

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Удмуртский государственный университет
Институт права, социального управления
и безопасности
Кафедра информационной безопасности в управлении

Методические указания
к лабораторной работе
«Исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ) двухполюсников»

Ижевск
2015

Составитель А.С. Бас

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по теме «Исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ) двухполюсников»

Представлен обширный теоретический материал по теории двухполюсников, подробно описан порядок выполнения лабораторной работы, требования к оформлению отчёта и контрольные вопросы.

Методические указания разработаны в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Информационная безопасность» для студентов специальности 090900 и в соответствии с «Требованиями государственного образовательного стандарта (ФГОС) по направлению подготовки бакалавров».

Методические указания по выполнению лабораторной работы

«Исследование вольт-амперных характеристик (ВАХ) двухполюсников»

Теоретическая часть

Резистор – элемент электрической цепи, предназначенный для использования его электрического сопротивления. Изображение на схеме (а) и вольт-амперная характеристика линейного резистора (б) для указанных положительных направлений тока I и напряжения U представлены на рис. 1.

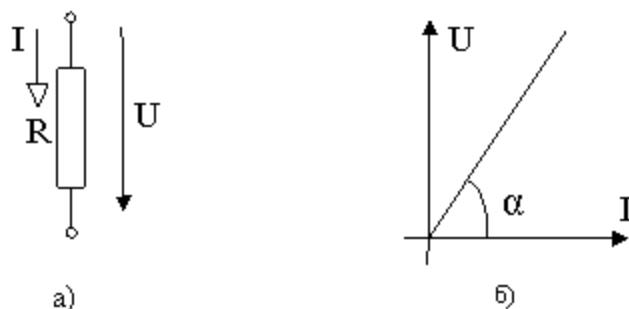


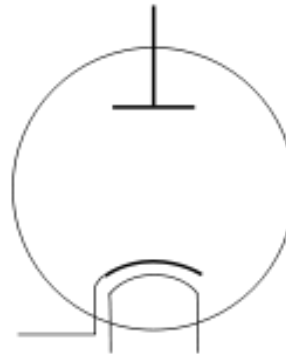
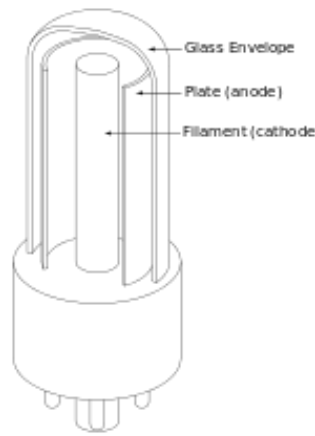
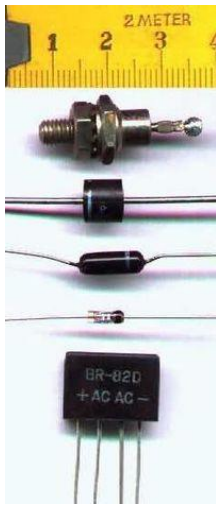
Рис. 1.

Аналитическое выражение вольт-амперной характеристики резистора соответствует закону Ома $U=R \cdot I$, где R – электрическое сопротивление резистора. **Значение сопротивления R , пропорциональное тангенсу угла наклона ВАХ к оси тока ($\operatorname{tg} \alpha$) и определяемое отношением напряжения U к току I , неизменно в любой точке ВАХ.** Поэтому для описания резистора можно вместо ВАХ указать значение его электрического сопротивления.

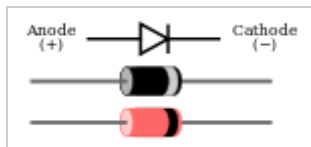
Электрическое сопротивление, оказываемое проводником прохождению переменного тока, зависит от материала, длины и поперечного сечения проводника, а также от температуры. Измеряется в **Омах (ОМ), килоОмах (кОМ), мегаОмах (МОМ).**

Диод

Диод (от др.-греч. $\delta\iota\varsigma$ ^[1] — два и $-од$ ^[2] означающего путь) — двухэлектродный электронный прибор, обладающий различной проводимостью в зависимости от направления электрического тока. Электрод диода, подключаемый к положительному полюсу источника тока, когда диод открыт (то есть имеет маленькое сопротивление), называют *анодом*, подключаемый к отрицательному полюсу — *катодом*.

