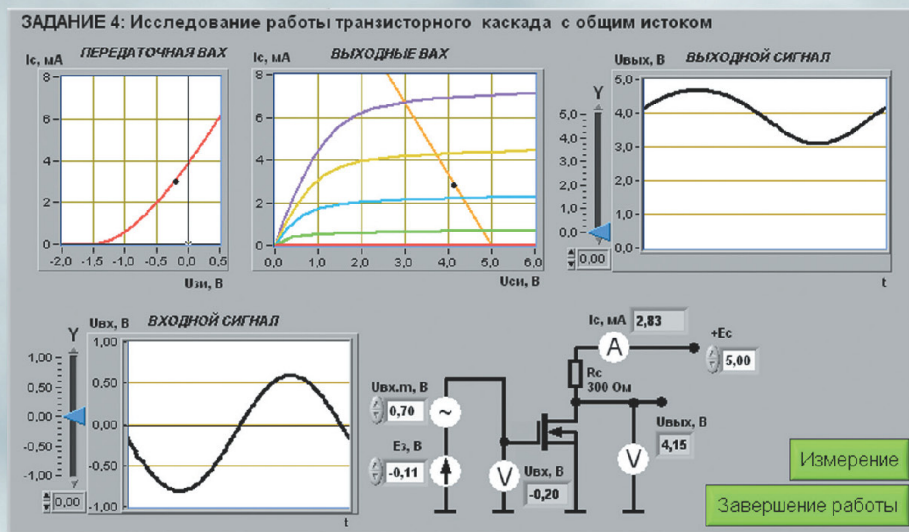
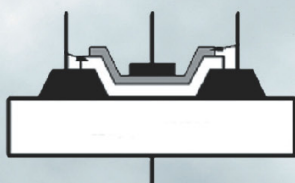




КОМПАКТ-ДИСК
К КНИГЕ

LabVIEW:

практикум по электронике и микропроцессорной технике



В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин

В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин

**LabVIEW:
ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ
И МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКЕ**



Москва

УДК 621.38
ББК 32.973.26-108.2
Б 28

Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В.

Б28 LabVIEW: практикум по электронике и микропроцессорной технике: Учебное пособие для вузов. – М. : ДМК Пресс. – 182 с.: ил.

ISBN 5-94074-204-1

Книга содержит лабораторный практикум по электронике и микропроцессорной технике. Практикум включает лабораторные работы по аналоговой и цифровой электронике, разработанные с использованием технологии виртуальных приборов. Практическая реализация осуществлена в программной среде LabVIEW с помощью инструментальных средств компании National Instruments.

Издание предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Приборостроение» и изучающих курс «Электроника и микропроцессорная техника». Оно также может быть использовано студентами других направлений подготовки и специальностей при изучении курса «Основы электроники» и смежных с ним дисциплин.

УДК 621.38
ББК 32.973.26-108.2

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 5-94074-204-1

© Батоврин В. К., Бессонов А. С., Мошкин В. В.
© Оформление, ДМК Пресс

СОДЕРЖАНИЕ



Предисловие	7
Введение	9

▼ 1

Исследование характеристик полупроводниковых диодов и устройств на их основе	14
1. Цель работы.....	14
2. Сведения, необходимые для выполнения работы	14
3. Описание лабораторного стенда	21
4. Рабочее задание	21
5. Контрольные вопросы	26

▼ 2

Исследование характеристик тиристора и управляемого выпрямителя	27
1. Цель работы.....	27
2. Сведения, необходимые для выполнения работы	27
3. Описание лабораторного стенда	34
4. Рабочее задание	34
5. Контрольные вопросы	38

▼ 3

Исследование вольтамперной характеристики туннельного диода	39
--------------------------------------------------------------------------	-----------

1. Цель работы	39
2. Сведения, необходимые для выполнения работы	39
3. Описание лабораторного стенда	43
4. Рабочее задание	43
5. Контрольные вопросы	48

