

В схемах со смешанными параметрами – при наличии резистора и емкости (рис.4.3), напряжение отстает от тока на угол  $-\pi/2 < \varphi < 0$ . Величины тока и напряжения на элементах  $RC$ -цепи определяются из выражений:

$$I = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad (4.10)$$

$$U_R = RI = U \frac{R}{z} = \frac{RU}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad (4.11)$$

$$U_C = \frac{I}{\omega C} = \frac{U}{\omega C z} = \frac{U}{\omega C \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}; \quad (4.12)$$

$$\varphi = -\arctg \frac{1}{\omega CR} = -\arctg \frac{U_C}{U_R}. \quad (4.13)$$

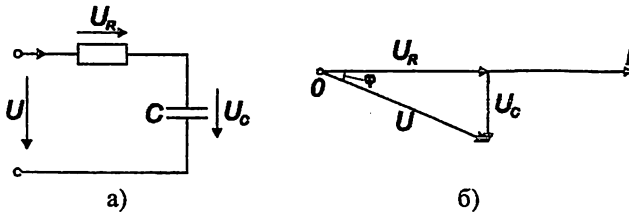


Рис. 4.3. а) схема последовательной  $RC$ -цепи; б) векторная диаграмма

На рис. 4.4 приведены графики зависимостей действующих значений напряжений от частоты на реактивных элементах схем рис. 4.2 и 4.3.

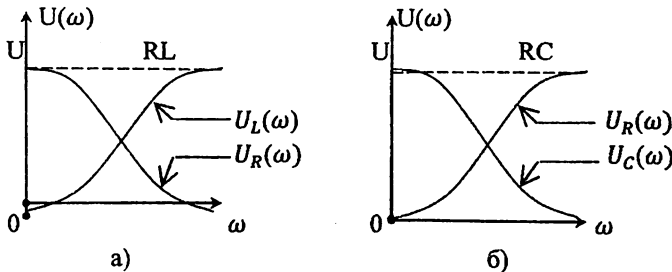


Рис. 4.4

На рис. 4.5 (кривые 1 и 2) приведены графики зависимости угла сдвига фаз между приложенным напряжением и током для  $RL$  – цепи (рис. 4.2, а) и  $RC$  – цепи (рис. 4.3, а).

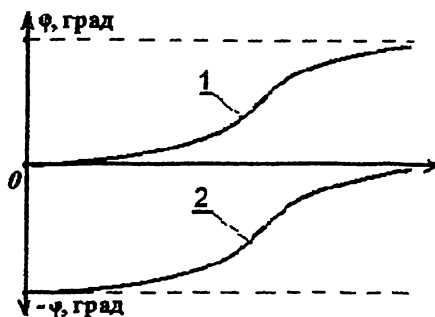


Рис.4.5

Активная  $P$ , реактивная  $Q$  и полная  $S$  мощности для обеих схем определяются по формулам:

$$P=R \cdot I^2=U \cdot I \cdot \cos \varphi, \text{ W}; \quad (4.14)$$

$$Q=X \cdot I^2=U \cdot I \cdot \sin \varphi, \text{ V} \cdot \text{Ar}; \quad (4.15)$$

$$S=Z \cdot I^2=U \cdot I, \text{ V} \cdot \text{A}. \quad (4.16)$$

## 2. Предварительный расчёт

2.1. Для исследуемой  $RL$  – цепи (рис.4.2,а) при  $U = 2\text{V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$  и  $L$  (см. табл. 4.1) рассчитать по формулам (4.6) - (4.8) и построить графики  $U_R(f)$ ,  $U_L(f)$ ,  $\varphi(f)$  на частотах  $f = (0,2; 0,5; 1; 1,5; 2) f_r$ , где  $f_r = \frac{R}{2\pi L}$ . Результаты расчётов занести в табл.4.2.

Для исследуемой  $RC$  – цепи (рис.4.3,а) при  $U = 2\text{V}$ ,  $R = 1 \text{ k}\Omega$  и  $C$  (см. табл.4.1) рассчитать по формулам (4.11) - (4.13) и построить графики  $u_R(f)$ ,  $u_C(f)$ ,  $\varphi(f)$  на частотах  $f = (0,2; 0,5; 1; 1,5; 2) f_r$ , где  $f_r = \frac{1}{2\pi RC}$ . Результаты расчётов занести в табл.4.2.

2.2. Построить векторную диаграмму тока и напряжений на элементах на частоте  $f_r$ .

## Дополнительное задание

2.3. Рассчитать активную, реактивную и полную мощности на частоте  $f = f_r$ , построить треугольник мощностей.

Таблица 4.1

Значения параметров элементов

Номер стенда	L	C	Номер стенда	L	C
	mHn	nF		-	mHn
1	L=10	----	6	----	C=50
2	----	C=10	7	L=30	----
3	L=50	----	8	----	C=30
4	----	C=20	9	L=50	----
5	L=20	----	10	----	C=50

### 3. Выполнение работы

Собрать схему, приведённую на рис. 4.6.

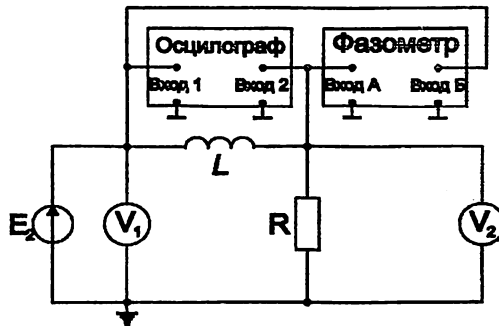


Рис. 4.6. Исследуемая схема  $RL$ -цепи

При сборке схемы в качестве  $e_2$  используется выход «G→2» генератора частот. С помощью регулятора напряжения на блоке генератора « $U_{\text{вых}}$ » установить напряжение  $U = 2\text{V}$ . Контроль за уровнем входного напряжения осуществлять с помощью вольтметра  $V_1$  и поддерживать его постоянным на всех частотах. Измерить напряжение на сопротивлении  $U_R$  (вольтметром  $V_2$ ) и угол сдвига фаз  $\varphi$  между входным напряжением и током с помощью фазометра на частотах, рассчитанных в п. 2.1. Напряжение на индуктивности определяется по формуле

$$U_L = \sqrt{U^2 - U_R^2}.$$

Результаты измерений заносятся в табл. 4.2. На частоте  $f = f_T$  срисовать с экрана осциллографа кривые напряжений  $u(t)$  – канал А и  $u_R(t)$  – канал Б. Для получения устойчивого изображения кривых на экране

осциллографа поставить положения регуляторов в следующие положения: «ВОЛЬТ/ДЕЛ» - 2 В / дел; «ВРЕМЯ/ДЕЛ» - 1 мс / дел.