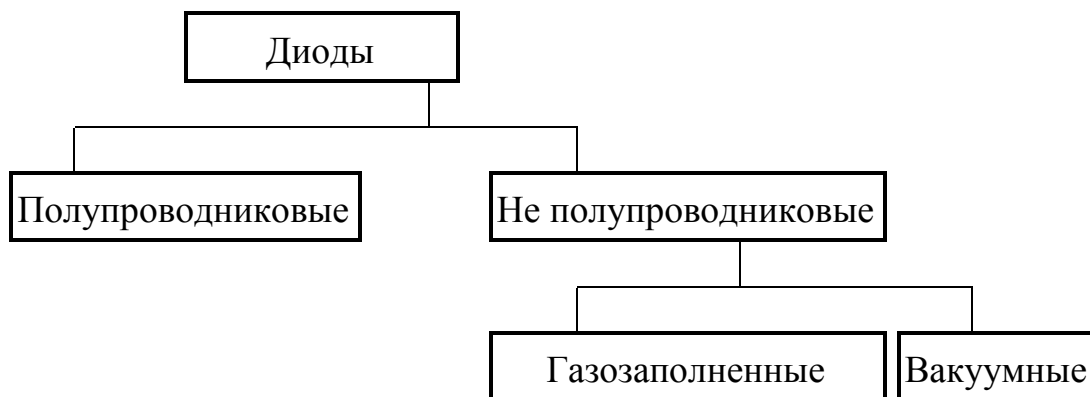


Схематическое изображение вакуумного диода: в стеклянной лампе в центре разогреваемый катод, по периферии — анод. Справа — обозначение лампового диода на схемах.



Слева — типичные представители полупроводниковых диодов. На корпусе прибора катод обозначается кольцом или точкой. Справа — обозначение выпрямительного полупроводникового диода на схемах.

Диоды бывают электровакуумными (кенотроны), газонаполненными (газотроны, игнитроны, стабилитроны), полупроводниковыми и др. В настоящее время в подавляющем большинстве случаев применяются полупроводниковые диоды.



\

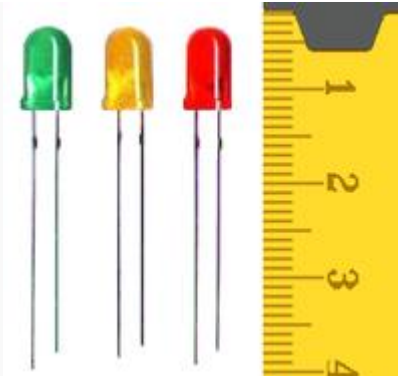
Полупроводниковые диоды



Полупроводниковый диод в стеклянном корпусе. На фотографии виден полупроводник с контактами, подходящими к нему.

Полупроводниковые диоды используют свойство односторонней проводимости p-n перехода — контакта между полупроводниками с разным типом примесной проводимости, либо между полупроводником и металлом (Диод Шоттки).

Специальные типы диодов



Цветные светодиоды



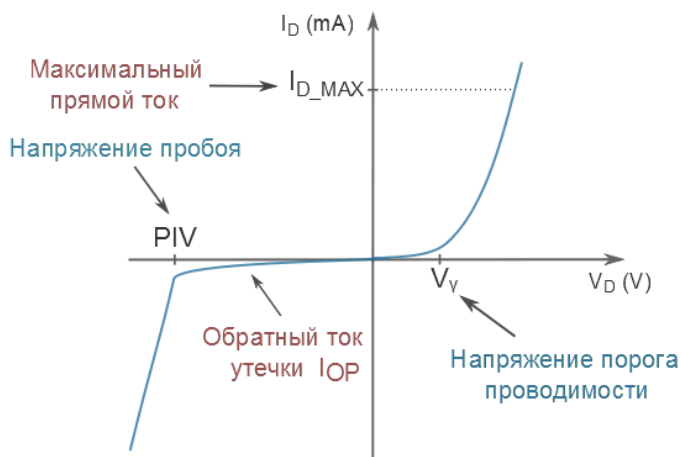
Светодиод ультрафиолетового спектра излучения (увеличен).

- Стабилитроны (диод Зенера). Используют обратную ветвь характеристики диода с обратимым пробоем для стабилизации напряжения.

