

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ САПР В СХЕМОТЕХНИКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Учебно-методическое пособие

Санкт-Петербург
Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
2017

УДК 621.38 (07)

ББК 3 85я7

П76

Андреев В. С., Бутусов Д. Н., Михалков В. А., Соколов Ю. М.

П76 Применение современных САПР в схемотехнике электронных устройств:
учеб.-метод. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. 64 с.

ISBN 000-0-0000-0000-0

Содержит учебно-методический материал по использованию современных схемотехнических САПР Multisim и NI ELVIS в практике проектирования аналоговых и цифровых электронных устройств.

Предназначено для студентов направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника», обучающихся по дисциплине «Схемотехника».

УДК 621.38

ББК 00000000

Утверждено
редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

ISBN 000-0-0000-0000-0

© СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированное схемотехническое проектирование целого ряда электронных устройств связано с определенными трудностями, обусловленными высокой степенью неоднородности параметров их элементов. Действительно, во многих случаях аналоговая схема, содержащая сотни компонентов, может не иметь двух одинаковых по параметрам. В настоящее время не удастся осуществить полную автоматизацию проектирования аналоговых микроэлектронных устройств, т. е. их проектирование без участия человека, особенно при решении задач структурного синтеза. Однако при максимальном использовании квалификации разработчика и осуществлении тесного диалогового взаимодействия между ним и компьютером задачи структурного и параметрического синтеза могут быть успешно решены. Этому во многом способствует широкий комплекс аналитических программ, имеющихся в современных САПР радиоэлектронной аппаратуры.

В учебном процессе по дисциплине «Схемотехника» для моделирования (эмуляции) электронных устройств удобно использовать систему Multisim, а для экспериментальных исследований – систему NI ELVIS. Обе системы разработаны компанией National Instruments; их основные достоинства – удобство и комфорт процесса проектирования [1; 3; 4; 5].

В обеих системах Multisim и NI ELVIS используются измерительные виртуальные приборы (ИВП), но это совершенно разные приборы. В системе Multisim используются ИВП для компьютерного моделирования. Эти приборы не измеряют реальные физические процессы, а только отражают результаты эмуляции в удобном для пользователя виде; при этом предполагается, что пользователь имел значительный опыт работы с традиционными измерительными приборами и привык к ним. В системе NI ELVIS используются ИВП для экспериментальных исследований. Эти приборы измеряют реальные токи и напряжения в электронном устройстве. Их виртуальность состоит в том, что они внешне визуализированы на компьютере под традиционные измерительные приборы, что вызывает у разработчика положительный эффект узнавания.

1. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ NI ELVIS ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

1.1. Общая часть

Учебная лабораторная станция виртуальных приборов NI ELVIS – это набор ИВП для образовательных лабораторий от компании National Instruments. Для обеспечения функциональных возможностей набора обычных измерительных приборов в NI ELVIS используются программы – приборы, написанные на LabVIEW, многофункциональный прибор сбора данных DAQ, настольная рабочая станция и макетная плата.

В экспериментальных исследованиях электронных устройств широко используются следующие ИВП системы NI ELVIS:

1. *Digital Multimeter* – Цифровой мультиметр (ЦМ). С помощью этого ИВП можно измерять следующие величины: постоянное напряжение; переменное напряжение; постоянный и переменный ток; активное сопротивление; емкость; индуктивность; работоспособность диода; неразрывность цепи (рис. 1.1).

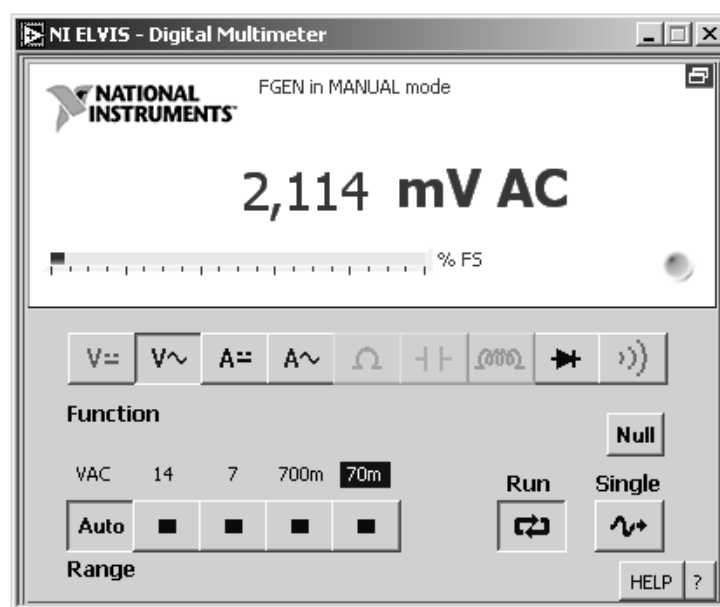


Рис. 1.1. ИВП Цифровой мультиметр

2. *Two Wire Current-Voltage Analyzer* – Двухпроводной вольтамперный анализатор. Этот ИВП позволяет проводить параметрические измерения для диодов и стабилитронов, а также наблюдать их вольтамперные характеристики. Для более аккуратных измерений на экране ИВП можно использовать курсоры (рис. 1.2).

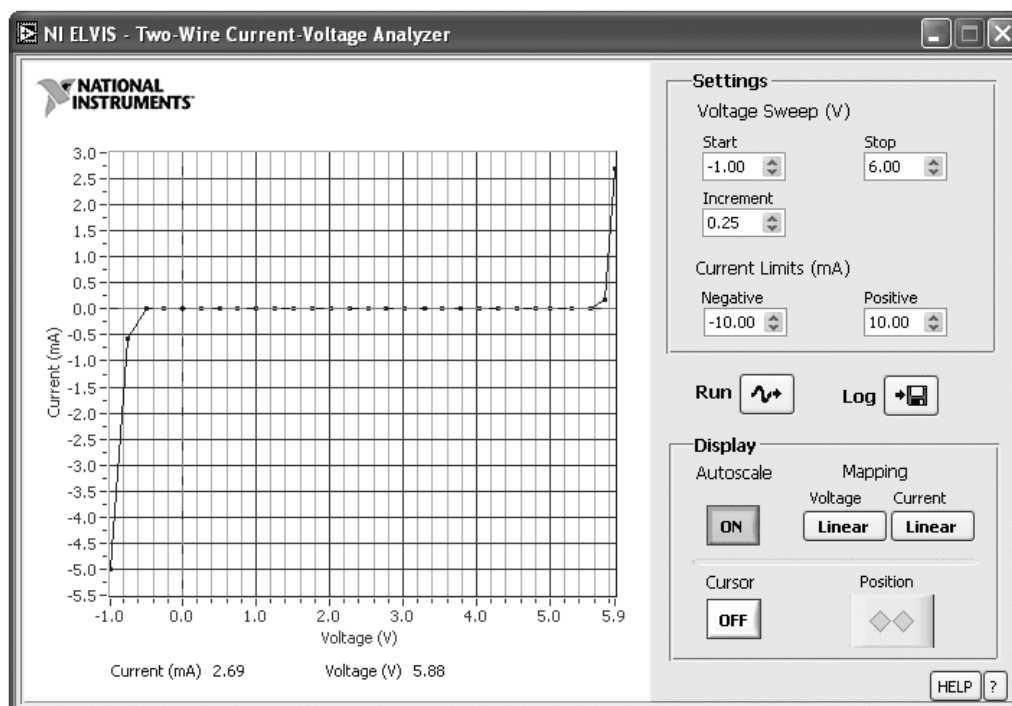


Рис. 1.2. ИВП Двухпроводной вольтамперный анализатор

3. *Three Wire Current-Voltage Analyzer* – Трехпроводной вольтамперный анализатор. Этот ИВП позволяет проводить параметрические измерения для транзисторов, а также наблюдать их вольтамперные характеристики с использованием курсоров (рис. 1.3).

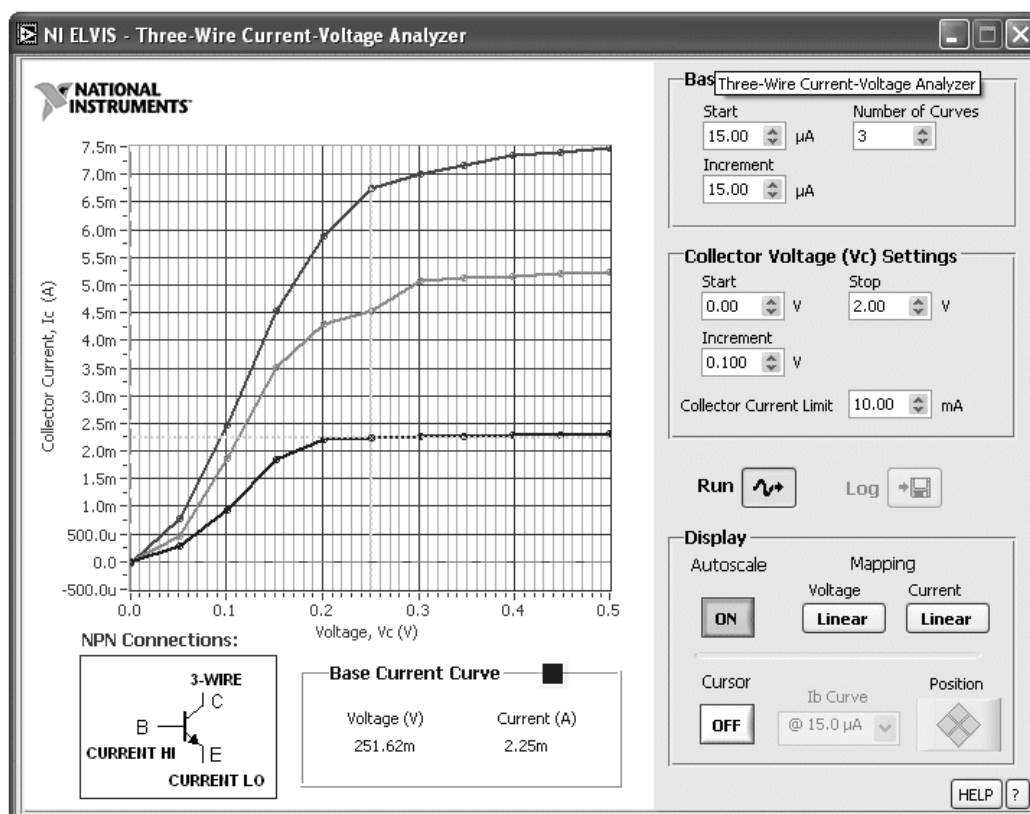


Рис. 1.3. ИВП Трехпроводной вольтамперный анализатор

4. *Function Generator* – Функциональный генератор (ФГ). Этот ИВП позволяет выбирать форму сигнала (синусоида, «меандр», «пила»), его амплитуду и частоту; при этом можно регулировать постоянную составляющую, осуществлять развертку по частоте и модуляцию сигнала (рис. 1.4).

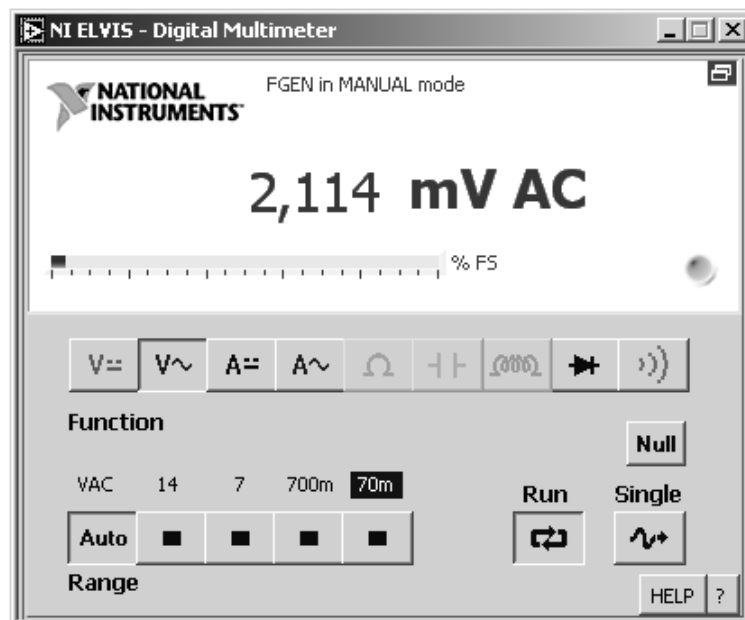


Рис. 1.4. ИВП Функциональный генератор

5. *Variable Power Supplies* – Регулируемый источник питания (РИП). Этот ИВП позволяет изменять напряжения на их выходах – для источника отрицательного напряжения от -12 до 0 В, для источника положительного напряжения от 0 до $+12$ В (рис. 1.5).

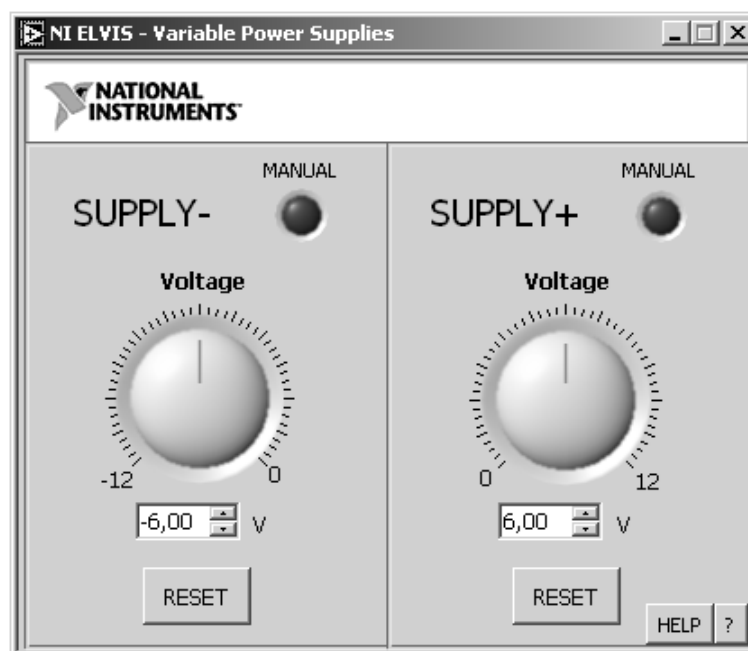


Рис. 1.5. ИВП Регулируемый источник питания

6. *Oscilloscope* – Осциллограф (ОСЦ). Этот ИВП имеет два канала и снабжен кнопками выбора масштаба, ручками регулировки положения луча, а также изменяемой временной разверткой. Возможность автомасштабирования позволяет автоматически регулировать масштаб по оси Y в зависимости от размаха переменного напряжения для лучшего отображения сигнала. Пользователь сам выбирает источник запуска и режим работы, причем запуск может быть цифровой и аналоговый. Входные сигналы на осциллограф могут подаваться через макетную плату или через разъемы типа BNC, установленные на лицевой панели NI ELVIS. Система NI ELVIS может направлять к осциллографу сигналы от ФГ или ЦМ. Дисплей ОСЦ дает возможность использовать курсоры для точных измерений на экране (рис. 1.6).

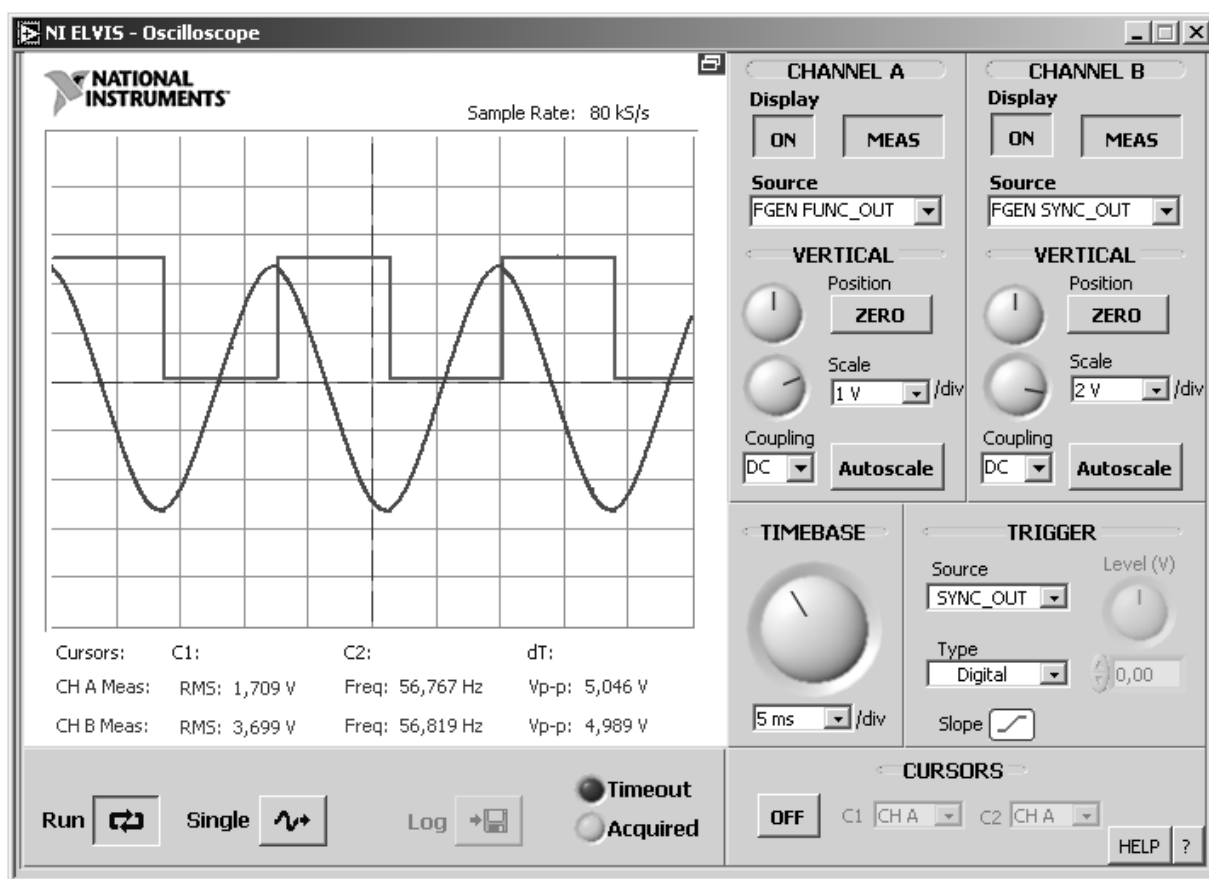


Рис. 1.6. ИВП Осциллограф

7. *Bode Analyzer* – Анализатор Бод (АБ). Этот ИВП совместно с ФГ измеряет амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) и фазо-частотные характеристики (ФЧХ) аналоговых электронных устройств и визуализирует их в удобном для пользователя виде. Пользователь задает частотный диапазон измерений, их число, а также выбирает шкалу дисплея – линейную или логарифмическую (рис. 1.7).

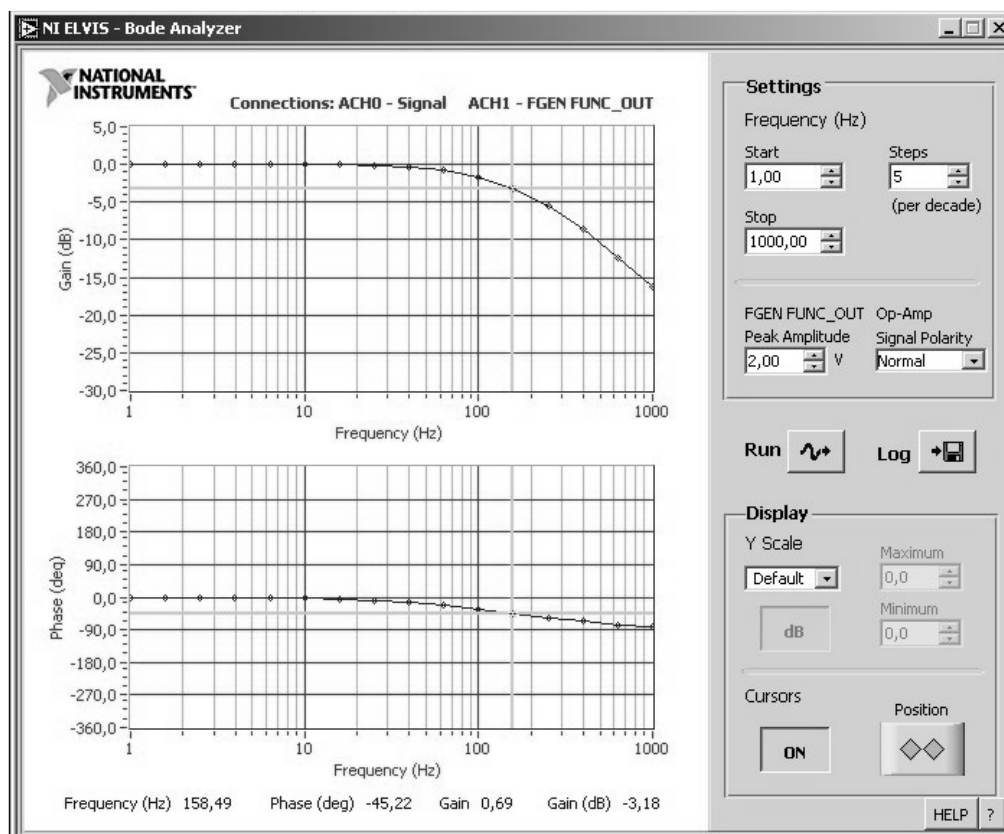


Рис. 1.7. ИВП Анализатор Боде

8. *Digital Bus Reader* – Устройство чтения с цифровых портов. Этот ИВП считывает цифровые данные с шины цифрового ввода, обозначенной на макетной плате как DI (Digital Input). Считывание может осуществляться как однократно, так и в непрерывном режиме (рис. 1.8).

