Применение современных САПР в схемотехнике аналоговых электронных устройств

**Человек:** Автоматизированное схемотехническое проектирование аналоговых электронных устройств связано с определенными трудностями, обусловленными высокой степенью неоднородности параметров их элементов.В настоящее время не удается 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 статье проведен обзор возможностей системы NI ELVIS для экспериментального исследования аналоговых электронных устройств. Рассмотрено совместное применение систем Multisim и NI ELVIS припроектировании аналоговых электронных устройств. Совместное использование систем Multisim и NI ELVIS в процессекурсового 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.

**Key words:** аналоговые электронные устройства, автоматизированное проектирование, NI ELVIS, LabVIEW, Multisim, аналоговая схемотехника, лабораторные работы, преподавание, компьютерное моделирование, операционные усилители

=================================

**FastText\_KMeans\_Clean:** 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. 2.Two Wire Current-Voltage Analyzer - Двухпроводной вольтамперный анализатор. 5.Oscilloscope – Осциллограф (ОСЦ). Экспериментальные частотные характеристики этого усилителя, полученные с использованием "Анализатора Боде" системы NI ELVIS, приведены на рис.3. Они подтверждают ту мысль, что в усилителе, реализованном на двух усилительных подсхемах (рис.2), можно получить значительно более широкую полосу пропускания по сравнению, например, с усилителем на одном неинвертирующем РУ. 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.

**Key words part:** 0.7037037037037037

=================================

**FastText\_KMeans\_Raw/:** 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. 2.Two Wire Current-Voltage Analyzer - Двухпроводной вольтамперный анализатор. Он включает в себя следующие работы:. 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). 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 минимально-фазовые системы, устойчивые в разомкнутом состоянии).

**Key words part:** 0.5185185185185185

=================================

**FastText\_PageRank\_Clean/:** 1.Digital Multimeter - Цифровой мультиметр (ЦМ). 2.Two Wire Current-Voltage Analyzer - Двухпроводной вольтамперный анализатор. 3.Three Wire Current-Voltage Analyzer - Трехпроводной вольтамперный анализатор. 4.Function Generator - Функциональный генератор (ФГ). 5.Oscilloscope – Осциллограф (ОСЦ). 6.Bode Analyzer - Анализатор Боде (АБ). Он включает в себя следующие работы:. Multisim представляет собой высокоэффективный интерактивный эмулятор схем.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**FastText\_PageRank\_Raw/:** 1.Digital Multimeter - Цифровой мультиметр (ЦМ). 2.Two Wire Current-Voltage Analyzer - Двухпроводной вольтамперный анализатор. 3.Three Wire Current-Voltage Analyzer - Трехпроводной вольтамперный анализатор. 4.Function Generator - Функциональный генератор (ФГ). 5.Oscilloscope – Осциллограф (ОСЦ). 6.Bode Analyzer - Анализатор Боде (АБ). Он включает в себя следующие работы:. Multisim представляет собой высокоэффективный интерактивный эмулятор схем.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**Mixed\_ML\_TR/:** В учебном процессе по дисциплине "Схемотехника" для моделирования (эмуляции) аналоговых электронных устройств удобно использовать систему Multisim, а для экспериментальных исследований - систему NI ELVIS. 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. 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. Поэтому у преподавателя освобождается много времени для интерактивного общения со студентами, т. е. для совместного осмысления полученных в результате эксперимента результатов. На рис.1 приведен пример экспериментальных ЛАЧХ и ФЧХ петлевого усиления усилителя с общей ООС при введении в него для обеспечения устойчивости пассивного частотно-зависимого делителя. 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. 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 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. 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. 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.

**Key words part:** 0.8148148148148148

=================================

**MultiLingual\_KMeans/:** В учебном процессе по дисциплине "Схемотехника" для моделирования (эмуляции) аналоговых электронных устройств удобно использовать систему Multisim, а для экспериментальных исследований - систему NI ELVIS. 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. Поэтому у преподавателя освобождается много времени для интерактивного общения со студентами, т. е. для совместного осмысления полученных в результате эксперимента результатов. На рис.1 приведен пример экспериментальных ЛАЧХ и ФЧХ петлевого усиления усилителя с общей ООС при введении в него для обеспечения устойчивости пассивного частотно-зависимого делителя. 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. 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 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.