- Туннельные диоды (диоды Лео Эсаки). Диоды, существенно использующие квантовомеханические эффекты. **Имеют область т. н. «отрицательного сопротивления» на вольт-амперной характеристике. Применяются как усилители, генераторы и пр.**
- Варикапы (диоды Джона Джеумма). Используется то, что запёртый p—n-переход обладает большой ёмкостью, причём ёмкость зависит от приложенного обратного напряжения. Применяются в качестве конденсаторов переменной ёмкости.
- Светодиоды (диоды Генри Раунда). В отличие от обычных диодов, при рекомбинации электронов и дырок в переходе излучают свет в видимом диапазоне, а не в инфракрасном. Однако, выпускаются светодиоды и с излучением в ИК диапазоне, а с недавних пор — и в УФ.
- Полупроводниковые лазеры. По устройству близки к светодиодам, однако имеют оптический резонатор, излучают когерентный свет.
- Фотодиоды. Запёртый фотодиод открывается под действием света.
- Солнечный элемент. Подобен фотодиоду, но работает без смещения. Падающий на p-n переход свет вызывает движение электронов и генерацию тока.
- Диоды Ганна. Используются для генерации и преобразования частоты в СВЧ диапазоне.
- Диод Шоттки. Диод с малым падением напряжения при прямом включении.
- Лавинный диод — диод, основанный на лавинном пробое обратного участка вольт-амперной характеристики. Применяется для защиты цепей от перенапряжений
- Лавинно-пролётный диод — диод, основанный на лавинном умножении носителей заряда. Применяется для генерации колебаний в СВЧ-технике.
- Магнитодиод. Диод, вольт-амперная характеристика которого существенно зависит от значения индукции магнитного поля и расположения его вектора относительно плоскости p-n-перехода.
- Стабисторы. При работе используется участок ветви вольт-амперной характеристики, соответствующий «прямому напряжению» на диоде.
- Смесительный диод — предназначен для перемножения двух высокочастотных сигналов.
- pin диод — содержит область собственной проводимости между сильнолегированными областями. Используется в СВЧ-технике, силовой электронике, как фотодетектор.

ВАХ реального полупроводникового диода

Однако на практике, в силу своей полупроводниковой структуры, настоящий диод обладает рядом недостатков и ограничений по сравнению с идеальным диодом. Это можно увидеть на графике, приведенном ниже.



Зависимость тока от напряжения
в настоящем диоде

При прямом включении напряжение на диоде должно достигнуть определенного порогового значения – V_Y . Это напряжение, при котором PN-переход в полупроводнике открывается достаточно, чтобы диод начал хорошо проводить ток. До того как напряжение между анодом и катодом достигнет этого значения, диод является очень плохим проводником. V_Y у кремниевых приборов примерно $0.7V$, у германиевых – около $0.3V$.

Стабилитронами называют полупроводниковые диоды, использующие особенность обратной ветви вольт-амперной характеристики на участке пробоя изменяться в широком диапазоне изменения токов при сравнительно небольшом отклонении напряжения. Это свойство широко используется при создании специальных устройств – стабилизаторов напряжения.

Вольт-амперная характеристика стабилитрона представлена на рис. 2. Рабочий ток стабилитрона (его обратный ток) не должен превышать максимально допустимого значения $I_{ст\ max}$ во избежание перегрева полупроводниковой структуры и выхода его из строя.