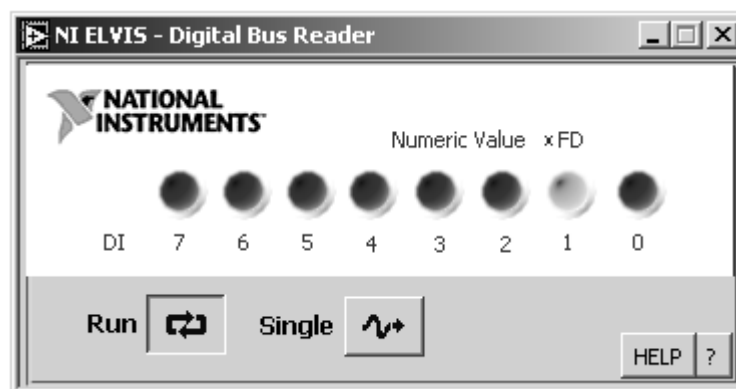


Рис. 1.8. ИВП Устройство чтения с цифровых портов

9. *Digital Bus Writer* – Устройство записи на цифровые порты. Этот ИВП выдает на шину цифрового вывода DO (Digital Output) определенный пользователем шаблон цифрового сигнала. Шаблон можно создать вручную, а можно выбрать из определенных ранее, таких как "пила", "шахматная доска" или

тест "бегущая единица". Вывод может осуществляться в непрерывном или однократном режиме (рис. 1.9).

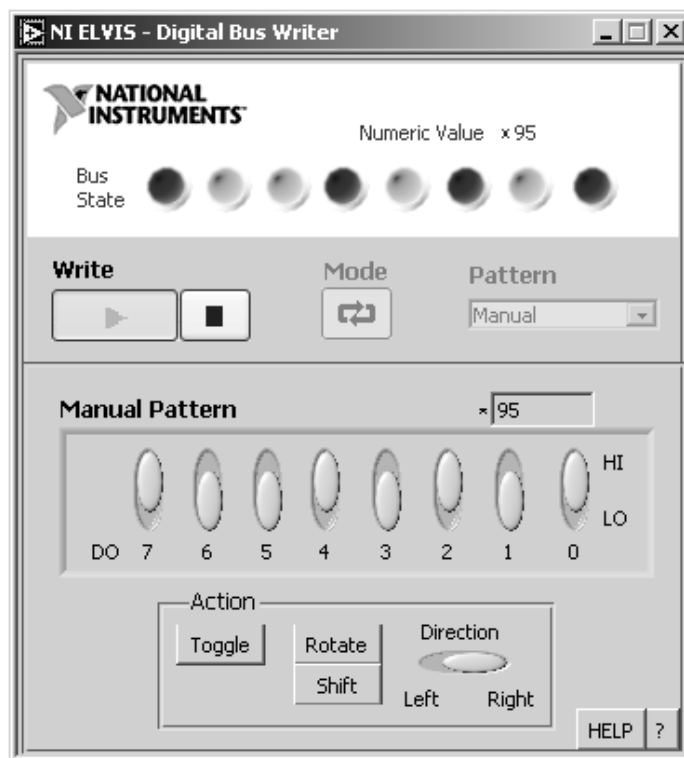


Рис. 1.9. ИВП Устройство записи на цифровые порты

Система NI ELVIS предоставляет студенту очень широкие возможности для физического макетирования аналоговых и цифровых электронных устройств на макетной плате с визуализацией результатов эксперимента на компьютере. Эта система проводит эксперимент по программе, заданной пользователем, обрабатывает его результаты и представляет их в удобном для пользователя виде. Например, виртуальный прибор «Анализатор Боде», имеющий визуализацию логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) и фазо-частотных характеристик (ФЧХ), позволяет быстро и эффективно решать задачи оптимизации работы аналоговых электронных устройств в частотной области.

1.2. Проектирование электронных устройств

На кафедре САПР с использованием системы NI ELVIS разработан фронтальный цикл экспериментальных лабораторных работ [3; 4; 5]. Он включает в себя следующие работы:

- Исследование возможностей системы NI ELVIS.
- Выпрямители и параметрические стабилизаторы на кремниевых диодах и стабилитронах.

- Решающие усилители.
- Усилители переменного тока на базе интегральных операционных усилителей (ОУ).
- Активные фильтры на базе интегральных ОУ.
- Способы обеспечения устойчивости аналоговых электронных устройств.
- RC-генераторы синусоидальных колебаний.
- Триггеры Шмитта и аналоговые компараторы.
- Генераторы прямоугольных импульсов (мультивибраторы).
- Логические элементы.
- Комбинационные цифровые устройства.
- Триггеры и регистры.
- Цифровые счетчики.

Система NI ELVIS позволяет минимизировать рутинную работу студентов и преподавателя. Например, в старом цикле лабораторных работ студенты очень долго снимали частотные характеристики электронных устройств; применение системы NI ELVIS позволяет в десятки раз сократить это время. В старом цикле на лабораторных занятиях выполнялось 6 – 7 разных лабораторных работ; при этом преподаватель практически все свое время уделял поиску ошибок в действиях студентов разных бригад. При использовании фронтального цикла на базе системы NI ELVIS, обладающей высокой надежностью, все студенты на лабораторном занятии выполняют одну лабораторную работу (для каждой бригады – свой экспериментальный макет). Поэтому у преподавателя освобождается много времени для интерактивного общения со студентами, т. е. для совместного осмысления полученных в результате эксперимента результатов.

При проведении фронтальных лабораторных работ в системе NI ELVIS всячески приветствуется взаимопомощь студентов. Эксперимент сделала твоя бригада – помоги другой; при этом у студентов развиваются преподавательские навыки. В то же время имеет место соревновательность: бригада сделала эксперимент первой – поощрение. Преподаватель задает каждой бригаде свои вопросы на осмысление полученных экспериментальных результатов, представленных на компьютере в удобном визуализированном виде; при этом интерактивность учебного процесса существенно повышается. Таким образом, при фронтальном методе рутинную работу студенты делают, по возможности, коллективно, творческий процесс индивидуален.

При экспериментальных исследованиях аналоговых электронных устройств с использованием системы NI ELVIS в рамках лабораторного цикла решаются две основные задачи:

- Наиболее выигрышным образом раскрыть возможности визуализации набора приборов NI ELVIS с учетом их реальных ограничений.
- Провести всестороннее экспериментальное исследование данного устройства.

Успешное решение первой задачи во многом определяет глубину исследований во второй задаче, а также имеет самостоятельную ценность: в своей дальнейшей деятельности молодой специалист будет активно отвергать системы экспериментальных исследований, имеющие меньшую комфортность по сравнению с системой NI ELVIS.

Для примера рассмотрим особенности постановки лабораторной работы «Способы обеспечения устойчивости аналоговых электронных устройств». В этой работе студенты снимают и исследуют множество ЛАЧХ и ФЧХ, что наиболее выигрышно раскрывает возможности визуализации такого прекрасного прибора как «Анализатор Боде». Однако реальный частотный диапазон этого прибора составляет 5...35000 Гц, а проблемы высокочастотной неустойчивости усилителей, как правило, возникают на частотах 0,1...100 МГц. Что делать? Выход состоит в том, чтобы в лабораторной работе изложить способы обеспечения устойчивости усилителей инвариантно к частотному диапазону, а схемотехнические примеры, их иллюстрирующие, перевести с использованием RC-цепей и интегральных операционных усилителей в частотный диапазон «Анализатора Боде» (физическое моделирование). В работе рассматриваются следующие способы:

- Уменьшение в усилителе глубины общей отрицательной обратной связи (ООС).
- Введение в усилитель пассивного частотно-зависимого делителя (RC-цепь).
- Использование в усилителе местной частотно-зависимой ООС.
- Введение в усилитель высокочастотного параллельного канала усиления.

По критерию устойчивости Найквиста усилитель с общей отрицательной обратной связью устойчив, если на частоте среза, где модуль его петлевого усиления равен единице, абсолютное значение дополнительного фазового сдвига по контуру обратной связи меньше 180° (рассматриваются ми-

нимально-фазовые системы, устойчивые в разомкнутом состоянии). На рис.1.10 приведен пример экспериментальных ЛАЧХ и ФЧХ петлевого усилителя с общей ООС при введении в него для обеспечения устойчивости пассивного частотно-зависимого делителя.

Следует отметить, что «Анализатор Боде» измеряет общий фазовый сдвиг петлевого усиления системы с учетом инвертирования усилителем фазы входного сигнала (рис. 1.10). Дополнительный фазовый сдвиг получается вычитанием из общего сдвига 180° . Из рассмотрения ЛАЧХ и ФЧХ, приведенных на рис. 1.10, очевидно, что замкнутый усилитель будет устойчив.

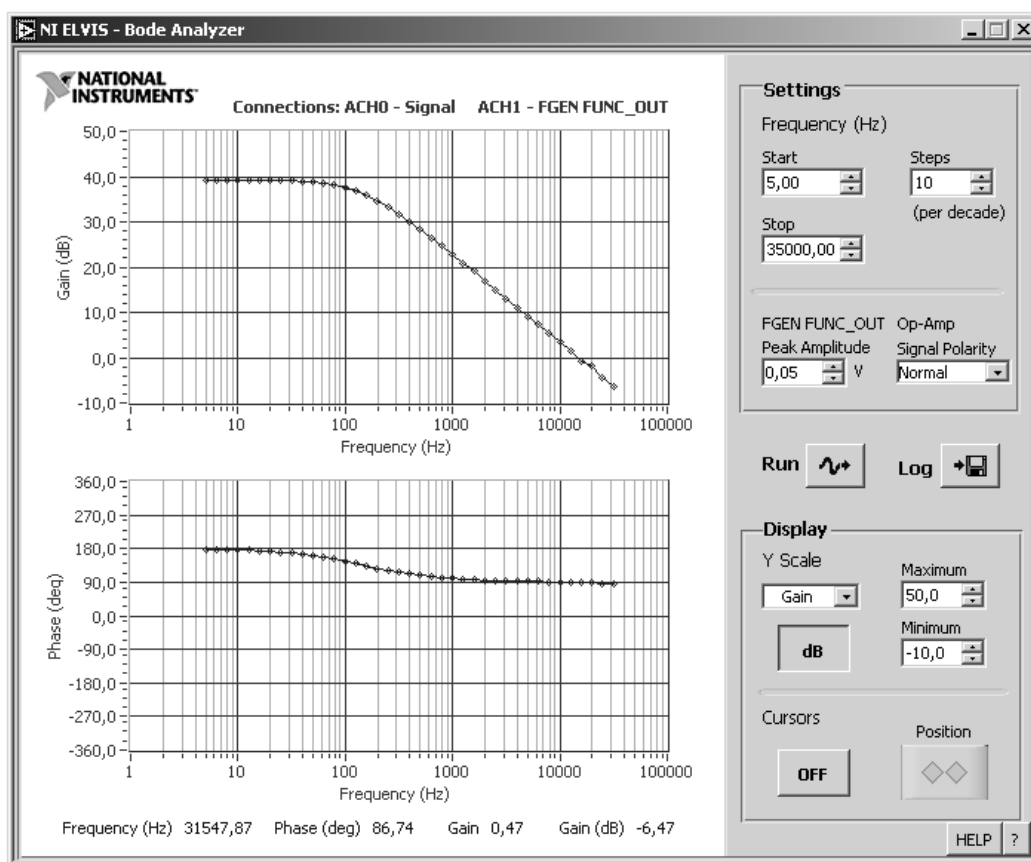


Рис. 1.10. Экспериментальные ЛАЧХ и ФЧХ петлевого усиления с общей ООС

Действительно, на частоте среза петлевого усиления, равной 15 кГц, абсолютное значение дополнительного фазового сдвига составляет 90° , что значительно меньше 180° . В данном случае запас устойчивости усилителя по фазе близок к 90° ; при этом переходный процесс в замкнутом усилителе при реакции на ступенчатое входное воздействие не носит колебательный характер. Экспериментальные исследования замкнутого усилителя с системой NI ELVIS и их эмуляция в системе Multisim подтверждают эти выводы: усилитель устойчив, т. е. на выходе нет незатухающих колебаний и расходящихся процессов.

2. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ MULTISIM В ПРОЦЕССЕ ЭМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

2.1. Общая часть

Multisim представляет собой высокоэффективный интерактивный эмулятор схем. Он включает в себя версию Multisim, позволяющую быстро и графически наглядно описать проектируемую схему, и широко распространенный программный комплекс SPICE, реализующий множество функций анализа аналоговых электронных устройств. К несомненным достоинствам системы Multisim следует отнести наличие в ней специального набора интерактивных компонентов, изменение которых сразу отражается на результатах эмулирования. Это позволяет наиболее эффективно решать задачи параметрического синтеза электронных устройств (например, определить сопротивление резисторов схемы, при которых усилитель будет иметь заданный коэффициент усиления, или найти параметры корректирующих RC-цепей, обеспечивающих проектируемому устройству заданный запас устойчивости по фазе и т. д.). В Multisim можно также реализовать виртуальные трехмерные макетные платы. При соединении элементов на виртуальной плате в соответствии с принципиальной схемой все элементы и соединения окрасятся в зеленый цвет; в этом случае студент может приступить к физическому макетированию. Применение в практике проектирования электронных устройств систем Multisim и NI ELVIS позволяет познакомить студентов с основными этапами сквозного проектирования: синтез структуры и принципиальной схемы – эмуляция – эксперимент – конструкция. При этом основные исследования ими проводятся при моделировании электронного устройства в системе Multisim (анализ и параметрический синтез). Эта система имеет очень большую базу данных компонентов (сотни транзисторов, интегральных операционных усилителей и т. д.) с высоким уровнем достоверности к их математическим моделям.

Модельный мир, т. е. мир виртуальной реальности свободен от ограничений физической реализуемости. Действительно, верхняя граница частотного диапазона “Анализатора Боде” в системе NI ELVIS составляет 35 кГц, а в системе Multisim электронную схему можно исследовать до частот в десятки и сотни МГц.

2.2. Руководство по моделированию электронных схем в системе Multisim

Интерфейс системы Multisim показан на рис. 2.1 и состоит из следующих основных элементов:

1. Строка меню, которая позволяет выбирать команды для всех функций;
2. Панель разработки (Design Toolbox), которая позволяет управлять различными элементами схемы;
3. Панель инструментов, которая состоит из кнопок для быстрого доступа к командам и элементам меню;
4. Рабочая область, на которой собирается моделируемая схема;
5. Приборная панель, которая содержит модели различных контрольно-измерительных приборов.

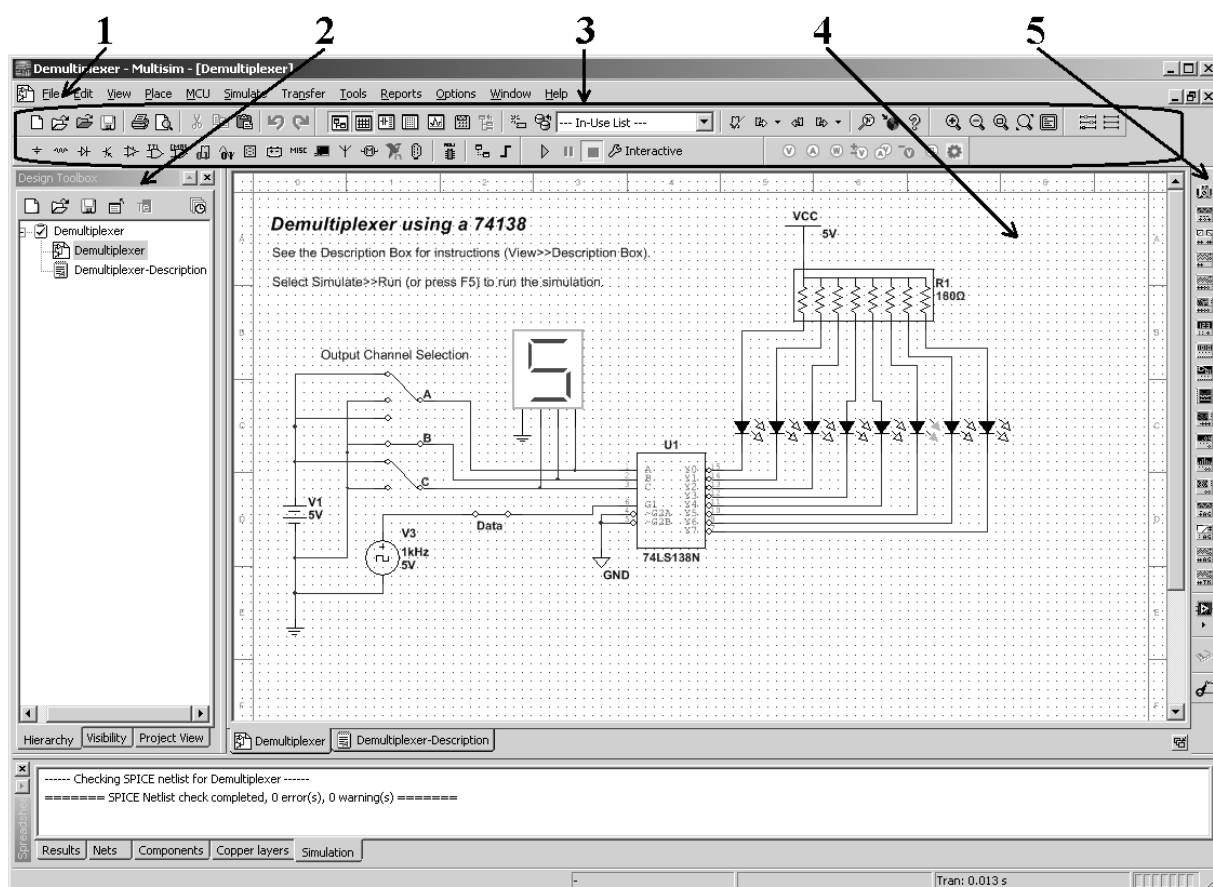


Рис. 2.1. Интерфейс системы Multisim

Работа с системой Multisim включает в себя три основных этапа: создание схемы, выбор и подключение измерительных приборов, активация схемы — расчет процессов, протекающих в исследуемом устройстве. Первый обозначенный этап начинается с размещения на рабочем поле Multisim компонентов из библиотеки программы. Подразделы библиотеки программы

Multisim поочередно могут быть вызваны с помощью иконок, расположенных на панели инструментов.

Компоненты – это основа любой схемы, это все элементы, из которых она состоит. Multisim оперирует с двумя категориями компонентов: реальными (real) и виртуальными (virtual). У реальных компонентов, в отличие от виртуальных, есть определенное, неизменяемое значение и свое соответствие на печатной плате. Виртуальные компоненты нужны только для эмуляции, пользователь может назначить им произвольные параметры.

В библиотеки компонентов программы входят пассивные элементы, транзисторы, управляемые источники, управляемые ключи, гибридные элементы, индикаторы, логические элементы, триггерные устройства, цифровые и аналоговые элементы. Активные элементы могут быть представлены моделями как идеальных, так и реальных элементов. В программе используется большой набор приборов для проведения измерений: амперметр, вольтметр, осциллограф, мультиметр, анализатор Боде, функциональный генератор, генератор слов, логический анализатор и логический преобразователь.

Главная база данных компонентов Multisim содержит следующие группы компонентов:

- Sources (источники питания). Группа содержит все источники напряжения и тока, заземления. Здесь можно обнаружить компоненты power sources (источники постоянного и переменного напряжения, заземление, беспроводные соединения – VCC, VDD, VSS, VEE), компоненты signal voltage sources (источники прямоугольных импульсов, источник сигнала через определенные промежутки времени), компоненты signal current sources (постоянные и переменные источники тока, источники прямоугольных импульсов);

- Basic (базовые элементы). Группа содержит основные схемотехнические элементы: резисторы, индуктивные элементы, конденсаторы, ключи, трансформаторы, реле, и т.д.;

- Diodes (диоды). Содержит различные типы диодов: стабилитроны, фотодиоды, диоды Шоттки, светодиоды и т.д.;

- Transistors (транзисторы). Группа содержит различные виды транзисторов: биполярные транзисторы npn и pnp типа, МОП-транзисторы, КМОП-транзисторы и т.д.;

- Analog (элементы аналоговой техники). Группа содержит множество типов аналоговых усилителей: операционные, дифференциальные, инвертирующие и т.д.;

– TTL (ТТЛ элементы). Группа содержит различные логические компоненты на базе транзисторно-транзисторной логики.;

CMOS (КМОП элементы). Группа содержит различные логические компоненты на базе КМОП-логики.;

– Advanced Peripherals (дополнительные периферийные устройства). Группа содержит подключаемые внешние устройства (дисплеи, терминалы, клавишные поля);

– Misc Digital (модели цифровых устройств). Группа содержит различные цифровые устройства;

– Mixed (составные устройства). Группа содержит комбинированные компоненты;

– Indicators (индикаторы). Группа содержит измерительные приборы, такие как вольтметры, амперметры и средства индикации, такие как лампы, дисплеи, пробники и т.д.