**Key words part:** 0.7407407407407407

=================================

**Multilingual\_PageRank/:** 5.Oscilloscope – Осциллограф (ОСЦ). 6.Bode Analyzer - Анализатор Боде (АБ). Он включает в себя следующие работы:. Система NI ELVIS позволяет минимизировать рутинную работу студентов и преподавателя. Дополнительный фазовый сдвиг получается вычитанием из общего сдвига 180°. Действительно, на частоте среза петлевого усиления, равной 15 кГц, абсолютное значение дополнительного фазового сдвига составляет 90°, что значительно меньше 180°. Однако в экспериментальных характеристиках (рис.3) есть непонятный факт: на частоте 20 кГц имеем всплеск на ЛАЧХ при его отсутствии на ФЧХ. 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.

**Key words part:** 0.4444444444444444

=================================

**RuBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** 2.Two Wire Current-Voltage Analyzer - Двухпроводной вольтамперный анализатор. 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). 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. 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.

**Key words part:** 0.8518518518518519

=================================

**RuBERT\_KMeans\_With\_ST/:** В обеих системах Multisim и NI ELVIS используются измерительные виртуальные приборы (ИВП), но это совершенно разные приборы. 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. 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. 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.

**Key words part:** 0.6666666666666666

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** 1.Digital Multimeter - Цифровой мультиметр (ЦМ). 5.Oscilloscope – Осциллограф (ОСЦ). Пользователь задает частотный диапазон измерений, их число, а также выбирает шкалу дисплея – линейную или логарифмическую. Он включает в себя следующие работы:. В работе рассматриваются следующие способы:.

**Key words part:** 0.3703703703703704

=================================

**RUBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** 5.Oscilloscope – Осциллограф (ОСЦ). Он включает в себя следующие работы:. 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. Multisim представляет собой высокоэффективный интерактивный эмулятор схем.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_Without\_ST/:** 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. 2.Two Wire Current-Voltage Analyzer - Двухпроводной вольтамперный анализатор. 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 частотные характеристики этого усилителя, полученные с использованием "Анализатора Боде" системы NI ELVIS, приведены на рис.3. Они подтверждают ту мысль, что в усилителе, реализованном на двух усилительных подсхемах (рис.2), можно получить значительно более широкую полосу пропускания по сравнению, например, с усилителем на одном неинвертирующем РУ.

**Key words part:** 0.4814814814814815

=================================

**RUSBERT\_KMeans\_With\_ST/:** В учебном процессе по дисциплине "Схемотехника" для моделирования (эмуляции) аналоговых электронных устройств удобно использовать систему Multisim, а для экспериментальных исследований - систему NI ELVIS. С помощью этого ИВП можно измерять следующие величины: постоянное напряжение; переменное напряжение; постоянный и переменный ток; активное сопротивление; емкость; индуктивность; работоспособность диода; неразрывность цепи. 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. Эксперимент сделала твоя бригада – помоги другой; при этом у студентов развиваются преподавательские навыки. 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. 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. Следует отметить, что "Анализатор Боде" измеряет общий фазовый сдвиг петлевого усиления системы с учетом инвертирования усилителем фазы входного сигнала (рис. 1). Совершенно недопустимо, например, вручную рассчитывать частотные характеристики сложных аналоговых электронных схем с учетом инерционностей биполярных и полевых транзисторов.

**Key words part:** 0.7407407407407407

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_Without\_ST/:** Обе системы разработаны компанией National Instruments; их основные достоинства - удобство и комфорт процесса проектирования. 1.Digital Multimeter - Цифровой мультиметр (ЦМ). Он включает в себя следующие работы:. В работе рассматриваются следующие способы:. Модельный мир, т. е. мир виртуальной реальности свободен от ограничений физической реализуемости.

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**RUSBERT\_page\_rank\_With\_ST/:** 1.Digital Multimeter - Цифровой мультиметр (ЦМ). Он включает в себя следующие работы:. Модельный мир, т. е. мир виртуальной реальности свободен от ограничений физической реализуемости. При этом ему не нужно распылять свое внимание между разными лабораторными работами, как это происходит в обычной практике. Следует отметить, что прикидочный ручной расчет не должен занимать у студентов много времени (любой тип расчета – не более часа).

**Key words part:** 0.4074074074074074

=================================

**Simple\_PageRank/:** Система NI ELVIS предоставляет студенту очень широкие возможности для физического макетирования аналоговых электронных устройств на макетной плате с визуализацией результатов эксперимента на компьютере. 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). Он включает в себя версию Multicap, позволяющую быстро и графически наглядно описать проектируемую схему, и широко распространенный программный комплекс SPICE, реализующий множество функций анализа аналоговых электронных устройств. Экспериментальные частотные характеристики этого усилителя, полученные с использованием "Анализатора Боде" системы NI ELVIS, приведены на рис.3. Они подтверждают ту мысль, что в усилителе, реализованном на двух усилительных подсхемах (рис.2), можно получить значительно более широкую полосу пропускания по сравнению, например, с усилителем на одном неинвертирующем РУ. Тогда исследуем схему (рис.2) на эмуляторе Multisim при тех же значениях параметров компонентов и убеждаемся, что при эмуляции частотные характеристики усилителя аналогичны приведенным на рис.3, только указанный всплеск отсутствует. 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.

