

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

Кафедра электронных приборов

## **ВЫПРЯМИТЕЛИ**

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

**Бородин Максим Викторович**  
**Саликаев Юрий Рафаельевич**

Выпрямители: 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.

Лабораторная работа состоит из трех частей: однополупериодные и двухполупериодные выпрямители; мостовой выпрямитель; емкостной фильтр на выходе выпрямителя.

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.

## **ВЫПРЯМИТЕЛИ**

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

Введение.....	5
1 Лабораторная работа. Выпрямители.....	5
1.1 Однополупериодные и двухполупериодные выпрямители .....	5
1.1.1 Цель работы .....	5
1.1.2 Краткие сведения из теории.....	5
1.1.3 Порядок проведения экспериментов.....	6
1.1.4 Контрольные вопросы .....	7
1.2 Мостовой выпрямитель.....	8
1.2.1 Цель работы .....	8
1.2.2 Краткие сведения из теории.....	8
1.2.3 Порядок проведения экспериментов.....	9
1.2.4 Контрольные вопросы .....	9
1.3 Емкостной фильтр на выходе выпрямителя .....	10
1.3.1 Цель работы .....	10
1.3.2 Краткие сведения из теории.....	10
1.3.3 Порядок проведения экспериментов.....	11
1.3.4 Контрольные вопросы .....	12
2 Содержание отчета.....	12
Список рекомендуемой литературы.....	13

## **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.

Лабораторная работа состоит из трех частей:

- однополупериодные и двухполупериодные выпрямители;
- мостовой выпрямитель;
- емкостной фильтр на выходе выпрямителя.

При выполнении работы используются следующие приборы и элементы: источник переменного напряжения; трансформаторы; кремниевые диоды 1N4001; резисторы.

## **1 Лабораторная работа. Выпрямители**

### **1.1 Однополупериодные и двухполупериодные выпрямители**

#### **1.1.1 Цель работы**

В ходе выполнения работы необходимо:

- провести анализ процессов в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей; анализ обратного напряжения  $U_{\text{мах}}$  на диоде в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей;

- сравнить формы входного и выходного напряжения для однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей; максимальное значение выходного напряжения для схем двухполупериодного и однополупериодного выпрямителей; частоты выходного сигнала для схем двухполупериодного и однополупериодного выпрямителей;

- определить среднее значение выходного напряжения (постоянной составляющей) в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей; частоты выходного сигнала в схемах однополупериодного выпрямителя и двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки трансформатора;

- исследовать работу трансформатора в схеме выпрямителя.

#### **1.1.2 Краткие сведения из теории**

Среднее значение выходного напряжения  $U_d$  (постоянная составляющая) однополупериодного выпрямителя (рис. 1.1) вычисляется по формуле:

$$U_d = \frac{U_m}{\pi}. \quad (1.1)$$

Значение  $U_d$  двухполупериодного выпрямителя (рис. 1.2) вдвое больше:

$$U_d = \frac{2 \cdot U_m}{\pi} \quad (1.2)$$

Частота выходного сигнала  $f$  для схемы с однополупериодным или двухполупериодным выпрямителем вычисляется как величина, обратная периоду выходного сигнала:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.3)$$

При этом период сигнала на выходе однополупериодного выпрямителя в два раза больше, чем у двухполупериодного. Максимальное обратное напряжение  $U_{max}$  на диоде однополупериодного выпрямителя равно максимуму входного напряжения (т.е. напряжения на вторичной обмотке трансформатора). Максимальное обратное напряжение  $U_{max}$  на каждом диоде двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора равно разности удвоенного максимального значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора  $U_{2m}$  и прямого падения напряжения на диоде  $U_{npr}$ :

