

<p>Медведев И.И.</p> <p>УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ</p> <p>Практикум</p> <p>Издано в авторской редакции по решению методического совета института</p> <p>Воронежский институт МВД России 2016</p>	<p>Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.</p> <p>Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.</p> <p>Автор: Медведев Игорь Иванович 394065, Россия, Воронеж, пр. Патриотов, 53. Тел.: (473) 200-52-21</p> <p>E-mail: rt@vimvd.ru</p> <p>©Воронежский институт МВД России</p>
---	---

ВОРОНЕЖСКИЙ ИНСТИТУТ МВД РОССИИ

Кафедра радиотехники и электроники

Медведев И.И.

**УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ
И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ**

Лабораторный практикум

Воронеж – 2016

ББК 32.84

Рассмотрены и одобрены на заседании кафедры радиотехники и электроники. Протокол № 1 от 14 сентября 2015 г.

Рассмотрены и одобрены на заседании методического совета. Протокол № 1 от 28 сентября 2015 г.

Рецензенты:

Ушаков В.М. – заместитель начальника штаба ГУ МВД России по Воронежской области, полковник внутренней службы;

Удовикин А.А. – главный специалист – метролог УОТО ГУ МВД России по Воронежской области, майор внутренней службы.

Медведев Игорь Иванович. Устройства генерирования и формирования сигналов. Лабораторный практикум: практикум [Электронный ресурс] / И.И. Медведев. – Электр. дан. и прогр. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2016. – 1 электр. опт. диск (CD-ROM): 12 см. – Систем. требования: процессор Intel с частотой не менее 1,3 ГГц; ОЗУ 512 Мб; операц. система семейства Windows; CD-ROM дисковод.

ISBN 978-5-88591-272-3

Практикум содержит методические материалы для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Устройства генерирования и формирования сигналов» с помощью интерактивного эмулятора радиосхем Multisim.

В практикуме изложены краткие теоретические сведения по темам, приведены электрические принципиальные для проведения исследований, даны рекомендации по порядку выполнения исследований и расчётов, изложены требования к оформлению лабораторной работы и указаны вопросы для проведения контроля знаний слушателей.

Практикум предназначен для слушателей факультета заочного обучения Воронежского института МВД России.

ББК 32.84

ISBN 978-5-88591-272-3

©Воронежский институт МВД России, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Общие сведения об интерактивном эмуляторе радиосхем Multisim 11.0.	5
2 Лабораторная работа № 1 «Исследование транзисторного усилителя мощности»	10
3 Лабораторная работа № 2 «Исследование транзисторного LC- автогенератора».....	18
4 Лабораторная работа № 3 «Исследование амплитудного модулятора»	25
5 Лабораторная работа № 4 «Исследование фазового модулятора»	34
6 Лабораторная работа № 5 «Исследование цифрового синтезатора частот»	39
Список рекомендуемых источников	43

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Устройства генерирования и формирования сигналов» является профилирующей в образовании радиоинженера. Предметом её изучения являются теоретические основы и принципы построения устройств генерирования и формирования сигналов, применяемых в различных областях человеческой деятельности.

На лабораторных работах осуществляется углублённое изучение принципов построения и функционирования отдельных устройств, входящих в состав радиопередатчиков. Это достигается посредством проведения исследований схем соответствующих устройств с помощью интерактивного эмулятора радиосхем Multisim, позволяющего достаточно подробно исследовать происходящие в изучаемых устройствах процессы. Кроме этого, при выполнении лабораторных работ осуществляются необходимые расчёты по соответствующим методикам, также приведенным в данном практикуме.

Тематика лабораторных работ соответствует рабочей учебной программе по изучаемой дисциплине. Описания лабораторных работ содержат название работы, цель работы, рекомендации по подготовке к лабораторной работе, основополагающие теоретические сведения по соответствующей теме, электрические принципиальные для проведения исследований, рекомендации по порядку выполнения исследований и расчётов, требования к оформлению лабораторной работы и вопросы для проведения контроля знаний слушателей.

Для успешного выполнения и защиты лабораторных работ рекомендуется изучение соответствующих материалов в рекомендуемых источниках информации, приведенных в конце методических указаний.


Следует отметить, что материалы, представленные в [2, 3, 4], позволяют обучающимся не только эффективно работать при выполнении лабораторных работ, но и осваивать интерактивный эмулятор радиосхем Multisim во время самоподготовки. Настоятельно рекомендуется последовательное изучение материалов, изложенных в этих учебно-методических пособиях.

Отзывы, пожелания и предложения можно посылать электронной почтой на адрес **medigor@mail.ru**.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНТЕРАКТИВНОМ ЭМУЛЯТОРЕ РАДИОСХЕМ MULTISIM 11.0.

Multisim 11.0 – это интерактивный эмулятор схем. Он позволяет создавать электрические схемы устройств методом программного описания и проводить их тестирование и исследование. При этом пользователь работает не с программными командами или кодами, а с графическими изображениями радиоэлементов, соединяя их в той или иной последовательности (в соответствии со схемой), а при тестировании и исследовании схемы – с графическими изображениями измерительных приборов. Таким образом, создаётся как бы виртуальная лаборатория с огромными возможностями по разработке и исследованию различных радиоэлектронных схем. В то же время работа в Multisim 11.0 очень похожа на работу с аналогичными схемами в реальных условиях.

Запустить программу **Multisim 11.0** можно одним из известных способов (эти способы можно использовать в Windows XP и Windows 7): использовать ярлык программы, расположенный на **Рабочем столе**; через кнопку **Пуск**, находящуюся на **Панели задач**; с помощью **Командной строки**, указав полный путь к файлу программы; найти файл программы на компьютере и непосредственно запустить её. Мы будем использовать только два первых способа.

Для запуска программы первым способом необходимо навести курсор мыши на ярлык  **Multisim**, расположенный на **Рабочем столе**, и дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши. Это самый простой способ запуска программы. В результате указанных действий программа **Multisim 11.0** запустится, и откроется **Главное окно** данной программы (рис. 1.1).

Если по каким-то причинам ярлыка для **Multisim** на **Рабочем столе** нет, то можно воспользоваться вторым способом. Для этого опустите указатель мыши в левый нижний угол экрана и щёлкните левой кнопкой мыши по кнопке **Пуск**. В открывшемся главном меню **Windows** выберите пункт **Все программы** (т.е. наведите курсор мыши на пункт **Все программы**), затем щёлкните левой кнопкой мыши пункт **National Instruments**, затем **Circuit Design Suite 11.0**, а затем **Multisim 11.0**. В результате указанных действий программа **Multisim 11.0** запустится, и откроется **Главное окно** данной программы (рис. 1.1).

Главное окно программы **Multisim 11.0** (или интерфейс пользователя) состоит из нескольких основных элементов, которые представлены на рис. 1.1. Рассмотрим основные из этих элементов, которые мы дальше будем использовать наиболее часто. С другими элементами более подробно можно ознакомиться в [2, 3, 4].

Главное окно программы содержит в свою очередь три окна: окно схемы, окно разработки и окно табличного отображения.

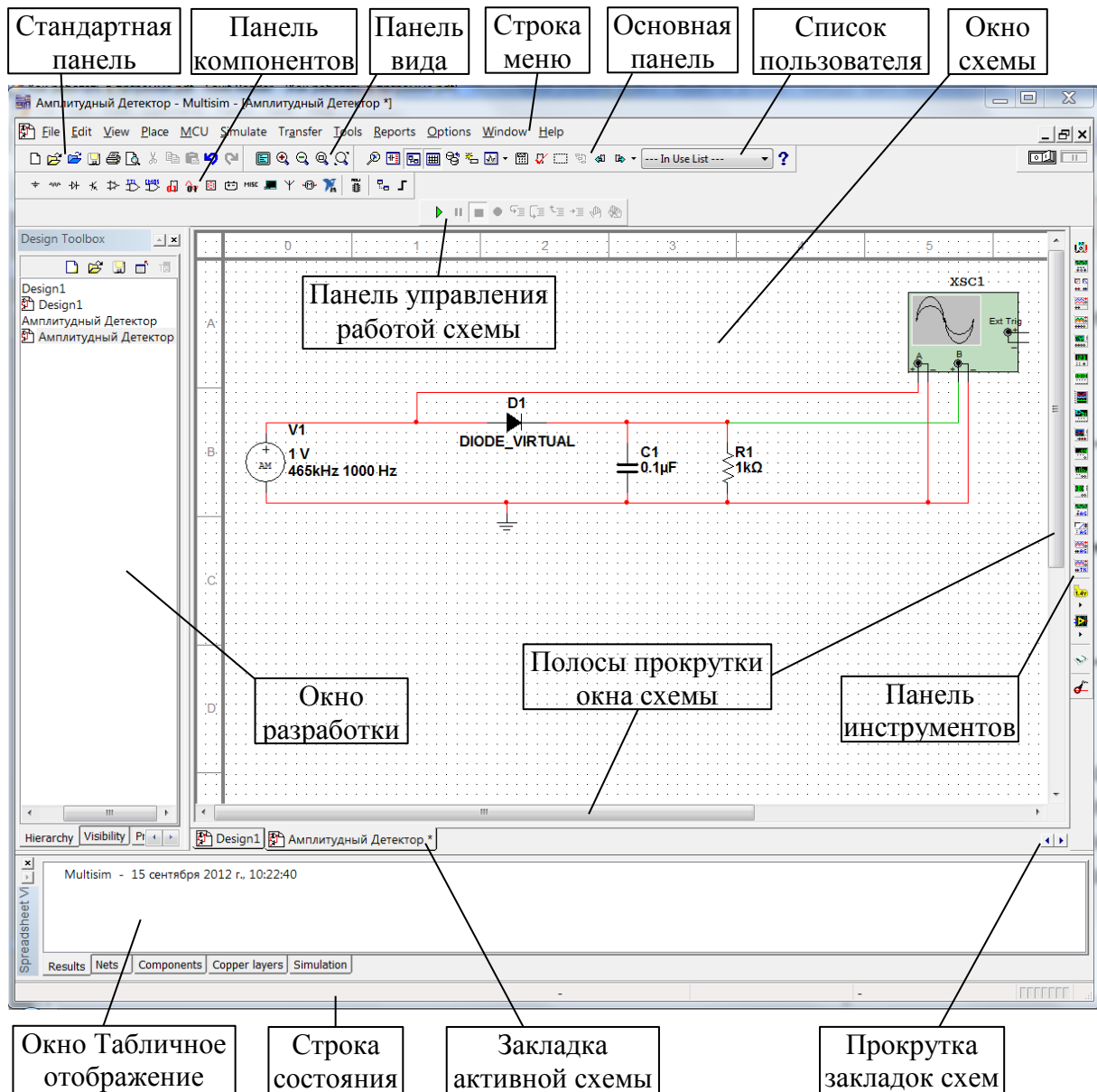













Рис. 1.1 – Главное окно программы Multisim 11.0.

Окно схемы – самое большое окно, в нём отображается схема, с которой осуществляется работа в текущий момент времени. В нём осуществляют синтез и редактирование схемы. Если в программу загружено сразу несколько схем, то каждая из них располагается на отдельной закладке. Наименования закладок приводятся в нижней части окна (на рис. 1.1 указана **Закладка активной схемы**). Переход между закладками осуществляется с помощью мыши: необходимо привести мышь на требуемую закладку и щёлкнуть один раз левой кнопкой мыши. Если закладок много и они не вмещаются в области окна, то для отыскания требуемой закладки следует воспользоваться **Прокруткой закладок схем**.






Строка меню содержит несколько пунктов, каждый из которых со-

держит группу команд, объединённых одной функциональной направленностью. Строка меню обеспечивает доступ ко всем функциональным возможностям программы, однако этот доступ не всегда самый удобный. Поэтому в Multisim 11.0 имеются различные панели, на которых расположены кнопки со значками (пиктокнопки). Это кнопки наиболее часто применяемых команд или компонентов, они позволяют упростить и ускорить работу в Multisim 11.0. При наведении мыши на пиктокнопку появляется подсказка о назначении этой кнопки и, если есть, в скобках – о сочетаниях «горячих клавиш», нажатие на которые также приводит к выполнению данного действия.

Стандартная панель предназначена для быстрого выполнения следующих команд и действий:

- создание новой схемы – кнопка  – **New**;
- быстрого открывания уже имеющейся схемы, сохранённой ранее пользователем – кнопка  – **Open File**;
- быстрого открывания схемы из коллекции самой программы – кнопка  – **Open a sample design**;
- сохранения собранной схемы – кнопка  – **Save File**;
- распечатки схемы на принтере – кнопка  – **Print Circuit**;
- предварительный просмотр печати – кнопка  – **Print Preview**;
- операции «вырезать» – кнопка  – **Cut**;
- операции «копировать» – кнопка  – **Copy**;
- операции «вставить» – кнопка  – **Paste**;
- отмена выполненной операции и возвращение в предыдущее состояние или откат назад – кнопка  – кнопка **Undo**;
- восстановление (повторный ввод) отменённой команды или действия – кнопка  – **Redo**.