**Key words part:** 0.8148148148148148

=================================

**TextRank/:** В учебном процессе по дисциплине "Схемотехника" для моделирования (эмуляции) аналоговых электронных устройств удобно использовать систему Multisim, а для экспериментальных исследований - систему NI ELVIS. 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. 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). 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. 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. 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.

**Key words part:** 0.7777777777777778

=================================

**TF-IDF\_KMeans/:** В учебном процессе по дисциплине "Схемотехника" для моделирования (эмуляции) аналоговых электронных устройств удобно использовать систему Multisim, а для экспериментальных исследований - систему NI ELVIS. 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. Учебная лабораторная станция виртуальных приборов NI ELVIS – это набор ИВП для образовательных лабораторий от компании National Instruments. 2.Two Wire Current-Voltage Analyzer - Двухпроводной вольтамперный анализатор. 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. 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). 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 минимально-фазовые системы, устойчивые в разомкнутом состоянии). На основе совместного использования систем Multisim и NI ELVIS можно организовать фронтальный цикл лабораторных работ по аналоговой схемотехнике.

**Key words part:** 0.7777777777777778

=================================

**Текст:** В учебном процессе по дисциплине «Схемотехника» для моделирования (эмуляции) аналоговых 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.. 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.. 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 аналоговых 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.. 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.. 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.. 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.. 5.Oscilloscope – Осциллограф (ОСЦ). Этот ИВП имеет два канала и снабжен кнопками выбора масштаба, ручками регулировки положения луча, а также изменяемой временной разверткой. Пользователь сам выбирает источник запуска и режим работы, причем запуск может быть цифровой и аналоговый. Система NI ELVIS может направлять к осциллографу сигналы от ФГ или ЦМ. Дисплей ОСЦ дает возможность использовать курсоры для точных измерений на экране.. 6.Bode Analyzer - Анализатор Боде (АБ). Этот ИВП совместно с ФГ измеряет и визуализирует в удобном для пользователя виде амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) и фазо-частотные характеристики (ФЧХ) аналоговых электронных устройств. Пользователь задает частотный диапазон измерений, их число, а также выбирает шкалу дисплея – линейную или логарифмическую.. Система NI ELVIS предоставляет студенту очень широкие возможности для физического макетирования аналоговых 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.. На кафедре систем автоматизированного проектирования СПбГЭТУ «ЛЭТИ» с использованием системы NI ELVIS разработан фронтальный цикл экспериментальных лабораторных работ [1; 2; 3]. Он включает в себя следующие работы:. 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:. 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 логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) и фазо-частотных характеристик (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:. 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 минимально-фазовые системы, устойчивые в разомкнутом состоянии). На рис.1 приведен пример экспериментальных ЛАЧХ и ФЧХ петлевого усиления 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). Дополнительный фазовый сдвиг получается вычитанием из общего сдвига 180°. Из рассмотрения ЛАЧХ и ФЧХ, приведенных на рис. 1, очевидно, что замкнутый усилитель будет устойчив. 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.. . Multisim представляет собой высокоэффективный интерактивный эмулятор схем. Он включает в себя версию Multicap, 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 сопротивления резисторов схемы, при которых усилитель будет иметь заданный коэффициент усиления, или найти параметры корректирующих R - С 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 доверительности 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.. 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.2), и представленного в лабораторной работе «Усилители переменного тока и фильтры на базе интегральных ОУ». Экспериментальные частотные характеристики этого усилителя, полученные с использованием «Анализатора Боде» системы NI ELVIS, приведены на рис.3. Они подтверждают ту мысль, что в усилителе, реализованном на двух усилительных подсхемах (рис.2), 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) есть непонятный факт: на частоте 20 кГц имеем всплеск на ЛАЧХ при его отсутствии на ФЧХ.. . Рис. 2. Рис. 3. Тогда исследуем схему (рис.2) на эмуляторе Multisim при тех же значениях параметров компонентов и убеждаемся, что при эмуляции частотные характеристики усилителя аналогичны приведенным на рис.3, 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 натурных 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.. 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:. 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.