Для исследования цепи RC в схеме, приведённой на рис. 4.5, индуктивность заменяется на ёмкость, и выполняются измерения  $u_R$  и  $\varphi$  так же, как и при исследовании RL – цепи. Напряжение на ёмкости определяется по формуле

$$U_C = \sqrt{U^2 - U_R^2}.$$

Результаты измерений заносятся в табл.4.2. На частоте  $f = f_T$  срисовать с экрана осциллографа кривые  $u_R(t)$  и  $u(t)$ .

Таблица 4.2

		Результаты расчёта и измерений					
		f	0,2 f <sub>T</sub>	0,5 f <sub>T</sub>	f <sub>T</sub>	1,5 f <sub>T</sub>	2 f <sub>T</sub>
		f, kHz					
Рассчитано	$U_R$ , [V].						
	$\varphi$ , [град]						
	$U_L$ или $U_C$ , [V].						
Измерено	$U_R$ , [V].						
	$\varphi$ , [град].						
	$U_L$ или $U_C$ , [V].						

#### 4. Содержание отчёта

Отчёт должен содержать:

- 4.1. Наименование, цель работы.
- 4.2. Схемы измерений.
- 4.3. Формулы расчёта.
- 4.4. Таблица с результатами предварительного расчёта и измерений.
- 4.5. Графики частотных характеристик  $u_R(f)$ ,  $u_L(f)$  или  $u_C(f)$ ,  $\varphi(f)$ .
- 4.6. Графики мгновенных значений входного напряжения и тока на частоте  $f = f_T$ .
- 4.7. Векторные диаграммы тока и напряжений на элементах цепи на частоте  $f = f_T$ .



### Дополнительно

- 4.8. Результаты теоретического и экспериментального определения активной, реактивной и полной мощности на частоте  $f = f_r$ .
- 4.9. Краткие выводы из сравнения результатов предварительного расчёта и эксперимента.

### 5. Контрольные вопросы

- 5.1 . Какие токи и напряжения называются гармоническими? Какими параметрами они характеризуются?
- 5.2 . Что называют действующим значением периодического колебания и как оно определяется?
- 5.3 . Какими соотношениями связаны амплитуды (действующие значения) гармонического тока и напряжения на резистивном сопротивлении, индуктивности, ёмкости?
- 5.4 . Что называется углом сдвига фаз?
- 5.5 . Как сдвинут по фазе ток и напряжение на резистивном сопротивлении, индуктивности, ёмкости?
- 5.6 . Как определяется активное, реактивное и полное сопротивления для RL и RC цепей?
- 5.7 . Как определяется активная, реактивная и полная мощности?
- 5.8 . Что называется векторной диаграммой?
- 5.9 . Нарисуйте векторную диаграмму для последовательной RLC цепи для случаев: а)  $X_L < X_C$  б)  $X_L > X_C$ .
- 5.10. Как изменяются напряжения на элементах цепей рис. 4.2 и рис.4.3 при увеличении частоты входного напряжения?
- 5.11. Как будет изменяться активная мощность, выделяемая в цепях (рис. 4.2 и рис. 4.3), при увеличении частоты  $f$  и неизменном значении напряжения  $U$ ?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Исследование переходных процессов в RC и RL- цепях

**Цель работы:** исследование переходных процессов в последовательных RL- и RC- цепях; изучение влияния параметров этих цепей на характер переходного процесса.

#### 1. Краткие пояснения

Переходный процесс исследуется в RC- цепи, изображённой на рис.5.1,а. Входной сигнал задаётся источником напряжения  $u_{вх}$  и представляет собой периодическую последовательность однополярных прямоугольных импульсов (см. рис.5.1,б).

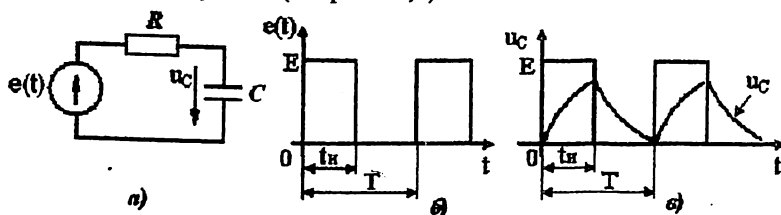


Рис. 5.1. Исследуемая RC-цепь (а), входное напряжение (б), напряжение на ёмкости (в)

Напряжение на входе RC- цепи (рис. 5.1,а)  $e(t) = E = u_R + u_C$ . Если учесть, что  $u_R = Ri$  и  $i = Cdu_C/dt$ , то переходной процесс в RC-цепи описывается дифференциальным уравнением

$$E = RC(du_C/dt) + u_C, \quad (5.1)$$

которому соответствует решение

$$u_C = u_{Cсп} + u_{Cсв} = E - E \exp(-t/\tau), \quad u_R = E \exp(-t/\tau), \quad (5.2)$$

где  $\tau = RC$  - постоянная времени RC-цепи, которая равна времени, в течение которого свободная составляющая тока или напряжения в цепи уменьшится по сравнению с его начальным значением в  $e = 2,73$  раза. Постоянную времени  $\tau$  можно найти графически как длину подкасательной, проведённой в любой точке графика свободного процесса, и в частности через начальную точку графика (рис. 5.2,а).