Панель вида позволяет выполнять действия по установке на экране монитора требуемого размера изображения схемы или элементов схемы:


- разворот схемы на весь экран – кнопка  – **Toggle Full Screen**;
- увеличение масштаба – кнопка  – **Increase zoom**;
- уменьшение масштаба – кнопка  – **Decrease zoom**;
- разворот выделенного участка схемы на всё окно схемы – кнопка  – **Zoom to selected area**;
- подгонка масштаба по размеру страницы схемы (вся страница схемы выводится целиком в окне схемы) – кнопка  – **Zoom Fit to Page**.


Панель Список пользователя (In Use List) содержит список радиоэлементов, использующихся в схеме, с которой осуществляется работа в текущий момент времени (в схеме, которая открыта в Окне схем и являет-


ся активной). При щелчке левой кнопкой мыши на этой панели список раскрывается. При необходимости из списка можно выбрать требуемый радиоэлемент, щёлкнув на нём левой кнопкой мыши, и добавить его в **Окно схемы**, установив курсор мыши в необходимое место схемы и щёлкнув там левой кнопкой мыши.

Но для выбора радиоэлементов (радиокомпонентов или просто компонентов) с целью их использования в схеме программа Multisim 11.0 имеет специальную панель – **Панель компонентов**. На этой панели имеется ряд кнопок, каждая из которых предоставляет пользователю свой набор компонентов, которые там подобраны по соответствующим группам или категориям. Наиболее часто мы будем использовать первые четыре кнопки:


- **Place Source**  – здесь находятся различные источники питания и источники (формирователи) сигналов специальной формы, а также различные элементы заземления, общего провода или корпуса;


- **Place Basic**  – здесь находятся различные базовые радиокомпоненты, например, резисторы (Resistor), конденсаторы (Capacitor), индуктивности (Inductor) и др.;

- **Place Diode**  – здесь находятся различные полупроводниковые диоды, диодисторы, варикапы и др.;


- **Place Transistor**  – здесь находятся различные полупроводниковые биполярные и полевые транзисторы.

Панель управления работой схемы среди прочих содержит три наиболее часто используемые кнопки:

- **Run/resume simulation**  – кнопка запуска работы схемы (кнопка **Пуск**);

- **Pause simulation**  – кнопка временной остановки работы схемы (кнопка **Пауза**);

- **Stop simulation**  – кнопка полной остановки работы схемы (кнопка **Стоп**).

Следует обратить внимание, что для проверки работоспособности схемы необходимо сначала её запустить, т.е. имитировать её включение, нажав кнопку **Пуск** . Проводить же исследование схемы (рассматривать временные диаграммы, проводить на них измерения, снимать показания с амперметров и т.п.) можно и после полной остановки работы схемы. Также надо иметь в виду, что если в схеме необходимо изменить номинал резистора, конденсатора или поменять какой-либо компонент, то необходима полная остановка работы схемы (для этого следует нажать кнопку **Стоп**), а не временная остановка (**Пауза**). Если пытаться произвести указанные изменения при работающей схеме или при временной остановке работы схемы, то программа выведет на экран предупреждение (рис. 1.2) о

том, что изменения вступят в силу только после полной остановки и последующего пуска схемы.

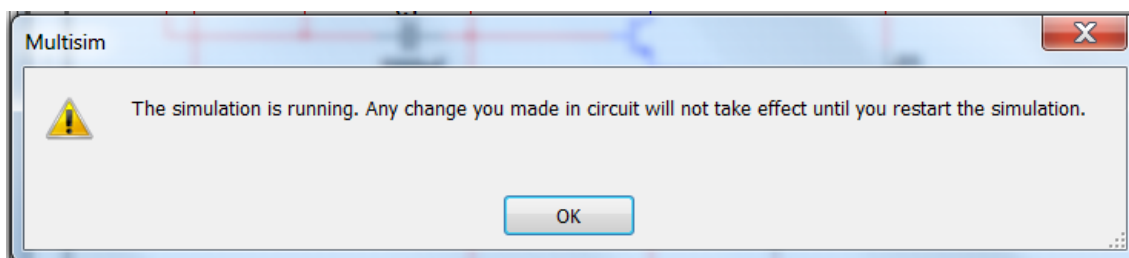




Рис. 1.2 – Предупреждение программы о том, что изменения вступят в силу только после полной остановки и последующего пуска схемы.

Для запуска и остановки работы схемы можно также воспользоваться кнопками  , расположенными в правом верхнем углу Главного окна программы, которые выполняют функции, аналогичные рассмотренным (Пуск, Стоп, Пауза).

Строка состояния расположена в самой нижней части Главного окна программы и предназначена для отображения следующей информации:

- в левой части строки отображается подсказка о назначении кнопок панелей программы, на которые наводится курсор мыши;
- в правой части строки отображается название активной схемы и далее время, прошедшее с момента запуска схемы (на рис. 1.1 эта информация не отображена, поскольку схема не запускалась).

И, наконец, в правой части Главного окна находится **Панель инструментов**, на которой расположены значки различных измерительных приборов. Более подробно с ними мы будем знакомиться по мере их использования в схемах.

Внимание! Принципы создания схем с помощью интерактивного эмулятора радиосхем Multisim и методики проведения измерений подробно изложены в материалах учебно-методических пособий [2, 3, 4]. Перед выполнением лабораторных работ следует изучить указанные материалы.

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 **«ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ** **МОЩНОСТИ»**

Цели работы:

1. Исследовать характеристики транзисторного усилителя мощности радиосигнала.
2. Приобретение практических навыков работы с интерактивным эмулятором радиосхем Multisim.

Подготовка к лабораторной работе.

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретический материал по теме лабораторной работы [1, 5] и методики проведения измерений, подробно изложенные в материалах учебно-методических пособий [2, 3, 4].
3. Подготовить в рабочей тетради отчёт по лабораторной работе, в котором должны содержаться: цель работы, схема измерений, а при необходимости – краткие теоретические сведения, таблицы измерений и расчётные формулы (допускается таблицы измерений и расчётные формулы вносить в отчёт на окончательном этапе оформления отчёта, чтобы избежать помарок в отчёте, производя расчёты и предварительное оформление таблиц на черновиках).

Краткие теоретические сведения по теме.

Название «усилитель мощности» говорит о том, что это устройство предназначено для усиления мощности сигнала, поступающего на его вход. При этом подразумевается, что частоты входного и выходного сигналов одинаковы, а усиление мощности осуществляется за счёт преобразования электрической энергии дополнительного источника питания постоянного тока. Преобразование энергии осуществляется с помощью активного элемента (обычно это электронная лампа, биполярный или полевой полупроводниковый транзистор), работой которого управляем входной сигнал.

Область применения усилителей мощности весьма обширна – они применяются и в радиопередатчиках, и в радиоприёмниках, и в измерительной аппаратуре. Усилители мощности применяются и для усиления постоянного тока, и для усиления звуковых частот, и для усиления радиосигналов. В зависимости от конкретного назначения усилителя мощности различаются и подходы к принципу его построения.

В текущей лабораторной работе мы остановимся на рассмотрении транзисторного усилителя мощности, применяемого в радиопередающих устройствах.

Следует отметить, что усилитель мощности в радиопередатчике мо-

жет отличаться от усилителей мощности в других указанных выше устройствах по некоторым аспектам, поэтому усилители мощности радиопередатчиков часто называют генераторами с внешним возбуждением (ГВВ). Итак, усилители мощности радиопередатчиков (или ГВВ) отличаются по следующим основным аспектам.

Во-первых, в усилителях мощности радиопередатчиков амплитуда выходного колебания в общем случае не пропорциональна амплитуде входного колебания. Это обусловлено тем, что усилители мощности радиопередатчиков работают, обычно, в критическом или слабоперенапряжённом режиме. Прямая пропорциональная зависимость амплитуды выходного колебания от амплитуды входного может наблюдаться только в недонапряжённом режиме. (Прямую пропорциональную зависимость требуется обеспечивать только в отдельных случаях, например, в усилителях мощности однополосных передатчиков или при усилении амплитудно-модулированных колебаний [5]).

Во-вторых, в усилителях мощности радиопередатчиков в общем случае формы входного колебания и выходного колебания могут различаться. В то время как форма выходного колебания всегда близка к гармонической (что определяется наличием колебательного контура в выходной цепи), форма входного колебания может быть как близкой к гармонической, так и отличной от гармонической (например, прямоугольной или треугольной). Но при этом в любом случае должно соблюдаться условие – частота выходного сигнала должна быть равна частоте входного сигнала.

А сходство усилителей мощности радиопередатчиков с другими усилителями мощности заключается в том, что у него мощность выходного сигнала всегда больше мощности входного сигнала (при равенстве частот входного и выходного сигналов).

Отметим, что если частоту настройки колебательного контура в выходной цепи усилителя мощности радиопередатчика сделать в N раз больше частоты входного сигнала, то усилитель мощности превратится в умножитель частоты входного сигнала в N раз.

Отметим также, что в общем случае выходная мощность усилителей мощности радиопередатчиков лежит в пределах от десятков милливольт до мегаватт, а рабочие частоты – от десятков килогерц до сотен гигагерц, причём диапазон рабочих частот продолжает расширяться как вниз, так и вверх [5].

Основными характеристиками ГВВ являются:

- выходная мощность $P_{\text{вых}}$;
- потребляемая мощность $P_{\text{пот}}$;
- входная мощность $P_{\text{вх}}$;
- коэффициент усиления по мощности K_p ;
- коэффициент полезного действия η .

В технической литературе можно встретить и другие характеристики усилителей мощности радиопередатчиков.

Выходную мощность можно вычислить, если известны действующие значения выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ (или напряжения на нагрузке $U_{\text{Н}}$) и выходного тока $I_{\text{ВЫХ}}$ (или тока в нагрузке $I_{\text{Н}}$):

$$P_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}} I_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{Н}} I_{\text{Н}}. \quad (2.1)$$

Если известны амплитудные значения выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ } m}$ (или напряжения на нагрузке $U_{\text{Н } m}$) и выходного тока $I_{\text{ВЫХ } m}$ (или тока в нагрузке $I_{\text{Н } m}$), то выходную мощность вычисляют по формуле:

$$P_{\text{ВЫХ}} = 0,5 U_{\text{ВЫХ } m} I_{\text{ВЫХ } m} = 0,5 U_{\text{Н } m} I_{\text{Н } m}. \quad (2.2)$$

Напомним, что обычно действующее значение получают при осуществлении измерения вольтметром (или амперметром), а амплитудное – при измерении осциллографом.

В тех случаях, когда известны величина сопротивления нагрузки $R_{\text{Н}}$ и значение (действующее или амплитудное) либо выходного напряжения (или напряжения на нагрузке), либо выходного тока (или тока в нагрузке), выходную мощность можно вычислить по одной из формул:

$$P_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}^2}{R_{\text{Н}}} = \frac{U_{\text{Н}}^2}{R_{\text{Н}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ } m}^2}{2R_{\text{Н}}} = \frac{U_{\text{Н } m}^2}{2R_{\text{Н}}}. \quad (2.3)$$

$$P_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВЫХ}}^2 R_{\text{Н}} = \frac{I_{\text{ВЫХ } m}^2 R_{\text{Н}}}{2}. \quad (2.4)$$

Потребляемая мощность $P_{\text{ПОТ}}$ вычисляется по формуле:

$$P_{\text{ПОТ}} = U_{\text{ИП}} I_{\text{ПОТ}}, \quad (2.5)$$

где $U_{\text{ИП}}$ – напряжение источника питания;

$I_{\text{ПОТ}}$ – постоянная составляющая тока, потребляемого усилителем мощности от источника питания.

Коэффициент усиления по мощности K_p равен отношению выходной мощности усилителя $P_{\text{ВЫХ}}$ к мощности сигнала, подаваемого на его вход $P_{\text{ВХ}}$:

$$K_p = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}. \quad (2.6)$$

Часто коэффициент усиления по мощности указывают в дБ, при этом

$$K_p, \text{ дБ} = 10 \log K_p. \quad (2.7)$$

В свою очередь входная мощность может быть рассчитана по формулам, аналогичным формулам для расчёта выходной мощности (2.1) – (2.4), но с подстановкой в них входных значений $U_{\text{ВХ } m}$, $U_{\text{ВЫХ}}$, $I_{\text{ВХ } m}$, $I_{\text{ВХ}}$, $R_{\text{ВХ}}$.

