

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Бородин Максим Викторович
Саликаев Юрий Рафаельевич

Операционный усилитель: методические указания к лабораторной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) / М.В. Бородин, Ю.Р. Саликаев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2012. – 14 с.

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании аналоговых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность 210105 – Электронные приборы и устройства) по дисциплине «Математические модели и САПР электронных приборов и устройств»

© Бородин Максим Викторович, 2012

© Саликаев Юрий Рафаельевич, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«___» _____ 2012 г.

ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик
_____ М.В. Бородин
_____ Ю.Р. Саликаев
«___» _____ 2012 г.

Содержание

1 Введение	5
2 Лабораторная работа. Операционный усилитель	5
2.1 Цель работы	5
2.2 Краткие сведения из теории	5
2.3 Порядок проведения экспериментов	10
2.4 Контрольные вопросы	12
3 Содержание отчета	13
Список рекомендуемой литературы	13

1 Введение

Лабораторная работа выполняется с использованием программной среды QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) и заключается в моделировании аналоговых цепей. Для обработки результатов и оформления отчёта могут применяться различные математические и офисные программные средства.

2 Лабораторная работа. Операционный усилитель

2.1 Цель работы

В ходе выполнения работы необходимо:

- измерить входные токи операционного усилителя (ОУ); напряжение смещения ОУ; дифференциальное входное сопротивление ОУ;
- оценить величину среднего входного тока и разности входных токов ОУ;
- вычислить выходное сопротивление ОУ;
- измерить скорость нарастания выходного напряжения ОУ; коэффициент усиления неинвертирующего усилителя на ОУ; коэффициент усиления инвертирующего усилителя на ОУ.
- определить разность фаз между выходным и входным синусоидальным напряжением ОУ; разность фаз между выходным и входным синусоидальным напряжением ОУ;
- исследовать влияние коэффициента усиления усилителя на постоянную составляющую выходного напряжения; влияние коэффициента усиления схемы на постоянную составляющую выходного напряжения.

2.2 Краткие сведения из теории

Интегральный операционный усилитель характеризуется рядом параметров, описывающих этот компонент с точки зрения качества выполнения им своих функций. Среди параметров, обычно приводимых в справочных данных, основными являются следующие.

Средний входной ток I_{BX} . В отсутствие сигнала на входах ОУ через его входные выводы протекают токи, обусловленные базовыми токами входных биполярных транзисторов или токами утечки затворов для ОУ с полевыми транзисторами на входе. Входные токи, проходя через внутреннее сопротивление источника входного сигнала, создают падения напряжения на входе ОУ, которые могут вызвать появление напряжения на выходе в отсутствие сигнала на входе. Компенсация этого падения напряжения затруднена тем, что токи входов реальных ОУ могут отличаться друг от друга на 10...20%

Входные токи ОУ можно оценить по среднему входному току, вычисляемому как среднее арифметическое токов инвертирующего и

неинвертирующего входов:

$$I_{BX} = (I_1 + I_2) / 2,$$

где I_1 и I_2 соответственно токи инвертирующего и неинвертирующего входов. Разность входных токов ΔI_{BX} определяется выражением:

$$\Delta I_{BX} = I_1 - I_2$$

В справочниках указывают модуль этой величины. Схема для измерения входных токов представлена на рис. 2.1.