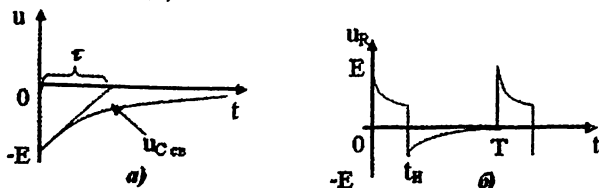


Рис. 5.2. Свободная составляющая напряжения на ёмкости (а), напряжение на сопротивлении (б)

Реакция на прекращение импульса в интервале  $t_H \leq t \leq T$ , т.е. при  $u_{вх} = 0$  описывается выражениями

$$u_C = u_C(t_H) \exp(-(t - t_H)/\tau); \quad u_R = -u_C, \quad (5.3)$$

где  $u_C(t_H) = E(1 - \exp(-t_H/\tau))$ .

Графики напряжений на емкости  $u_C$ , и сопротивлении  $u_R$  согласно (5.3) показаны на рис.5.1,в и рис.5.2,б.

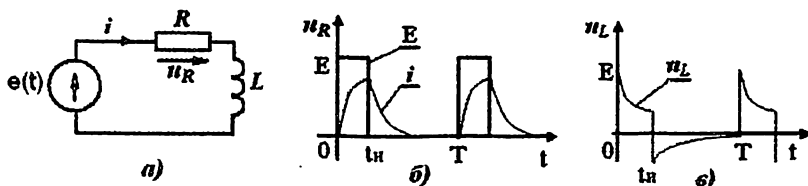


Рис.5.3. RL-цепь (а), напряжение на сопротивлении (б), напряжение на индуктивности (в)

На входе RL-цепи (рис. 5.3,а) действует тот же самый сигнал, что и раньше (рис. 5.1,б). Переходной процесс в такой цепи описывается дифференциальным уравнением  $u_{вх} = u_R + u_L = Ri + Ldi/dt$ , которому соответствует характеристическое уравнение  $R + Lp = 0$  и его корень  $p_1 = -R/L = -1/\tau$ , где  $\tau = L/R$  - постоянная времени RL - цепи.

При  $0 \leq t \leq t_H$  напряжение на сопротивлении  $u_R$  и индуктивности  $u_L$  описываются выражениями, соответствующими прекращению импульса, эквивалентному короткому замыканию цепи на входе  $u_L = E \exp(-t/\tau); u_R = E - u_L = E(1 - \exp(-t/\tau))$  (5.4) в интервале  $t_H \leq t \leq T$  ( $u_{вх} = 0$ ) и описывается выражениями

$$u_R = u_R(t_H) \exp(-(t - t_H)/\tau); \quad u_L = -u_R, \quad (5.5)$$

где  $u_R(t_H) = E(1 - \exp(-t_H/\tau))$ .

Графики  $u_R$ ,  $u_L$  описываемые выражениями (5.4) и (5.5) представлены на рис. 5.3,б и в.

Необходимо учитывать, что приведённые выше формулы расчета напряжений на ёмкости  $u_C$ , индуктивности  $u_L$  и сопротивлении  $u_R$

справедливы для цепей, у которых постоянная времени  $\tau \leq T/6$ , при которой к приходу следующего прямоугольного импульса переходной процесс практически закончится.

Для периодической последовательности положительных прямоугольных импульсов, у которых  $t_{И} = T/2$ , при  $\tau \leq T/6$   $u_C(t_{И}) \cong E$  в RC-цепи и  $u_R(t_{И}) \cong E$  в RL-цепи, к моменту окончания импульса переходной процесс практически заканчивается. При этом существенно упрощаются расчётные формулы:

для RC-цепи при  $t_{И} \leq t \leq T$

$$u_C = E \exp(-(t - t_{И})/\tau); \quad u_R = -u_C, \quad (5.6a)$$

для RL-цепи при  $t_{И} \leq t \leq T$

$$u_R = E \exp(-(t - t_{И})/\tau); \quad u_L = -u_R \quad (5.7a)$$

Если за начало отсчёта времени в интервале  $t_{И} \leq t \leq T$  принять  $t_{И} = 0$ , то расчётные формулы (5.6), (5.7) упрощаются:

для RC-цепи

$$u_C = E \exp(-t/\tau); \quad u_R = -u_C, \quad (5.6b)$$

для RL-цепи

$$u_R = E \exp(-t/\tau); \quad u_L = -u_R \quad (5.7b)$$

## 2. Предварительный расчёт

2.1. Рассчитать постоянную времени  $\tau$  цепи RC (рис. 5.1,а) по формуле  $\tau = RC$ . Значения C и R определяется номером варианта (см. табл. 5.1).

Таблица 5.1

Параметры элементов RC - цепи

Вариант №	E, V	C, nF	R, kΩ	Вариант №	E, V	C, nF	R, kΩ
1	0,2	10	20	6	0,3	50	7
2	0,4	20	10	7	0,5	60	5
3	0,6	30	7	8	0,7	70	3

4	0,8	40	5	9	0,9	80	2
5	1,0	50	3	10	1,0	100	1

2.2. Рассчитать постоянную времени  $\tau$  цепи RL (рис. 5.3) по формуле  $\tau = L/R$ . Значение  $L$  и  $R$  определяется номером варианта в соответствии с табл. 5.2.

Таблица 5.2

Параметры элементов RL – цепи

Вариант №	E, V	L, мHн	R, $\Omega$	Вариант №	E, V	L, мHн	R, $\Omega$
1	0,2	10	100	6	0,3	35	300
2	0,4	20	200	7	0,5	50	500
3	0,6	30	300	8	0,7	70	700
4	0,8	35	400	9	0,9	80	800
5	1,0	50	500	10	1,0	85	1000

2.3. Для RC-цепи (см. рис.5.1,а) при параметрах  $R$ ,  $C$  и  $E$ , взятых из табл. 5.1, при частоте следования прямоугольных импульсов  $f = 500$  Hz и скважности  $q = T / t_n = 2$  рассчитать временные зависимости напряжения на ёмкости  $u_C(t)$  и напряжения на сопротивлении  $u_R(t)$ , для  $t = 0; 0,1T; 0,2T; 0,5T; 0,6T; 0,7T; T$ . Результаты расчета занести в табл. 5.3.