Коэффициент полезного действия (КПД) η вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ПОТ}}}. \quad (2.8)$$

Для того чтобы КПД представить в процентном выражении следует значение, полученное по формуле (2.8) умножить на 100 %.

Порядок выполнения работы.

Для проведения исследования необходимо собрать схему, представленную на рис. 2.1.

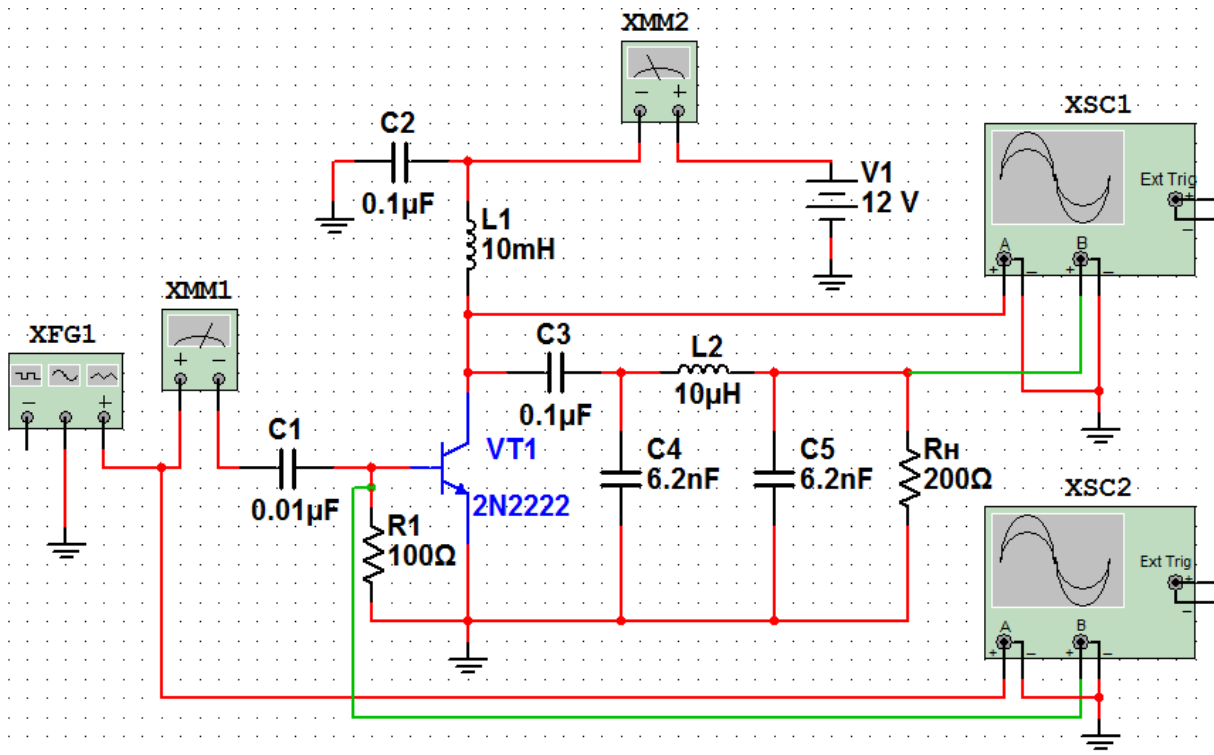


Рис. 2.1 Схема измерений

На рис. 2.1 представлен усилитель мощности радиопередатчика, выполненный на биполярном транзисторе VT1. На его вход подаётся синусоидальный сигнал с функционального генератора XFG1, а к выходу подключен резистор R_H , имитирующий сопротивление нагрузки со стороны следующего каскада или антенны. Для исследования усилителя применяются два двухканальных осциллографа. Осциллограф XSC1 позволяет контролировать напряжение на коллекторе транзистора VT1 и на нагрузке R_H , а осциллограф XSC2 – напряжение на входе ГВВ (напряжение на выходе генератора XFG1) и напряжение на базе транзистора VT1. Для контроля входного тока ГВВ используется мультиметр ХММ1, работающий в режиме измерения переменного тока. Для контроля постоянной составляющей тока, потребляемого усилителем мощности от источника питания, используется мультиметр ХММ2.

Задание 1. Провести измерения и построить нагрузочные характеристики усилителя мощности, изображённого на рис. 2.1.

Ход выполнения задания. Соберите схему по рис. 2.1. На генераторе XFG1 установите частоту синусоидального колебания равную 900 кГц, амплитуду сигнала на генераторе установите 900 мВ (рис. 2.2).

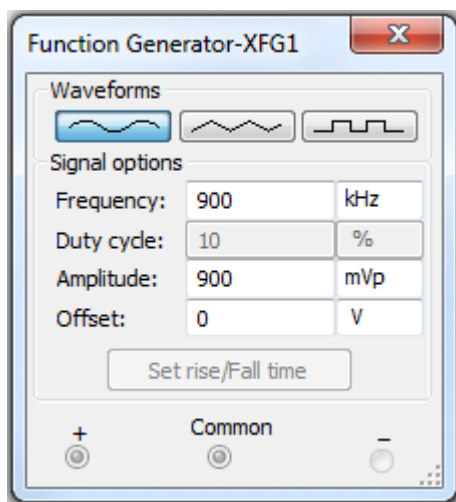


Рис. 2.2 Параметры генератора XFG1

Запустите работу схемы. С помощью осциллографов проконтролируйте сигнал на выходе генератора XFG1 (входе ГВВ), базе транзистора VT1, коллекторе транзистора VT1 и на нагрузке R_H . Для удобства наблюдения сигналов цвета каналов сделайте разными, например, канал А – красный, канал В – зелёный.

Внимание! Поскольку после запуска работы схемы ГВВ в ней происходят переходные процессы (это видно по медленным колебаниям амплитуды выходного напряжения или его огибающей), то для правильного

измерения напряжений и токов следует дождаться установившегося режима работы схемы (медленные колебания отсутствуют), который для данной схемы в большинстве случаев наступает по прошествии 1 мс.

Измерения проводить с помощью курсора, осциллограф синхронизировать по входу А, режим синхронизации – None или Auto.

Для выполнения задания следует последовательно устанавливать значение R_H в соответствии со значениями, указанными в таблице 2.1. При каждом значении R_H следует измерить величину $U_{\text{ВЫХ } m}$, снять показания мультиметров для токов $I_{\text{ПОТ}}$, $I_{\text{Б}}$ и занести их в таблицу 2.1. Затем по соответствующим формулам (2.1) – (2.8) произвести расчёт $P_{\text{ВЫХ}}$, $P_{\text{ПОТ}}$, $P_{\text{Б}}$, η , K_p и K_p , дБ.

При выполнении работы обращайтесь внимание на форму напряжения на коллекторе VT1 и на выходе ГВВ (на нагрузке R_H).

Таблица 2.1.

R_H , Ом	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000
$U_{\text{ВЫХ } m}$, В									
$I_{\text{ПОТ}}$, мА									
$I_{\text{Б}}$, мА									
$P_{\text{ПОТ}}$, Вт									
$P_{\text{ВЫХ}}$, Вт									
η , %									
$P_{\text{Б}}$, мВт									
K_p									
K_p , дБ									

По данным таблицы 2.1 постройте нагрузочные характеристики усилителя мощности: $U_{\text{ВЫХ } m}(R_H)$, $I_{\text{ПОТ}}(R_H)$, $I_{\text{Б}}(R_H)$, $P_{\text{ПОТ}}(R_H)$, $P_{\text{ВЫХ}}(R_H)$, $P_{\text{Б}}(R_H)$, $\eta(R_H)$, $K_p(R_H)$. Объясните полученные результаты.

Задание 2. Провести измерения и построить нагрузочные характеристики усилителя мощности, изображённого на рис. 2.1, при значениях $C4=4,7$ нФ, $C5=9,1$ нФ.

Ход выполнения задания. В собранной по рис. 2.1 схеме измените значения конденсаторов и установите их равными $C4=4,7$ нФ, $C5=9,1$ нФ. На генераторе XFG1 установите частоту синусоидального колебания равную 900 кГц, амплитуду сигнала на генераторе установите 900 мВ (рис. 2.2).

Дальнейшие действия по измерениям и расчётам выполняйте по аналогии с заданием 1, а их результаты занесите в таблицу 2.2.

При выполнении работы обращайтесь внимание на форму напряжения

По данным таблицы 2.3 постройте нагрузочные характеристики усилителя мощности: $U_{\text{вых}}(R_{\text{H}})$, $I_{\text{пот}}(R_{\text{H}})$, $I_{\text{б}}(R_{\text{H}})$, $P_{\text{пот}}(R_{\text{H}})$, $P_{\text{вых}}(R_{\text{H}})$, $P_{\text{б}}(R_{\text{H}})$, $\eta(R_{\text{H}})$, $K_{\text{р}}(R_{\text{H}})$. Объясните полученные результаты.

Содержание отчёта по лабораторной работе: Название, цель работы, схема измерений, результаты выполнения заданий, выводы. В выводах следует отразить полученные результаты экспериментальных исследований, объяснить вид построенных графиков и сравнить результаты экспериментов с теоретическими положениями.

Контрольные вопросы:

1. Какое устройство называют усилителем мощности?
2. Как классифицируют усилителем мощности?
3. В чём состоят особенности усилителей мощности радиопередатчиков (генераторов с внешним возбуждением)?
4. Какие основные характеристики применяют для ГВВ?
5. Как объяснить ход полученных в лабораторной работе зависимостей?
6. В чём особенности недонапряжённого режима работы ГВВ?
7. В чём особенности перенапряжённого режима работы ГВВ?
8. В чём особенности критического режима работы ГВВ?
9. Каково назначение каждого из радиоэлементов схемы?
10. Каков принцип работы ГВВ?
11. Как измерить амплитуду напряжения с помощью Multisim?
12. Какие параметры и как настраиваются в функциональном генераторе программы Multisim?
13. В каких режимах измерения может работать мультиметр программы Multisim?
14. Какие функции выполняют органы управления двухканального осциллографа программы Multisim?

3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 «ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО LC-АВТОГЕНЕРАТОРА»

Цели работы:

1. Исследовать характеристики транзисторного LC-автогенератора.
2. Приобретение практических навыков работы с интерактивным эмулятором радиосхем Multisim.

Подготовка к лабораторной работе.

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретический материал по теме лабораторной работы [1, 5] и методики проведения измерений, подробно изложенные в материалах учебно-методических пособий [2, 3, 4].
3. Подготовить в рабочей тетради отчёт по лабораторной работе, в котором должны содержаться: цель работы, схема измерений, а при необходимости – краткие теоретические сведения, таблицы измерений и расчётные формулы (допускается таблицы измерений и расчётные формулы вносить в отчёт на окончательном этапе оформления отчёта, чтобы избежать помарок в отчёте, производя расчёты и предварительное оформление таблиц на черновиках).

Краткие теоретические сведения по теме.

Одним из основных устройств, входящих в состав радиопередатчика, является автогенератор – это генератор электрических колебаний, автономно создающий незатухающие колебания. В свою очередь, генератор электрических колебаний или сигналов – это электрическая цепь или устройство, служащие для преобразования энергии постоянного тока в энергию электрических колебаний. Таким образом, можно сделать вывод, что автогенератор – это электрическая цепь или устройство, которое автономно (самостоятельно) преобразует энергию постоянного тока в энергию электрических незатухающих колебаний. Автогенератор часто называют ещё и задающим генератором, поскольку именно он задаёт частоту, на которой работает передатчик.

Автогенераторы могут быть построены на различных активных и пассивных радиоэлементах. В качестве активных элементов широко применяются электронные лампы, полупроводниковые транзисторы различных типов и созданные на их базе полупроводниковые интегральные микросхемы. В качестве пассивных элементов широко применяются резисторы, конденсаторы и индуктивности. Название автогенератора зависит от того, какие радиоэлементы используются для его построения и (или) определяют частоту его работы. Поэтому автогенераторы подразделяют на ламповые, транзисторные и на интегральных микросхемах. И каждый из них может быть либо RC-автогенератором, либо LC-автогенератором. В

текущей лабораторной работе мы будем проводить исследование транзисторного LC-автогенератора.

В основу работы автогенератора заложен принцип подачи на его вход части напряжения с выхода автогенератора (принцип, так называемой, обратной связи), причём фазы входного и подаваемого выходного сигналов должны совпадать (принцип, так называемой, положительной обратной связи). Для того чтобы автогенератор смог заработать (возбудиться) должны одновременно выполняться два условия: **условие баланса фаз** и **условие баланса амплитуд**.