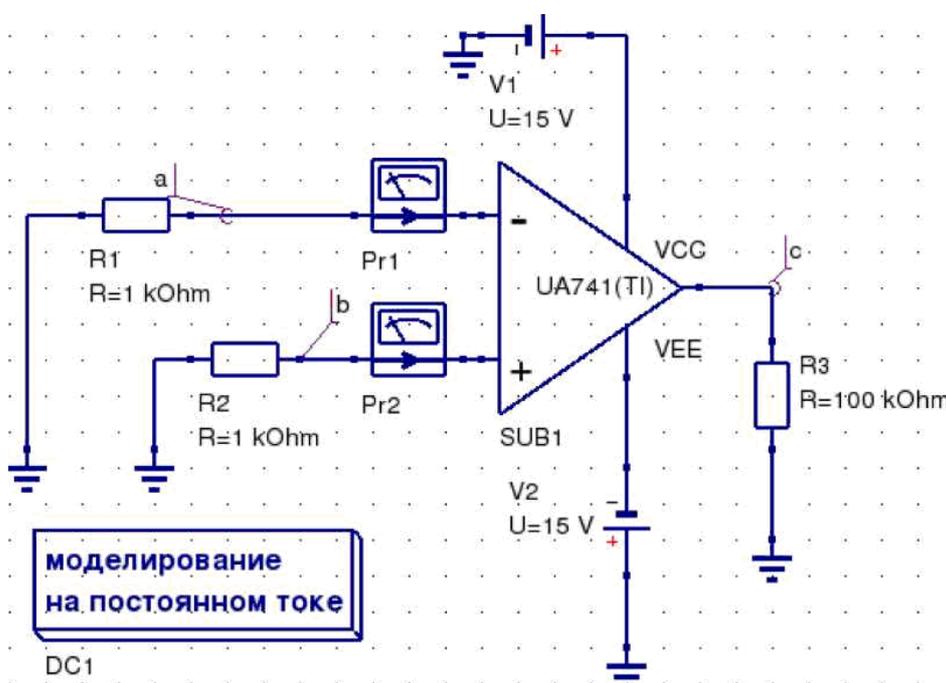


Рисунок 2.1

Коэффициент усиления напряжения на постоянном токе K_0 - показатель ОУ, определяющий насколько хорошо выполняет ОУ основную функцию - усиление входных сигналов. У идеального усилителя коэффициент усиления должен стремиться к бесконечности.

Коэффициент усиления напряжения схемы усилителя на ОУ (рис. 2.2) вычисляется по формуле:

$$K_V = -R_1 / R_2$$

Напряжение смещения U_{CM} — значение напряжения, которое необходимо подать на вход ОУ, чтобы напряжение на его выходе было равно нулю.

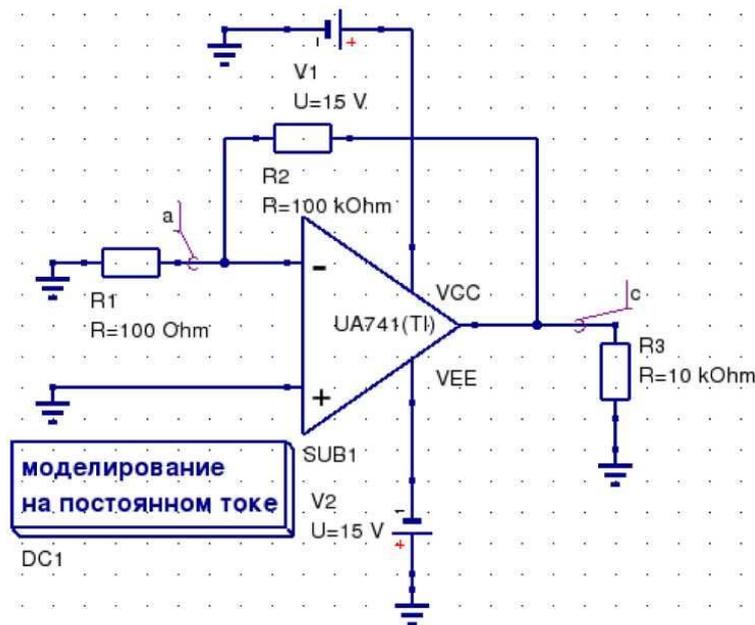


Рисунок 2.2

Напряжение смещения U_{CM} можно вычислить, зная выходное напряжение $\Delta U_{ВЫХ}$ при отсутствии напряжения на входе и коэффициент усиления:

$$U_{CM} = \Delta U_{ВЫХ} / K_U$$

Входное сопротивление $R_{ВХ}$. Различают две составляющие входного сопротивления: дифференциальное входное сопротивление и входное сопротивление по синфазному сигналу (сопротивление утечки между каждым входом и "землей"). Входное дифференциальное сопротивление для биполярных ОУ находится обычно в пределах 10 кОм...10 МОм. Входное сопротивление по синфазному сигналу определяется как отношение приращения входного синфазного напряжения $\Delta U_{ВХ.СФ}$ к вызванному приращению среднего входного тока $\Delta I_{ВХ.СР}$:

$$R_{ВХ.СФ.} = \Delta U_{ВХ.СФ} / \Delta I_{ВХ.СР}$$

Дифференциальное входное сопротивление наблюдается между входами ОУ и может быть определено по формуле:

$$R_{ВХ.ДИФ.} = \Delta U_{ВХ.} / \Delta I_{ВХ}$$

где $\Delta U_{ВХ}$ — изменение напряжения между входами ОУ, $\Delta I_{ВХ}$ — изменение входного тока.

Выходное сопротивление $R_{ВЫХ}$ в интегральных ОУ составляет 20...2000 Ом. Выходное сопротивление уменьшает амплитуду выходного сигнала, особенно при работе усилителя, на сравнимое с ним

сопротивление нагрузки. Схема для измерения дифференциального входного сопротивления ОУ и выходного сопротивления приведена на рис. 2.3.

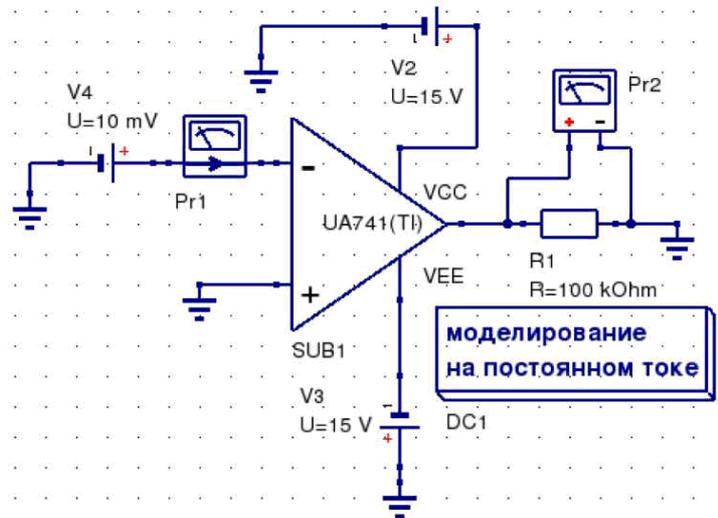


Рисунок 2.3

Скорость нарастания выходного напряжения V_{UBVIX} равна отношению изменения выходного напряжения ОУ ко времени его нарастания при подаче на вход скачка напряжения. Время нарастания определяется интервалом времени, в течении которого выходное напряжение ОУ изменяется от 10% до 90% от своих установившихся значений.

$$V_{UBVIX} = U_{BIX} / t_{VCT}$$

Схема для измерения скорости нарастания выходного напряжения показана на рис. 2.4.

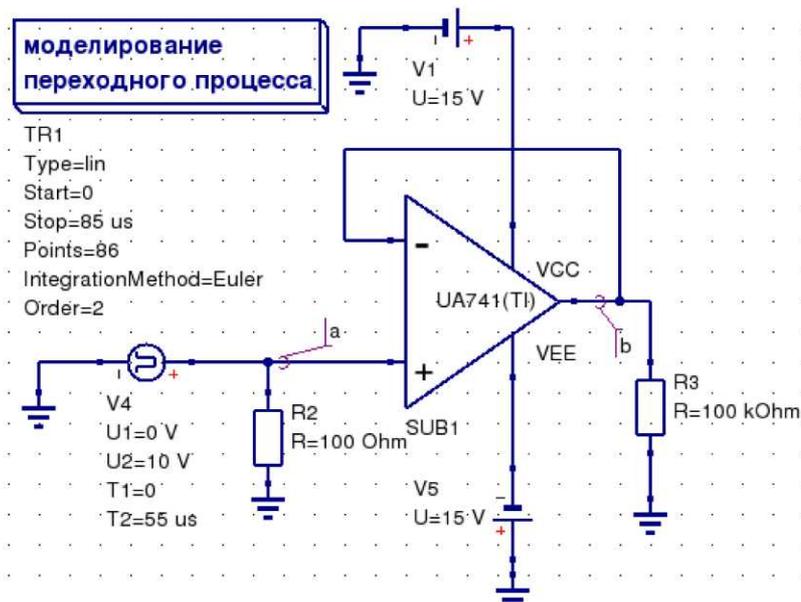


Рисунок 2.4

Измерения проводятся при подаче импульса в виде ступени на вход ОУ, охваченного отрицательной обратной связью (ООС) с общим коэффициентом усиления от 1 до 10.