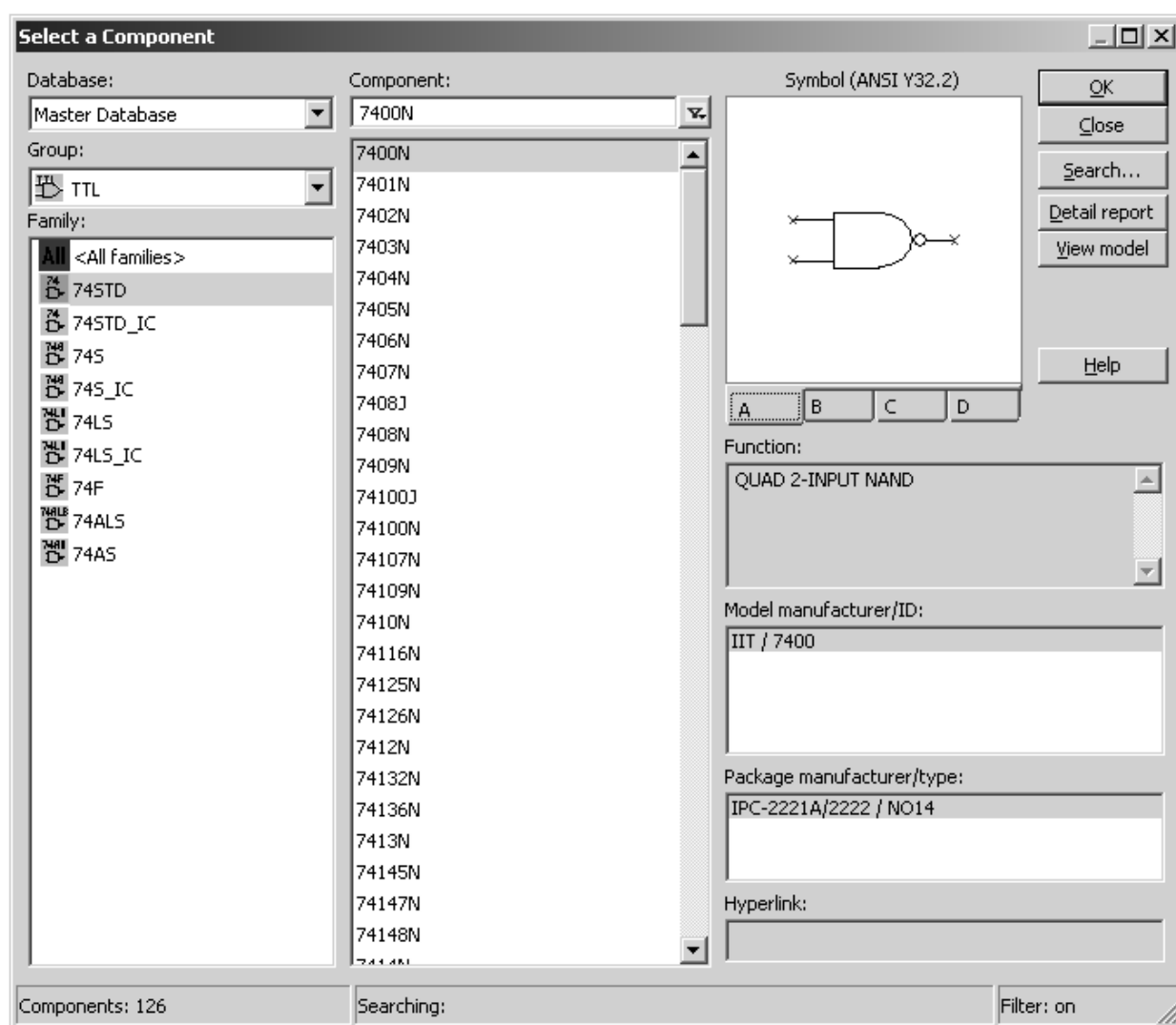


Рис. 2.2. Выбор модели логического компонента в проводнике компонентов

Рассмотренные группы компонентов можно найти в нижней части панели инструментов, или можно выбрать пункт меню Place Component, который вызывает общий проводник компонентов. В проводнике можно выбрать любую рассмотренную ранее группу. На рис. 2.2 показан выбор модели реального логического компонента И-НЕ из группы TTL.

В Multisim существует множество встроенных средств анализа полученных при моделировании данных. Основные виды анализа:

1. DC – анализ цепи на постоянном токе. При анализе на постоянном токе конденсаторы заменяют разрывом, катушки индуктивности – коротким замыканием, нелинейные компоненты, такие как диоды и транзисторы, заменяют эквивалентной схемой, состоящей из резисторов и зависимых источников. Анализ цепи на постоянном токе выявляет узловые потенциалы исследуемой схемы;

2. AC – анализ цепи на переменном токе. Анализ цепей на переменном токе заключается в построении частотных характеристик;

3. Transient – анализ переходных процессов. Анализ переходных процессов в цепях позволяет определить форму выходного сигнала, то есть построить график сигнала как функции времени.

При моделировании схем необходимо соблюдать следующие общие правила:

- Любая схема должна обязательно содержать хотя бы один символ заземления;

- Любые два конца проводника либо контакта устройства, встречающихся в точке, всегда считаются соединенными. При соединении трех концов (Т-соединение) необходимо использовать символ соединения (узел). Те же правила применяются при соединении четырех и более контактов;

- В схемах должны присутствовать источники сигнала (тока или напряжения), обеспечивающие входной сигнал, и не менее одной контрольной точки (за исключением анализа схем постоянного тока) [1].

Рассмотрим основные измерительные виртуальные приборы, доступные пользователю среды Multisim:

1. Мультиметр (рис. 2.3) предназначен для измерения переменного или постоянного тока или напряжения, сопротивления или падения напряжения между двумя узлами схемы. Диапазон измерений мультиметра подбирается автоматически. Его внутреннее сопротивление и ток близки к идеальным значениям, но их можно изменить программно при необходимости.

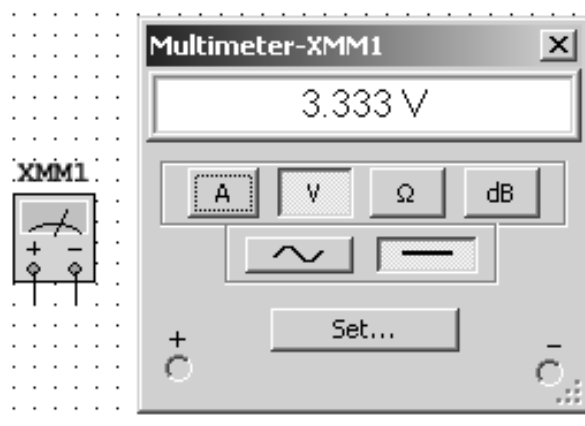


Рис. 2.3. ИВП Мультиметр в среде Multisim

2. Генератор сигналов (рис. 2.4) – источник напряжения, который может генерировать синусоидальные, пилообразные и прямоугольные импульсы. Можно изменить форму сигнала, его частоту, амплитуду, коэффициент заполнения и постоянный сдвиг. Диапазон генератора достаточен, чтобы воспроизвести сигналы с частотами от нескольких герц до аудио и радиочастотных.

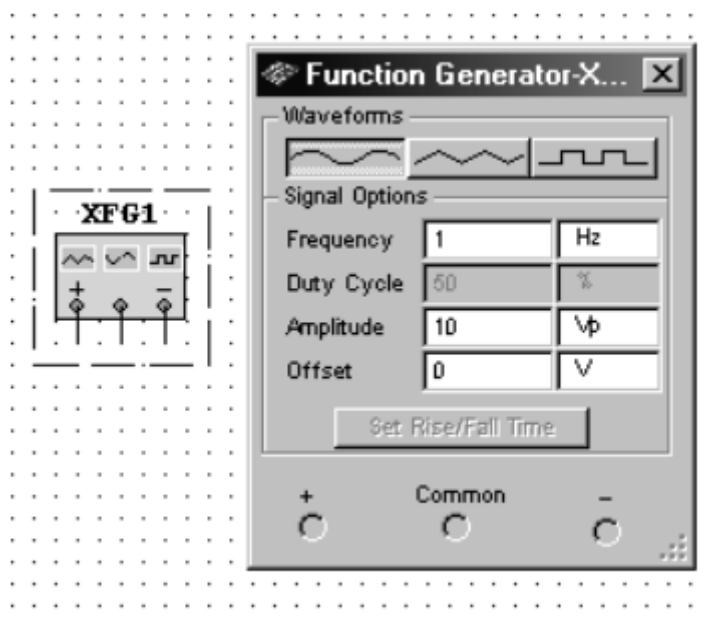


Рис. 2.4. ИВП Генератор сигналов в среде Multisim

3. Осциллограф. В Multisim есть несколько модификаций осциллографов, которыми можно управлять как настоящими. Они позволяют устанавливать параметры временной развертки и напряжения, выбирать тип и уровень запуска измерений. Данные осциллографов можно посмотреть после эмуляции с помощью самописца (Grapher) из меню View/Grapher. В Multisim есть следующие осциллографы:

- 2-х канальный;
- 4-х канальный;
- осциллограф смешанных сигналов Agilent 54622D;
- 4-х канальный цифровой осциллограф с записью Tektronix TDS 2024.

4. Анализатор Боде (рис. 2.5) по функционалу идентичен рассмотренному ранее анализатору, входящему в состав NI ELVIS.

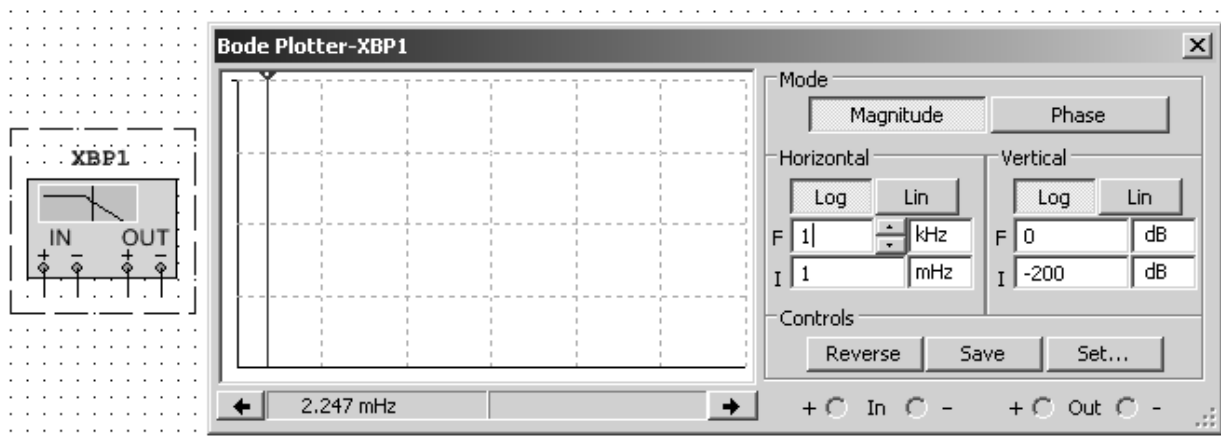


Рис. 2.5. ИВП Анализатор Боде в среде Multisim

5. Спектральный анализатор (рис. 2.6) служит для измерения амплитуды гармоник с заданной частотой. Также он может измерить мощность сигнала и частотных компонент, определить наличие искоемых гармоник в сигнале. Результаты работы спектрального анализатора отображаются в частотной области, а не временной.

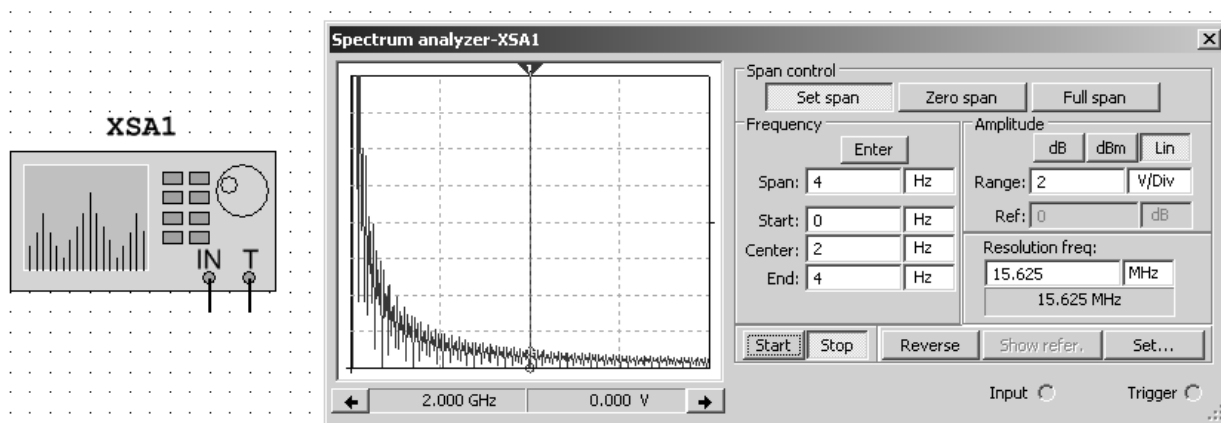


Рис. 2.6. ИВП Спектральный анализатор в среде Multisim

6. Ваттметр (рис. 2.7) предназначен для измерения коэффициента мощности.

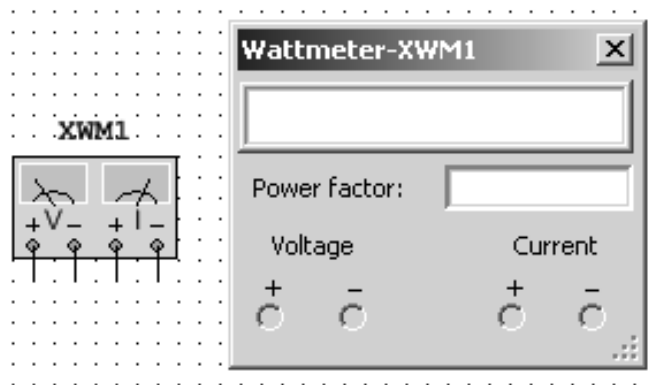


Рис. 2.7. ИВП Ваттметр в среде Multisim

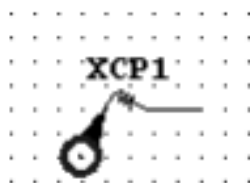


Рис. 2.8. Токовый пробник в среде Multisim

7. Токовый пробник (рис. 2.8) эмулирует поведение промышленных токовых клещей, которые преобразуют ток, протекающий в проводе, в напряжение, показываемое на выходных клеммах. Последние могут быть подключены к осциллографу, где ток определяется, основываясь на отношении напряжение/ток пробника.

8. Измерительный пробник (рис. 2.9) показывает постоянные и переменные напряжения и токи на участке цепи, а также частоту сигнала.

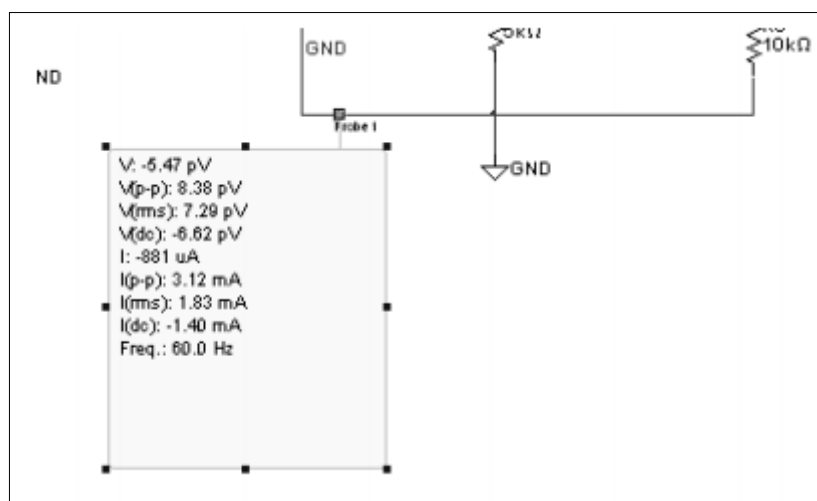


Рис. 2.9. Измерительный пробник в среде Multisim

9. Генератор слова (рис. 2.10) генерирует 32-разрядные двоичные слова. Генерация может быть разовой, циклической, пошаговой. Последовательность двоичных слов может быть задана и отображена в двоичном десятичном, шестнадцатиричном или символьном виде. В качестве источника синхронизации может выступать как внешний, так и внутренний сигнал.

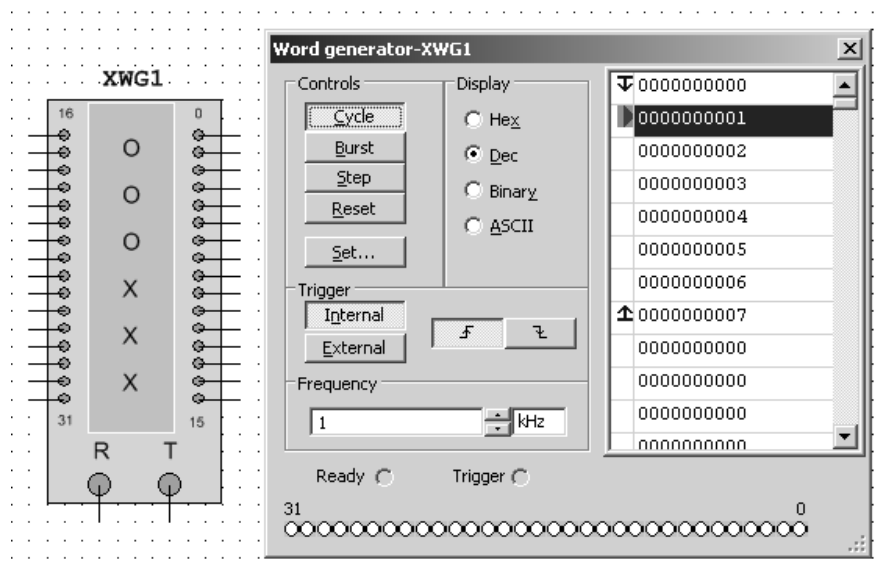


Рис. 2.10. ИВП Генератор слова в среде Multisim

10. Логический анализатор (рис. 2.11) предназначен для исследования цифровых схем. Он позволяет записывать и визуализировать состояния логических компонентов схемы на протяжении времени моделирования. Анализ может производиться над 16-разрядными двоичными словами. Тактирование анализатора может производиться как с внешнего, так и с внутреннего источника.

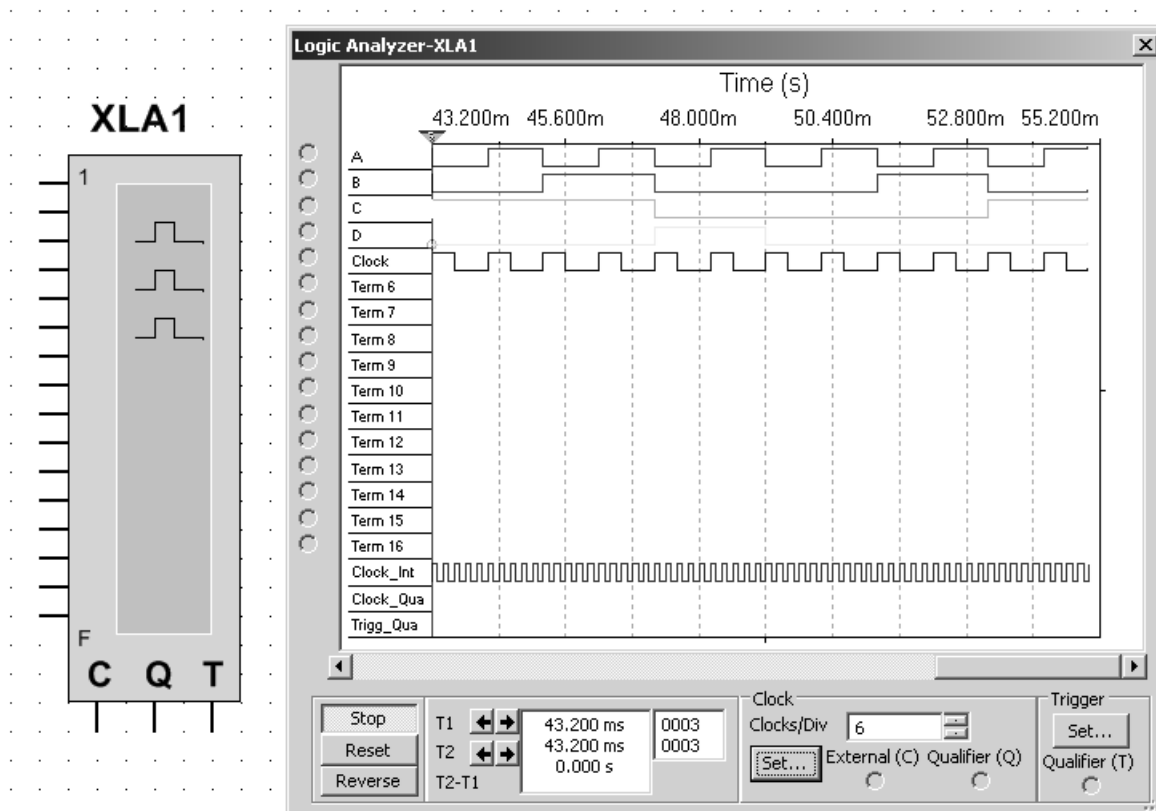


Рис. 2.11. ИВП Логический анализатор в среде Multisim

Путем настройки приборов можно:

- Изменять шкалы приборов в зависимости от диапазона измерений;
- Задавать режим работы прибора;
- Задавать вид входных воздействий на схему (постоянные и гармонические токи и напряжения, треугольные и прямоугольные импульсы).

Графические возможности программы позволяют:

- Одновременно наблюдать несколько кривых на графике;
- Отображать кривые на графиках различными цветами;
- Измерять координаты точек на графике;
- Импортировать данные в графический редактор, что позволяет произвести необходимые преобразования рисунка и вывод его на принтер.

2.3. Пример моделирования электронной схемы в системе Multisim

Для отображения цифровой информации во многих специализированных системах, например, во встраиваемых системах на базе микроконтроллеров используются светодиодные семисегментные индикаторы.