Условие баланса фаз означает, что обратная связь является положительной, или что сумма всех фазовых сдвигов по замкнутому контуру автогенератора ψ равна нулю или целому числу периодов:

$$\psi = 2\pi n, \quad (3.1)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$.

В большинстве автогенераторов существует только одна частота f , на которой выполняется условие баланса фаз, т. е. на которой возможно генерирование колебаний. Таким образом, из условия баланса фаз определяется частота генерируемых колебаний.

Условие баланса амплитуд означает, что произведение коэффициента обратной связи β на коэффициент усиления K в автогенераторе (или же коэффициент передачи по замкнутому контуру автогенератора βK) больше единицы:

$$\beta K > 1. \quad (3.2)$$

Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, то автогенератор не возбуждается.

В процессе возбуждения амплитуда выходного напряжения автогенератора увеличивается. Затем автогенератор переходит в стационарный режим – это режим, когда амплитуда выходного напряжения автогенератора остаётся неизменной. В стационарном режиме условие баланса фаз остаётся прежним, а условие баланса амплитуд принимает следующий вид:

$$\beta K = 1. \quad (3.3)$$

Обычно, транзисторные LC-автогенераторы строятся по трёхточечной схеме (рис. 3.1). Такое название отражает тот факт, что активный элемент (в данной схеме это биполярный транзистор) и колебательная система автогенератора (она содержит в себе комплексные сопротивления $Z_1(j\omega)$, $Z_2(j\omega)$ и $Z_3(j\omega)$) соединены между собой в трёх точках.

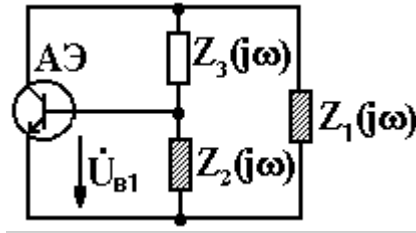


Рис. 3.1 Обобщённая трёхточечная схема автогенератора

По схеме видно, что подача напряжения из выходной цепи транзистора (коллектор) на его вход (база) обеспечивается цепью обратной связи, состоящей из $Z_3(j\omega)$ и $Z_2(j\omega)$. В LC-автогенераторах вместо комплексных сопротивлений $Z_1(j\omega)$, $Z_2(j\omega)$ и $Z_3(j\omega)$ обычно используются ёмкости и индуктивности с достаточно малыми потерями, что даёт основание считать $Z_1(j\omega)=jX_1$, $Z_2(j\omega)=jX_2$, $Z_3(j\omega)=jX_3$.

Можно показать, что для выполнения условий баланса фаз X_3 и X_2 должны быть реактивностями разного характера и для их модулей должно выполняться условие $|X_3| > |X_2|$, а реактивности X_1 и X_2 должны быть реактивностями одного и того же характера [5].

Исходя из вышесказанного, можно выделить два типа трёхточечных схем автогенераторов:

- индуктивная трёхточка (рис. 3.2 а), в которой X_2 и X_1 – индуктивности (соответственно L_2 и L_1), а X_3 – ёмкость (C_3);
- ёмкостная трёхточка (рис. 3.2 б), в которой X_2 и X_1 – ёмкости (соответственно C_2 и C_3), а X_3 – индуктивность (L_3).

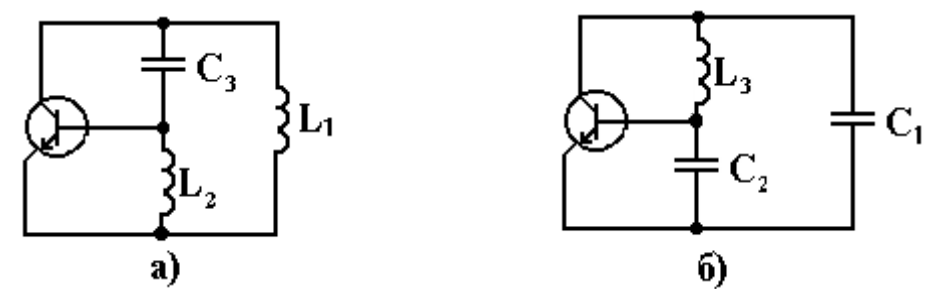


Рис. 3.2 Эквивалентные схемы индуктивной а) и ёмкостной б) трёхточек

К достоинствам LC-автогенераторов можно отнести достаточно высокую стабильность частоты колебаний, устойчивость работы при значительных изменениях параметров транзисторов, малый коэффициент гармоник. Форма выходного напряжения, весьма близкая к гармонической, обеспечивается достаточно хорошими фильтрующими свойствами колеба-

тельного LC-контура.

К недостаткам LC-автогенераторов относятся трудности изготовления высокостабильных температурно-независимых катушек индуктивности, их высокая стоимость и громоздкость. Это особенно проявляется при создании низкочастотных автогенераторов, в которых даже при применении ферромагнитных сердечников габаритные размеры, масса и стоимость получаются значительными.

К параметрам автогенераторов относят:

- генерируемую частоту f_0 ;
- относительную нестабильность частоты δ ;
- амплитуду выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$;
- выходную мощность $P_{\text{ВЫХ}}$;
- потребляемый ток $I_{\text{ПОТ}}$;
- потребляемую мощность $P_{\text{ПОТ}}$;
- коэффициент полезного действия η .

Порядок выполнения работы.

Для проведения исследования необходимо собрать схему, представленную на рис. 3.1.

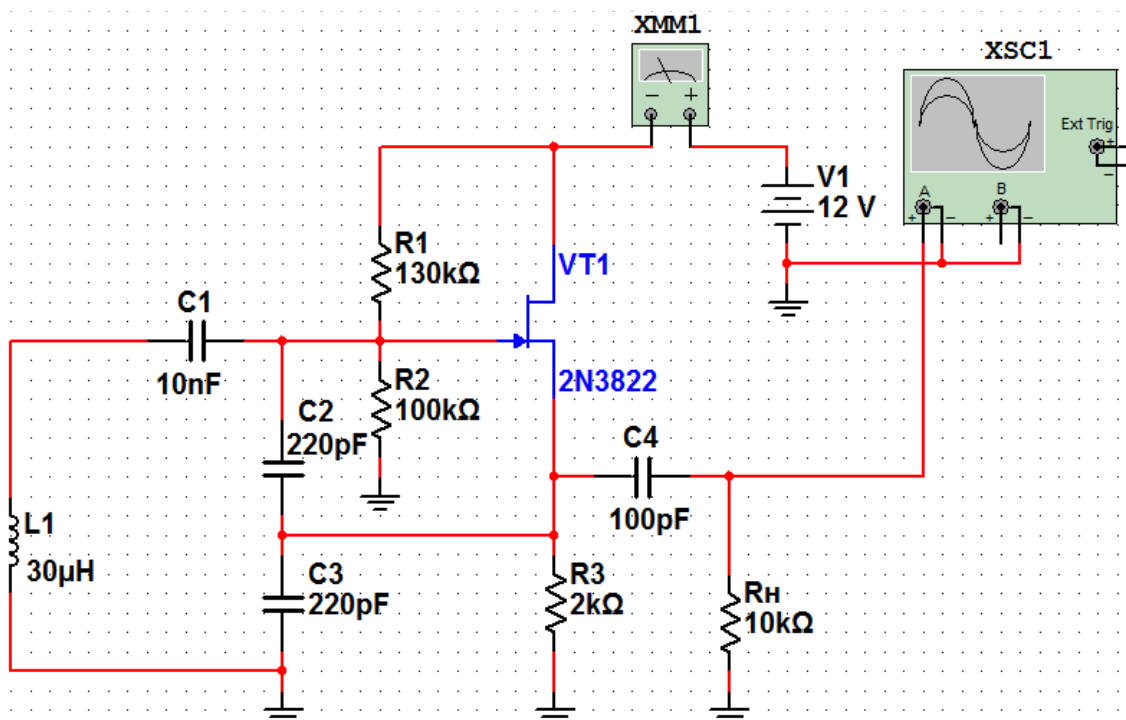


Рис. 3.1 Схема измерений

На рис. 3.1 представлен транзисторный LC-автогенератор, выполненный на полевом транзисторе VT1. Нагрузку со стороны следующего за

автогенератором каскада имитирует резистор R_H . Для исследования автогенератора применяются двухканальный осциллограф XSC1 и мультиметр ХММ1, работающий в режиме измерения постоянного тока.

Внимание! *Осциллограф синхронизировать по входу А, режим синхронизации – None или Auto.*

Для того чтобы получить неискажённый вид выходного сигнала автогенератора на экране осциллографа в настройках Multisim, установленных по умолчанию, следует сделать некоторые изменения. Для этого следует, используя левую кнопку мыши, в строке меню последовательно выбрать **Simulate ► Interactive Simulation Settings**. В открывшемся окне поставить галочку **Set initial time step**, а затем в поле **Initial time step (TSTEP)** установить вместо степени **минус 5** степень **минус 8** (рис. 3.2). Если на этой же вкладке выбран пункт **Generate time steps automatically**, то в поле **Maximum time step (TMAX)** автоматически установится тот же шаг, что и в поле **Initial time step (TSTEP)**. После выполнения указанной настройки следует щёлкнуть кнопку **ОК** в нижней части окна – окно закроется.

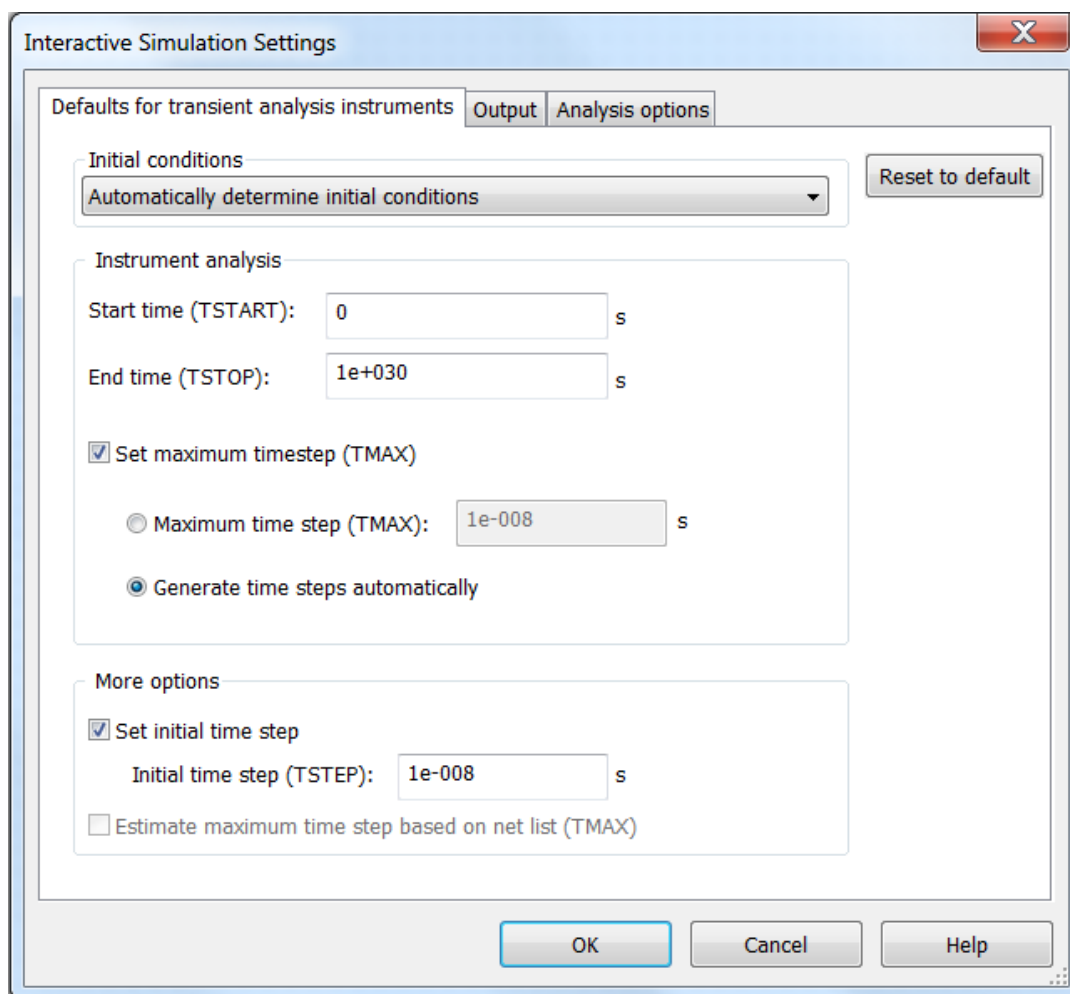


Рис. 3.2 Окно для установки временного шага

Задание 1. Зарисовать временные диаграммы выходного напряжения автогенератора и по ним определить форму выходного сигнала в установленном режиме и тип режима самовозбуждения данного автогенератора.