2.4. Для RL-цепи (см. рис.5.3,а) для значений  $R$ ,  $L$  и  $E$ , взятых из табл. 5.2, при частоте следования прямоугольных импульсов (см. рис.5.1,б)  $f = 500$  Hz, и скважности  $q = T / t_n = 2$  рассчитать временные зависимости напряжения на индуктивности  $u_L(t)$ , напряжения на сопротивлении  $u_R(t)$  для  $t = 0; 0,1T; 0,2T; 0,5T; 0,6T; 0,7T; T$ .

Результаты расчетов свести в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Результаты предварительного расчета и измерений

Формулы для расчета		RC(5.2); RL(5.4)				RC(5.3); RL(5.5)			
t		0	0,1T	0,2T	0,5T	0,5T	0,6T	0,7T	T
t, мкс									

$U_{R,B}$	Расч.								
	Изм.								
$U_{L,B}$	Расч.								
	Изм.								
$U_{C,B}$	Расч.								
	Изм.								

### 3. Выполнение работы

#### 3.1. Исследование переходного процесса в $RL$ -цепи

Собрать схему, приведённую на рис.5.4.

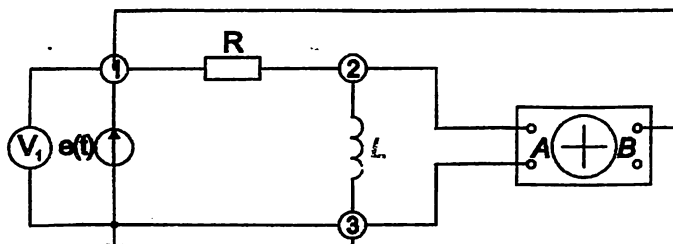


Рис.5.4. Исследование переходного процесса в  $RL$ -цепи

Установить параметры элементов цепи согласно требуемому номеру варианта (см. табл. 5.3).

Схема рис. 5.4 позволяет исследовать переходной процесс в  $RL$ - цепи при включении её на постоянное напряжение  $E$  (интервал  $0 \leq t \leq t_n$ ) и при коротком замыкании цепи  $RL$  (интервал  $t_n \leq t \leq T$ ). В данном случае на экране осциллографа можно наблюдать осциллограммы напряжения на индуктивности  $u_L(t)$  и входного напряжения  $u_{вх}(t) = e(t)$ . Для получения осциллограммы напряжения на сопротивлении  $u_R(t)$  необходимо в схеме рис.5.4 индуктивность и сопротивление поменять местами.

Изменяя скорость развёртки и усиление  $A$  и  $B$  каналов осциллографа выполнить его настройку таким образом, чтобы было удобно срисовать с его экрана осциллограммы с соблюдением масштаба и выполнить по ним необходимые измерения. Результаты измерений заносятся в табл. 5.3.

### 3.2. Исследование переходного процесса в RC-цепи

Для исследования переходного процесса в RC - цепи в схеме рис. 5.4. достаточно индуктивность  $L$  заменить на ёмкость  $C$ . Параметры элементов новой схемы устанавливаются согласно требуемому номеру варианта (см. табл. 5.1).

Изменяя скорость развёртки и усиление А и В каналов осциллографа выполнить его настройку таким образом, чтобы было удобно срисовать с его экрана осциллограммы с соблюдением масштаба и выполнить по ним необходимые измерения. Результаты измерений заносятся в табл. 5.3.

### 4. Содержание отчёта

В отчёте по лабораторной работе должны быть приведены:

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Электрическая схема исследуемой цепи и её исходные данные.
- 4.3. Расчётные формулы и результаты предварительного расчёта и измерений.
- 4.4. Графики, полученные в результате измерений (осциллограммы).
- 4.5. Выводы по результатам исследований.

### 5. Контрольные вопросы

5.1. Постоянная времени цепи RL равна:

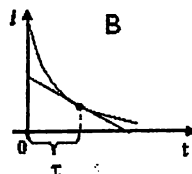
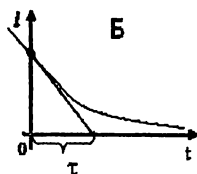
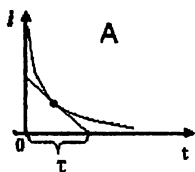
Ответы: А)  $L/R$  Б)  $LR$  В)  $R/L$

5.2. Постоянная времени цепи RC равна:

Ответы: А)  $1/(RC)$  Б)  $RC$  В)  $C/R$

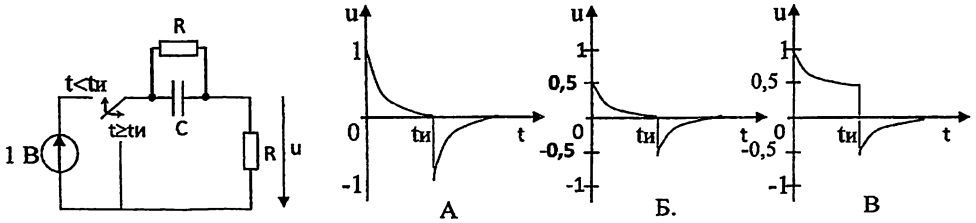
5.3. Графическое определение  $\tau$  ведётся согласно рисунку:

Ответы:



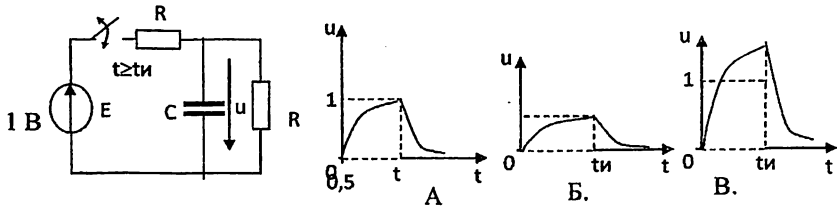
5.4. График переходного напряжения  $u$  на выходе цепи:

Ответы:

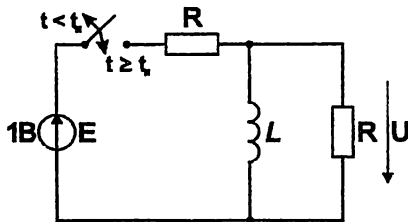


5.5. График переходного напряжения  $u$  на выходе цепи:

Ответы:



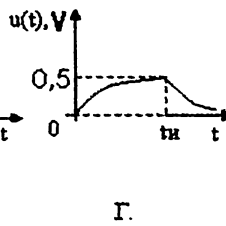
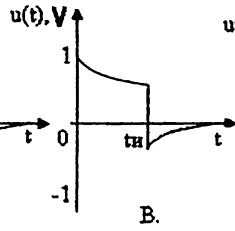
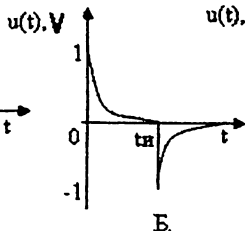
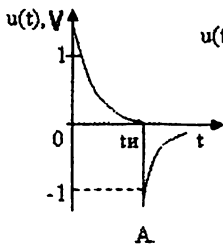
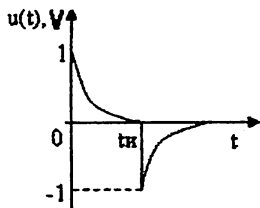
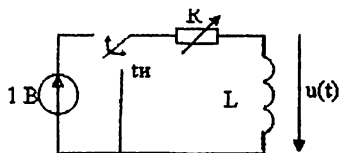
5.6. Используя ответы задания 5.4 указать график переходного напряжения  $u$  для цепи:



5.7. Цепи RC соответствует выходное напряжение вида  $u(t)$ . Как изменится форма этого напряжения при уменьшении  $R$  в 2 раза?

5.8. Цепи RL соответствует выходное напряжение вида  $u(t)$ . Как изменится форма этого напряжения при увеличении  $R$  в 2 раза?





## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Исследование цепей с распределенными параметрами

**Цель работы:** Изучение и исследование установившихся синусоидальных режимов работы однородных двухпроводных линий без потерь, являющихся частным случаем линий без искажения.

#### 1. Краткие пояснения

Однородная двухпроводная линия является распространенным примером цепи с распределенными параметрами. Напряжения и ток в линии являются функциями двух независимых переменных: пространственной координаты  $x$ , определяющей место наблюдения, и времени  $t$ , определяющего момент наблюдения. Элементарный участок линии с равномерно распределенными параметрами показан на рис. 6.1.

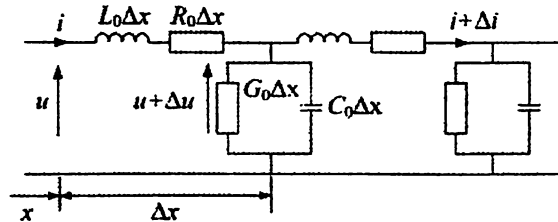


Рис.6.1. Элементарный участок линии с равномерно распределенными параметрами.

Здесь обозначены **первичные** параметры однородной линии на единицу длины:

$R_0$  – активное сопротивление, Ом;

$L_0$  – индуктивность, Гн;

$C_0$  – емкость, Ф;

$G_0$  – проводимость изоляции между проводами, См.

Ко **вторичным** параметрам линии относятся:

$Z_B$  – волновое сопротивление, Ом;

$\beta$  – коэффициент фазы, рад/км;

$\alpha$  – коэффициент затухания, Нп/км;

$\gamma = \alpha + j\beta$  – постоянная распространения, (1/км);

$\lambda$  – длина электромагнитной волны, км;

$v$  – скорость распространения электромагнитной волны.

Линией без искажения является линия, у которой форма сигнала в начале и конце линии одинакова. Это условие выполняется, если коэффициент затухания линии и, соответственно, фазовая скорость на всех частотах одинаковы. Для неискаженной передачи сигналов требуется, чтобы коэффициент затухания  $\alpha$  не зависел от частоты, а коэффициент фазы  $\beta$  был прямо пропорционален частоте.

Линиями без потерь называют линии, у которых  $R_0 \ll \omega L_0$  и  $G_0 \ll \omega C_0$ . Электромагнитные волны вдоль таких линий распространяются без затухания.

Если в начале однородной двухпроводной линии подключен источник синусоидального напряжения с угловой частотой  $\omega$ , а в конце — приемник с комплексным сопротивлением  $Z_2$ , то напряжение и ток на расстоянии  $x$  от конца линии могут быть найдены по формулам:

$$\dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos \beta x + j I_2 Z_B \sin \beta x, \quad (6.1)$$

$$\dot{I}(x) = j \frac{U_2}{Z_B} \sin \beta x + I_2 \cos \beta x$$

Здесь  $\dot{I}_2$  и  $\dot{U}_2 = I_2 Z_2$  — комплексы тока и напряжения в конце линии.

Линией без искажения является линия, у которой форма сигнала в начале и конце линии одинакова. Это условие выполняется, если коэффициент затухания линии и, соответственно, фазовая скорость на всех частотах одинаковы. Для неискаженной передачи сигналов требуется, чтобы коэффициент затухания  $\alpha$  не зависел от частоты, а коэффициент фазы  $\beta$  был прямо пропорционален частоте.

Линиями без потерь называют линии, сопротивление проводов которых  $R_0$  и проводимость утечки между проводами  $G_0$  равны нулю. Электромагнитные волны вдоль таких линий распространяются без затухания.

Коэффициент затухания определяется по формуле:

$$\beta = \omega \sqrt{L_0 C_0} \quad (6.2)$$

Волновое сопротивление линии без потерь является действительным числом и определяется по формуле:

$$Z_B = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = Z_B \quad (6.3)$$

Длина электромагнитной волны будет равна:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (6.4)$$

Скорость распространения электромагнитной волны определяется как:

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}} \quad (6.5)$$

Время, когда волна достигнет конца линии, рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{Зад}} = \frac{l}{v} \quad (6.6)$$

Если в линии без потерь сопротивление нагрузки отличается от волнового, то в месте присоединения нагрузки возникают отражения.