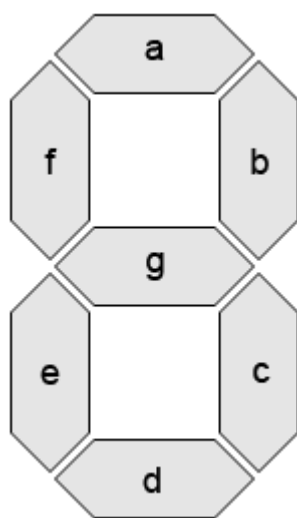


Рис. 2.12. Конфигурация семисегментного индикатора

Светодиодный семисегментный индикатор представляет собой набор светодиодов, расположенных в определенном порядке и объединенных конструктивно (рис. 2.12). Подавая питание одновременно на несколько светодиодов, можно формировать на индикаторе определенные символы.

Наиболее применимы такие индикаторы для отображения данных цифрового формата. Для преобразования двоичного кода в код семисегментного индикатора существуют разнообразные специализированные комбинационные устройства, которые называют декодерами или дешифраторами. В базе Multisim можно обнаружить некоторые из них. Рассмотрим модель дешифратора 74LS47N, доступную в библиотеке Multisim. На рис. 2.13 показан внешний вид модели в среде NI Multisim и ее основные свойства.

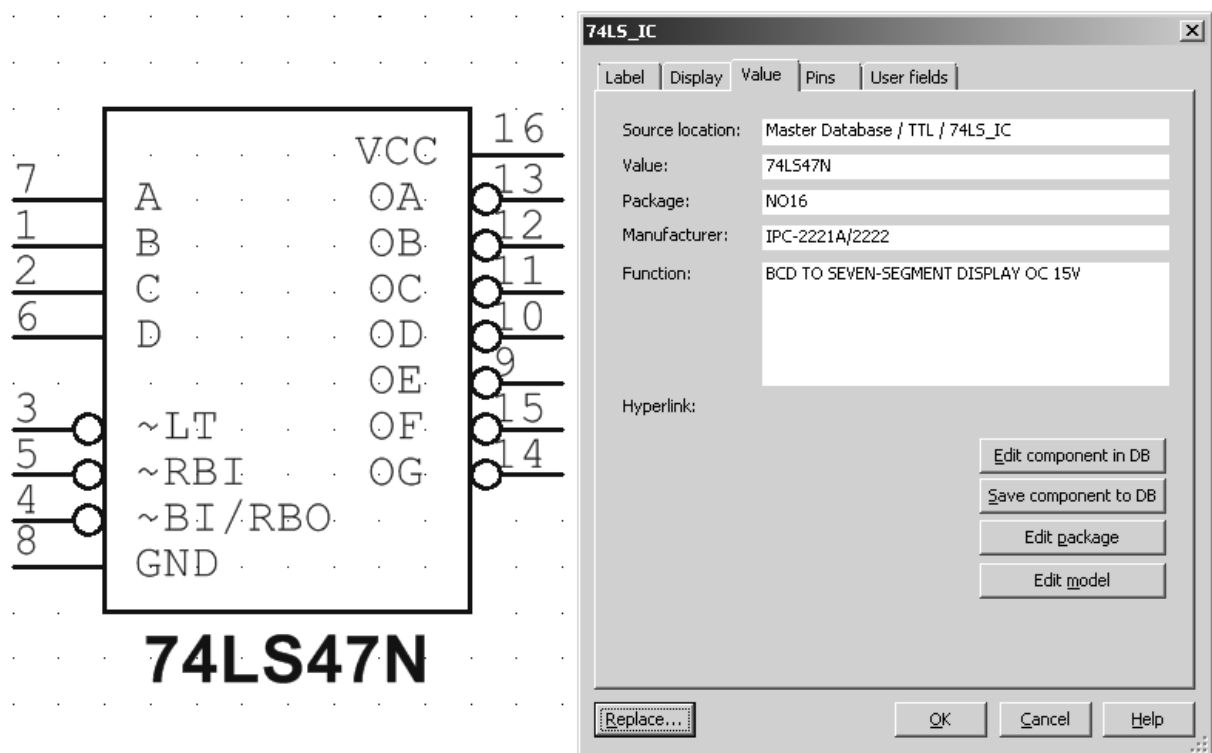


Рис. 2.13. Модель дешифратора 74LS47N

Таблица истинности семисегментного дешифратора 74LS47N представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Отображение цифры	Входная комбинация (двоичный код)				Выходная комбинация (семисегментный код)						
	X ₃	X ₂	X ₁	X ₀	g	f	e	d	c	b	a
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1
3	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
4	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1
6	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1
7	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1

Схема семисегментной индикации с применением дешифратора представлена на рис. 2.14. На вход дешифратору подаются сигналы «1» и «0» в зависимости от положения ключа. Если ключ закрыт, то на вход подается «0», если ключ открыт, то, соответственно, «1».

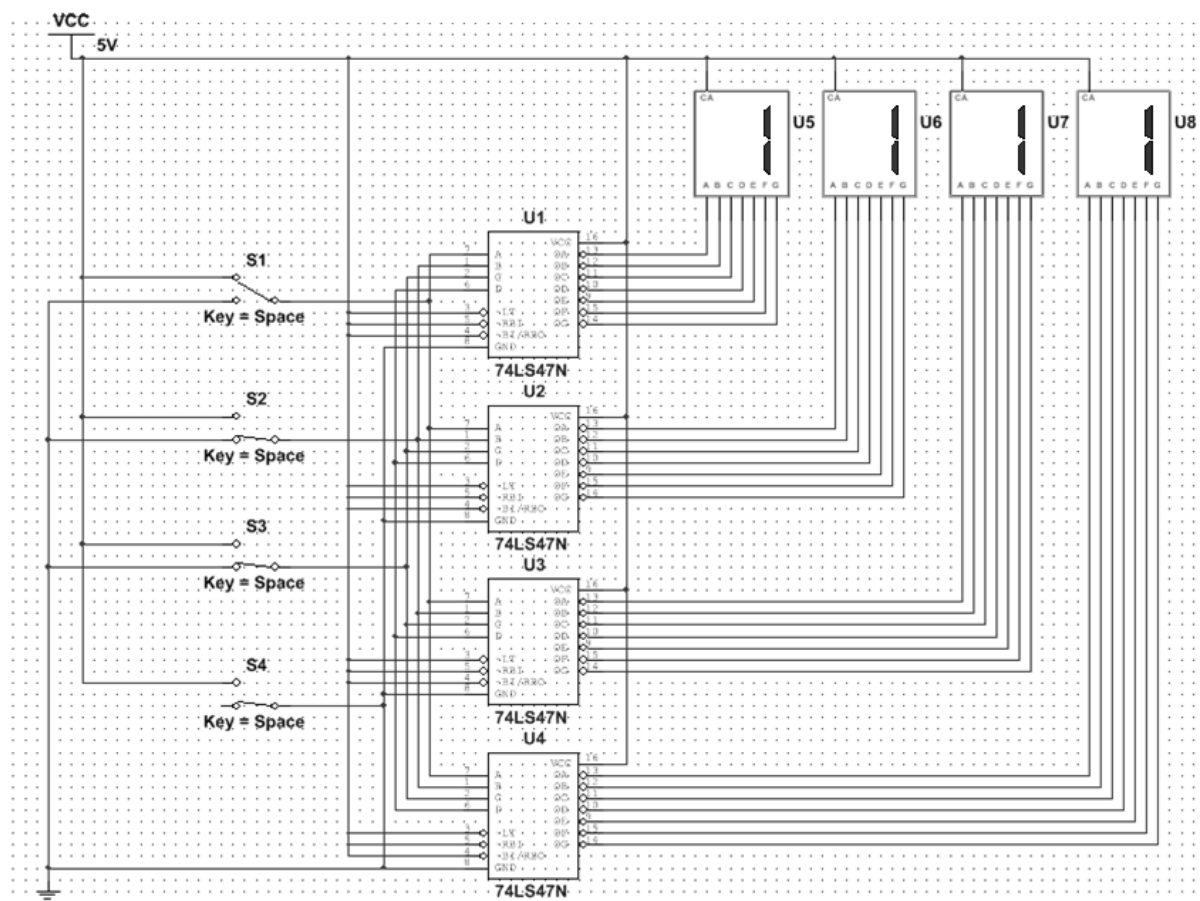


Рис. 2.14. Модель цифровой системы индикации

На рис. 2.14 можно видеть, что на вход дешифратора подается комбинация 0-0-0-1, что соответствует цифре «1» в таблице истинности.

Моделирование секундомера. Модифицируем нашу схему. Для этого добавим цепочку D-триггеров. Триггерами называются устройства, обладающие двумя устойчивыми состояниями ($Q = 1$ и $Q = 0$) и способные находиться в одном из них сколь угодно долго и переходить из одного состояния в другое под воздействием внешних сигналов. В каком из этих состояний окажется триггер, зависит от сигналов на входах триггера и от его предыдущего состояния, т.е. триггер имеет память. Таким образом, триггер – элементарная ячейка памяти. Тип триггера определяется алгоритмом его работы, в зависимости от которого триггер может иметь установочные, информационные и управляющие входы. Установочные входы обуславливают состояние триггера независимо от состояния других входов. Входы управления разрешают запись данных, подающихся на информационные входы. Наиболее распространенными являются триггеры RS-, JK-, D- и T-типов. Мы будем использовать D-триггеры.

D-триггер имеет один информационный вход D (от слова data – данные) и один счетный вход C. Информация с входа D записывается в триггер по положительному перепаду импульса на счетном входе и сохраняется до следующего положительного перепада. Кроме счетного C и информационного D входов, у триггера есть два асинхронных установочных входа R и S. Установочные входы имеют наивысший приоритет. Активный уровень сигнала на входе S устанавливает триггер в состояние единица ($Q=1$), а на входе R в состояние ноль ($Q=0$), независимо от сигналов на остальных входах [2].

Условное обозначение D-триггера с диаграммами входных и выходных сигналов приведено на рис. 2.15.

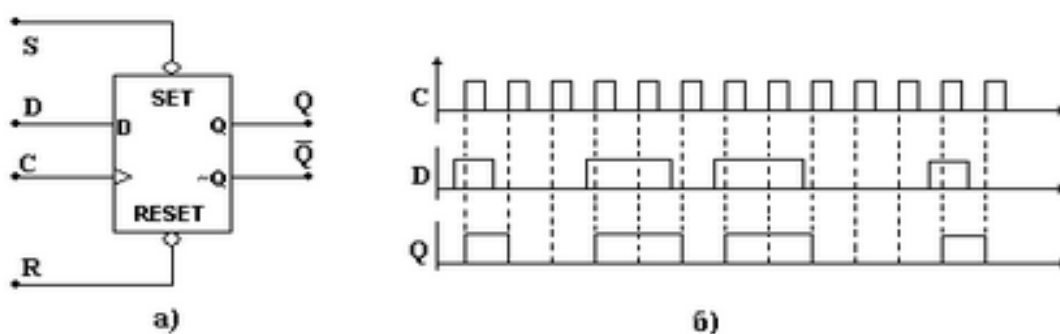


Рис. 2.15. D-триггер: а – условное обозначение; б – диаграмма входных и выходных сигналов

Для моделирования секундомера используется триггер в счетном режиме. В D-триггере счетный режим (рис. 2.16) реализуется при помощи обратной связи, когда на вход D подается сигнал с инверсного выхода триггера, таким образом, всегда осуществляется неравенство сигналов на входе D и на выходе Q (если $Q=1$, то $D=0$ и наоборот). Следовательно, при каждом положительном перепаде сигнала на счетном входе C состояние выхода будет изменяться на противоположное.

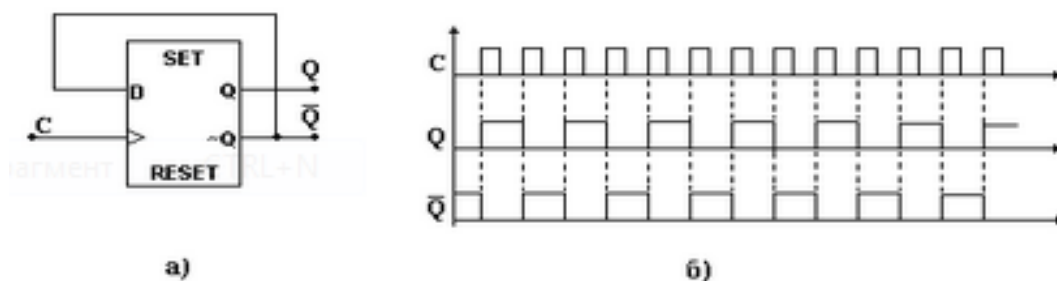


Рис. 2.16. D-триггер в счетном режиме: а – условное обозначение; б – диаграмма входных и выходных сигналов

Для получения модели секундомера необходимо реализовать счетчик. Счетчиком называется устройство, подсчитывающее число входных импульсов. Число, представляемое состоянием его выходов по фронту каждого входного импульса, изменяется на единицу. Счетчик состоит из n последовательно соединенных счетных триггеров, причем выход одного счетного триггера соединен с тактовым входом следующего триггера. Счетчики бывают суммирующими (прямой счет) и вычитающими (обратный счет). В суммирующих счетчиках каждый входной импульс увеличивает число на его выходах на единицу, в вычитающих счетчиках уменьшает это число на единицу [2]. Для того чтобы построить суммирующий счетчик, необходимо счетный вход очередного триггера подключить к инверсному выходу предыдущего (рис. 2.17).

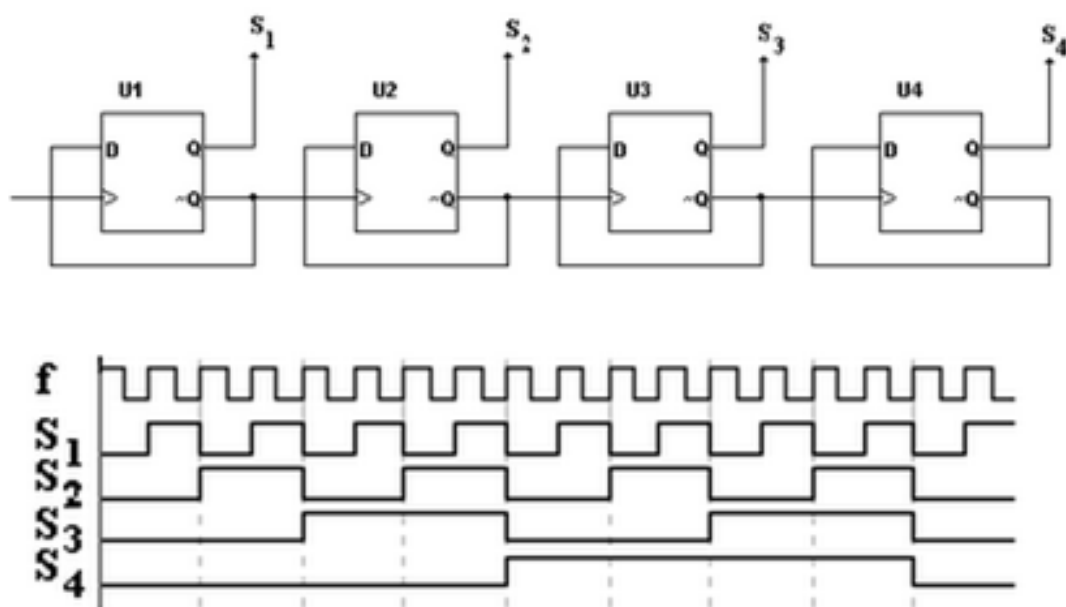


Рис. 2.17. Схема суммирующего счетчика и диаграмма его работы

Для того чтобы реализовать секундомер нам потребуются числа от 0 до 9. Выбранный дешифратор 74LS47N работает в шестнадцатеричной системе счисления. Для исключения всех остальных отображаемых значений будем использовать логическое «И». Когда генерируемое счетчиком 4-разрядное слово достигнет значения 10, будет происходить обнуление памяти счетчика. В старших разрядах секундного и минутного индикатора не может отображаться значение больше 5. Поэтому управляющие ими счетчики будут обнуляться при достижении значения 6. Возможная реализация модели секундомера представлена на рис. 2.18.

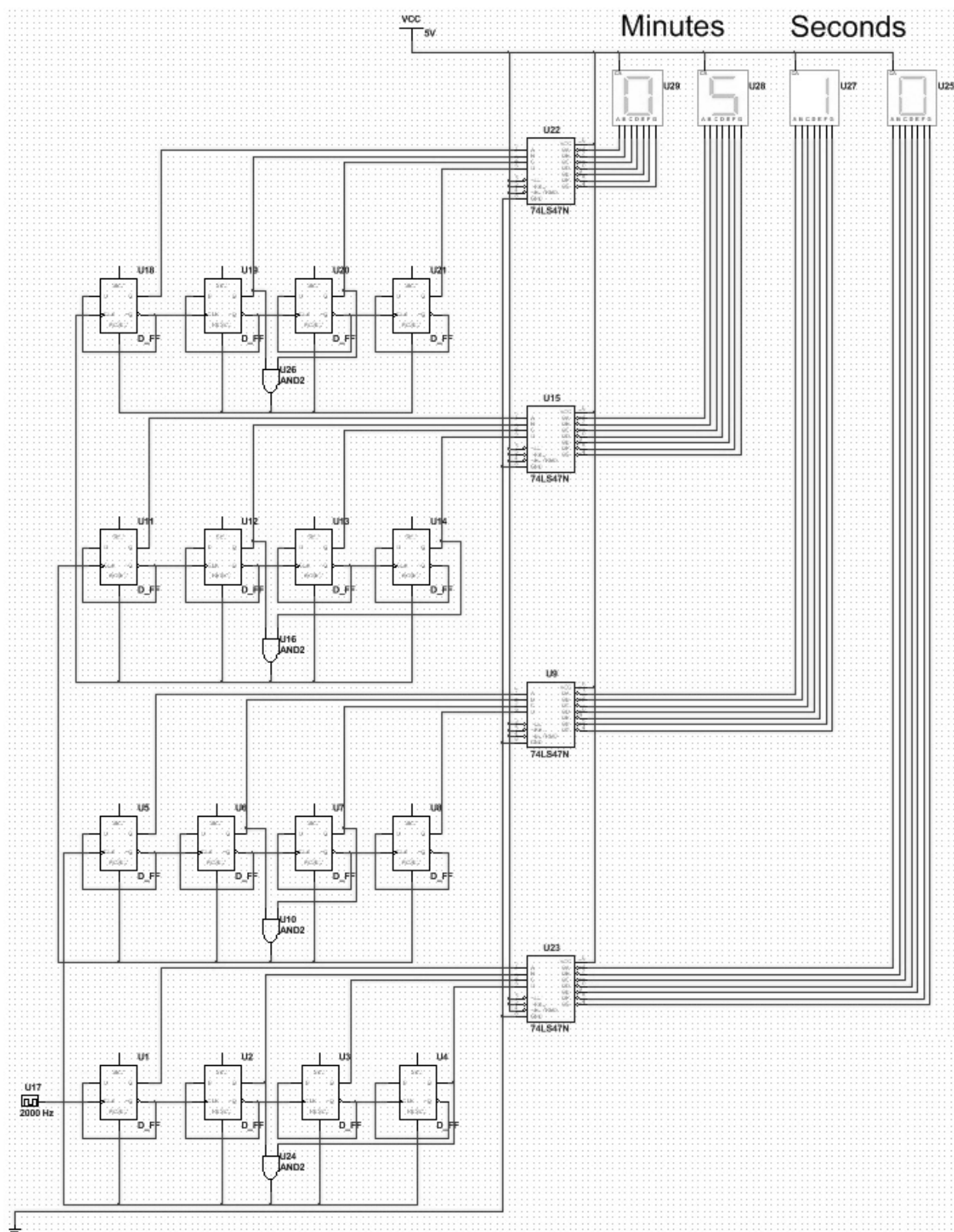


Рис. 2.18. Модель секундомера в среде Multisim

На вход секундомера подаются прямоугольные импульсы заданной частоты. Вывод производится на семисегментные индикаторы. Для перевода двоичного кода в семисегментный используется рассмотренный дешифратор 74LS47N. В качестве триггера используется стандартный D-триггер, который

содержится в базе данных среды Multisim. При необходимости структура секундомера легко наращивается однотипными счетными группами триггеров и может быть расширена добавлением индикаторов для отображения, например, миллисекунд, что обеспечит дополнительную точность отсчета времени.

3. СОВМЕСТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ MULTISIM И NI ELVIS

3.1. Лабораторные и практические занятия

Процесс эмуляции аналоговых электронных устройств является очень важным этапом их проектирования, но в настоящее время этот процесс не может полностью заменить их физическое макетирование, поскольку ни одна формализация не является универсальной. Действительно, при эмуляции во многих случаях выбираются упрощенные схемы замещения компонентов, не полностью адекватные условиям работы реального устройства. И только диалоговое взаимодействие процессов эмуляции и эксперимента позволяет существенно уменьшить количество циклов схемотехнического проектирования и тем самым достаточно быстро осуществить разработку сложных аналоговых электронных устройств. В лабораторном практикуме и на практических занятиях для эффективного диалогового взаимодействия между эмуляцией и экспериментом удобно использовать совместную работу систем Multisim и NI ELVIS.

В процессе проектирования аналоговых электронных устройств важно не только эмуляцию проверить экспериментом, но и, наоборот, убедиться в достоверности экспериментальных данных (NI ELVIS), проверив их на эмуляторе Multisim. Для примера рассмотрим схему усилителя переменного тока, реализованного на неинвертирующем и инвертирующем РУ (рис. 3.1), и представленного в лабораторной работе «Усилители переменного тока и фильтры на базе интегральных ОУ».