Ход выполнения задания. Запустите работу схемы. Не менее чем через 0,2 ms (0,2 мс) остановите работу схемы. Зарисуйте сначала временную диаграмму выходного напряжения автогенератора в установленном режиме при развёртке осциллографа 100 ns/Div (100 нс/Дел). По ней определите форму выходного сигнала в установленном режиме.

Затем зарисуйте временную диаграмму выходного напряжения автогенератора, содержащую часть переходного процесса и часть начала установившегося режима при развёртке осциллографа 1 μ s/Div (1 мкс/Дел). По ней определите тип режима самовозбуждения данного автогенератора

Задание 2. Определить частоту автогенератора f в установленном режиме.

Ход выполнения задания. Известно, что определить частоту автогенератора можно экспериментально с помощью осциллографа. Однако следует помнить, что осциллограф позволяет произвести непосредственное измерение не частоты, а периода исследуемого колебания T . Только после этого частоту автогенератора можно рассчитать по известной формуле:

$$f = \frac{1}{T}. \quad (3.1)$$

Запустите работу собранной по рис. 3.1 схемы. Дождавшись установившегося режима, остановите работу схемы. С помощью осциллографа проконтролируйте сигнал на выходе автогенератора (на нагрузке R_H) и произведите измерение T , а затем рассчитайте частоту автогенератора f в установленном режиме. Результат занесите в тетрадь.

Задание 3. Исследовать энергетические характеристики автогенератора: измерить амплитуду выходного напряжения $U_{\text{вых } m}$, потребляемый ток $I_{\text{пот}}$ и рассчитать выходную мощность $P_{\text{вых}}$, потребляемую мощность $P_{\text{пот}}$, коэффициент полезного действия η .

Ход выполнения задания. Для исследования энергетических характеристики автогенератора следует воспользоваться осциллографом, мультиметром и соответствующими формулами, приведенными в предыдущей лабораторной работе для расчётов аналогичных характеристик.

Внимание! Поскольку после включения (запуска) автогенератора в схеме происходят переходные процессы, то для правильного измерения напряжения и (или) тока следует дождаться установившегося режима работы схемы (когда амплитуда колебаний на выходе остаётся неизменной).

Задание 4. Исследовать зависимость значения частоты генератора f от величины напряжения питания $U_{\text{ип}}$ при изменении последнего на ± 1 В относительно указанного на схеме.

Ход выполнения задания. Для проведения исследования к выходу автогенератора следует подключить частотомер (**Frequency Counter**). Изменяя величину напряжения источника питания $V1$, каждый раз по частотомеру определяйте значение частоты автогенератора. Полученные значения занесите в таблицу 3.1.

Таблица 3.1.

$U_{\text{ип}}, \text{В}$	11	12	13
$f, \text{кГц}$			

По полученным данным постройте график $f(U_{\text{ип}})$. Объясните полученные результаты и сделайте выводы из полученных результатов.

Содержание отчёта по лабораторной работе: Название, цель работы, схема измерений, результаты выполнения заданий, выводы. В выводах следует отразить полученные результаты экспериментальных исследований, объяснить вид построенных графиков и сравнить результаты экспериментов с теоретическими положениями.

Контрольные вопросы:

1. Какое устройство называют автогенератором?
2. Как классифицируют автогенераторы?
3. Какую функцию автогенератор выполняет в передатчике?
4. Какие основные характеристики используют для автогенераторов?
5. Каковы достоинства и недостатки индуктивной трёхточки?
6. Каковы достоинства и недостатки емкостной трёхточки?
7. Каково назначение каждого радиоэлемента в исследуемой схеме?
8. Как объяснить ход полученных в лабораторной работе зависимостей?
9. Как увеличить частоту исследуемого автогенератора?
10. Как уменьшить частоту исследуемого автогенератора?
11. Какие меры способствуют повышению стабильности частоты автогенератора?
12. Как измерить частоту автогенератора с помощью Multisim?
13. Как измерить амплитуду напряжения с помощью программы Multisim?
14. Какие функции выполняют органы управления двухканального осциллографа программы Multisim, предназначенные для синхронизации работы осциллографа?

4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 «ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО МОДУЛЯТОРА»

Цели работы:

1. Исследовать характеристики амплитудного модулятора.
2. Приобретение и закрепление практических навыков работы с интерактивным эмулятором радиосхем Multisim.

Подготовка к лабораторной работе.

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретический материал по теме лабораторной работы [1, 5] и методики проведения измерений, подробно изложенные в материалах учебно-методических пособий [2, 3, 4].
3. Подготовить в рабочей тетради отчёт по лабораторной работе, в котором должны содержаться: цель работы, схема измерений, а при необходимости – краткие теоретические сведения, таблицы измерений и расчётные формулы (допускается таблицы измерений и расчётные формулы вносить в отчёт на окончательном этапе оформления отчёта, чтобы избежать помарок в отчёте, производя расчёты и предварительное оформление таблиц на черновиках).

Краткие теоретические сведения по теме.

Для того чтобы электромагнитная волна могла переносить в пространстве какую-либо информацию (звуковую, графическую, цифровые данные и др.) на передающей стороне осуществляют её модуляцию. Под **модуляцией** понимают *изменение одного или нескольких параметров электромагнитной волны в соответствии с передаваемой информацией.*

Выделяют следующие основные виды модуляции: **амплитудная модуляция (АМ)**; **частотная модуляция (ЧМ)**; **фазовая модуляция (ФМ)**.

В названиях этих видов модуляции отражены сведения о том, какой именно параметр электромагнитной волны изменяется при модуляции. Так, в первом виде модуляции изменяется амплитуда, во втором – частота, а в третьем – фаза электромагнитной волны. На основе этих трёх видов модуляции может быть создано большое множество производных (или комбинированных) видов модуляции.

В текущей лабораторной работе мы будем исследовать амплитудный модулятор, поэтому далее несколько подробнее остановимся на теоретических сведениях, относящихся к амплитудной модуляции. На рис. 4.1 представлена временная диаграмма амплитудно-модулированного сигнала.

Как известно, у амплитудно-модулированного сигнала (АМ-сигнала) амплитуда высокочастотной несущей изменяется во времени по закону изменения амплитуды низкочастотного модулирующего сигнала. По временной диаграмме, изображённой на рис. 4.1, можно определить, что

начиная с момента времени t_1 высокочастотный сигнал (несущая) модулируется низкочастотным синусоидальным сигналом. А до момента времени t_1 модуляция отсутствует, поэтому амплитуда высокочастотного сигнала (несущей) на этом промежутке времени не изменяется и равна U_{m0} .

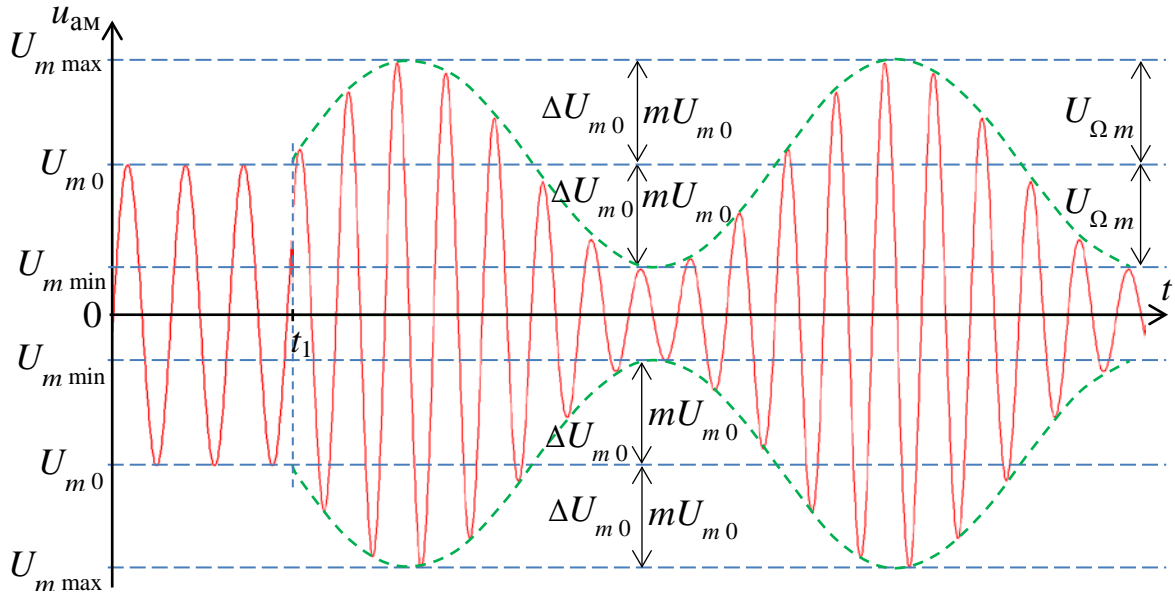


Рис. 4.1 – Временная диаграмма амплитудно-модулированного сигнала.

Амплитудно-модулированный сигнал можно описать в общем случае следующей формулой:

$$u_{ам}(t) = U_m(t) \sin(\omega_0 t + \psi), \quad (4.1)$$

где $U_m(t)$ – огибающая амплитудно-модулированного входного сигнала;
 ω_0 – циклическая (круговая) частота несущей;
 ψ – начальная фаза несущей.

Если начальная фаза ψ равна 0, то выражение (4.1) упрощается:

$$u_{ам}(t) = U_m(t) \sin \omega_0 t. \quad (4.2)$$

Если модуляция осуществляется синусоидальным сигналом с частотой Ω , то огибающая амплитудно-модулированного сигнала описывается формулой

$$\begin{aligned} U_m(t) &= U_{m0} + U_{\Omega m} \sin(\Omega t + \varphi) = U_{m0} + mU_{m0} \sin(\Omega t + \varphi) = \\ &= U_{m0} [1 + m \sin(\Omega t + \varphi)], \end{aligned} \quad (4.3)$$

где U_{m0} – амплитуда немодулированной несущей входного сигнала;
 $U_{\Omega m}$ – амплитуда низкочастотного модулирующего сигнала;
 Ω – круговая частота низкочастотного модулирующего сигнала;
 m – коэффициент модуляции.

Коэффициент модуляции m характеризует отклонения амплитуды несущего колебания ΔU_{m0} вверх и вниз от её среднего значения U_{m0} . Он рассчитывается как отношение величины соответствующего отклонения к величине U_{m0} . Если отклонения вверх и вниз неодинаковы, то такая модуляция называется несимметричной. В этом случае для каждого отклонения будет свой коэффициент модуляции. Если отклонения вверх и вниз одинаковы, то такая модуляция называется симметричной (на рис. 4.1 приведён пример симметричной модуляции) и тогда m имеет только одно значение, которое можно рассчитать по формуле

$$m = \frac{\Delta U_{m0}}{U_{m0}}. \quad (4.4)$$

Из этой формулы можно найти, что

$$\Delta U_{m0} = mU_{m0}. \quad (4.5)$$

На рис. 4.1 отклонения амплитуды несущего колебания вверх и вниз от её среднего значения U_{m0} обозначены и как ΔU_{m0} , и как mU_{m0} , поскольку они отражают одну и ту же характеристику АМ-сигнала. Более того, эта же характеристика напрямую связана и с амплитудой низкочастотного модулирующего сигнала $U_{\Omega m}$, что тоже отражено на рис. 4.1.

Если начальная фаза φ равна 0, то выражение (4.3) упрощается:

$$\begin{aligned} U_m(t) &= U_{m0} + U_{\Omega m} \sin \Omega t = U_{m0} + mU_{m0} \sin \Omega t = \\ &= U_{m0} [1 + m \sin \Omega t]. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Подставив выражение (4.6) в (4.2) получим формулу, описывающую амплитудно-модулированное колебание с нулевыми начальными фазами ψ и φ :

$$u_{\text{ам}}(t) = U_{m0} [1 + m \sin \Omega t] \sin \omega_0 t. \quad (4.7)$$

Выполнить в передатчике амплитудную модуляцию можно разными способами [1, 5]. Устройство, с помощью которого в передатчике осуществляется модуляция, называют модулятором. Таким образом, устройство для получения амплитудной модуляции называют амплитудным модулятором. Принцип работы и эквивалентная схема амплитудного модуля-

тора представлены в [5, стр. 90].