$$U_{max} = U_{2m} - U_{npr} \quad (1.4)$$

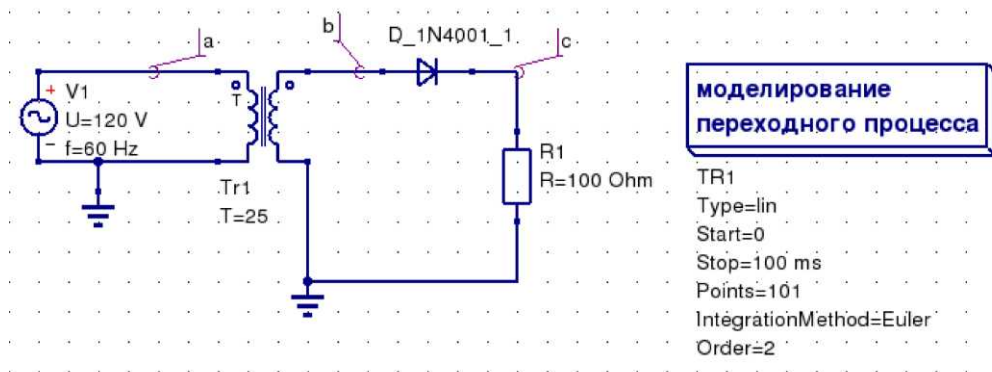


Рисунок 1.1

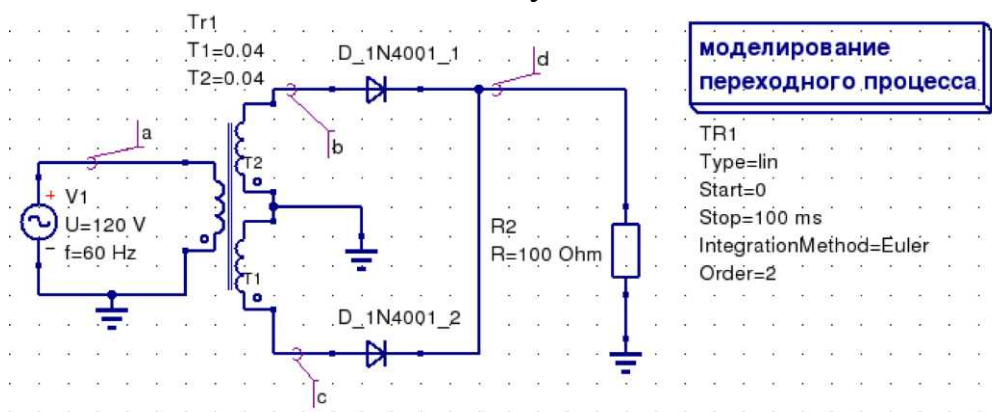


Рисунок 1.2

### 1.1.3 Порядок проведения экспериментов

Создайте в среде QUCS новый проект. В названии проекта не

следует использовать пробелы и кириллицу.

### **Задание 1. Исследование входного и выходного напряжения однополупериодного выпрямителя**

Создать схему согласно рис. 2.1. Включить симуляцию. Получить временные диаграммы напряжений в точках a, b и c, привести их в отчете. Измерить и записать максимальные входные и выходные напряжения.

Измерить период  $T$  выходного напряжения по временной диаграмме и записать результат. Вычислить частоту выходного сигнала.

По формуле (2.4) определить максимальное обратное напряжение  $U_{max}$  на диоде и записать результат.

Вычислить коэффициент трансформации как отношение амплитуд напряжений на первичной и вторичной обмотке трансформатора в режиме, близком к холостому ходу. Записать результат.

По формуле (2.1) вычислить среднее значение выходного напряжения  $U_d$  (постоянная составляющая) и записать.

### **Задание 2. Исследование входного и выходного напряжений двухполупериодного выпрямителя с отводом от средней точки трансформатора**

Создать схему согласно рис. 2.2. Запустить симуляцию. Получить временные диаграммы напряжений в точках a, b, c и d и привести их в отчете. Измерить и записать максимальные входные и выходные напряжения.

Измерить период  $T$  по временной диаграмме выходного напряжения (в точке d) и записать результат. Вычислить частоту выходного сигнала.

С помощью временной диаграммы выходного напряжения, определить максимальное обратное напряжение  $U_{max}$  на диоде. Записать результат в отчет.

По формуле (2.2) вычислить среднее значение  $U_d$  выходного напряжения (постоянная составляющая). Записать результат в отчет.