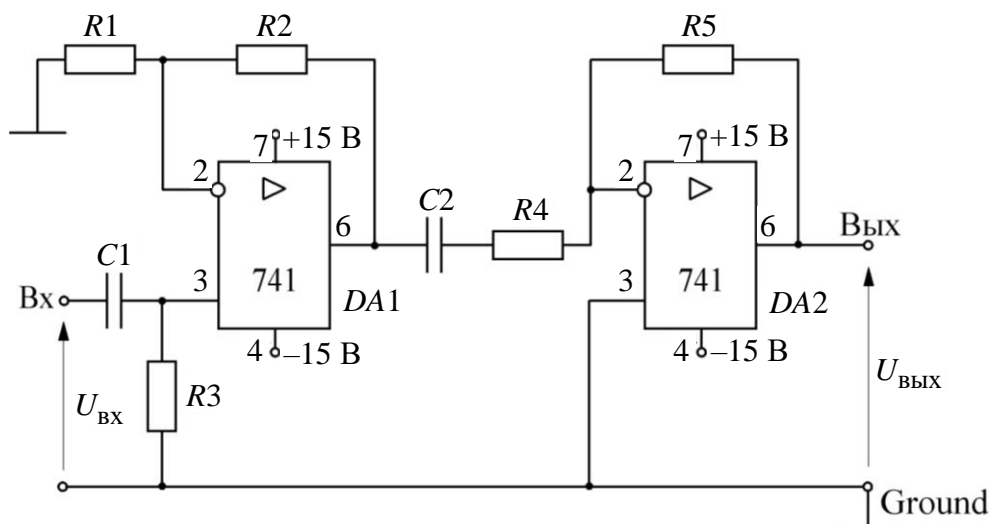


Рис. 3.1. Схема усилителя переменного тока

Экспериментальные частотные характеристики этого усилителя, полученные с использованием «Анализатора Боде» системы NI ELVIS, приведены на рис. 3.2.

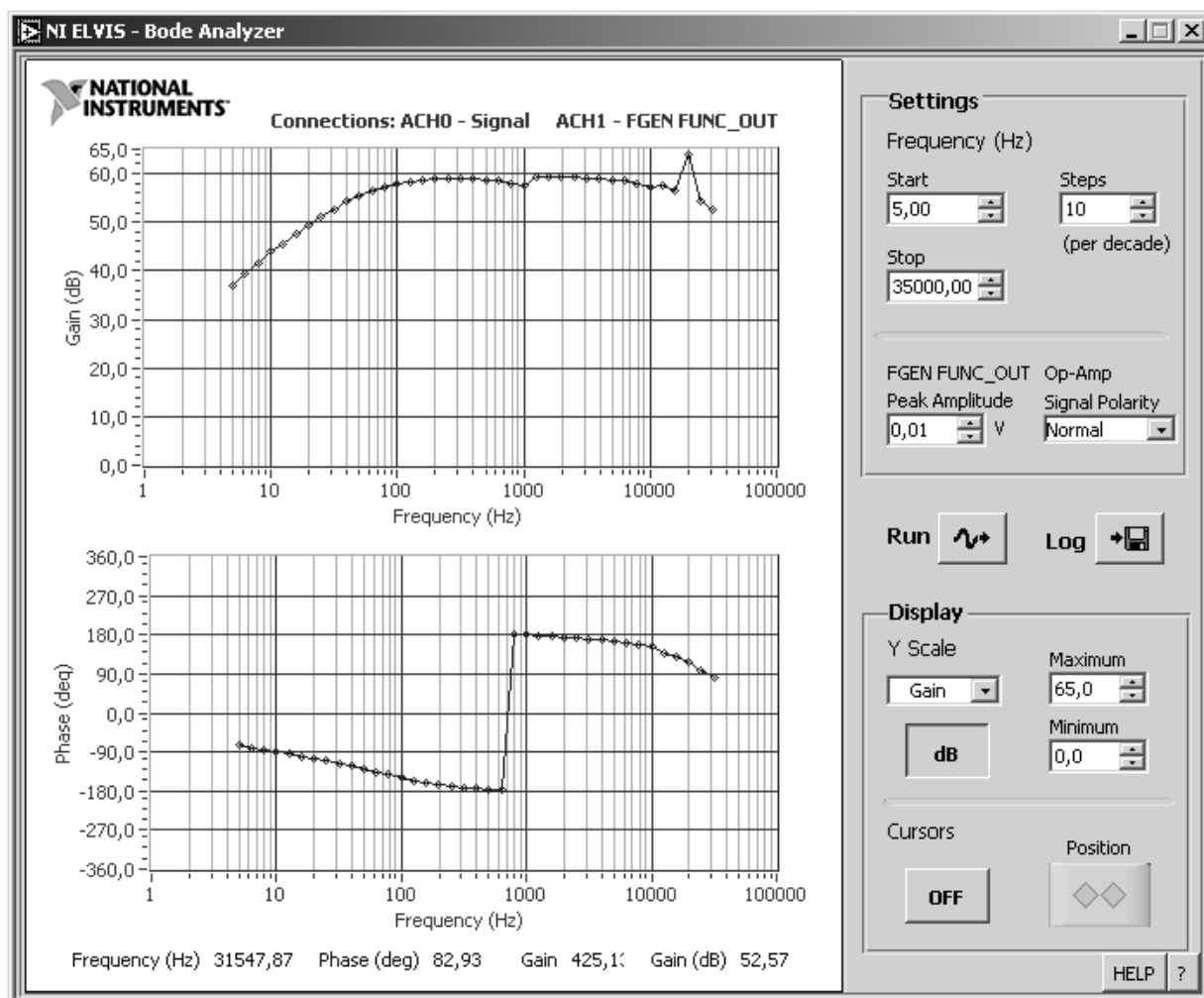


Рис. 3.2. ЛАЧХ и ФЧХ усилителя переменного тока

Они подтверждают ту мысль, что в усилителе, реализованном на двух усилительных подсхемах (рис. 3.1), можно получить значительно более широкую полосу пропускания по сравнению, например, с усилителем на одном неинвертирующем РУ. При этом сравниваются усилители, реализованные на одинаковых интегральных ОУ и имеющие в полосе пропускания коэффициент усиления по напряжению – 1000. Однако в экспериментальных характеристиках (рис. 3.2) есть непонятный факт: на частоте 20 кГц имеем всплеск на ЛАЧХ при его отсутствии на ФЧХ.

Тогда исследуем схему (рис. 3.1) на эмуляторе Multisim при тех же значениях параметров компонентов и убеждаемся, что при эмуляции частотные характеристики усилителя аналогичны приведенным на рис. 3.2, только указанный всплеск отсутствует. В этом случае с высокой степенью достоверности можем утверждать, что данный всплеск обусловлен сбоем “Анализатора Боде” на частоте 20 кГц, близкой к границе его частотного диапазона. Последующие экспериментальные исследования усилителя в системе NI ELVIS с использованием осциллографа подтвердили этот вывод.

На основе совместного использования систем Multisim и NI ELVIS можно организовать фронтальный цикл лабораторных работ по аналоговой схемотехнике. При фронтальном методе все бригады в группе выполняют одну работу, что наиболее комфортно как для студента, так и для преподавателя. Каждая лабораторная работа проводится после прочитанной лекции по данному материалу, что значительно облегчает его понимание студентами. Преподаватель, ведущий лабораторную работу, дает по ней общие для всей группы рекомендации и осуществляет связь этой работы с лекционным материалом. При этом ему не нужно распылять свое внимание между разными лабораторными работами, как это происходит в обычной практике.

Основная трудность на пути создания фронтального цикла лабораторных работ, связанных с экспериментальными исследованиями аналоговых устройств, состоит в реализации большого числа натуральных макетов. Например, в лабораторном цикле из 6 работ при наличии 6 бригад в группе необходимо иметь 36 макетов. Совместное применение во фронтальном цикле систем Multisim и NI ELVIS позволяет успешно решить эту проблему.

При фронтальном цикле на базе систем Multisim и NI ELVIS все 6 бригад выполняют одну работу, например «Решающие усилители», из них 3 бригады занимаются экспериментом (NI ELVIS) и 3 бригады – эмулированием (Multisim); потом они меняются местами. Каждая из бригад сравнивает свои

результаты эмуляции с экспериментом. Очевидно, что при эмуляции натурные макеты не нужны, при этом для 6 лабораторных работ и 6 бригад нужно иметь всего 18 макетов вместо 36. В том случае, когда поставлена задача проведения только экспериментальных исследований в системе NI ELVIS, то на 18 макетах для 6 бригад организуется полуфронтальный цикл: 3 бригады выполняют одну работу, 3 бригады – другую.

Таким образом, совместное применение систем Multisim и NI ELVIS позволяет организовать фронтальный цикл лабораторных работ по аналоговой схемотехнике с минимальным числом натурных макетов, а также провести в каждой работе сравнение результатов эмуляции с экспериментом.

3.2. Курсовое проектирование

Совместное использование систем Multisim и NI ELVIS в процессе курсового проектирования аналоговых электронных устройств позволяет студентам максимально приблизиться к условиям работы в современных проектных организациях, в частности, минимизировать объем ручных расчетов. При этом студентами выполняются следующие схемотехнические проектные процедуры:

- Выбор схемы аналогового электронного устройства.
- Прикидочный ручной расчет.
- Моделирование выбранной схемы в системе Multisim.
- Экспериментальное исследование устройства в системе NI ELVIS.

Следует отметить, что прикидочный ручной расчет не должен занимать у студентов много времени (любой тип расчета – не более часа). Совершенно недопустимо, например, вручную рассчитывать частотные характеристики сложных аналоговых электронных схем с учетом инерционностей биполярных и полевых транзисторов. Эти и другие сложные задачи анализа быстро и успешно решаются моделированием схемы в системе Multisim, а окончательное экспериментальное исследование разработанного устройства осуществляется в системе NI ELVIS.

Таким образом, применение систем Multisim и NI ELVIS позволяет существенно улучшить качество учебного процесса в курсовом проектировании по дисциплине «Схемотехника».

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНАЛОГОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ MULTISIM И NI ELVIS

Целью курсового проекта «Высококачественное усилительное устройство переменного тока» является приобретение студентами навыков расчета и проектирования микроэлектронных устройств на базе систем Multisim и NI ELVIS, использования справочной литературы, оформления технической документации. При выполнении курсового проекта студенты разрабатывают функциональную и принципиальную схемы усилителя, рассчитывают и выбирают входящие в его состав компоненты, определяют уточненные статические и динамические параметры электронного устройства. На заключительном этапе проектирования оформляются пояснительная записка и чертеж принципиальной электрической схемы усилителя, выполненный в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

При проведении курсового проектирования предлагается примерное содержание пояснительной записки, включающей следующие разделы:

Техническое задание (ТЗ).

1. Выбор схемы усилителя переменного тока.

1.1. Построение усилителя на основе инвертирующего решающего усилителя (РУ).

1.2. Схемная реализация усилителя на базе неинвертирующего РУ.

1.3. Построение усилителя на основе двух усилительных подсхем.

2. Моделирование усилителя переменного тока в системе Multisim.

2.1. Усилитель с одной усилительной подсхемой.

2.2. Усилитель с двумя усилительными подсхемами.

3. Экспериментальное исследование усилителя переменного тока в системе NI ELVIS.

3.1. Усилитель на одном неинвертирующем РУ.

3.2. Усилитель на неинвертирующем и инвертирующем РУ.

4. Проектирование мощного выходного каскада усилителя.

Заключение.

Литература.

4.1. Техническое задание

Усилитель переменного тока должен быть реализован на маломощных интегральных операционных усилителях (ОУ) с выходной мощностью не более 100 мВт. Для обеспечения большой выходной мощности всего усилителя переменного тока, отдаваемой в нагрузку (10 – 15 Вт), на его выходе может быть использован выходной каскад на дискретных компонентах. Выходные транзисторы этого каскада могут устанавливаться на теплоотвод.

Таблица 4.1

Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент усиления в полосе пропускания K_U	800	1000	1200	1500	800	1000	1200	1500
Нижняя граничная частота полосы пропускания f_H , Гц	30	50	100	200	200	100	50	30
Верхняя граничная частота f_B , кГц, не менее	22	20	17	15	22	20	17	15
Входное сопротивление, кОм	50	100	200	300	300	50	100	200
Постоянное напряжение помехи на выходе, В, не более	0,5	1	1,5	2	2	0,5	1	1,5
Максимальный ток нагрузки I_H , А, не менее	1	1,2	1,4	1	1,2	1,4	1	1,2
Максимальное выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, В, не менее	10	10	10	10	10	10	10	10

Таблица 4.2

Параметры	9	10	11	12	13	14	15	16
Коэффициент усиления в полосе пропускания K_U	1200	1500	800	1000	1200	1500	800	1000
Нижняя граничная частота полосы пропускания f_H , Гц	30	50	200	30	50	100	100	200
Верхняя граничная частота f_B , кГц, не менее	17	15	22	20	17	15	22	20
Входное сопротивление, кОм	50	100	100	200	300	50	300	200
Постоянное напряжение помехи на выходе, В, не более	0,5	1	1	1,5	2	0,5	2	1,5
Максимальный ток нагрузки I_H , А, не менее	1,2	1,4	1	1,2	1,4	1	1,2	1,4
Максимальное выходное напряжение $U_{\text{вых}}$, В, не менее	10	10	10	10	10	10	10	10

В табл. 4.1 приведены значения параметров усилителя переменного тока, соответствующие вариантам 1 – 8 технического задания, в табл. 4.2 – вариантам 9 – 16.

4.2. Выбор схемы устройства

На первом этапе проектирования осуществляется выбор схемы усилителя переменного тока путем сравнения друг с другом на соответствие требованиям ТЗ инвертирующего РУ, неинвертирующего РУ и усилителя на основе двух усилительных подсхем [5]. Для этих усилителей проводится ручной расчет схем, в результате которого исключаются из дальнейшего рассмотрения усилители, не обеспечивающие требований ТЗ. Для оставшихся усилителей осуществляется подготовка схем к моделированию в системе Multisim. Следует отметить, что прикидочный ручной расчет не должен занимать у студентов много времени (любой тип расчета – не более часа).

При построении усилителей переменного тока на ОУ широкое применение получила схема инвертирующего РУ с разделительным конденсатором на входе, представленная на рис. 4.1 (здесь ФГ – функциональный генератор, АБ – анализатор Боде). Наличие конденсатора $C1$ позволяет минимизировать выходное напряжение покоя усилителя и осуществить развязку по постоянному току между входом РУ и выходом ФГ.

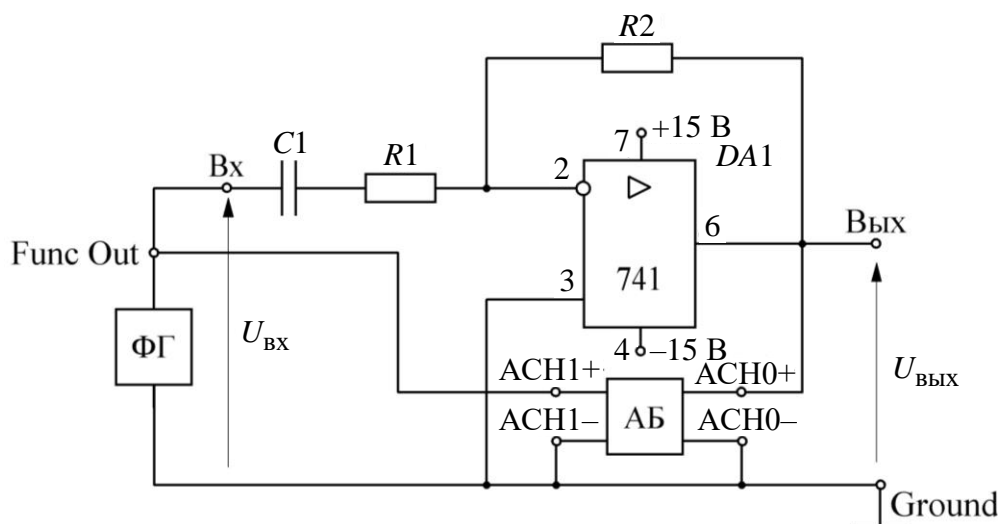


Рис. 4.1. Схема инвертирующего РУ с разделительным конденсатором на входе

На рис. 4.2 представлены асимптотические ЛАЧХ разомкнутого операционного усилителя $DA1$ (график 1) и всего усилителя переменного тока (график 2), где $f_{ср}$ – частота среза ОУ; f_n и f_v – соответственно, нижняя и верхняя граничные частоты полосы пропускания усилителя переменного то-

ка, на которых модуль коэффициента усиления снижается на 3 дБ по сравнению с максимальным значением; $\Delta f = f_v - f_n$ – полоса пропускания усилителя. Чем усилитель переменного тока отличается от усилителя постоянного тока? Усилитель постоянного тока, например ОУ, имеет ненулевой коэффициент усиления на нулевой частоте, т. е. может усиливать сигналы как постоянного, так и переменного тока (характеристика 1). Усилитель переменного тока имеет нулевой коэффициент усиления на нулевой частоте и предназначен только для усиления сигналов переменного тока (характеристика 2).

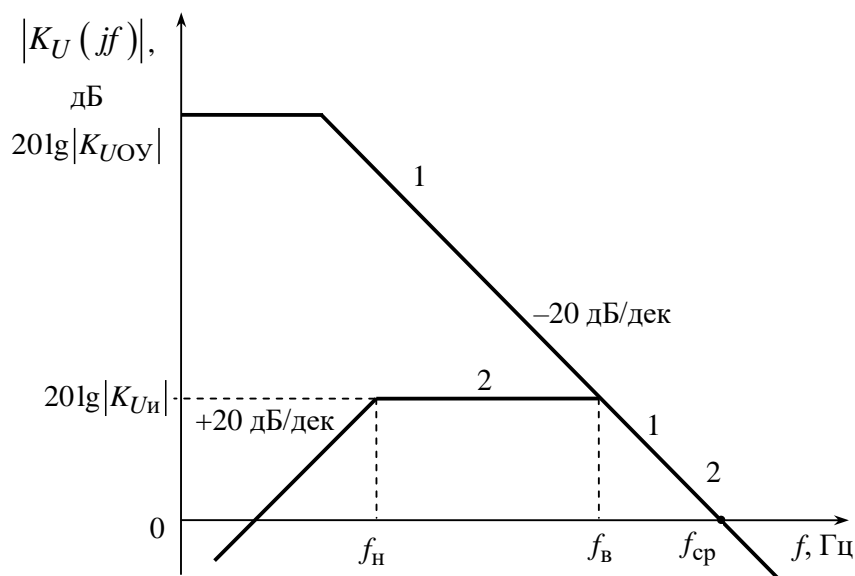


Рис. 4.2. Асимптотические ЛАЧХ: 1 – разомкнутого операционного усилителя DA1; 2 – всего усилителя переменного тока

Коэффициент усиления и входное сопротивление усилителя переменного тока (см. рис. 4.1) в полосе пропускания определяются схемными функциями инвертирующего РУ:

$$K_{Uи} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} \approx -\frac{R_2}{R_1}; R_{вх. и} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} \approx R_1. \quad (4.1)$$

Это обусловлено тем, что сопротивлением разделительного конденсатора в полосе пропускания в первом приближении можно пренебречь. Из соотношений (4.1) при заданных схемных функциях усилителя (см. ТЗ) определяются сопротивления резисторов схемы. При этом следует отметить, что в усилителях переменного тока на инвертирующих РУ не удастся получить одновременно большой коэффициент усиления и большое входное сопротивление. Поэтому, если по результатам расчета схемы на рис.4.1 хотя бы одно из ее сопротивлений превышает значение 10 МОм (такие сопротивления

трудно реализовать), то считаем, что такая схема не подходит и дальше исследовать ее не нужно.

Схема усилителя переменного тока на базе неинвертирующего РУ представлена на рис. 4.3; конденсатор $C2$ используется для минимизации выходного напряжения покоя усилителя. Частотная характеристика усилителя аналогична характеристике 2, представленной на рис. 4.2. Коэффициент усиления и входное сопротивление усилителя переменного тока в полосе пропускания определяются схемными функциями неинвертирующего РУ (сопротивлением конденсаторов $C1$ и $C2$ в полосе пропускания в первом приближении можно пренебречь):

$$K_{U_{\text{ни}}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \approx 1 + \frac{R_2}{R_1}; R_{\text{вх. ни}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}} \approx R_3. \quad (4.2)$$

Из соотношений (4.2) очевидно, что соответствующим выбором сопротивления R_3 можно обеспечить высокое входное сопротивление усилителя, а выбором большого значения отношения R_2/R_1 – высокий коэффициент усиления РУ.

Частотная характеристика усилителя переменного тока (рис. 4.3) в области нижних частот целиком формируется конденсаторами $C1$ и $C2$, в области верхних частот она зависит от частотных свойств скорректированного ОУ, при этом граничные частоты $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$ определяются соотношениями

$$f_{\text{н}} = 1/(2\pi R_1 C_2); f_{\text{в}} = f_{\text{ср}}/|K_{U_{\text{ни}}}|. \quad (4.3)$$

Из соотношений (4.3) следует, что при выборе более широкополосного ОУ с высокой частотой $f_{\text{ср}}$ можно получить более высокую верхнюю граничную частоту $f_{\text{в}}$ и тем самым расширить полосу пропускания усилителя переменного тока. Однако, как следует из рис. 4.2 и соотношения (4.3), чем выше коэффициент усиления усилителя переменного тока, тем меньше у него верхняя граничная частота $f_{\text{в}}$.