Основными характеристиками модулятора каскада являются:

- статическая модуляционная характеристика;
- динамическая модуляционная характеристика;
- частотная модуляционная характеристика.

Статическая модуляционная характеристика (СМХ) позволяет судить о способности модулятора изменять амплитуду высокочастотного колебания. Её снимают, заменив источник модулирующего сигнала источником постоянного напряжения. Однако

Динамическая модуляционная характеристика (ДМХ) – это зависимость коэффициента модуляции m от амплитуды низкочастотного напряжения $U_{\Omega m}$, снятая при постоянной частоте модулирующего напряжения Ω .

Частотная модуляционная характеристика (ЧМХ) – зависимость коэффициента модуляции m от частоты модулирующего напряжения Ω при постоянной амплитуде модулирующего напряжения. ЧМХ позволяет судить о способности модулировать без искажений сложный сигнал.

Амплитудную модуляцию можно осуществить в любом из усилительных каскадов передатчика. Различают два основных способа получения амплитудной модуляции – *модуляция смещением* и *модуляция напряжением питания модулируемого каскада* (в каскадах на биполярных транзисторах такая модуляция называется *коллекторной модуляцией*, а в ламповых – *анодной модуляцией*). Иногда применяют *комбинированную модуляцию* – используют оба указанных основных способов.

Каскад, в котором происходит модуляция, называют модулируемым. Если этот каскад промежуточный в цепи каскадов передатчика, то все следующие за ним каскады должны работать в режиме усиления модулированных колебаний.

Следует отметить, что общий КПД передатчиков при модуляции смещением и последующим усилением модулированных колебаний получается низким, что ограничивает её индивидуальное применение в радиовещании и системах профессиональной связи [5, стр. 107]. Кроме этого, при модуляции смещением максимальный коэффициент модуляции $m = 0,6$, так как при больших его значениях сильно возрастают нелинейные искажения передаваемого сигнала.

Чтобы избежать указанных недостатков, применяют коллекторную модуляцию. Однако и она не лишена недостатков. Главный недостаток – необходимость иметь мощный модулятор, что приводит к соответствующим последствиям – необходимости применения радиаторов для отвода тепла, увеличению габаритов и массы. Кроме этого, поскольку при коллекторной модуляции модулируемый каскад работает в перенапряжённом режиме, то это говорит о его малом коэффициенте усиления по мощности K_p .

В качестве энергетических показателей амплитудного модулятора можно выделить следующие:

- амплитуда выходного напряжения в режиме молчания (при отсутствии модуляции) $U_{\text{ВЫХ } m 0}$;
- выходная мощность в режиме молчания $P_{\text{ВЫХ } 0}$;
- потребляемый ток в режиме молчания $I_{\text{ПОТ } 0}$;
- потребляемая мощность в режиме молчания $P_{\text{ПОТ } 0}$;
- коэффициент полезного действия в режиме молчания η_0 ;
- амплитуда максимального выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}}$;
- амплитуда минимального выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}$;
- максимальная выходная мощность $P_{\text{ВЫХ } \text{ max}}$;
- минимальная выходная мощность $P_{\text{ВЫХ } \text{ min}}$ и др.

Поскольку на рис. 4.1 представлена временная диаграмма амплитудно-модулированного сигнала без «привязки» к выходному сигналу амплитудного модулятора, то следует иметь в виду, что параметры этих сигналов можно «связать» между собой следующим образом: $U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}} = U_{m \text{ max}}$, $U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}} = U_{m \text{ min}}$, $U_{\text{ВЫХ } m 0} = U_{m 0}$.

Порядок выполнения работы.

Для проведения исследования необходимо собрать схему, представленную на рис. 4.2.

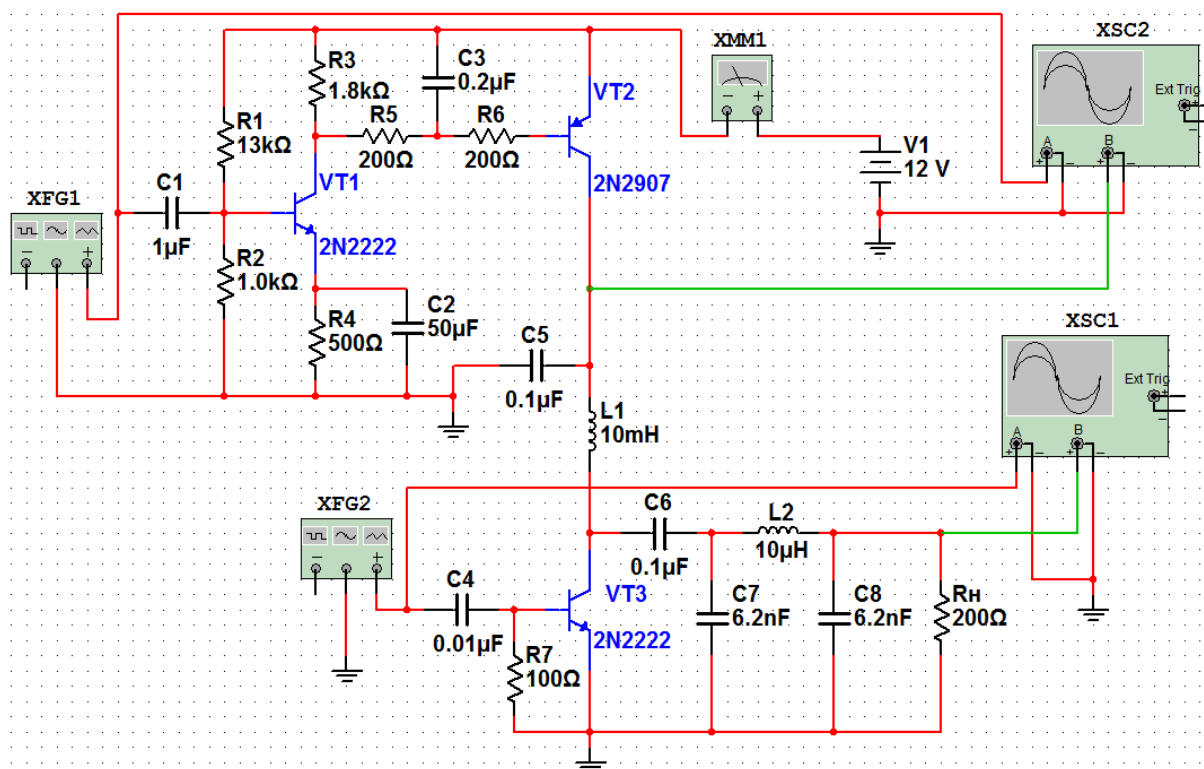


Рис. 4.2 Схема измерений

На рис. 4.2 представлен амплитудный модулятор. Модулируемым каскадом является каскад на транзисторе VT3, который представляет собой генератор с внешним возбуждением (ГВВ), который мы исследовали в лабораторной работе №1. На вход ГВВ поступает синусоидальный высокочастотный сигнал с частотой 900 кГц и амплитудой 900 мВ с функционального генератора XFG2, а к выходу ГВВ подключено сопротивление нагрузки R_H . Модулирующее напряжение на ГВВ подаётся с усилителя звуковых частот, выполненного на транзисторах VT1 и VT2. Поскольку это напряжение подаётся в цепь коллектора транзистора VT3 ГВВ, то можно сделать вывод, что в данном устройстве осуществляется коллекторная амплитудная модуляция.

Входной сигнал на усилитель звуковых частот подаётся с функционального генератора XFG1. Параметры звукового сигнала генератора XFG1 для выполнения каждого задания лабораторной работы указываются непосредственно в задании.

У осциллографа XSC1 вход канала **A** подключен к входу ГВВ, а вход канала **B** – к выходу устройства, к резистору R_H . У осциллографа XSC2 вход канала **A** подключен к входу усилителя звуковых частот, а вход канала **B** – к выходу усилителя звуковых частот, являющемуся одновременно источником модулирующего напряжения для ГВВ.

Внимание! Поскольку после запуска в схеме происходят переходные процессы, то для правильного измерения напряжения на сопротивлении нагрузки R_H следует дождаться установившегося режима работы схемы (схема должна проработать не менее 2 – 3 мсек).

Осциллографы синхронизировать по входу A, режим синхронизации – None или Auto. Для удобства наблюдения сигналов цвета каналов сделайте разными, например, канал **A** – красный, канал **B** – зелёный.

Перед проведением измерений выполните ещё одну настройку в программе Multisim. Для этого следует, используя левую кнопку мыши, в строке меню последовательно выбрать **Simulate ► Interactive Simulation Settings**. В открывшемся окне выбрать вкладку **Analysis options**.

По умолчанию в программе Multisim (в поле **Maximum number of points**) задано **128000** точек. Для наших измерений необходимо установить **1280000** точек. Выполните установку указанного значения и щёлкните кнопку **OK** в нижней части окна – окно закроется.

Задание 1. Снять динамическую модуляционную характеристику (ДМХ) амплитудного модулятора, т. е. зависимость коэффициента амплитудной модуляции m от уровня модулирующего напряжения $U_{\Omega m}$.

Ход выполнения задания. Как было указано выше, ДМХ снимается при постоянной частоте модулирующего напряжения. Обычно она выбирается равной 1 кГц. Поэтому в параметрах генератора XFG1 установите: в

поле частота (**Frequency**) значение **1 kHz**, амплитуда (**Amplitude**) **5 mVp** (5 мВ), вид сигнала – **синусоидальный**.

Запустите работу схемы. Проконтролируйте сигналы в точках подключения входов осциллографов. Измерьте с помощью курсоров осциллографа XSC1 значения амплитуд максимального выходного $U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}}$ и минимального выходного $U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}$ напряжений и занесите в таблицу 4.1, в столбец, соответствующий $U_{\Omega m} = 5$ мВ (поскольку именно это значение амплитуды модулирующего напряжения мы ранее установили в параметрах генератора XFG1). Измерения можно проводить при остановленной работе схемы. Расчёт коэффициента амплитудной модуляции в данном задании следует выполнять по формуле:

$$m = \frac{U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}} - U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}}{U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}} + U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}}. \quad (4.8)$$

Аналогичные измерения и расчёты следует сделать и для других значений $U_{\Omega m}$, указанных в таблице 4.1.

Таблица 4.1

$U_{\Omega m}$, мВ	0	1	3	5	7	9	11	13	15
$U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}}$, В									
$U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}$, В									
m									

По полученным данным постройте график зависимости $m(U_{\Omega m})$. Объясните полученный результат.

По данным таблицы 4.1 постройте также ещё графики зависимости $U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}}(U_{\Omega m})$ и $U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}(U_{\Omega m})$. Объясните полученный результат.

Задание 2. По данным таблицы 4.1 произвести расчёты максимальной выходной $P_{\text{ВЫХ max}}$ и минимальной выходной $P_{\text{ВЫХ min}}$ мощностей.

Ход выполнения задания. Для выполнения задания следует произвести расчёты указанных мощностей по следующим формулам:

$$P_{\text{ВЫХ max}} = \frac{U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}}^2}{2R_{\text{H}}}, \quad (4.9)$$

$$P_{\text{ВЫХ min}} = \frac{U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}^2}{2R_{\text{H}}}, \quad (4.10)$$

а полученные результаты занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

$U_{\Omega m}$, мВ	0	1	3	5	7	9	11	13	15
$P_{\text{ВЫХ max}}$, Вт									
$P_{\text{ВЫХ min}}$, Вт									

По данным табл. 4.2 постройте графики зависимости $P_{\text{ВЫХ max}}(U_{\Omega m})$ и $P_{\text{ВЫХ min}}(U_{\Omega m})$. Объясните полученный результат.

Задание 3. Вычислить коэффициент полезного действия η_0 в режиме молчания.

Ход выполнения задания. Как известно, режимом молчания называют работу передатчика, когда амплитуда модулирующего напряжения $U_{\Omega m}$ равна нулю. Поэтому для выполнения задания следует в генераторе XFG1 установить наименьшую амплитуду напряжения 1 fVp (10^{-15} В).

Запустите работу схемы. Откройте окно мультиметра и, дождаввшись установившегося режима, снимите показание величины потребляемого тока в режиме молчания $I_{\text{ПОТ } 0}$. Рассчитайте потребляемую мощность по формуле

$$P_{\text{ПОТ}} = U_{\text{ИП}} I_{\text{ПОТ}}, \quad (4.11)$$

где $U_{\text{ИП}}$ – напряжение источника питания, равное 12 В.