Коэффициент усиления схемы неинвертирующего усилителя на ОУ вычисляется по формуле:

$$K_y = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

Схема включения неинвертирующего усилителя приведена на рис. 2.5.

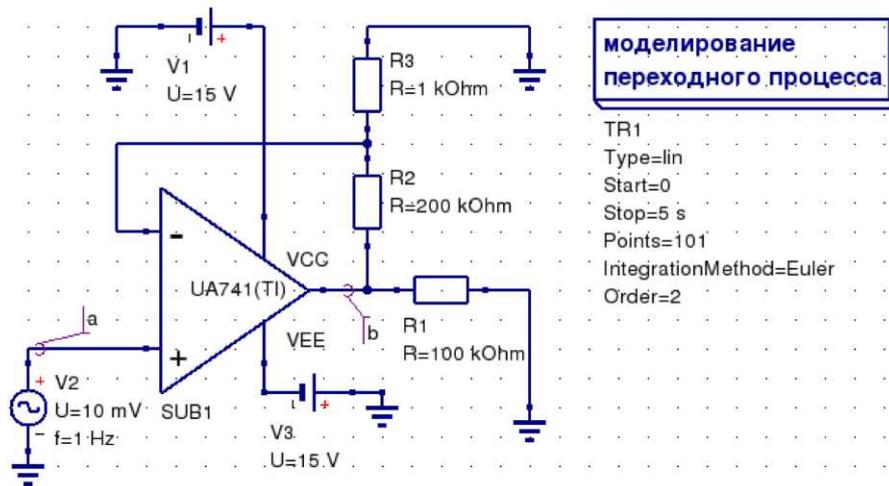


Рисунок 2.5

Постоянная составляющая выходного напряжения усилителя $U_{0\text{ВЫХ}}$ определяется произведением напряжения смещения $U_{\text{СМ}}$ на коэффициент усиления схемы K_y :

$$U_{0\text{ВЫХ}} = \dot{U}_{\text{СМ}} \cdot K_y$$

Коэффициент усиления инвертирующего усилителя на ОУ с обратной связью (рис. 2.6.) вычисляется по формуле:

$$K_y = -\frac{R_f}{R_1}$$

Знак "минус" в формуле означает, что выходное напряжение инвертирующего усилителя находится в противофазе с входным напряжением.

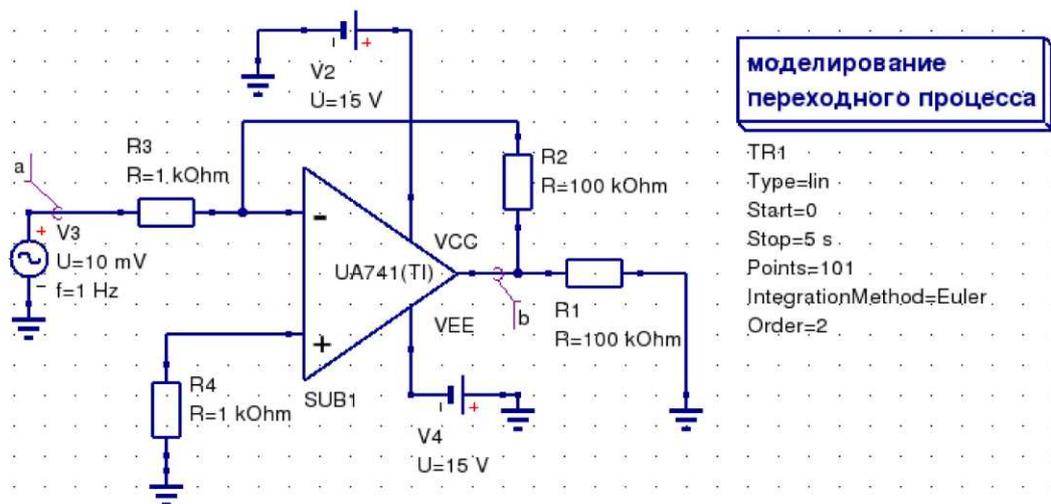


Рисунок 2.6

2.3 Порядок проведения экспериментов

Создайте в среде QUCS новый проект. В названии проекта не следует использовать пробелы и кириллицу.