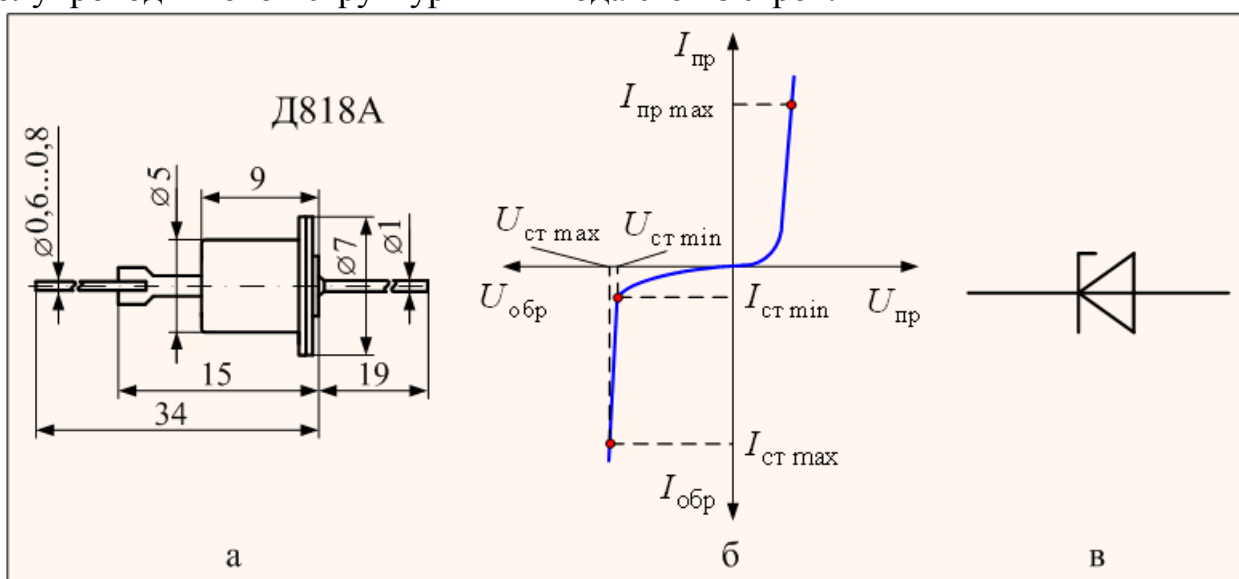


Рис. 2. Конструкция корпуса (а), вольт-амперная характеристика и условное графическое обозначение стабилитрона

Туннельный диод – это полупроводниковый диод на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит к появлению на вольт-амперной характеристике при прямом напряжении участка с **отрицательной дифференциальной проводимостью**.

Для изготовления туннельных диодов используют полупроводниковый материал с очень высокой концентрацией примесей ($10^{18} \dots 10^{20} \text{ см}^{-3}$), вследствие чего получается малая толщина p - n -перехода (около 10^{-2} мкм), что на два порядка меньше, чем в других полупроводниковых диодах, и сквозь тонкий потенциальный барьер возможно туннелирование свободных носителей заряда.

На рис. 3 представлена вольт-амперная характеристика типичного туннельного диода при прямом смещении.

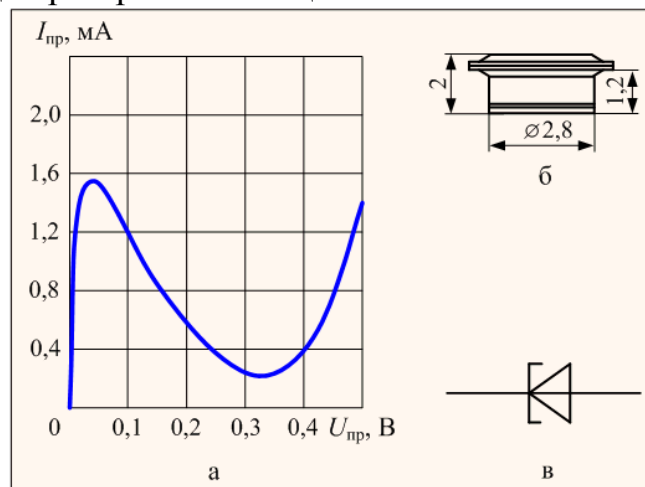


Рис. 3. Туннельный диод 1И104:

а – вольт-амперная характеристика при прямом смещении; б – конструктивное исполнение; в – условное графическое изображение импульсных диодов

Основное применение туннельного диода в схемах СВЧ генераторов и усилителей связано с падающим участком его вольтамперной характеристики, что является эквивалентом некоторого отрицательного сопротивления. Например, в схемах генераторов с помощью отрицательного сопротивления туннельного диода (рис. 4) **можно компенсировать потери в колебательном контуре и получить в нем незатухающие колебания**. Правда, вследствие узкого интервала напряжений на этом участке (не более 0,2В) амплитуда генерируемых колебаний оказывается небольшой. Более того, из-за нелинейности характеристики вблизи точек максимума (пика) и минимума (впадины) форма генерируемых колебаний искажается. Для уменьшения искажений приходится уменьшать рабочий участок характеристики, ограничиваясь его линейной частью. Однако, это приводит к уменьшению отдаваемой мощности, которая практически не превышает нескольких сотен милливатт.