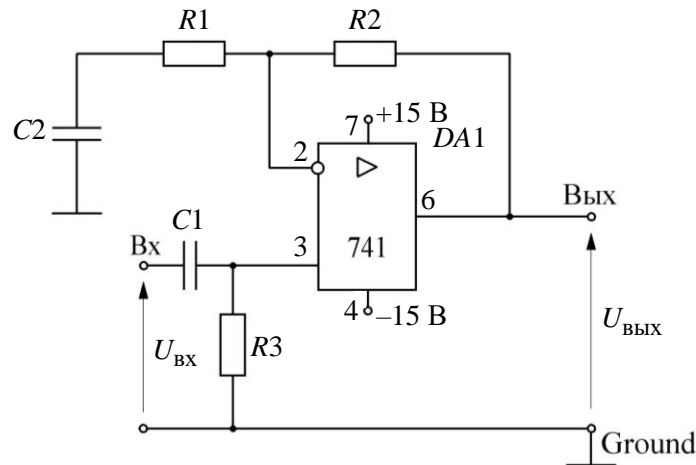


Рис. 4.3. Схема усилителя переменного тока на базе неинвертирующего РУ

Таким образом, при использовании одного неинвертирующего РУ в качестве усилителя переменного тока удастся получить одновременно большой коэффициент усиления (100...2000) и большое (1...10 МОм) входное сопротивление усилителя, но при этом существуют определенные трудности в реализации высокой верхней граничной частоты f_B .

При ручном расчете схемы (рис. 4.3) желательно, чтобы все сопротивления были не более 10 МОм, а емкости – не более 3 мкФ. Например, задаемся емкостями $C_1 = C_2 = 1$ мкФ. Тогда при заданных схемных функциях усилителя (см. ТЗ) из соотношения (4.3) определяется сопротивление R_1 , а из соотношений (4.2) – сопротивления R_2 и R_3 .

Окончательное решение о приемлемости схемы (рис. 4.3) принимается после ее исследования с использованием систем Multisim и NI ELVIS (определение верхней граничной частоты f_B).

От недостатка усилителя (рис. 4.3) свободна схема усилителя переменного тока, представленная на рис. 3.1. Этот усилитель состоит из двух усилительных подсхем: входная подсхема реализуется на неинвертирующем РУ ($DA1$; $R1$; $R2$; $R3$; $C1$), что позволяет обеспечить большое входное сопротивление усилителя переменного тока; выходная подсхема представляет собой инвертирующий РУ ($DA2$; $R4$; $R5$; $C2$) и используется для получения высокого коэффициента усиления K_U всего усилителя. В полосе пропускания

$$K_U = K_{U_{\text{ни}}} K_{U_{\text{и}}} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \left(-\frac{R_5}{R_4}\right). \quad (4.4)$$

Частотные характеристики неинвертирующего и инвертирующего РУ усилителя (рис. 3.1) аналогичны характеристике 2, представленной на

рис. 4.2. Из графиков, приведенных на рис. 4.2, следует, что для получения наибольшей верхней граничной частоты $f_{\text{в}}$ всего усилителя переменного тока (рис. 3.1) целесообразно выбирать коэффициенты усиления инвертирующего и неинвертирующего РУ по модулю примерно одинаковыми. Нижняя граничная частота полосы пропускания усилителя переменного тока (рис. 3.1) определяется соотношением:

$$f_{\text{н}} = 1/(2\pi R_4 C_2). \quad (4.5)$$

При ручном расчете схемы (рис. 3.1) также желательно, чтобы все сопротивления были не более 10 МОм, а емкости – не более 3 мкФ. Например, задаемся емкостями $C_1 = C_2 = 1$ мкФ. Тогда при заданных схемных функциях усилителя (см. ТЗ) из соотношения (4.5) определяется сопротивление R_4 . Далее из соотношений (4.4) сначала определяются равные друг другу коэффициенты неинвертирующего и инвертирующего РУ, а потом, задаваясь сопротивлением: $R_1 = 1$ кОм, определяем сопротивления всех остальных резисторов схемы с учетом соотношения (4.2). Окончательное решение о приемлемости схемы (рис. 3.1) также принимается после ее исследования с использованием систем Multisim и NI ELVIS (определение верхней граничной частоты $f_{\text{в}}$).

4.3. Моделирование электронного устройства в системе Multisim

На втором этапе проектирования проводится моделирование усилителя переменного тока в системе Multisim [1].; при этом основное внимание уделяется исследованию частотных характеристик усилителя. Сравниваются между собой усилитель переменного тока с одной усилительной подсхемой (рис. 4.3) и усилитель с двумя усилительными подсхемами (рис. 3.1). Параметры компонентов этих усилителей были определены в результате ручного расчета на первом этапе проектирования. Для этих усилителей с использованием системы Multisim определяются их частотные характеристики и по ним с помощью курсора находятся значения параметров K_U , $f_{\text{н}}$ и $f_{\text{в}}$ всего усилителя переменного тока. Эти значения проверяются на соответствие их требованиям ТЗ. Основная задача второго этапа проектирования – выяснить, какой из усилителей переменного тока, приведенных на рис. 4.3 и рис. 3.1, удовлетворяет требованиям ТЗ по верхней граничной частоте $f_{\text{в}}$. Решить эту задачу ручными методами анализа не представляется возможным.

На рис. 4.4 в соответствии с одним из вариантов ТЗ представлена схема усилителя переменного тока с одной усилительной подсхемой (рис. 4.3), подготовленная для исследования в системе Multisim. Частотные характеристики этой схемы приведены на рис. 4.5 (определяется коэффициент усиления усилителя в полосе пропускания K_U) и рис. 4.6 (определяется верхняя граничная частота f_B). Очевидно, что данный усилитель имеет сравнительно низкую частоту f_B и небольшую полосу пропускания всего усилителя.

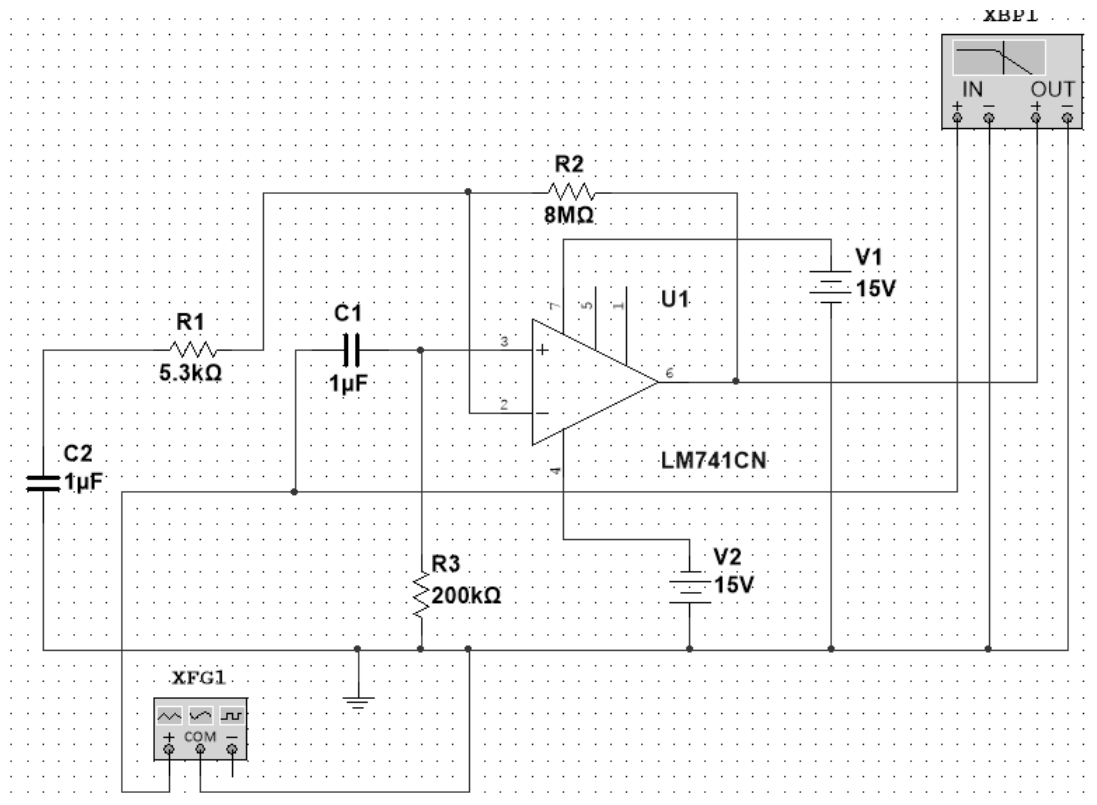


Рис. 4.4. Модель усилителя переменного тока с одной усилительной подсхемой

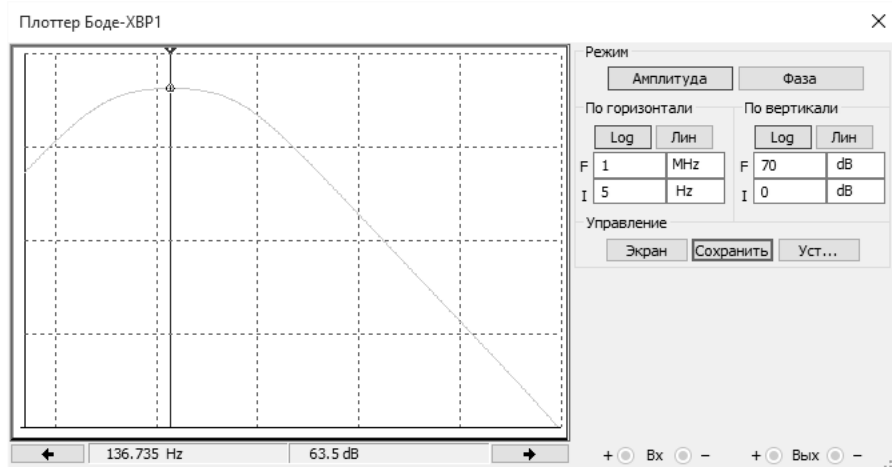


Рис. 4.5. ЛАЧХ модели усилителя переменного тока с одной усилительной подсхемой, где определяется коэффициент усиления усилителя в полосе пропускания

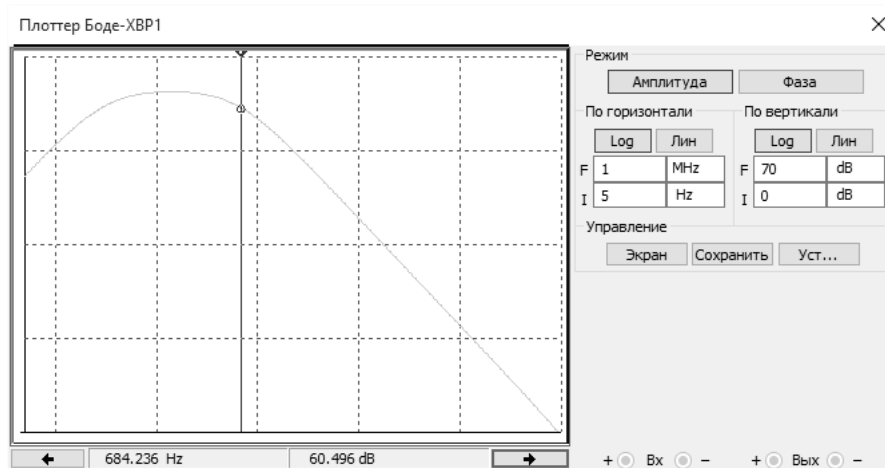


Рис. 4.6. ЛАЧХ модели усилителя переменного тока с одной усилительной подсхемой, где определяется верхняя граничная частота

На рис. 4.7 в соответствии с этим же вариантом ТЗ представлена схема усилителя переменного тока с двумя усилительными подсхемами (рис. 3.1), подготовленная для исследования в системе Multisim. Частотные характеристики этой схемы приведены на рис. 4.8 (определяется верхняя граничная частота f_B). Очевидно, что данный усилитель имеет сравнительно высокую частоту f_B и большую полосу пропускания всего усилителя.

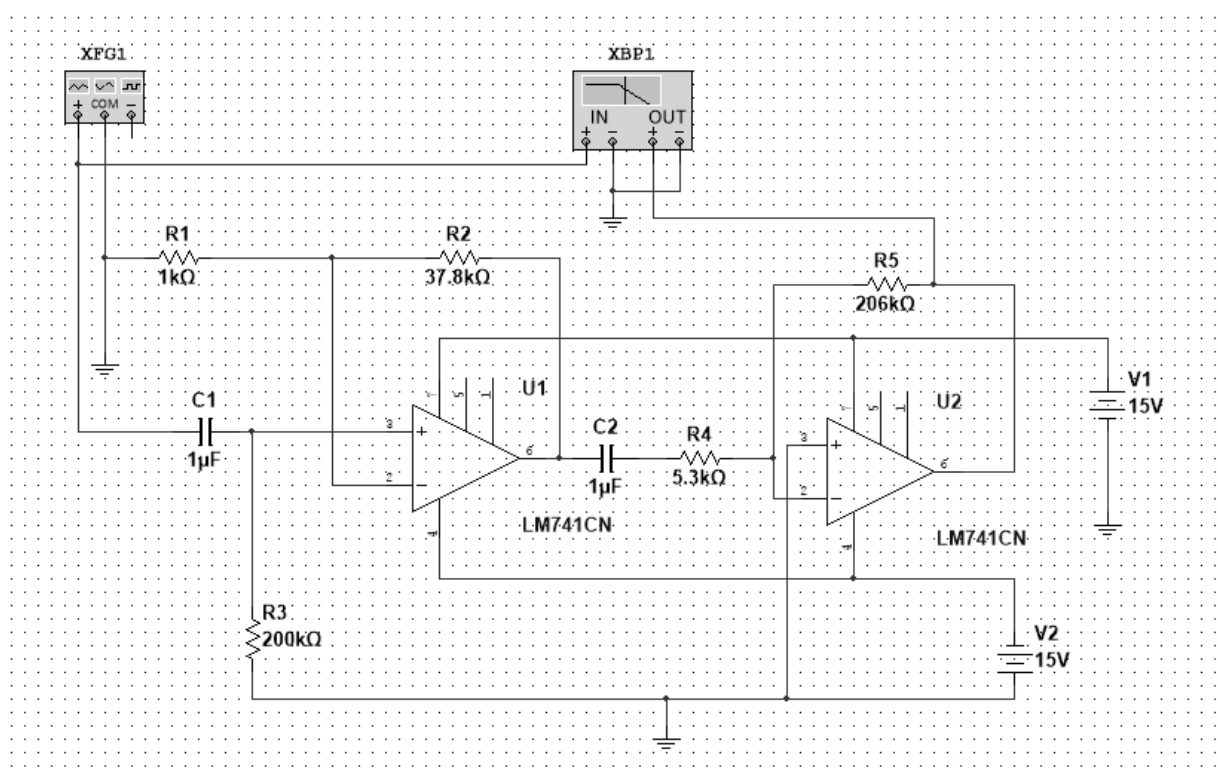


Рис. 4.7. Модель усилителя переменного тока с двумя усилительными подсхемами

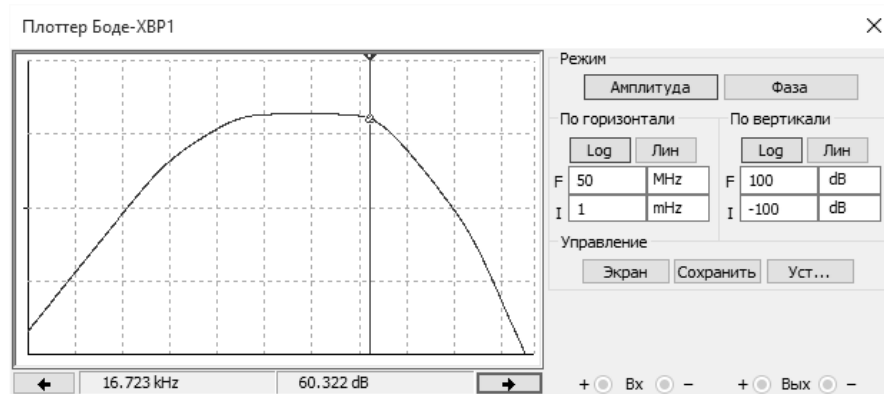


Рис. 4.8. ЛАЧХ модели усилителя переменного тока с двумя усилительными подсхемами, где определяется верхняя граничная частота

4.4. Экспериментальное исследование электронного устройства в системе NI ELVIS

На третьем этапе проектирования проводится экспериментальное исследование усилителя переменного тока в системе NI ELVIS [5]. Результаты этого исследования должны соответствовать результатам моделирования усилителя в системе Multisim, их некоторые расхождения должны быть студентами логически объяснены.

В качестве примера на рис. 4.9 приведены полученные с использованием системы NI ELVIS экспериментальные частотные характеристики коэффициента усиления усилителя переменного тока, реализованного на базе неинвертирующего РУ (рис.4.3). С помощью курсора определяем верхнюю граничную частоту полосы пропускания усилителя f_v и убеждаемся, что она невелика (1 кГц). Это обусловлено тем, что при использовании одного неинвертирующего РУ в качестве усилителя переменного тока удастся получить одновременно большой коэффициент усиления и большое входное сопротивление усилителя, но при этом возникают трудности в реализации высокой верхней граничной частоты f_v . Как следует из частотной характеристики усилителя переменного тока (график 2 на рис.4.2); чем выше коэффициент усиления усилителя переменного тока, тем меньше у него верхняя граничная частота f_v . Следовательно, схема усилителя на базе одного неинвертирующего РУ не подходит, так как не удастся получить необходимую высокую верхнюю граничную частоту совместно с большим коэффициентом усиления и большим входным сопротивлением усилителя.

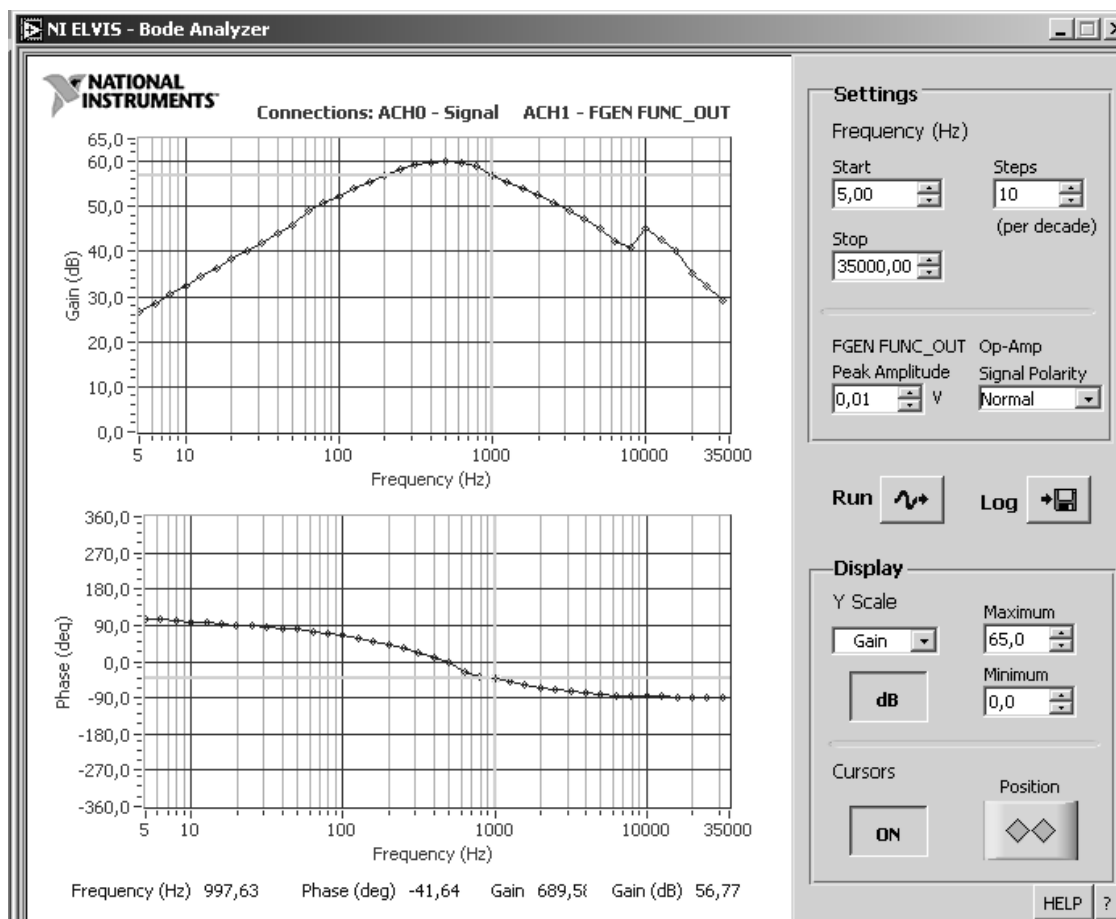


Рис. 4.9. Экспериментальные частотные характеристики коэффициента усиления усилителя переменного тока, реализованного на базе неинвертирующего РУ, полученные с использованием системы NI ELVIS

4.5. Реализация электронного устройства с мощным выходом

На четвертом этапе проектирования проводится расчет мощного выходного каскада (ВК) на дискретных компонентах, необходимого для расширения возможностей усилителя переменного тока по выходной мощности и максимальному току нагрузки.

Рекомендуемая схема (ВК) представлена на рис. 4.10. На этом же рисунке приведена часть схемы усилителя, приведенного на рис. 3.1 ($DA2$; $R4$; $R5$; $C2$), к выходу которого подключен вход ВК.