Задание 1. Измерение входных токов

Создайте схему согласно рис. 2.1. Запустите моделирование. Измерьте входные токи ОУ. По результатам измерений вычислите средний входной ток $I_{ВХ}$ и разность $\Delta I_{ВХ}$ входных токов ОУ.

Задание 2. Измерение напряжения смещения

Создайте схему согласно рис. 2.2. Запустите моделирование. Занесите в отчет значение напряжения на выходе (в точке с). Рассчитайте коэффициент усиления схемы. Используя рассчитанное значение K_U и результат измерений, вычислите напряжение смещения $U_{СМ}$. Результаты вычислений также занесите в отчет.

Задание 3. Измерение входного и выходного сопротивлений

1. Создайте схему согласно рис. 2.3. Запустите моделирование. Измерьте входной ток $I_{ВХ}$ и выходное напряжение $U_{ВЫХ}$, запишите показания в отчет. Измените полярность источника V4 на входе усилителя (можно его перевернуть). Измерьте входной ток после переключения ключа. Рассчитайте изменения входного напряжения и тока. По полученным результатам вычислите дифференциальное входное сопротивление ОУ. Результаты занесите в отчет.

2. Уменьшайте сопротивление нагрузочного резистора R1 до тех

пор, пока выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ не будет примерно равно половине значения полученного в п.1. Запишите значение сопротивления R_1 , которое в этом случае приблизительно равно выходному сопротивлению $R_{\text{ВЫХ}} 0У$, в отчет.

Задание 4. Измерение времени нарастания выходного напряжения ОУ

Создайте схему согласно рис. 2.4. Здесь используется режим моделирования переходного процесса, что позволяет получать временную развертку сигналов (осциллограммы). Запустите моделирование. Зарисуйте осциллограмму выходного напряжения в отчет. По осциллограмме определите величину выходного напряжения, время его установления и вычислите скорость нарастания выходного напряжения в В/мкс. Занесите результат в отчет.

Задание 5. Работа неинвертирующего усилителя в режиме усиления синусоидального напряжения

Создайте схему согласно рис. 2.5. Рассчитайте коэффициент усиления напряжения K_U усилителя по заданным значениям параметров компонентов схемы. Запустите моделирование. Измерьте амплитуды входного $U_{\text{ВХ}}$ (точка а) и выходного $U_{\text{ВЫХ}}$ (точка б) синусоидальных напряжений. Также измерьте постоянную составляющую выходного напряжения $U_{0\text{ВЫХ}}$ и разность фаз между входным и выходным напряжениями. По результатам измерений вычислите коэффициент усиления по напряжению K_U усилителя. Результаты занесите в отчет.

Используя значение напряжения смещения $U_{\text{СМ}}$, вычисленное в задании 2, и вычисленное теоретическое значение коэффициента усиления, вычислите постоянную составляющую выходного напряжения $U_{0\text{ВЫХ}}$. Результаты расчета также занесите в отчет.

Задание 6. Исследование влияния параметров схемы на режим её работы.

В схеме, приведенной на рис. 2.5, уменьшите значение сопротивления R_1 с 100 кОм до 10 кОм, амплитуду синусоидального напряжения генератора увеличьте до 100 мВ. Запустите моделирование. Повторите все операции задания 5 при новых параметрах компонентов. Результаты занесите в отчет.