В схеме рис. 4 простейшего СВЧ генератора положение рабочей точки на падающем участке задается с помощью делителя R1, R2. Катушка индуктивности L и собственная емкость диода Cд образуют колебательный

контур, в котором выполняются условия самовозбуждения при условии, если величина упомянутого отрицательного сопротивления $|-R_d|$ окажется достаточной для компенсации потерь в контуре, т. е.

$$R_{\Sigma} < |-R_d| \text{ и } L > R_{\Sigma} C_d \text{ } |-R_d|.$$

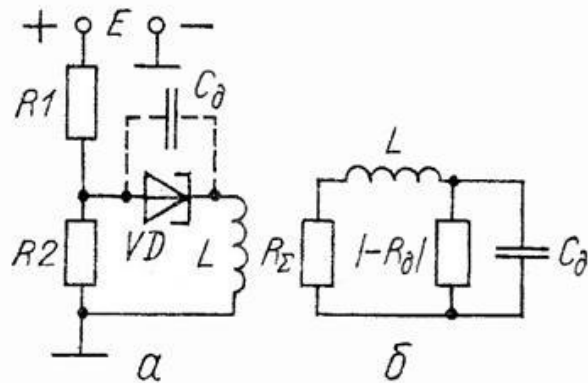


Рис. 4. Принципиальная (а) и эквивалентная (б) схемы простейшего автогенератора на туннельном диоде

При этом генератор самовозбуждается с частотой колебаний

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC_d} - \frac{R_{\Sigma}}{LC_d - R_d}},$$

где R_{Σ} – общее активное сопротивление, учитывающее в эквивалентной схеме рис. 4,б сопротивление делителя и сопротивление потерь контура

Практическая часть

Назначение установки

Данная лабораторная установка предназначена для изучения отдельных узлов измерительных приборов и получение навыков работы с измерительными приборами промышленного изготовления.

Цель лабораторной работы

1. Изучение методов измерения ВАХ двухполюсников.
2. Получение навыков использования измерительных приборов.
3. Получение навыков в построении ВАХ по полученным данным.
4. Получение навыков определения типа двухполюсника по их ВАХ.

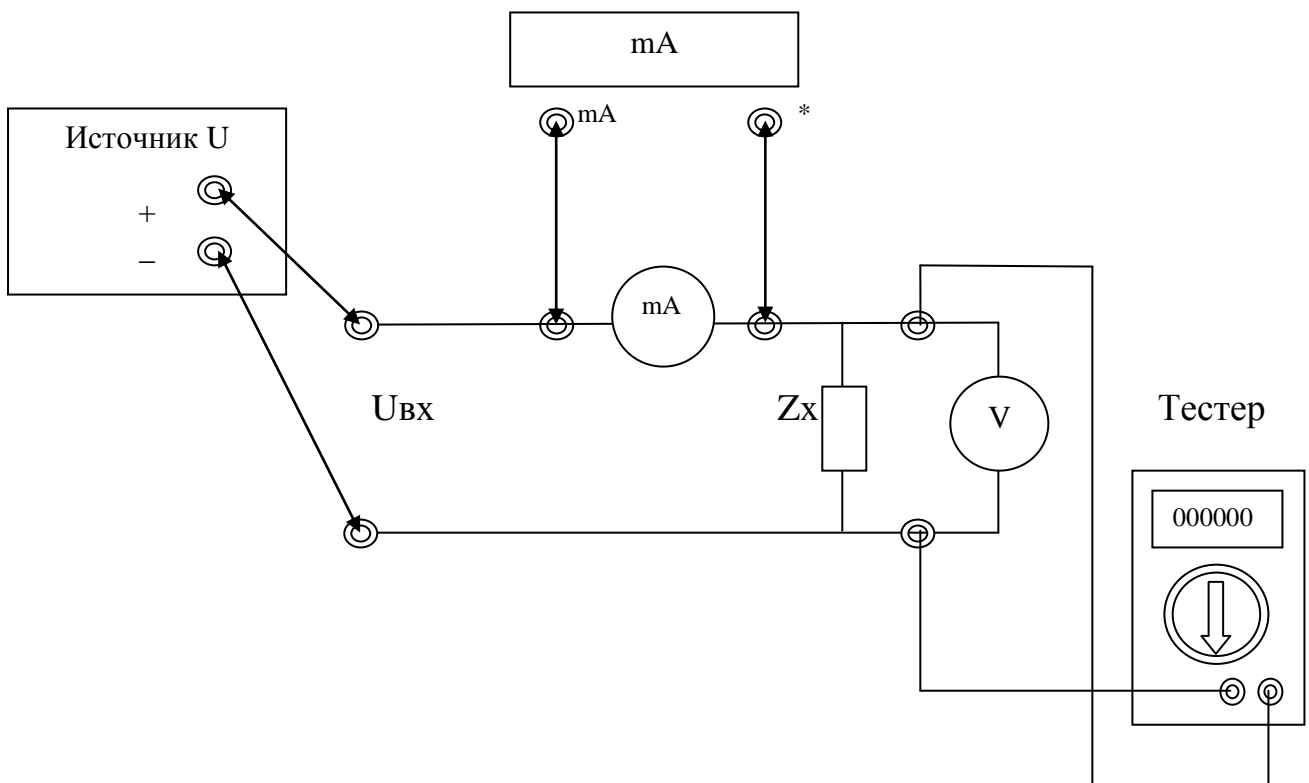
Для проведения измерений используются:

- лабораторная установка "Электрические измерения";
- комбинированный прибор (тестер).

Лицевая панель макета разделена на несколько функциональных полей, на которых сосредоточены необходимые для проведения работ объекты.

В поле «ВАХ двухполюсников» при реализации приведенной схемы возможно исследование ВАХ наиболее часто используемых полупроводниковых двухполюсных приборов. Выбор исследуемого элемента осуществляется кнопчным переключателем.

Собирать схему при выключенной установке!



Содержание отчета

Итогом работы является серия измерений, снятых в контрольных точках. В отчете необходимо привести:

- цель работы
- схему измерений
- значения измеренных величин
- выводы по выполненным исследованиям.

Контрольные вопросы

1. Понятие о двухполюснике.
2. Определение номинала сопротивления по его ВАХ.
3. Рабочая часть ВАХ диодов. ВАХ германиевых и кремниевых диодов.
4. Рабочая часть ВАХ туннельных диодов. Области применения туннельных диодов.
5. Рабочая часть ВАХ стабилитронов.

Литература:

1. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учеб. пособие / Г. И. Атабеков. - 7-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2009. - 591, [1] с. : ил. ; 84x108/32. - Библиогр.: с. 581. - Предм. указ.: с. 582-586. - ISBN 978-5-8114-0800-9.
2. Башарин, С. А. Теоретические основы электротехники. Теория электрических цепей и электромагнитного поля : учеб. пособие для вузов по направлению 654500 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" рек. УМО / С. А. Башарин, В. В. Федоров. - М. : Академия, 2004. - 303, [1] с. : рис. ; 60x90/16. - (Высшее профессиональное образование. Электротехника). - Библиогр.: с. 301-302. - ISBN 5-7695-1261-X.
3. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники : в 3 ч. : учеб. пособие для энергет. и электротехн. вузов / Л.А. Бессонов. - Изд. 5-е перераб. и доп. - М. : Высш. школа, 1967. - 775с. : ил. - Список лит.: с.733-735.
4. Касаткин, А.С. Электротехника : Учеб.пособие для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. - 4-е изд., перераб. - М. : Энергоатомиздат, 1983. - 439,[1]с. : ил. - Библиогр.:с.429. - Предм.указ.:с.430-435.
5. Немцов, М.В. Электротехника и электроника : Учеб.для вузов рек.МО РФ / М.В. Немцов. - М. : Изд-во МЭИ, 2003. - 595,[1]с. ; 60x90/16. - Библиогр.:с.583. - Предм.указ.:с.584-589. - ISBN 5-7046-0814-0.
6. Новиков, Ю. Н. Электротехника и электроника : Учеб.для вузов рек.МО РФ / М.В. Немцов. - М. : Изд-во МЭИ, 2003. - 595,[1]с. ; 60x90/16. -

Библиогр.:с.583. - Предм.указ.:с.584-589. - ISBN 5-7046-0814-0.

7. Фриск, В.В. Основы теории цепей : учеб. пособие / В.В. Фриск. - М. : РадиоСофт, 2002. - 287, [1] с. ; 70x100/16. - Предм. указ.: с. 281-283. - ISBN 5-93037-086-9.

8. Интернет-ресурсы