После этого рассчитайте коэффициент полезного действия η_0 в режиме молчания по формуле

$$\eta_0 = \frac{P_{\text{ВЫХ } 0}}{P_{\text{ПОТ}}}, \quad (4.12)$$

где $P_{\text{ВЫХ } 0}$ – выходная мощность в режиме молчания (она численно равна мощности $P_{\text{ВЫХ max}}$ или $P_{\text{ВЫХ min}}$ из таблицы 4.2 при $U_{\Omega m} = 0$ мВ).

Задание 4. Снять частотную модуляционную характеристику (ЧМХ) амплитудного модулятора, т. е. зависимость коэффициента модуляции m от частоты модулирующего напряжения при постоянной амплитуде модулирующего напряжения.

Ход выполнения задания. Методика выполнения задания похожа на методику задания 1 текущей лабораторной работы, только в данном случае в параметрах генератора XFG1 константой является амплитуда модулирующего напряжения $U_{\Omega m} = 5$ мВ, а изменяемой величиной частота (**Frequency**).

Таблица 4.3

F , кГц	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20
$U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}}$, В								
$U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}$, В								
m								

По полученным данным постройте график зависимости $m(U_{\Omega} m)$. Объясните полученный результат.

Содержание отчёта по лабораторной работе: Название, цель работы, схема измерений, результаты выполнения заданий, выводы. В выводах следует отразить полученные результаты экспериментальных исследований, объяснить вид построенных графиков и сравнить результаты экспериментов с теоретическими положениями.

Контрольные вопросы:

1. С какой целью в передатчиках осуществляют модуляцию?
2. Какие виды амплитудной модуляции вам известны? В чём их особенности?
3. Что такое коэффициент амплитудной модуляции m ?
4. Какое устройство предназначено для осуществления процесса амплитудной модуляции? В чём заключается принцип его работы?
5. Какие два основных способа получения амплитудной модуляции вам известны? В чём их достоинства и недостатки?
6. Из каких структурных частей состоит исследуемый в текущей лабораторной работе амплитудный модулятор?
7. Каково назначение каждого радиоэлемента в исследуемой схеме?
8. Как объяснить ход полученных в лабораторной работе зависимостей?
9. Почему в амплитудном модуляторе наблюдаются амплитудно-частотные искажения?
10. Что собой представляет «режим молчания» при амплитудной модуляции?
11. От чего зависит распределение мощности в спектре однотонового АМ-сигнала?
12. Как измерить с помощью курсоров осциллографа XSC1 значения амплитуд максимального выходного $U_{\text{ВЫХ } m \text{ max}}$ и минимального выходного $U_{\text{ВЫХ } m \text{ min}}$ напряжений?
13. Какие параметры и как настраиваются в функциональном генераторе программы Multisim?
14. Какие функции выполняют органы управления двухканального осциллографа программы Multisim?

5 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 «ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО МОДУЛЯТОРА»

Цели работы:

1. Исследовать характеристики фазового модулятора.
2. Приобретение и закрепление практических навыков работы с интерактивным эмулятором радиосхем Multisim.

Подготовка к лабораторной работе.

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретический материал по теме лабораторной работы [1, 5] и методики проведения измерений, подробно изложенные в материалах учебно-методических пособий [2, 3, 4].
3. Подготовить в рабочей тетради отчёт по лабораторной работе, в котором должны содержаться: цель работы, схема измерений, а при необходимости – краткие теоретические сведения, таблицы измерений и расчётные формулы (допускается таблицы измерений и расчётные формулы вносить в отчёт на окончательном этапе оформления отчёта, чтобы избежать помарок в отчёте, производя расчёты и предварительное оформление таблиц на черновиках).

Краткие теоретические сведения по теме.

Как известно, фазовая модуляция является одним из основных видов модуляции, наравне с частотной и амплитудной. Фазовая модуляция вместе с частотной относятся к угловой модуляции. Несмотря на то, что при фазовой модуляции изменяется фаза несущего колебания в соответствии с законом изменения модулирующего напряжения, а при частотной изменяется частота несущего колебания, эти два вида модуляции очень схожи. Они так схожи, что их даже нельзя отличить друг от друга, если модуляция осуществляется непрерывным аналоговым сигналом. Но их отличие хорошо видно, если модуляция осуществляется импульсным прямоугольным сигналом.

Для осуществления процесса фазовой модуляции применяются фазовые модуляторы. Фазовые модуляторы широко используются в системах УКВ связи, телевизионных передатчиках СВЧ, в передатчиках РЛС для формирования радиосигналов ЧМ, ФМ и фазоманипулированных при высоких требованиях к стабильности частоты несущего колебания.

В идеальном случае фазовый модулятор обеспечивает линейную зависимость девиации фазы $\Delta\varphi$ от управляющего напряжения при постоянстве амплитуды ФМ колебаний на выходе модулятора. В реальных устройствах может присутствовать некоторая нелинейность, а также может появиться некоторая паразитная амплитудная модуляция.

Порядок выполнения работы.

Для проведения исследований и лучшего понимания принципа действия фазового модулятора необходимо рассмотреть его работу сначала в статическом, а затем в динамическом режимах работы. Зависимость девиации фазы от управляющего напряжения наиболее наглядно можно наблюдать в статическом режиме работы фазового модулятора, когда в качестве управляющего (модулирующего) используется постоянное напряжение, и его величина последовательно устанавливается в соответствии с заранее заданными значениями.

Задание 1. Снять статическую модуляционную характеристику – график зависимости $\varphi(U_{\text{уп}})$.

Ход выполнения задания. Соберите схему для снятия статической модуляционной характеристики и изучения принципа действия фазового модулятора в статическом режиме (рис. 5.1). Для удобства наблюдения цвета лучей каналов осциллографа сделайте разными, например, канал **A** – красный, канал **B** – зелёный. На источнике постоянного напряжения **V1** (в данном случае он вырабатывает модулирующее напряжение) установите напряжение 3 В. Обратите внимание, что поскольку положительный вывод этого источника заземлён, а модулирующее напряжение в схему (на резистор **R1** поступает с отрицательного вывода источника **V1**), то на резистор **R1** подаётся с источника **V1** минус 3 В.

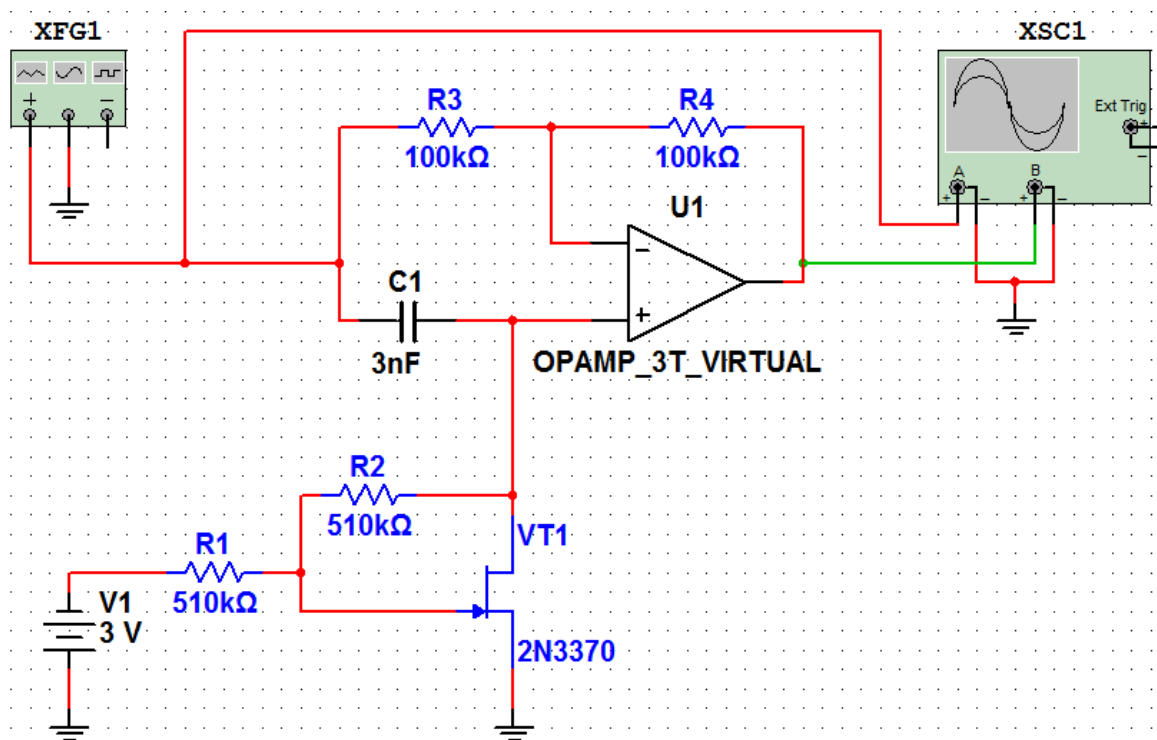


Рис. 5.1. Схема для снятия статической модуляционной характеристики фазового модулятора.

В функциональном генераторе XFG1 (который вырабатывает модулируемое напряжение или же напряжение несущей частоты) установите синусоидальное напряжение амплитудой 1 В и частотой 10 кГц.

Запустите работу схемы. На экране осциллографа проконтролируйте сигнал на входе канала **A** и на входе канала **B** и зарисуйте временные диаграммы на входе (канал **A**) и выходе (канал **B**) модулятора. Проведите с помощью курсоров осциллографа **T1** и **T2** измерение периода (**T**) выходного напряжения и рассчитайте частоту (**F**) выходного напряжения по формуле

$$F = \frac{1}{T}. \quad (5.1)$$

Полученные значения периода (**T**) и частоты (**F**) занесите в таблицу 5.1.

Таблица 5.1.

$U_{\text{ин}}, \text{В}$	0	- 0,5	- 1	- 1,5	- 2	- 2,5	- 3
$T, \text{мкс}$							
$F, \text{кГц}$							
$\Delta t, \text{мкс}$							
$\varphi, \text{град}$							

С помощью курсоров осциллографа, снимите показания временного сдвига между входным и выходным сигналами модулятора $\Delta t = T2 - T1$ и занесите в таблицу 5.1.

Определите фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами. Для этого можно воспользоваться курсорами осциллографа. Сначала с помощью курсоров осциллографа необходимо измерить временной сдвиг между входным и выходным сигналами модулятора. Для этого установите курсоры, например, на максимумы амплитуд входного и выходного сигналов (или перехода через ноль), снимите показание разности значений **T2** – **T1** и запишите в таблицу 5.1. Затем рассчитайте величину фазового сдвига (φ) по формуле:

$$\varphi = \frac{360}{T} \cdot \Delta t. \quad (5.2)$$

Полученное значение фазового сдвига φ занесите в таблицу 5.1.

Отметим, что для исследуемой схемы при напряжении источника питания минус 3 В сдвиг фаз составляет, примерно, 2,47 градуса, т.е. фазы входного и выходного сигналов практически совпадают.

При дальнейшем исследовании последовательно устанавливайте напряжения на источнике постоянного напряжения **V1** такими, как они указаны в таблице 5.1, делайте указанные выше измерения и вычисления и

заполните таблицу 5.1.

По полученным данным постройте статическую модуляционную характеристику – график $\varphi(U_{\text{ин}})$. Проанализируйте полученные результаты.

Задание 2. Исследовать работу фазового детектора в динамическом режиме.

Ход выполнения задания. Вместо источника постоянного тока подключите второй генератор (XFG2), как показано на рис. 5.2. Это позволит исследовать фазовый модулятор в динамическом режиме.