#### **1.1.4 Контрольные вопросы**

1. Одинаково ли среднее значение выходного напряжения  $U_d$  в схемах одно- и двухполупериодного выпрямителей?
2. Одинаковы ли частоты входного и выходного сигналов в схемах одно- и двухполупериодного выпрямителей?
3. Как влияет падение напряжения на диоде на выходное напряжение выпрямителя?
4. Зачем необходимы трансформаторы в схемах выпрямителей?
5. Каковы различия между сигналом на входе и на выходе при двухполупериодном выпрямлении?
6. Чем отличается выходное напряжение в схемах однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей?

7. Сравните максимальное обратное напряжение на диодах в однополупериодном и двухполупериодном выпрямителях.

## 1.2 Мостовой выпрямитель

### 1.2.1 Цель работы

В ходе выполнения работы необходимо:

- провести анализ процессов в схеме выпрямительного диодного моста;
- исследовать диаграммы напряжений входного и выходного напряжения для выпрямительного моста;
- сравнить диаграммы выходного напряжения выпрямительного моста и двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки трансформатора; максимальное напряжение на диодах в мостовом и двухполупериодном выпрямителях; частоты выходного напряжения в мостовом и двухполупериодном выпрямителях;
- измерить среднее значение выходного напряжения (постоянная составляющая) в схеме выпрямительного моста;
- вычислить максимальное обратное напряжение  $U_{\max}$  на диоде выпрямительного моста.

### 1.2.2 Краткие сведения из теории

Коэффициент трансформации определяется отношением числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки трансформатора в схеме рис.3.13 составляет 20:1.

Среднее значение выходного напряжения  $U_d$  (постоянная составляющая) мостового выпрямителя (рис. 1.3) вычисляется по формуле:

$$U_d = \frac{2 \cdot U_{2m}}{\pi}, \quad (1.5)$$

где максимум вторичного напряжения на полной обмотке трансформатора  $U_{2m}$  вычисляется по формуле:

$$U_{2m} = U_{1m} (n_2 / n_1) = \frac{U_{1m}}{20}, \quad (1.6)$$

где  $U_{1m}$  - максимальное значение напряжения на первичной обмотке трансформатора.

Максимальное обратное напряжение  $U_{\max}$  на каждом диоде для схемы с выпрямительным мостом равно напряжению на вторичной обмотке  $U_{2m}$ .

Частота выходного напряжения  $f$  для схемы с двухполупериодным мостовым выпрямителем вычисляется по формуле:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1.7)$$

где  $T$  - период напряжения на выходе выпрямителя.



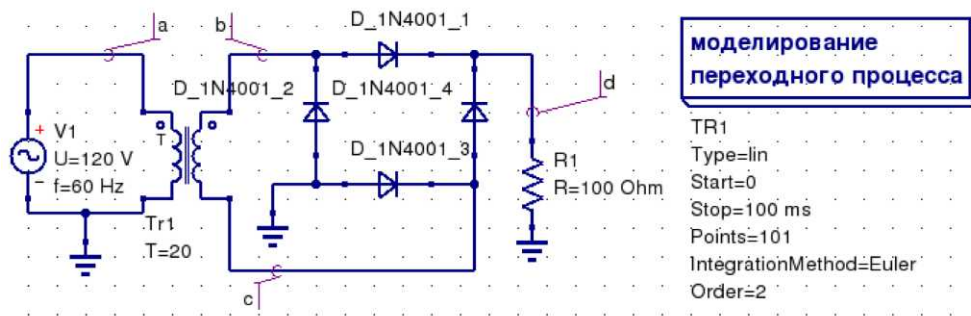


Рисунок 1.3

### 1.2.3 Порядок проведения экспериментов

#### Задание 1. Исследование входного и выходного напряжений мостового выпрямителя

Создать схему согласно рис. 1.3. Запустить симуляцию. Получить временные диаграммы напряжений в точках а, б, с и d и привести их в отчете. Измерить максимальные входное и выходное напряжения.

Измерить период  $T$  по временной диаграмме выходного напряжения (точка d) и записать. Зная период, вычислить по формуле (1.7) частоту выходного сигнала.

Определить максимальное обратное напряжение  $U_{\text{мах}}$  на диоде и записать результат в отчет.