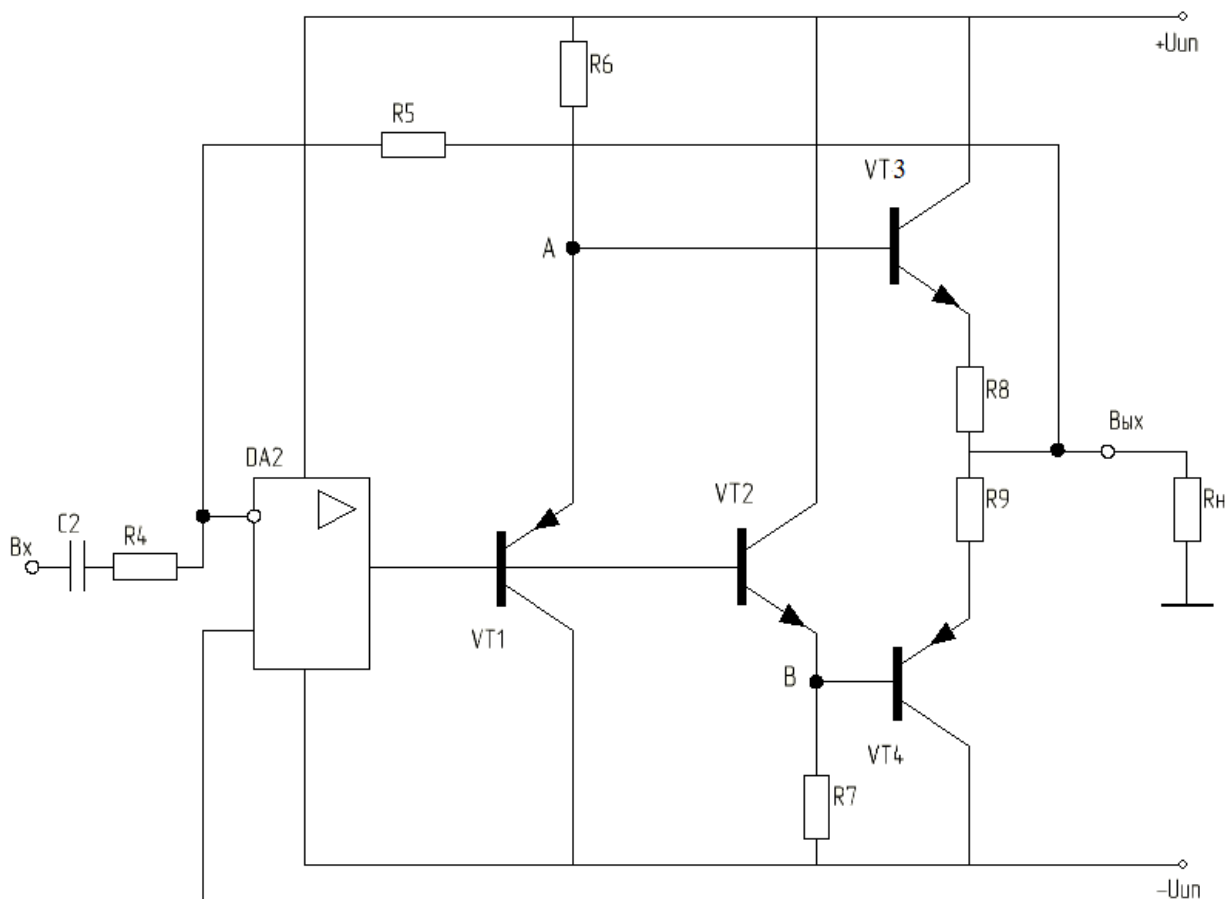


Рис. 4.10. Рекомендуемая схема мощного выходного каскада

Назначение и функционирование ВК. Этот каскад (VT1 – VT4; R6 – R9) предназначен для получения большого тока нагрузки: $I_H = 1 - 1,5$ А. Интегральный операционный усилитель DA2 серии 741 имеет максимальный ток нагрузки: $I_H = 10 - 20$ мА, что явно недостаточно для нашего усилителя.

ВК усиливает только по току. По напряжению его коэффициент передачи близок к 1 (повторитель напряжения). Действительно, транзисторы VT1 и VT3 по одному пути и транзисторы VT2 и VT4 по другому пути – каскады с общим коллектором. Эти каскады не инвертируют фазу входного сигнала и имеют коэффициент передачи по напряжению, близкий к единице.

Выходной каскад (рис. 4.10) – двухтактный каскад режима класса АВ. При положительном выходном напряжении транзистор VT3 находится в активном усилительном режиме, транзистор VT4 – в области отсечки, т. е. практически полностью обесточен; при этом ток нагрузки I_H течет по цепи: положительный источник питания – коллектор – эмиттер транзистора VT3 – резистор R8 – цепь нагрузки R_H – общая шина. При отрицательном выходном напряжении транзистор VT4 находится в активном усилительном режи-

ме, транзистор VT3 – в области отсечки; при этом ток нагрузки I_H течет по цепи: общая шина – цепь нагрузки R_H – резистор R9 – эмиттер – коллектор транзистора VT4 – отрицательный источник питания. Наличие двух источников питания позволяет обеспечить двуполярный диапазон изменения выходного напряжения.

Режим класса АВ создается введением транзисторов VT1, VT2. Падение напряжения $U_{AB} = U_{ЭБ1} + U_{ЭБ2} \approx 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ В}$ приоткрывает транзисторы VT3 и VT4 при выходном напряжении ВК, близком к нулю. Через эти транзисторы течет некоторый начальный сквозной ток I_0 , при этом рабочая точка транзисторов VT3 и VT4 выводится на начало линейного участка входной характеристики биполярного транзистора (рис. 4.11 – точка АВ), что минимизирует нелинейные искажения выходного напряжения ВК и всего усилителя. Резисторы R8 и R9 необходимы для ограничения сквозного тока I_0 .

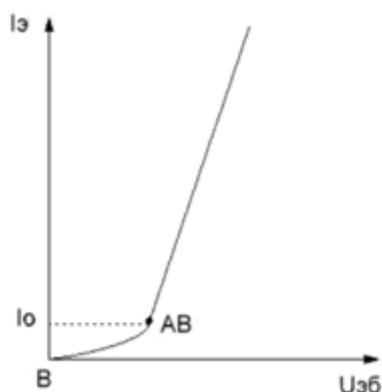


Рис. 4.11. Входная характеристика биполярного транзистора

Основными параметрами ТЗ усилителя переменного тока, на основании которых осуществляется проектирование ВК, являются максимальное выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ и максимальный ток нагрузки I_H .

Сопротивление резистора R6 выбираем из условия обеспечения напряжения $U_{\text{вых}} = +10 \text{ В}$ при максимальном токе нагрузки I_H . В этом режиме через транзистор VT1 течет минимальный ток, который не может быть менее 1 мА, поскольку при меньшем токе ухудшаются усилительные свойства этого транзистора. При расчете сопротивления резистора R6 в схеме на рис. 4.10 рассматриваем контур: положительный источник питания – резистор R6 – переход база – эмиттер транзистора VT3 – резистор R8 – цепь нагрузки R_H – общая шина. Для этого контура составляем уравнение на основании второго закона Кирхгофа; при этом задаемся минимальным статическим коэффициентом передачи по току транзистора VT3 в схеме с общим коллектором не менее 100, напряжением база – эмиттер транзистора VT3 примерно 0,8 В, напряжением на резисторе R8 примерно 0,2 В. Аналогичным образом определяем сопротивление резистора R7 из условия обеспечения напряжения $U_{\text{вых}} = -10 \text{ В}$ при максимальном токе нагрузки – I_H .

Определение сопротивлений резисторов $R8$ и $R9$ проводится с учетом того обстоятельства, что при выходном напряжении $U_{\text{вых}} = +10$ В транзистор $VT4$ практически полностью обесточен, а при напряжении $U_{\text{вых}} = -10$ В обесточен транзистор $VT3$. В этом случае можно задаться напряжением на этих резисторах примерно 0,2 В.

Параметры компонентов $R4$; $R5$; $C2$ схемы (рис. 4.10) определяются при проектировании усилителя переменного тока, представленного на рис. 3.1.

Таким образом, ручной расчет ВК на рис. 4.10 (определение параметров его компонентов) проводится с учетом рекомендаций настоящего раздела; далее можно осуществить поверочный расчет статического режима ВК с использованием системы Multisim. При поверочном расчете ВК проверяется на соответствие требованиям ТЗ по параметрам $U_{\text{вых}}$ и $I_{\text{н}}$, а также для этого каскада определяются максимальные мощности рассеяния на коллекторах всех транзисторах. Если эти мощности превышают значения 2 – 4 Вт, то соответствующий транзистор нужно устанавливать на теплоотвод.

Таким образом, совместное использование систем Multisim и NI ELVIS в процессе курсового проектирования усилителя переменного тока позволяет студентам максимально приблизиться к условиям работы в современных проектных организациях, в частности, минимизировать объем ручных расчетов. По результатам курсового проектирования студенты делают выводы о соответствии разработанного усилителя переменного тока требованиям ТЗ и об эффективности использования систем Multisim и NI ELVIS в практике разработки новых микроэлектронных устройств.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ MULTISIM И NI ELVIS

Существуют различные типы цифровых устройств, классифицируемых по различным параметрам и сферам применения. В данном разделе рассматривается процесс проектирования оптимизированного комбинационного цифрового устройства, функциональное назначение которого задается в техническом задании.

Проектирование в этом случае сводится к определению оптимальной структуры комбинационного цифрового устройства, реализуемой в рамках заданного базиса логических элементов. Другими словами, проектирование

цифрового устройства сводится к нахождению схемы, удовлетворяющей требуемому алгоритму функционирования при двух ограничениях:

- схема устройства должна быть реализована с помощью только заданного функционального полного набора логических элементов;
- поскольку требуемый алгоритм работы устройства, в общем случае, может быть реализован с помощью различных схем, то должна быть выбрана оптимальная схема, отличающаяся минимумом аппаратных затрат, т.е. минимальным числом интегральных схем, состоящих из логических элементов.

Процесс проектирования комбинационного цифрового устройства с использованием систем Multisim и NI ELVIS включает следующие этапы:

1. Выдача технического задания, содержащего описание работы устройства в понятийной словесной форме, либо в виде таблицы истинности, либо в некоторой комбинации двух предыдущих способов задания функционала будущего устройства.

2. Оценка размерности задачи. На основе результатов оценки принимается решение о проектировании комбинационного цифрового устройства в целом или по частям. При выборе последнего осуществляется условное разделение комбинационного цифрового устройства на составные части. В отдельных случаях для снижения трудоемкости и громоздкости задачи проектирования комбинационное цифровое устройство разбивается на ряд более простых узлов, в совокупности реализующих требуемый алгоритм функционирования.

3. Переход от описания в техническом задании к формализованному заданию алгоритма функционирования комбинационного цифрового устройства с помощью булевых функций и таблиц истинности.

4. Минимизация булевых функций.

5. Преобразование минимизированных форм логических функций к виду, реализуемому логическими элементами заданного функционально полного набора.

6. Построение схемы комбинационного цифрового устройства по полученным на предыдущем этапе логическим функциям в среде Multisim и последующее тестирование виртуальной модели устройства.

7. Прототипирование и тестирование схемы комбинационного цифрового устройства с использованием реальных компонентов и средств станции NI ELVIS.

8. Оформление пояснительной записки, отражающей ход и результаты проделанной работы.

5.1. Техническое задание

Необходимо разработать схему комбинационного цифрового устройства, предназначенного для управления семисегментным индикатором. Под управлением устройства на индикаторе должны отображаться символы А, В, С, D, Е, как это показано на рис. 5.1, б.

Схема комбинационного цифрового устройства должна быть построена в базе логических элементов типа «И-НЕ» и типа «ИЛИ». Схема должна содержать минимально возможное количество логических элементов.

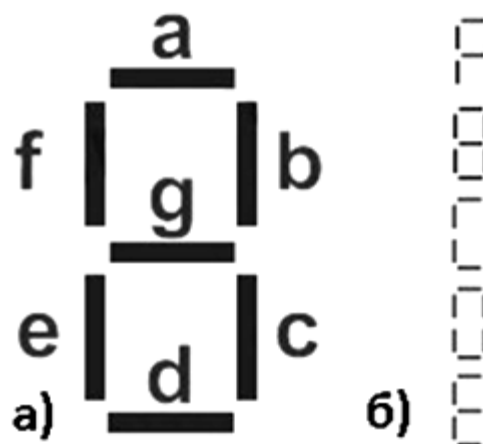


Рис. 5.1. Графическое пояснение ТЗ: а) структура семисегментного индикатора, б) вид отображаемых на индикаторе символов

5.2. Формализация алгоритма функционирования комбинационного цифрового устройства

Из словесного описания технического задания становится понятно, что для корректной работы проектируемому устройству достаточно иметь три входа и семь выходов. Один из возможных вариантов обобщенной таблицы истинности устройства можно наблюдать ниже.

Таблица 5.1

X	Y	Z	Отображаемый символ
0	0	0	А
0	0	1	В
0	1	0	С
0	1	1	Д
1	0	0	Е
1	0	1	Любой символ
1	1	0	Любой символ
1	1	1	Любой символ

С целью более детальной формализации далее составляется таблица истинности, которая демонстрирует, какие сегменты индикатора должны быть

включены, чтобы отображался соответствующий символ из предыдущей таблицы.

Таблица 5.2

X	Y	Z	Отображаемый символ	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	A	1	1	1	0	1	1	1
0	0	1	B	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	C	1	0	0	1	1	1	0
0	1	1	D	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	E	1	0	0	1	1	1	1
1	0	1	Любой символ	x	x	x	x	x	x	x
1	1	0	Любой символ	x	x	x	x	x	x	x
1	1	1	Любой символ	x	x	x	x	x	x	x

Здесь значение единицы соответствует включенному состоянию сегмента, ноль соответствует выключенному состоянию сегмента, x здесь обозначает неопределенное состояние, которое может быть любым.

5.3. Минимизация булевых функций

Теперь необходимо минимизировать булевы функции a, b, c, d, e, f, g, представленные в табл. 5.2. Сделать это можно различными методами, такими как алгебраический метод, метод Квайна, метод карт Карно. Проведем минимизацию с помощью последнего. Построим карты Карно для каждой булевой функции отдельно.

В табл. 5.2 можно видеть, что функции a, e, и f одинаковы и могут быть описаны одной функцией. Кроме того, стоит обратить внимание, что при любых состояниях входных переменных, исключая неопределенные, они принимают значение единицы. В таком случае наиболее выгодным вариантом с точки зрения минимизации неопределенные состояния принять также за единицу. Карта Карно в таком случае выглядит как показано в табл. 5.3. Значения в некоторых ячейках таблицы, обозначаемые как x1, x0 есть обыкновенные 1, 0. Введено это обозначение лишь для акцентирования внимания на сделанном в ходе минимизации выборе.

Таблица 5.3

Z / XY	00	01	11	10
0	1	1	x1	1
1	1	1	x1	x1

Можно видеть, что все элементы карты покрываются одной областью. В итоге получаем $a=e=f=1$.

Функции b и c также описываются одинаково, что можно видеть в табл. 5.2. Представленная ниже карта Карно описывает поведение данных функций.

Таблица 5.4

Z / XY	00	01	11	10
0	1	0	x0	0
1	1	1	x1	x1

При таком выборе значений, которые первоначально не были определены, элементы карты покрываются двумя областями. В результате получаем функции $b = c = Z + \neg X + \neg Y$.

Для функции d выгоднее все неопределенные значения табл. 5.2 принять за единицу.

Таблица 5.5

Z / XY	00	01	11	10
0	0	1	x1	1
1	1	1	x1	x1

Тогда получаем функцию $d = X + Y + Z$.

Элементы функции g при выбранной в табл. 5.6 конфигурации карты Карно покрываются одной областью.

Таблица 5.6

Z / XY	00	01	11	10
0	1	0	x0	1
1	1	0	x0	x1

Выражение для функции из табл. 5.6 записывается как $g = \neg Y$.

Таким образом, после процедуры минимизации получена система компактных булевых функций a, b, c, d, e, f, g , которая использует лишь шесть логических операторов.

5.4. Моделирование комбинационного цифрового устройства в системе Multisim

На данном этапе проектирования проводится моделирование комбинационного цифрового устройства в среде Multisim. Полученные на предыдущем этапе булевы функции представляются с помощью виртуальных интегральных микросхем, доступных в базе Multisim. Позднее при прототипировании эти элементы могут быть заменены на доступные аналоги. Далее

функционал цифрового устройства проверяется на соответствие его требованиям ТЗ.

На рис. 5.2 в соответствии с ТЗ представлена схема комбинационного цифрового устройства, предназначенного для управления семисегментным индикатором. Схема разработана в системе Multisim и готова для тестирования и исследования ее свойств.

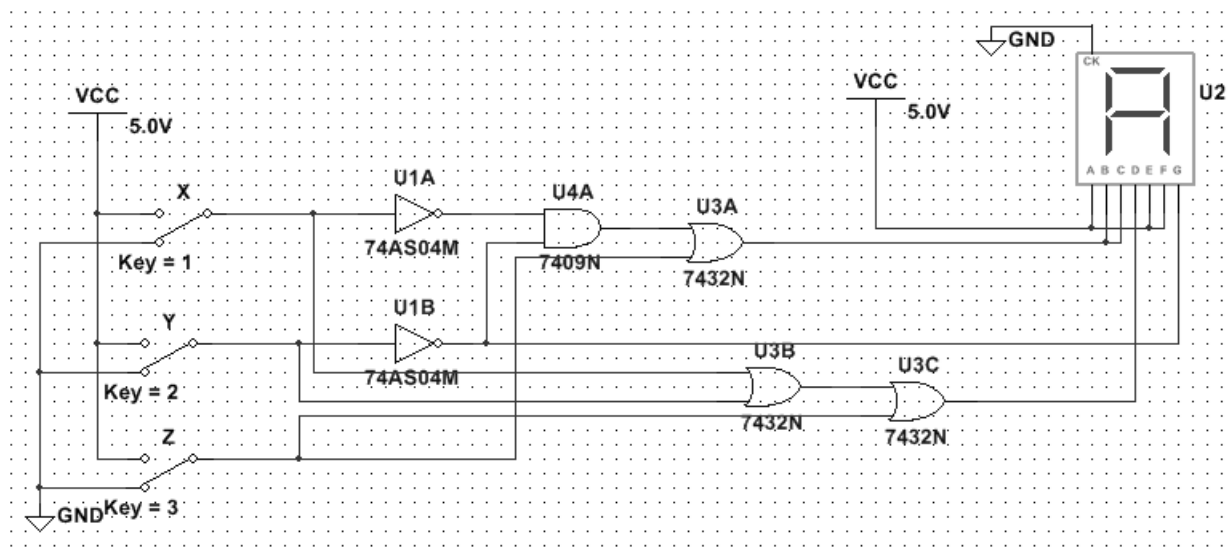


Рис. 5.2. Схема управления семисегментным индикатором, построенная в виртуальной среде NI Multisim

Для удобства анализа схема может быть модифицирована как показано на рис. 5.3. Здесь использован генератор слова, который позволяет ускорить процесс тестирования схемы за счет автоматизации перебора кодов, подаваемых на входы комбинационного цифрового устройства. При решении задач большой размерности такой подход особенно актуален.

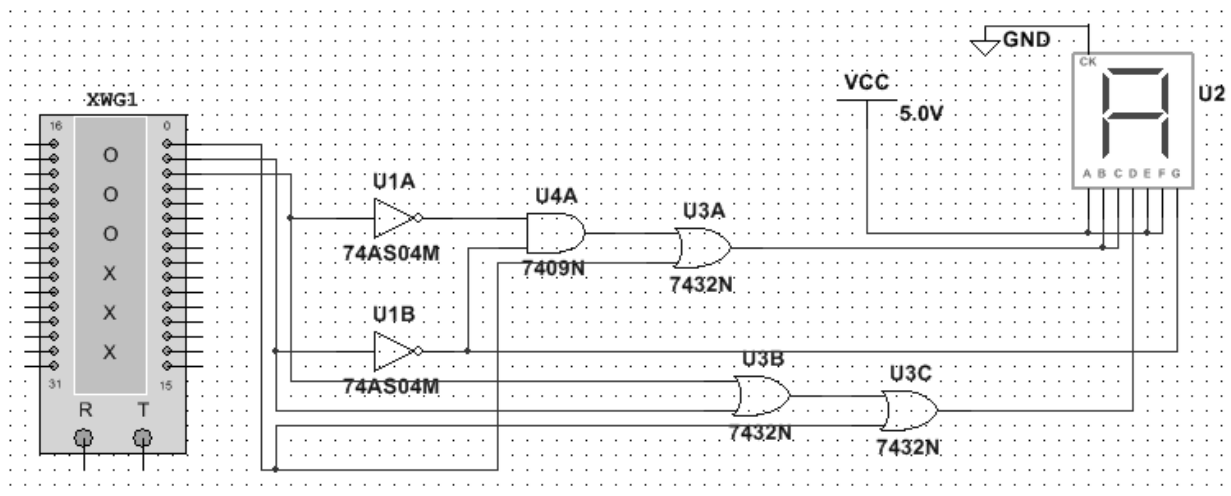


Рис. 5.3. Модифицированная схема управления семисегментным индикатором, построенная в виртуальной среде NI Multisim

На данном этапе нужно убедиться в корректности полученных в процессе минимизации булевых функций. При необходимости можно протестировать каждую из функций a, b, c, d, e, f, g по отдельности и вернуться на предыдущий этап в случае обнаружения ошибок.

5.5. Переход к заданному базису логических элементов

Убедившись в корректности работы проектируемой модели комбинационного цифрового устройства необходимо перейти к заданному в ТЗ базису логических функций. Потребность в конкретном базисе, как правило, обоснована желанием сократить аппаратные затраты, то есть использовать как можно меньше интегральных микросхем. Другой причиной может быть ограниченность в ресурсах. К примеру, в распоряжении студента могут находиться лишь микросхемы типа «ИЛИ-НЕ», что вынудит его к переходу в этот базис. В нашем случае в ТЗ указана возможность использования микросхем типа «И-НЕ» и «ИЛИ», поэтому следует преобразовать наши выражения к этому виду, используя законы булевой алгебры. Для полученных ранее функций будет достаточно заменить инверсию операндов $\neg X, \neg Y$ выражениями $X | X, Y | Y$, где знак $|$ обозначает штрих Шеффера – булеву функцию, реализующую операцию «И-НЕ».