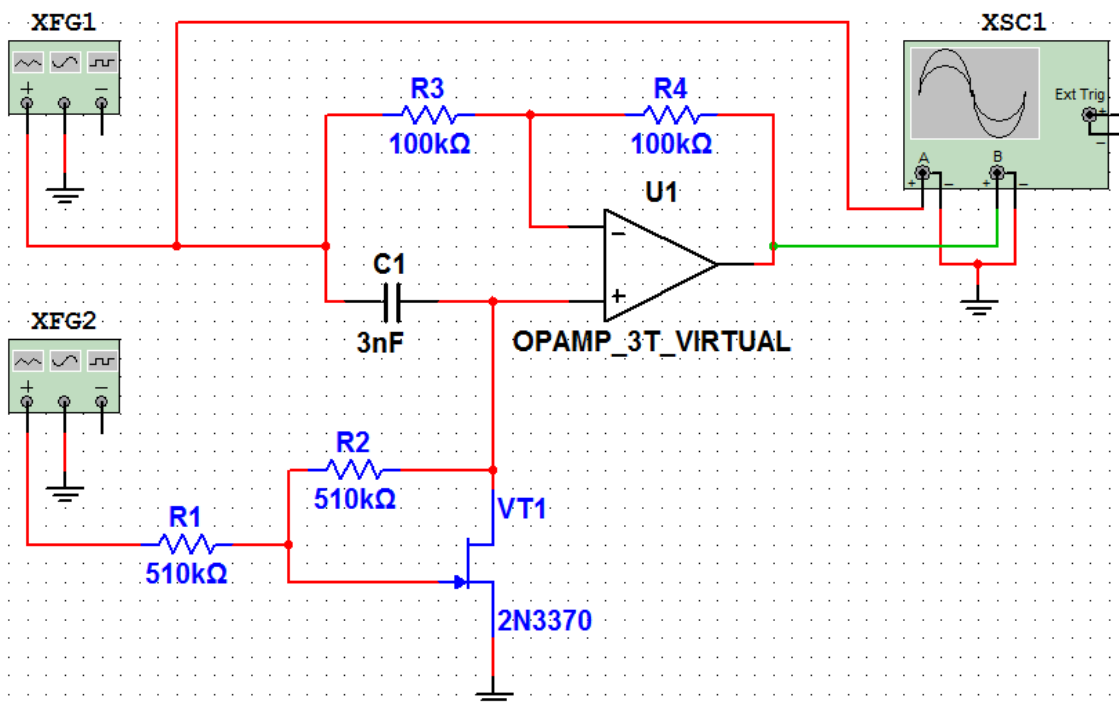


Рис. 5.2. Схема для изучения принципа действия фазового модулятора в динамическом режиме.

Установите на функциональном генераторе XFG2 следующие значения: частота – 1 кГц, амплитуда – 1 В, сдвиг (Offset) – минус 1 В.

Запустите работу схемы. На экране осциллографа проконтролируйте сигнал на входе канала **A** и на входе канала **B**. Зарисуйте временные диаграммы на входе (канал **A**) и выходе (канал **B**) модулятора. Проанализируйте полученный результат.

Задание 3. Проведите необходимые действия, чтобы наглядно продемонстрировать (на экране осциллографа), что при фазовой модуляции изменяется фаза, а не частота. Полученную осциллограмму продемонстрируйте преподавателю и зарисуйте в тетрадь.

Содержание отчёта по лабораторной работе: Название, цель работы, схема измерений, результаты выполнения заданий, выводы. В выводах следует отразить полученные результаты экспериментальных исследований, объяснить вид построенных графиков и сравнить результаты экспериментов с теоретическими положениями.

Контрольные вопросы:

1. Для чего служит фазовый модулятор?
2. Какими параметрами можно характеризовать фазовую модуляцию?
3. Какие способы получения частотной модуляции вам известны?
4. Какими параметрами можно характеризовать частотную модуляцию?
5. Какие значения может принимать индекс частотной или фазовой модуляции?
6. В чём разница между узкополосной частотной (фазовой) модуляцией и широкополосной частотной (фазовой) модуляцией?
7. В чём преимущества и недостатки частотной (фазовой) модуляции по сравнению с амплитудной модуляцией?
8. Каково назначение каждого радиоэлемента в исследуемых схемах?
9. Как объяснить ход полученных в лабораторной работе зависимостей?
10. Почему функциональные генераторы в схеме на рис. 5.2 имеют разные выходные частоты?
11. Как определить фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами с помощью Multisim?
12. Как сместить по вертикали луч осциллографа в программе Multisim? С какой целью это необходимо иногда делать?

6 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 «ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТ»

Цели работы:

1. Исследовать характеристики цифрового синтезатора частот.
2. Приобретение и закрепление практических навыков работы с интерактивным эмулятором радиосхем Multisim.

Подготовка к лабораторной работе.

1. Ознакомиться с описанием лабораторной работы.
2. Изучить теоретический материал по теме лабораторной работы [1, 5] и методики проведения измерений, подробно изложенные в материалах учебно-методических пособий [2, 3, 4].
3. Подготовить в рабочей тетради отчёт по лабораторной работе, в котором должны содержаться: цель работы, схема измерений, а при необходимости – краткие теоретические сведения, таблицы измерений и расчётные формулы (допускается таблицы измерений и расчётные формулы вносить в отчёт на окончательном этапе оформления отчёта, чтобы избежать помарок в отчёте, производя расчёты и предварительное оформление таблиц на черновиках).

Краткие теоретические сведения по теме.

Для генерации колебаний дискретной сетки частот используют различные способы и устройства, называемые синтезаторами частот. Наибольшее распространение получили способы прямого и непрямого синтеза.

Под *прямым синтезом* выходного сигнала синтезаторов частот понимают преобразование колебаний стабильной частоты f_3 с помощью простейших операций умножения, деления, вычитания и суммирования частоты. Комбинируя действия умножения в m раз и деления в n раз (m и n – целые числа), сложения и вычитания, можно получить комбинационные колебания с частотами mf_3 , f_3/n , mf_3/n , $(m_1/n_1 \pm m_2/n_2)f_3$ и другие более сложные сочетания. Нужную компоненту преобразованного колебания из остальных выделяют узкополосными фильтрами.

В синтезаторах **непрямого (косвенного) синтеза** выходной сигнал вырабатывается самостоятельно в перестраиваемом по частоте генераторе (например, генераторе, управляемом напряжением – ГУН), текущая частота которого $f_T(t)$ непрерывно сравнивается с эталонной f_3 с помощью системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Чаще всего используют, так называемые, цифровые синтезаторы частот. Цифровыми называют синтезаторы, вырабатывающие гармонические колебания дискретной сетки частот и построенные в основном на элементах цифровой схемотехники

[5]. В данной лабораторной работе вы должны исследовать характеристики генератора, управляемого напряжением, построенного на операционном усилителе и разобраться с принципом его работы.

Порядок выполнения работы.

Для проведения исследования необходимо собрать схему, представленную на рис. 6.1.

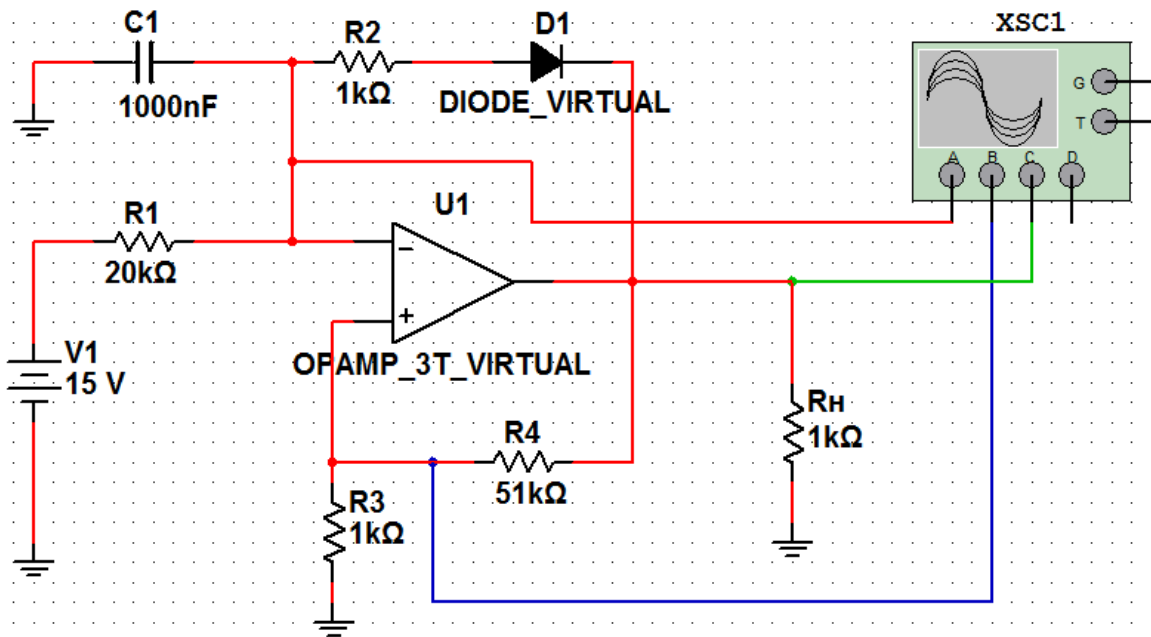


Рис. 6.1 Схема измерений

На рис. 6.1 представлена схема генератора, управляемого напряжением. Нагрузкой генератора является резистор R_n . Для исследования временных процессов, проходящих в различных точках генератора, используется четырёхканальный осциллограф. Для удобства наблюдения цвета лучей каналов осциллографа сделайте разными, например, канал **A** – красный, канал **B** – зелёный и т.п.

Перед проведением измерений установите в программе Multisim параметр «**gear integration method**». Для этого следует, используя левую кнопку мыши, в строке меню последовательно выбрать **Simulate** ► **Interactive Simulation Settings** ► **Analysis Options** ► **Customize** ► **Transient**.

Задание 1. С помощью осциллографа снять зависимость частоты выходного сигнала генератора и длительности отрицательного импульса выходного напряжения от напряжения источника V_1 .

Ход выполнения задания. Соберите схему по рис. 6.1 и запустите работу схемы. Проконтролируйте сигналы в точках подключения входов осциллографов. Измерьте с помощью курсоров осциллографа XSC1 значе-

ние периода повторения импульсов T и длительность отрицательных импульсов напряжения $t_{\text{н}}$, вырабатываемых генератором. Измерения лучше проводить при остановленной работе схемы. Полученные значения занесите в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

$U_{\text{инп}}$, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T , мкс															
F , кГц															
$t_{\text{н}}$, мкс															

Значение частоты выходного сигнала генератора рассчитайте по известной формуле

$$F = \frac{1}{T}. \quad (6.1)$$

Данные занесите в таблицу. Постройте графики зависимости $F(U_{\text{инп}})$ и $t_{\text{н}}(U_{\text{инп}})$. Проанализируйте полученные результаты.

Задание 2. Разобраться с принципом работы схемы и назначением компонентов схемы.

Ход выполнения задания. Проанализируйте временные диаграммы в точках схемы, куда подключены входы осциллографа. Чтобы выяснить назначение компонентов схемы, изменяйте их значения и оценивайте, к каким изменениям временных диаграмм это приводит.

Оформите отчёт по лабораторной работе.

Содержание отчёта по лабораторной работе: Название, цель работы, схема измерений, результаты выполнения заданий, выводы. В выводах следует отразить полученные результаты экспериментальных исследований, объяснить вид построенных графиков и сравнить результаты экспериментов с теоретическими положениями.

Контрольные вопросы:

1. Для чего предназначен в радиопередатчике синтезатор частот?
2. Какими параметрами можно характеризовать синтезатор частот?
3. Какие способы синтеза частот вам известны? В чём их особенности?
4. Для чего предназначен генератор, управляемый напряжением?
5. Что такое сетка частот?
6. В чём разница между генератором с плавной перестройкой частоты и синтезатором частот?
7. В чём преимущества синтезаторов частот перед генераторами с

плавной перестройкой частоты?

8. В чём недостатки синтезаторов частот по сравнению с генераторами с плавной перестройкой частоты?

9. Каково назначение каждого радиоэлемента в исследуемой схеме?

10. Как объяснить принцип действия исследованного в текущей лабораторной работе генератора, управляемого напряжением?

11. Как объяснить ход полученных в лабораторной работе зависимостей?

12. Какие функции выполняют органы управления четырёхканального осциллографа программы Multisim?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная литература

1. Гарматюк С.С. Задачник по устройствам генерирования и формирования радиосигналов: Учебное пособие для вузов. Рекомендовано УМО. – М.: ДМК Пресс, 2012.– 672 с.
2. Медведев И.И. Исследование устройств приёма и обработки сигналов с помощью интерактивного эмулятора радиосхем Multisim. Часть 1. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2012. – 64 с.
3. Медведев И.И. Исследование устройств приёма и обработки сигналов с помощью интерактивного эмулятора радиосхем Multisim. Часть 2: учебно-методическое пособие – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2013. – 76 с.
4. Медведев И.И. Исследование устройств приёма и обработки сигналов с помощью интерактивного эмулятора радиосхем Multisim. Часть 3: учебно-методическое пособие – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2014. – 65 с.
5. Попов П.А. Устройства генерирования и формирования радиосигналов: учебное пособие / П.А. Попов, С.С. Никулин. – Воронеж: ВИ МВД России, 2008. – 149 с.

Игорь Иванович Медведев

УСТРОЙСТВА ГЕНЕРИРОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Практикум

Воронежский институт МВД России
394065 Воронеж, просп. Патриотов, 53