Вычислить коэффициент трансформации как отношение амплитуд напряжений на первичной и вторичной обмотке трансформатора в режиме, близком к холостому ходу. Записать результат.

Вычислить среднее значение выходного напряжения  $U_d$  (постоянная составляющая) по формуле (1.5) Результат привести в отчете.

### 1.2.4 Контрольные вопросы

1. По диаграммам выходного напряжения, определите, осуществляет ли выпрямительный мост однополупериодное или двухполупериодное выпрямление?

2. Как различаются переменные составляющие напряжений на входе и выходе выпрямительного моста?

3. Сравните максимальные обратные напряжения на диодах для схем выпрямительного моста и двухполупериодного выпрямителя с отводом средней точки трансформатора.

4. Одинаковы ли среднее значение выходного напряжения  $U_d$  (постоянная составляющая) выпрямительного моста и двухполупериодного выпрямителя?

5. Одинаковы ли частоты входного и выходного напряжения выпрямительного моста? Как они соотносятся с частотами входного и выходного напряжений двухполупериодного выпрямителя?

### 1.3 Емкостной фильтр на выходе выпрямителя

#### 1.3.1 Цель работы

В ходе выполнения работы необходимо:

- исследовать влияние конденсатора на форму выходного напряжения однополупериодных и двухполупериодных выпрямителей; влияние величины емкости конденсатора фильтра на среднее значение выходного напряжения;
- измерить частоту выходного напряжения выпрямителя с емкостным фильтром;
- сравнить среднее значение выходного напряжения для однополупериодных и двухполупериодных выпрямителей с емкостным фильтром.

#### 1.3.2 Краткие сведения из теории

Если включить на выход любого из выпрямителей, рассмотренных в разделах 1 и 2, конденсатор, то переменная составляющая выходного напряжения будет ослаблена.

Среднее значение выходного напряжения  $U_d$  выпрямителя с емкостным фильтром может быть приближенно оценено из соотношения: где  $U_{2max}$  и  $U_{2min}$  - максимум и минимум выходного напряжения

$$U_d = \frac{(U_{2max} + U_{2min})}{2} = U_{2max} - \frac{\Delta U_2}{2}, \quad (1.8)$$

$$\Delta U_2 = U_{2max} - U_{2min} \quad (1.9)$$

Для оценки качества фильтра обычно используют коэффициент пульсаций  $q$  выходного напряжения, который вычисляется из соотношения:

$$q = \left( \frac{\Delta U_2}{U_d} \right) \cdot 100. \quad (1.10)$$

На рисунках 1.4 и 1.5 показаны соответственно однополупериодный и двухполупериодный выпрямители с емкостным фильтром на выходе.