Задание 7. Работа усилителя в режиме усиления синусоидального напряжения

Создайте схему согласно рис. 2.6. Рассчитайте коэффициент усиления напряжения K_U усилителя по значениям параметров компонентов схемы. Запустите моделирование. Измерьте амплитуду входного $U_{\text{ВХ}}$ (точка а) и выходного $U_{\text{ВЫХ}}$ (точка б) синусоидального напряжения,

постоянную составляющую выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$ и разность фаз между входным и выходным напряжением. По результатам измерений вычислите коэффициент усиления по напряжению K_U усилителя. Результаты занесите в отчет.

Используя значение входного напряжения смещения $U_{\text{СМ}}$, полученное в задании 2 и найденное значение коэффициента усиления, вычислите постоянную составляющую выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}$. Результаты вычислений также занесите в отчет.

Задание 8. Исследование влияния параметров схемы на режим её работы

Установите значение сопротивления R_3 равным 10 кОм, амплитуду синусоидального напряжения генератора - 100 мВ. Запустите моделирование. Для новых параметров схемы повторите все измерения и вычисления задания 7. Результаты занесите в отчет.

2.4 Контрольные вопросы

1 Отличается ли измеренное значение среднего входного тока $I_{\text{вх}}$ от его номинального значения для ОУ $\mu\text{A}741$, взятого из паспортных данных?

2 Существенно ли отличие разности входных токов от номинального значения для ОУ $\mu\text{A}741$?

3 Сравните между собой величины входного и выходного сопротивлений ОУ. Какова схема замещения ОУ как элемента электрической цепи?

4 Отличается ли экспериментальное значение скорости нарастания выходного напряжения от номинального значения?

5 В чем причина возникновения входных токов ОУ и разности входных токов? К чему они приводят при работе схем на ОУ?

6 Существенно ли различие в значениях измеренной и вычисленной постоянной составляющей выходного напряжения схемы на рис. 2.5?

7 Чем определяется постоянная составляющая выходного напряжения схемы на рис. 2.5?

8 Как рассчитать коэффициент усиления схемы на рис. 2.6?

9 Как измерить разность фаз между входным и выходным напряжением в схеме на рис. 2.6?

10 Какие параметры схемы на рис. 2.6 влияют на ее коэффициент усиления?

Примечание. Паспортные данные ОУ $\mu\text{A}741$:

- средний входной ток ОУ 0,08 мкА;
- разность входных токов ОУ 0,02 мкА;
- напряжение смещения ОУ 1 мВ;
- входное сопротивление ОУ 2 Мом;

- выходное сопротивление ОУ 75 Ом;
- скорость нарастания выходного напряжения ОУ 0,5 В/мкс.

3 Содержание отчета

По лабораторной работе необходимо составить отчёт, который должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- краткие сведения из теории, содержащие расчётные формулы;
- схемы, собранные при проведении экспериментов в среде QUCS;
- результаты расчётов и экспериментов в виде таблиц и графиков;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы по проведённой работе.

Список рекомендуемой литературы

1. Основы компьютерного моделирования наносистем / Ибрагимов И.М. , Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. – М.: Изд-во «Лань» , 2010.- 384 с. ISBN 978-5-8114-1032-3: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=156
2. Поршнева С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. + CD. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 736 с. ISBN 978-5-8114-1063-7 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=650
3. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем / Петров М.Н., Гудков Г.В. - М.: Изд-во «Лань», 2011.- 464 с. ISBN 978-5-8114-1075-0 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=661
4. Основы автоматизированного проектирования [Текст] : учебник для вузов / Е. М. Кудрявцев. - М. : Академия, 2011. - 304 с. - ISBN 978-5-7695-6004-0
5. Математические модели и САПР электронных приборов и устройств: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 131 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/>
6. Машинные методы анализа и проектирования электронных схем : / И. Влаха, К. Сингхал ; пер.: А. Ф. Обьедков, Н. Н. Удалов, В. М. Демидов ; ред. пер. А. А. Туркина. - М. : Радио и связь, 1988. - 560 с. - ISBN 5-256-00054-3
7. Компьютерное моделирование и проектирование: учебное пособие / Ю. Р. Саликаев.- Томск: ТУСУР, 2012. - 94 с. Препринт. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/2548>
8. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 360 с.

Учебное пособие

Бородин М.В., Саликаев Ю.Р.

Операционный усилитель

Методические указания к лабораторной работе

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40