Итак, в линии без потерь напряжение и ток могут быть представлены как сумма и как разность двух волн, движущихся с одинаковой скоростью (формула (6.5)) в противоположных направлениях без изменения их формы. При этом в любой точке линии отношение напряжения и тока для прямой и обратной волны равно волновому сопротивлению.

В предельном случае, когда линия на конце разомкнута, падающая волна встречает бесконечно большое сопротивление, ток в конце линии обращается в нуль. Напряжение на разомкнутом конце линии удваивается, и возникает отраженная волна напряжения того же знака, что и падающая. Когда отраженная волна достигает начала линии, она опять отражается с коэффициентом отражения равным  $-1$  (т.к. сопротивление источника ЭДС ничтожно мало). Через время, равное времени  $3t_{\text{Зад}}$ , отраженная волна достигает конца линии, в результате чего суммарное напряжение в конце линии будет равно нулю.

В случае замыкания накоротко конца линии падающая волна встречает сопротивление, равное нулю, напряжение в конце линии обращается в нуль, а ток в конце линии удваивается. При этом возникает отраженная волна, знак которой противоположен знаку падающей волны.

В тех режимах работы линии, когда отсутствует передача энергии от источника к приемнику, в результате наложения двух бегущих в противоположные стороны волн одинаковой амплитуды образуются стоячие волны. Расстояние между соседними пучностями тока (напряжения) составляют половину длины волны, а пучности тока сдвинуты относительно пучностей напряжения на  $\lambda/4$  (иными словами, совпадают с узлами напряжения и наоборот). В частности, в режиме короткого замыкания  $U_2=0$  и

ток  $I(x) = I_2 \cos \beta x$ , т.е. в конце линии существует пучность тока и узел напряжения.

В режиме холостого хода, наоборот, в конце линии существует узел тока ( $I_2=0$ ) и пучность напряжения; при этом  $I(x) = j \frac{U_{2x}}{Z_B} \sin \beta x = j I_2' \sin \beta x$ , где  $I_2'$  - действующее значение тока на расстоянии  $\lambda/4$  от конца линии. При чисто реактивной нагрузке с сопротивлением  $0 < x_2 < \infty$  пучности тока и напряжения смещаются от конца линии, причем смещение определяется отношением  $x_2/Z_B$ .

Если нагрузка на конце линии имеет активную составляющую, то узловые точки на линии отсутствуют, однако результирующие напряжения и токи по-прежнему распределяются волнообразно вдоль всей линии, образуя бегущие волны.

Т.к. волновое сопротивление является чисто активным, то при согласованной нагрузке ( $Z_H=Z_B$ ) изменяются только фазы тока и напряжения вдоль линии, а амплитуды остаются неизменными.

## 2. Выполнение работы

Соберите исследуемую схему линии без потерь (рис. 6.3), выбрав необходимый блок длинной линии согласно варианту (рис. 6.2)

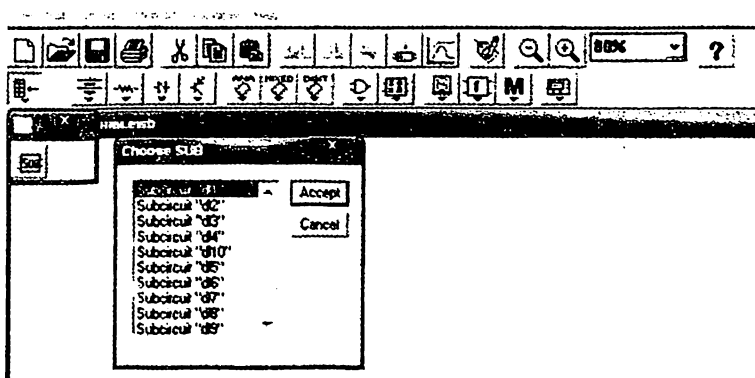


Рис. 6.2. Блоки длинной линии

Частоту источника ЭДС установить равной  $f=10^6$  Гц. На вход подается напряжение синусоидальной формы  $U_1=220$  В. Рассчитать вторичный

параметр  $Z_B$  по уравнению (6.3), приняв значение первичных параметров согласно табл. 6.1.

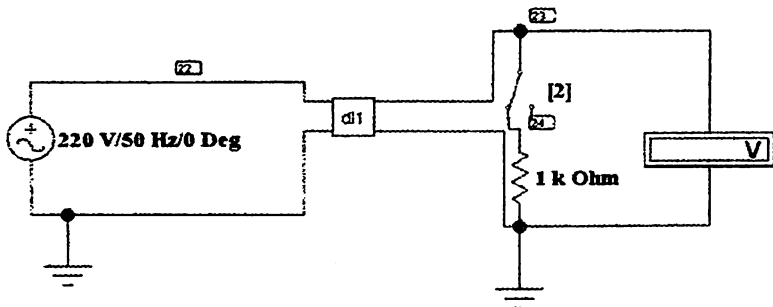


Рис. 6.3. Схема линий без потерь

Таблица 6.1

Вариант №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$l, \text{ м}$	1000	1000	1000	1000	1000	500	500	500	500	500
$L_0, \text{ мкГн}$	1	2	0,5	0,25	4	1	0,25	0,5	2	0,125
$C_0, \text{ нФ}$	1	0,5	2	4	0,25	0,25	1	0,5	0,125	2

2.1. Переключатели установить в исходное состояние согласно схеме рис.6.3. Величину сопротивления нагрузки линии принять равной значению волнового сопротивления (6.3).

2.2 . Определить по формуле (6.5) фазовую скорость (скорость распространения волны), а затем рассчитать время задержки сигнала  $t_{\text{зад}}$  по формуле (6.6).