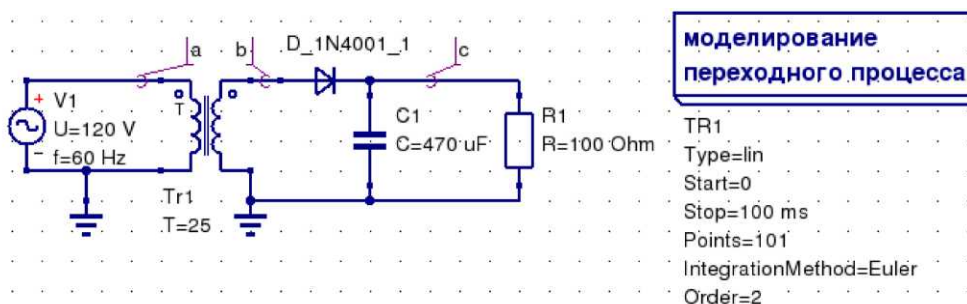


Рисунок 1.4

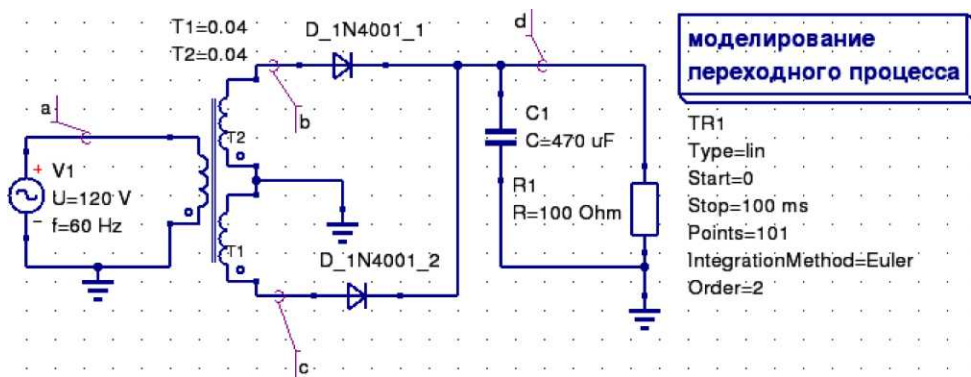


Рисунок 1.5

### 1.3.3 Порядок проведения экспериментов

#### Задание 1. Определение коэффициента пульсаций однополупериодного выпрямителя

Создать схему согласно рис. 1/4. Запустить симуляцию. Получить временные диаграммы напряжений в точках a, b и c, привести их в отчет. Измерить максимум выходного напряжения  $U_{2\max}$  (точка c) и разность между максимумом и минимумом выходного напряжения  $\Delta U_2$ .

По формуле (1.8) вычислить среднее значение выходного напряжения  $U_d$  по результатам измерений. Записать результат в отчет.

Вычислить коэффициент пульсаций выходного сигнала по формуле (1.10).

#### Задание 2. Определение коэффициента пульсаций однополупериодного выпрямителя при изменении емкости фильтра

В схеме на рис. 1.4 установить емкость конденсатора равной 100 мкФ. Запустить симуляцию. Получить временные диаграммы напряжений и привести их в отчет. Измерить максимум выходного напряжения (в точке c) и разность между максимумом и минимумом напряжений на выходе выпрямителя по полученным данным. Записать результат в отчет.

Вычислить среднее значение напряжения  $U_d$  по формуле (1.8). Вычислить коэффициент пульсаций выходного напряжения по формуле (1.10).

#### Задание 3. Определение коэффициента пульсаций однополупериодного выпрямителя при изменении тока нагрузки

Установить емкость конденсатора в схеме на рис. 1.4, равной 470 мкФ. Изменить сопротивление резистора нагрузки до 200 Ом. Включить симуляцию. Получить временные диаграммы напряжений и привести их в отчет. Измерить максимум выходного напряжения и разность между максимумом и минимумом напряжений на выходе

выпрямителя по временным диаграммам. Результат привести в отчете.

Вычислить среднее значение напряжения  $U_d$  по формуле (1.8).

Вычислить коэффициент пульсаций выходного напряжения по формуле (1.10).

#### **Задание 4. Определение коэффициента пульсаций двухполупериодного выпрямителя**

Создать схему согласно рис. 1.5. Включить симуляцию. Получить временные диаграммы напряжений и привести их в отчете. Измерить максимум выходного напряжения  $U_{2max}$  (в точке d) и разность между максимумом и минимумом выходного напряжения  $\Delta U_2$ . Привести эти данные в отчете.

Вычислить среднее значение напряжения  $U_d$  по формуле (1.8). Вычислить коэффициент пульсаций выходного напряжения по формуле (1.10).

#### **1.3.4 Контрольные вопросы**

1. В каком диапазоне напряжений может изменяться среднее значение выходного напряжения выпрямителя с емкостным фильтром на выходе?

2. Какие факторы влияют на величину коэффициента пульсаций выпрямителя с емкостным фильтром на выходе?

3. Сравните коэффициент пульсаций в однополупериодном и двухполупериодном выпрямителях с емкостным фильтром на выходе.

4. Будут ли отличаться средние значения выходного напряжения однополупериодной и двухполупериодной схем выпрямления с емкостным фильтром, если сопротивление нагрузки равно бесконечности?

5. Будет ли влиять частота входного напряжения выпрямителя на среднее значение выходного напряжения и на коэффициент пульсаций при фиксированных значениях емкости фильтра и сопротивления нагрузки?

#### **2 Содержание отчета**

По лабораторной работе необходимо составить отчет, 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](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](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](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.

Выпрямители

Методические указания к лабораторной работе

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