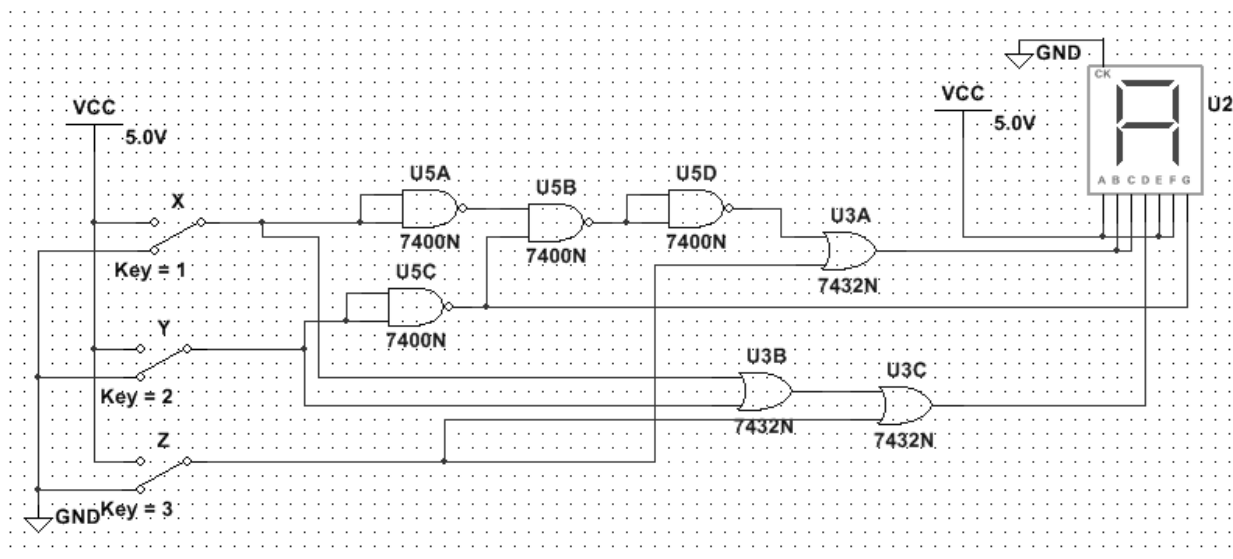


Рис. 5.4. Схема управления семисегментным индикатором с использованием логического базиса «И-НЕ» и «ИЛИ», построенная в виртуальной среде NI Multisim

На рис. 5.4 представлена возможная реализация проектируемого устройства в заданном техническим заданием базисе логических функций. Сравнивая с первоначальной реализацией (рис. 5.2) можно заметить, что теперь для функционирования схемы требуется на один логический элемент больше. С

другой стороны теперь используется два типа элементов «И-НЕ» и «ИЛИ» вместо трех «И», «ИЛИ», «НЕ», что в итоге экономит аппаратные ресурсы. Ведь теперь для макетирования на станции NI ELVIS потребуется лишь две интегральных микросхемы, что демонстрируется в разд. 5.6.

5.6. Экспериментальное исследование электронного устройства в системе NI ELVIS

На данном этапе проектирования производится прототипирование и экспериментальное исследование комбинационного устройства в системе NI ELVIS. Результаты этого исследования должны соответствовать результатам моделирования в системе Multisim. Для корректной работы макета устройства должны быть учтены особенности реальных компонентов. В частности, необходимо обеспечить защиту семисегментного индикатора от избыточного тока с помощью резистора исходя из технических характеристик диодов, входящих в его состав.

Проектируемое комбинационное устройство может быть сконструировано с помощью следующих элементов:

- 1) Три логических элемента «ИЛИ», входящих в состав единой микросхемы;
- 2) Четыре логических элемента «И-НЕ», также входящих в состав единой микросхемы;
- 3) Семисегментный индикатор с общим анодом или катодом.

В качестве входов комбинационного устройства можно использовать рассмотренный в разд. 1.1 ИВП *Digital Bus Writer* или составной DIP-переключатель. Полученный прототип устройства может выглядеть как показано на рис. 5.8.

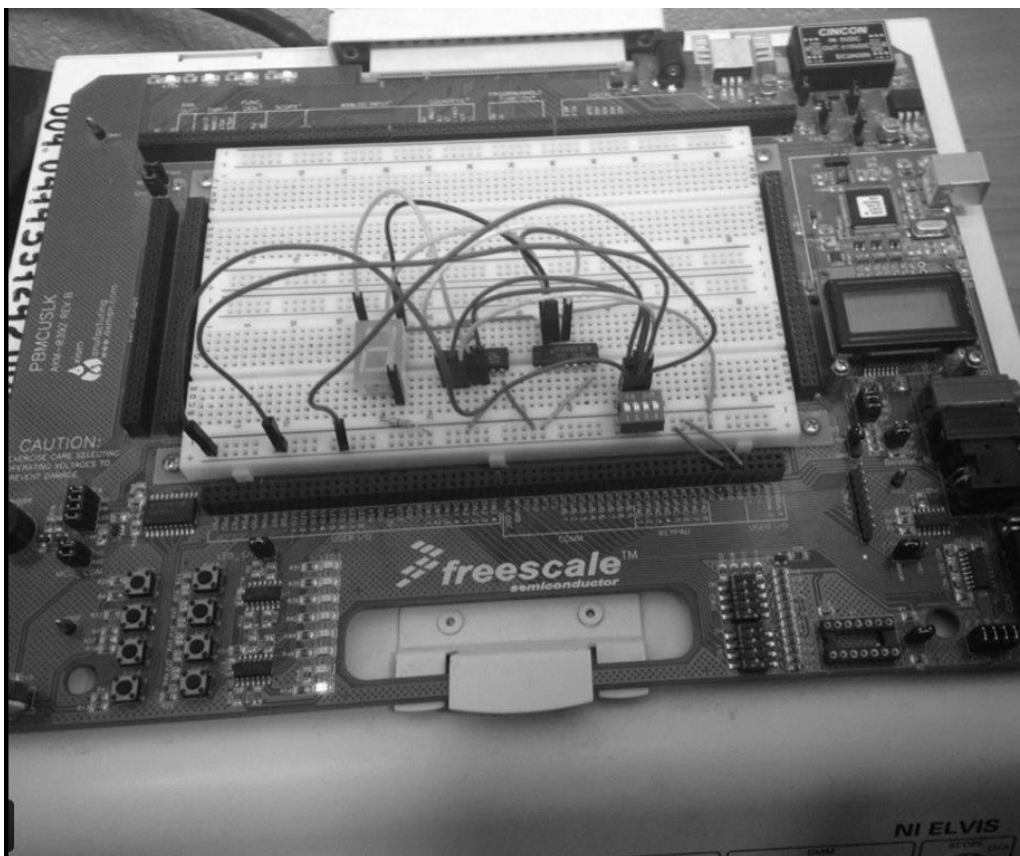


Рис. 5.5. Прототип комбинационного цифрового устройства управления семисегментным индикатором

По результатам проектирования и тестирования студенты делают выводы о соответствии разработанного прототипа комбинационного цифрового устройства требованиям ТЗ и о степени эффективности использованных средств и способов проектирования.

6. МЕТОДИКА ЭЛЕКТРОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СХЕМОТЕХНИКА»

Одной из целей настоящей работы является разработка набора вопросов электронного тестирования для повышения практической направленности подготовки студентов по дисциплине «Схемотехника». Это тестирование может быть использовано как для текущего контроля успеваемости студентов, так и для их самоконтроля.

Тестирование предполагается проводить для группы не более чем из 15 студентов в течение 15 минут; каждый студент отвечает на 6 вопросов. Одинаковые вопросы не должны повторяться более чем для 3 студентов в этой группе. Тогда общее количество вопросов должно быть не менее 30.

Основные дидактические единицы данного тестирования: моделирование электронных устройств; система Multisim; экспериментальное исследование электронных устройств; система NI ELVIS; структурный синтез электронных устройств; измерительные виртуальные приборы; анализ электронных устройств; усилитель постоянного тока, усилитель переменного тока, сигнал постоянного тока, коэффициент усиления, децибелы, частотная характеристика, инерционность транзисторов, разделительные конденсаторы, источник питания, схема смещения, усилительный каскад, полоса пропускания, температурная нестабильность, короткое замыкание выхода, граничная частота полосы пропускания, обратная связь, устойчивость, мощность, потребляемая от источника питания, генератор, аналоговый компаратор, активный фильтр, разомкнутый усилитель, общая обратная связь, корректирующая цепь, входное сопротивление, выходное сопротивление, решающий усилитель, операционный усилитель, дифференциальный РУ, дискретный компонент, триггеры, счетчики, регистры, логические элементы, шифраторы, дешифраторы, выпрямители, преобразователи напряжения, импульсный стабилизатор, непрерывный стабилизатор, силовой понижающий трансформатор, комбинационная схема, последовательностные цифровые устройства, триггер Шмитта, гистерезисная характеристика передачи, ключи на полевых транзисторах, мультивибратор [1 – 5]. За 15 минут тестирования студенту должно быть предложено не менее 8 дидактических единиц. Полный набор вопросов электронного тестирования включает в себя 35 единиц. В каждом тесте приведены 4 ответа на вопрос и только один из них является правильным.

1. В чем состоит основное назначение системы NI ELVIS?

- А) Моделирование электронных устройств.
- Б) Экспериментальное исследование электронных устройств.
- В) Выбор приемлемой схемы электронного устройства из базы данных.
- Г) Расчет надежности электронных устройств.

2. В чем состоит основное назначение системы Multisim?

- А) Моделирование электронных устройств.
- Б) Экспериментальное исследование электронных устройств.
- В) Выбор приемлемой схемы электронного устройства из базы данных.
- Г) Расчет надежности электронных устройств.

3. Какие основные задачи решает система Multisim?

- А) Задачи структурного синтеза электронных устройств.
- Б) Задачи анализа и структурного синтеза электронных устройств.
- В) Задачи структурного синтеза аналоговых электронных устройств и задачи анализа цифровых электронных устройств.
- Г) Задачи анализа электронных устройств.

4. Какие основные задачи решает система NI ELVIS?

- А) Задачи структурного синтеза электронных устройств.
- Б) Задачи анализа и структурного синтеза электронных устройств.
- В) Задачи структурного синтеза аналоговых электронных устройств и задачи анализа цифровых электронных устройств.
- Г) Задачи анализа электронных устройств.

5. В чем состоит основное отличие ИВП в системе NI ELVIS от ИВП в системе Multisim?

А) В системе NI ELVIS физически реализуемые ИВП измеряют реальные токи и напряжения в электронном устройстве; в системе Multisim ИВП – это математические абстракции.

Б) В системе Multisim физически реализуемые ИВП измеряют реальные токи и напряжения в электронном устройстве; в системе NI ELVIS ИВП – это математические абстракции.

В) Ничем.

Г) ИВП, используемые в системе NI ELVIS, имеют большую надежность по сравнению с ИВП в системе Multisim.

6. Может ли усилитель постоянного тока (У1) усиливать сигнал переменного тока, а усилитель переменного тока (У2) усиливать сигнал постоянного тока?

- А) У1 – да, У2 – нет.
- Б) У1 – нет, У2 – да.
- В) У1 – да, У2 – да.
- Г) У1 – нет, У2 – нет.

7. Коэффициент усиления усилителя составляет 1000000. Сколько это будет в децибелах?

- А) 60 дБ.
- Б) 6 дБ.
- В) 100 дБ.
- Г) 120 дБ.

8. Чем обусловлен спад частотной характеристики усилителя переменного тока в области нижних частот?

- А) инерционностью транзисторов усилителя.
- Б) наличием разделительных конденсаторов.
- В) источником питания.
- Г) схемами смещения усилительных подсхем.

9. Зачем нужно вводить разделительные конденсаторы между каскадами в усилителях переменного тока?

- А) для увеличения полосы пропускания усилителя.
- Б) для уменьшения температурной неустойчивости выходного напряжения усилителя.
- В) для защиты усилителя от короткого замыкания по входу и выходу.
- Г) для изменения верхней граничной частоты полосы пропускания усилителя.

10. Какие свойства привносит в усилитель отрицательная обратная связь?

- А) обеспечивает устойчивость усилителя.
- Б) увеличивает коэффициент усиления, при этом повышается неустойчивость усилителя.
- В) уменьшает мощность, потребляемую усилителем от источника питания.
- Г) стабилизирует коэффициент усиления, уменьшая его.

11. Какие свойства привносит в усилитель положительная обратная связь?

- А) обеспечивает устойчивость усилителя.
- Б) увеличивает коэффициент усиления, при этом повышается неустойчивость усилителя.

В) уменьшает мощность, потребляемую усилителем от источника питания.

Г) стабилизирует коэффициент усиления, уменьшая его.

12. В какое устройство превращается неустойчивый усилитель?

А) в генератор.

Б) в стабилизатор.

В) в аналоговый компаратор.

Г) в активный фильтр.

13. Введение в разомкнутый усилитель общей отрицательной обратной связи создает проблему устойчивости или ее решает?

А) решает.

Б) создает.

В) не влияет на устойчивость

Г) для одних усилителей – решает эту проблему, для других – ее создает.

14. Какие существуют способы обеспечения устойчивости усилителей?

А) введение корректирующих цепей.

Б) удаление из усилителя всех конденсаторов.

В) введение положительной обратной связи.

Г) увеличение омического сопротивления цепи нагрузки усилителя

15. Каковы параметры идеального операционного усилителя?

А) коэффициент усиления стремится к единице, входное сопротивление стремится к нулю, выходное сопротивление стремится к бесконечности.

Б) коэффициент усиления стремится к нулю, входное сопротивление стремится к бесконечности, выходное сопротивление стремится к бесконечности.

В) коэффициент усиления стремится к бесконечности, входное сопротивление стремится к нулю, выходное сопротивление стремится к бесконечности.

Г) коэффициент усиления стремится к бесконечности, входное сопротивление стремится к бесконечности, выходное сопротивление стремится к нулю.

16. Чем решающий усилитель (РУ) отличается от операционного усилителя (ОУ)?

- А) ничем.
- Б) ОУ представляет собой РУ с цепью общей отрицательной обратной связи.
- В) РУ – это ОУ с цепью общей отрицательной обратной связи.
- Г) ОУ представляет собой РУ с цепью коррекции.

17. Как подразделяются решающие усилители?

- А) инвертирующие, неинвертирующие, интегрирующие, суммирующие, дифференциальные, дифференцирующие.
- Б) усилители нижних, промежуточных и верхних частот.
- В) генераторы, активные фильтры, аналоговые компараторы.
- Г) усилители малой, средней и большой мощности.

18. Чем неинвертирующий РУ отличается от инвертирующего РУ?

- А) малым входным сопротивлением.
- Б) большим входным сопротивлением.
- В) большой полосой пропускания.
- Г) малым числом дискретных компонентов.

19. Для чего используется дифференциальный решающий усилитель?

- А) для умножения двух входных сигналов.
- Б) для сложения двух входных сигналов.
- В) для усиления разности двух входных сигналов.
- Г) для деления двух входных сигналов.

20. Какие устройства реализуются на базе интегральных операционных усилителей?

- А) генераторы, активные фильтры, стабилизаторы постоянного напряжения, аналоговые компараторы.
- Б) триггеры, счетчики, регистры.
- В) мощные выходные каскады, выпрямители, преобразователи напряжения.
- Г) логические элементы, шифраторы, дешифраторы.

21. Чем генератор отличается от усилителя?

- А) генератор имеет большую нестабильность выходного напряжения.
- Б) генератор – неустойчивая система, усилитель – устойчивая система.
- В) генератор – устойчивая система, усилитель – неустойчивая система.
- Г) усилитель имеет большую нестабильность выходного напряжения.

22. Представляет ли собой автоколебательный мультивибратор устойчивую систему?

- А) да.
- Б) нет.
- В) автоколебательный мультивибратор устойчив под воздействием внешнего сигнала.
- Г) автоколебательный мультивибратор неустойчив под воздействием внешнего сигнала.

23. Чем отличаются друг от друга ключи на биполярных и полевых транзисторах?

- А) ключи на полевых транзисторах потребляют очень малую мощность в цепи управления.
- Б) ключи на полевых транзисторах потребляют очень большую мощность в цепи управления.
- В) ключи на полевых транзисторах имеют очень большое время переключения.
- Г) ключи на полевых транзисторах могут работать только с низкими частотами переключения.

24. В чем состоит отличие логических элементов КМОПТЛ от элементов ТТЛ и ТТЛШ?

- А) логические элементы КМОПТЛ потребляют меньшую мощность и могут работать от меньших напряжений источников питания.
- Б) логические элементы ТТЛ и ТТЛШ потребляют меньшую мощность и могут работать от меньших напряжений источников питания.
- В) логические элементы КМОПТЛ сложны в реализации.
- Г) логические элементы КМОПТЛ менее надежны.

25. В каком состоянии логический элемент КМОПТЛ потребляет наибольшую мощность?

- А) логический 0.
- Б) логическая 1.
- В) при низкочастотных переключениях.
- Г) при высокочастотных переключениях.

26. Что собой представляет триггер Шмитта?

- А) последовательное соединение двух RS -триггеров.
- Б) операционный усилитель с цепью положительной обратной связи.
- В) последовательное соединение двух T -триггеров.
- Г) операционный усилитель с цепью отрицательной обратной связи.

27. Какую характеристику передачи вход – выход имеет триггер Шмитта?

- А) безгистерезисную.
- Б) линейную.
- В) гистерезисную.
- Г) аналогичную характеристике диода.

28. Как подразделяются комбинационные цифровые устройства?

- А) триггеры, счетчики, регистры и т.д.
- Б) генераторы, фильтры, стабилизаторы и т.д.
- В) логические элементы, шифраторы, дешифраторы и т.д.
- Г) пассивные, активные, реактивные.

29. В чем состоит основное отличие между комбинационными схемами (КС) и последовательностными цифровыми устройствами (ПЦУ)?

- А) КС имеют элементы памяти, ПЦУ их не имеют.
- Б) ПЦУ имеют элементы памяти, КС их не имеют.
- В) КС имеют обратные связи, ПЦУ их не имеют.
- Г) ПЦУ потребляют большую мощность.

30. В чем состоит недостаток традиционной схемы источника вторичного электропитания (силовой понижающий трансформатор – выпрямитель и фильтр – непрерывный стабилизатор постоянного напряжения)?

- А) сложность схемной реализации выпрямителя и фильтра.
- Б) трудности обеспечения устойчивости непрерывного стабилизатора напряжения).
- В) большие габариты и вес силового понижающего трансформатора.
- Г) большие пульсации выходного напряжения.

31. Какие электронные устройства превращают переменное напряжение в постоянное?

- А) преобразователи
- Б) стабилизаторы.
- В) компараторы.
- Г) выпрямители.

32. Какие электронные устройства превращают постоянное напряжение в переменное?

- А) преобразователи.
- Б) стабилизаторы.
- В) компараторы.
- Г) выпрямители.

33. Как работает стабилизатор постоянного напряжения?

А) стабилизируется входное напряжение, ток нагрузки, сопротивление нагрузки.

Б) изменяется входное напряжение, ток нагрузки – не изменяется выходное напряжение.

В) изменяется выходное напряжение, ток нагрузки – не изменяется входное напряжение.

Г) входное напряжение, ток нагрузки, выходное напряжение, сопротивление нагрузки не изменяются.

34. Как и по какому параметру идеальный стабилизатор постоянного напряжения противоположен идеальному усилителю?

А) коэффициент усиления по напряжению усилителя стремится к нулю, стабилизатора – к бесконечности (для приращений входного напряжения).

Б) коэффициент усиления по напряжению усилителя стремится к бесконечности, стабилизатора – к нулю (для приращений входного напряжения).

В) таких параметров нет.

Г) выходное сопротивление стабилизатора постоянного напряжения стремится к бесконечности, усилителя – к нулю.

35. В чем состоит отличие импульсного стабилизатора постоянного напряжения от непрерывного стабилизатора?

А) непрерывный стабилизатор имеет более высокий к.п.д.

Б) импульсный стабилизатор имеет более высокий к.п.д.

В) на входе и выходе импульсного стабилизатора переменное напряжение.

Г) непрерывный стабилизатор имеет более высокую выходную мощность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загидуллин Р. Ш. Multisim, Labview, Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств/М.: Горячая Линия – Телеком, 2009.

2. Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника: Учеб. пособие для вузов.–3-е изд., перераб. и доп //СПб.: БХВ-Петербург, 2010.

3. Михалков В.А., Соколов Ю.М. Применение систем NI ELVIS и Multisim для повышения интерактивности учебного процесса по дисциплине «Схемотехника». Материалы XXI международной научно-методической конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество». СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015.

4. Экспериментальное исследование устойчивости электронных устройств в системе NI ELVIS: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Схемотехника» / Сост.: И. В. Герасимов, К. Г. Жуков, А. И. Ларистов, В. А. Михалков, Ю. М. Соколов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012.

5. Экспериментальное исследование аналоговых электронных устройств на базе NI ELVIS: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Схемотехника» / Сост.: К. Г. Жуков, А. И. Ларистов, В. А. Михалков, Ю. М. Соколов. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2009.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ NI ELVIS ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	4
2. ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ MULTISIM В ПРОЦЕССЕ ЭМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	13
3. СОВМЕСТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМ MULTISIM И NI ELVIS	28
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНАЛОГОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ MULTISIM И NI ELVIS	32
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ MULTISIM И NI ELVIS	45
6. МЕТОДИКА ЭЛЕКТРОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СХЕМОТЕХНИКА»	53
ЛИТЕРАТУРА	62

Андреев Валерий Сергеевич
Бутусов Денис Николаевич
Михалков Владимир Алексеевич
Соколов Юрий Михайлович

Применение современных САПР в схемотехнике электронных устройств

Учебно-методическое пособие

Редактор Г. Г. Петров

Подписано в печать 00.00.00. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Печ. л. 0,0.
Гарнитура «Times New Roman». Тираж 000 экз. Заказ 000.

Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
197376, С.-Петербург, ул. Проф. Попова, 5