2.3. Убедиться по осциллограммам входного и выходного напряжений линии при согласованной нагрузке, что фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями при длине линии, кратной длине волны, отсутствует. Для этого необходимо использовать меню диалогового окна команды **Transient Analysis** по пути **Analysis<Transient**. Время начала расчёта **TSTART** установить равным нулю, время окончания **TSTOP** рассчитать по формуле  $3t_{\text{зад}}$ .

2.4. По формуле (6.2) рассчитать коэффициент фазы  $\beta$ , а затем по формуле (6.4) определить длину волны  $\lambda$ . Напряжение на выходе линии появиться с запозданием на некоторое время. Измерить время задержки и сравнить, его с расчетным значением. Для этого необходимо переместить первый визир курсором мыши, установив курсор на верхний треугольник визира и протянув его при нажатой левой кнопке мыши. Параметр  $x1$  и будет соответствовать времени задержки (рис. 6.4).

2.5. Исследовать режим холостого хода. Снять осциллограмму напряжений вначале и в конце линии, установив параметр TSTOP равным  $7t_{\text{зад}}$ .

2.6. Исследовать режим бегущей волны. Для этого в схеме рис. 6.3 изменить блок dl на dl\_beg под номером заданного варианта (рис. 6.5). Значения первичных параметров соответствуют данным табл. 6.1. Длина линии  $l=100$  м. Снять осциллограмму входного и выходного напряжений. При этом установить параметр TSTOP равным  $3t_{\text{зад}}$ . Аналогично п. 4 определить  $t_{\text{зад}}$ , соответствующее новой длине линии.

2.7. Рассчитать коэффициент фазы по формуле (6.2) и сравнить его со значением  $\beta_3$ , полученным в результате моделирования (6.7). Для этого необходимо определить период  $T=1/f$ .

$$\beta_3 = \frac{t_{\text{зад}}}{T l} \cdot 2\pi \quad (6.7)$$

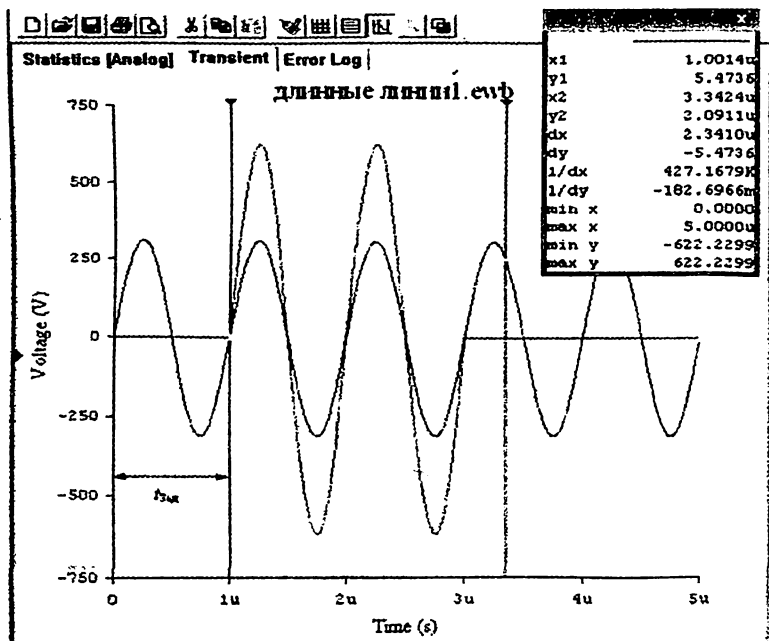


Рис. 6.4

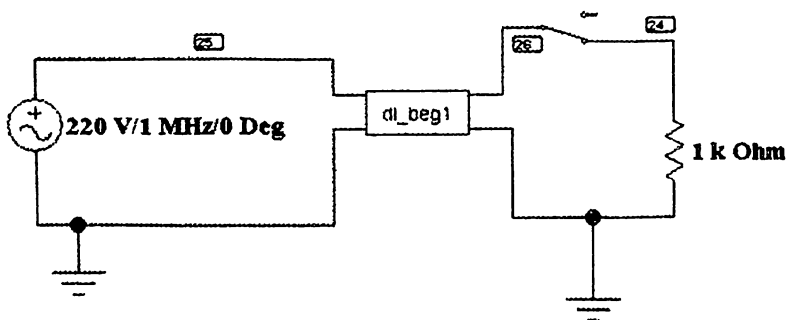


Рис.6.5

### 3. Содержание отчета

- 3.1. Название и цель работы.
- 3.2. Схема электрической цепи.
- 3.3. Расчеты фазовой скорости (скорости распространения волны), времени задержки сигнала  $t_{\text{зад}}$ , коэффициента фазы  $\beta$  и длины волны  $\lambda$ .



3.4. Осциллограммы напряжений в начале и в конце линии в режиме холостого хода, режиме бегущей волны.

Выводы по результатам исследований.

#### 4. Контрольные вопросы

4.1. Какие параметры линии с распределенными параметрами являются первичными, а какие – вторичными?

4.2. Что представляет собой линия без искажений? Что представляет собой линия без потерь?

4.3. Зависит ли волновое сопротивление линии от ее длины?

4.4. В каком случае в линии возникают отражения?

4.5. Записать уравнения линии без потерь для режимов холостого хода, короткого замыкания, и согласованной нагрузки.

4.6. Поясните физический смысл коэффициентов распространения, затухания и фазы ( $\gamma = \alpha + j\beta$ ).

4.7. Как подсчитывается волновое сопротивление линии без потерь? Почему оно называется волновым?

4.8. В каких случаях в линии без потерь наблюдаются стоячие волны? И какой вид для этих случаев имеют графики распределения действующих значений токов вдоль линии? Изобразить.

4.9. Какие волны существуют в режиме согласованной нагрузки? Какой вид для этого случая имеет график распределения действующих значений тока вдоль линии без потерь?

## Литература

1. Основы теории цепей: Учебник для вузов / Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.Н., Страхов С.В.- М.: Энергоатомиздат, 1989. –528 с.
2. Белецкий А.Ф. Теория линейных электрических цепей: Учебник для вузов.- М.: Радио и связь, 1986.- 544 с.
3. Шебес М.Р. Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей. - М.: Высшая школа, 1990.- 544с.
4. Бакалов В.П., Дмитриков В.Ф., Крук Б.Е. Основы теории цепей: учебник для вузов.-М.: Радио и связь, 2000.-592 с.
5. Фриск В.В. Основы теории цепей. Учебное пособие. - М.: ИП РадиоСофт, 2002.- 288 с.
6. Баскаков С.И. Радиотехнических цепи и сигналы. Учебник для вузов по спец. «Радиотехника» - М.: Высшая школа, 2002. - 448с.
7. Попов В.П. Основы теории цепей, Учебник для вузов спец. «Радиотехника» - М.: Высшая школа, 2003.- 496с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**Государственный стандарт Республики Узбекистан O'z DSt 8/012:2005**  
**«Государственная система обеспечения**  
**единства измерений Республики Узбекистан. ЕДИНИЦЫ ВЕЛИЧИН»**  
**(Основные величины, используемые в ТЭЦ)**

**Таблица 1. Основные единицы Международной системы единиц (SI)**

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Определение
Длина	<i>L</i>	Метр	m	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458\text{ s}$ [XVII ГКМВ (1983 г.), резолюция]
Масса	<i>M</i>	Килограмм	kg	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1989г.) и III ГКМВ (1991г.)]
Время	<i>T</i>	Секунда	s	Секунда есть время, равное $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 $133\text{ s}$ [XIII ГКМВ (1967 г.), резолюция]
Электрический ток (Сила электрического тока)	<i>I</i>	Ампер	A	Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии $1\text{ m}$ один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной $1\text{ m}$ силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}\text{ N}$ [МКМВ (1946 г.), резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948г.)]

**Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ 1**

**Таблица 2. Производные единиц СИ, наименования и обозначения  
которых образованы с использованием  
наименований и обозначений основных единиц СИ**

<b>Величина</b>		<b>Единица</b>	
<b>Наименование</b>	<b>Размерность</b>	<b>Наименование</b>	<b>Обозначение</b>
Площадь	$L^2$	Квадратный метр	$m^2$
Объем, вместимость	$L^3$	Кубический метр	$M^3$
Скорость	$LT^{-1}$	Метр в секунду	$m/s$
Ускорение	$LT^{-2}$	Метр на секунду в квадрате	$m/s^2$
Плотность	$ML^{-3}$	Килограмм на кубический метр	$kg/m^3$
Волновое число	$L^{-1}$	Метр в минус первой степени	$m^{-1}$
Удельный объем	$M^{-1} L^3$	Кубический метр на килограмм	$m^3/kg$
Плотность электрического тока	$L^{-2} I$	Ампер на квадратный метр	$A/m^2$
Напряженность магнитного поля	$L^{-1} I$	Ампер на метр	$A/m$

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ 1

**Таблица 3. Производные единиц SI, имеющие специальные наименования и обозначения**

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	Выражение через основные и производные единицы SI
Плоский угол	L	Радян	<i>rad</i>	$m \cdot m^{-1} = 1$
Частота	T <sup>-1</sup>	Герц	<i>Hz</i>	s <sup>-1</sup>
Сила	LMT <sup>-2</sup>	Ньютон	<i>N</i>	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	L <sup>-1</sup> MT <sup>-2</sup>	Паскаль	<i>Pa</i>	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup>	Джоуль	<i>J</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup>	Ватт	<i>W</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Электрический заряд, количество электричества	TI	Кулон	<i>C</i>	s·A
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup> I <sup>-1</sup>	Вольт	<i>V</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая емкость	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup> I <sup>2</sup>	Фарада	<i>F</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	L <sup>2</sup> MT <sup>-3</sup> I <sup>-2</sup>	Ом	<i>Ω</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	L <sup>-2</sup> M <sup>-1</sup> T <sup>3</sup> I <sup>2</sup>	Сименс	<i>S</i>	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Поток магнитной индукции, магнитный поток	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup> I <sup>-1</sup>	Вебер	<i>Wb</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Плотность магнитного потока, магнитная индукция	MT <sup>-2</sup> I <sup>-1</sup>	Тесла	<i>T</i>	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность, взаимная индуктивность	L <sup>2</sup> MT <sup>-2</sup> I <sup>-1</sup>	Генри	<i>H</i>	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Температура Цельсия	θ	Градус Цельсия	<sup>o</sup> C	K
Световой поток	J	Люмен	<i>Lm</i>	cd·sr
Освещенность	L <sup>-2</sup> J	люкс	<i>Lx</i>	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

**Титульный лист отчета по лабораторной работе (образец)**

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛЬ-ХОРЕЗМИ**

**СФИТ ТУИТ-БГУИР**

**(или другой факультет)**

**Кафедра «ЭЛЕКТРОНИКА И РАДИОТЕХНИКА»**

### **ОТЧЕТ**

**ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2**

**«Исследование источников напряжения и тока»**

**по курсу «Теории электрических цепей»**

Выполнил студент гр. \_\_\_\_\_  
(№ группы) (Фамилия И.О. студента)

Принял – ст. преподаватель \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О. преподавателя)

## Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Изучение лабораторного стенда .....	5
Лабораторная работа № 2. Исследование источников напряжения и тока .....	14
Лабораторная работа № 3. Экспериментальная проверка законов Кирхгофа в резистивных цепях .....	20
Лабораторная работа № 4. Исследование $RL$ - и $RC$ - цепей при гармоническом воздействии .....	27
Лабораторная работа № 5. Исследование переходных процессов в $RL$ - и $RC$ -цепях .....	34
Лабораторная работа № 6. Исследование цепей с распределенными параметрами.....	42
Литература .....	50
Приложения .....	54

Формат 60x84 1/16. Печ. лист 3,5.

Заказ № 108. Тираж 10.

Отпечатано в «Редакционно издательском»  
отделе при ТУИТ.

Ташкент ул. Амир Темур, 108.