▼ 4

Исследование характеристик биполярного транзистора	49
1. Цель работы	49
2. Сведения, необходимые для выполнения работы	49
3. Описание лабораторного стенда	56
4. Рабочее задание	56
5. Контрольные вопросы	62

▼ 5

Исследование характеристик полевого транзистора	63
1. Цель работы	63
2. Сведения, необходимые для выполнения работы	63
3. Описание лабораторного стенда	70
4. Рабочее задание	70
5. Контрольные вопросы	76

▼ 6

Исследование схем на основе операционного усилителя	77
1. Цель работы	77
2. Сведения, необходимые для выполнения работы	77
3. Описание лабораторного стенда	86
4. Рабочее задание	86
5. Контрольные вопросы	97

▼ 7

Исследование характеристик аналоговых компараторов напряжения	98
1. Цель работы	98

2. Сведения, необходимые для выполнения работы	98
3. Описание лабораторного стенда	106
4. Рабочее задание	106
5. Контрольные вопросы	112

▼ 8

Исследование цифровых систем	114
1. Цель работы	114
2. Сведения, необходимые для выполнения работы	114
3. Описание лабораторного стенда	121
4. Рабочее задание	122
5. Контрольные вопросы	135

Приложение 1

Подготовка лабораторного стенда	137
Персональный компьютер	137
Многофункциональная плата аналогового и цифрового ввода-вывода	137
Макетный коннектор	141

Приложение 2

Среда графического программирования LabVIEW	144
Общие сведения о LabVIEW	144
Установка среды LabVIEW	146
Работа с готовыми виртуальными приборами	147
Создание виртуального прибора на базе шаблона	150
Основные элементы программной среды LabVIEW	157

Приложение 3

Справочные данные некоторых электронных компонентов	162
Полупроводниковые диоды	162
Стабилитроны	164
Тиристоры	166
Биполярные транзисторы	167

Полевые транзисторы	169
Операционные усилители и компараторы	171
Цифровые микросхемы	175

Литература

Основная литература	181
Дополнительная литература	181

Введение

Современные информационные технологии предоставляют хорошие возможности для создания новых средств и способов обучения. Одной из важнейших и наиболее трудных в решении задач здесь является разработка компьютерных лабораторных практикумов.

Основу лабораторного практикума по любым дисциплинам составляет комплекс средств измерений, соединенных с лабораторными макетами, с помощью которых воспроизводятся изучаемые явления и процессы. До настоящего времени в учебных лабораториях в основном использовались традиционные измерительные приборы. Современной тенденцией стало применение в учебных целях компьютерных средств измерений, созданных с использованием технологии виртуальных приборов. Виртуальный прибор (ВП) в учебной лаборатории – это средство измерений, представляющее собой, как правило, персональный компьютер, снабженный дополнительно специальным прикладным программным обеспечением и различными измерительными модулями, например многофункциональной платой ввода-вывода. ВП позволяет автоматизировать операции по сбору, обработке и представлению измерительной информации, имеет удобный пользовательский интерфейс, а его программные и аппаратные средства поддерживают реализацию функций, присущих традиционному средству измерений, и обеспечивают представление результатов на экране монитора в удобной для пользователя форме. Схема ВП, используемого в лабораторном практикуме, представлена на рис. В.1.

Программное обеспечение ВП может разрабатываться как с помощью стандартных средств, таких как Visual C++, Visual Basic и т. п., так и с помощью программных средств, специально предназначенных для решения задач сбора, преобразования и обработки измерительной информации. Сегодня среди таких специализированных программных средств наиболее подходящим можно считать прикладной программный пакет LabVIEW компании National Instruments.

Представленные на рынке аппаратные средства автоматизации измерительных процессов и процедур почти всегда комплектуются драйверами под LabVIEW. Разработка приложений в данной среде ведется визуальными средствами, что не требует от разработчика глубоких знаний программирования.

Для выполнения работ практикума потребуется базовый лабораторный стенд, оснащенный современным персональным компьютером (ПК), снабженным опе-

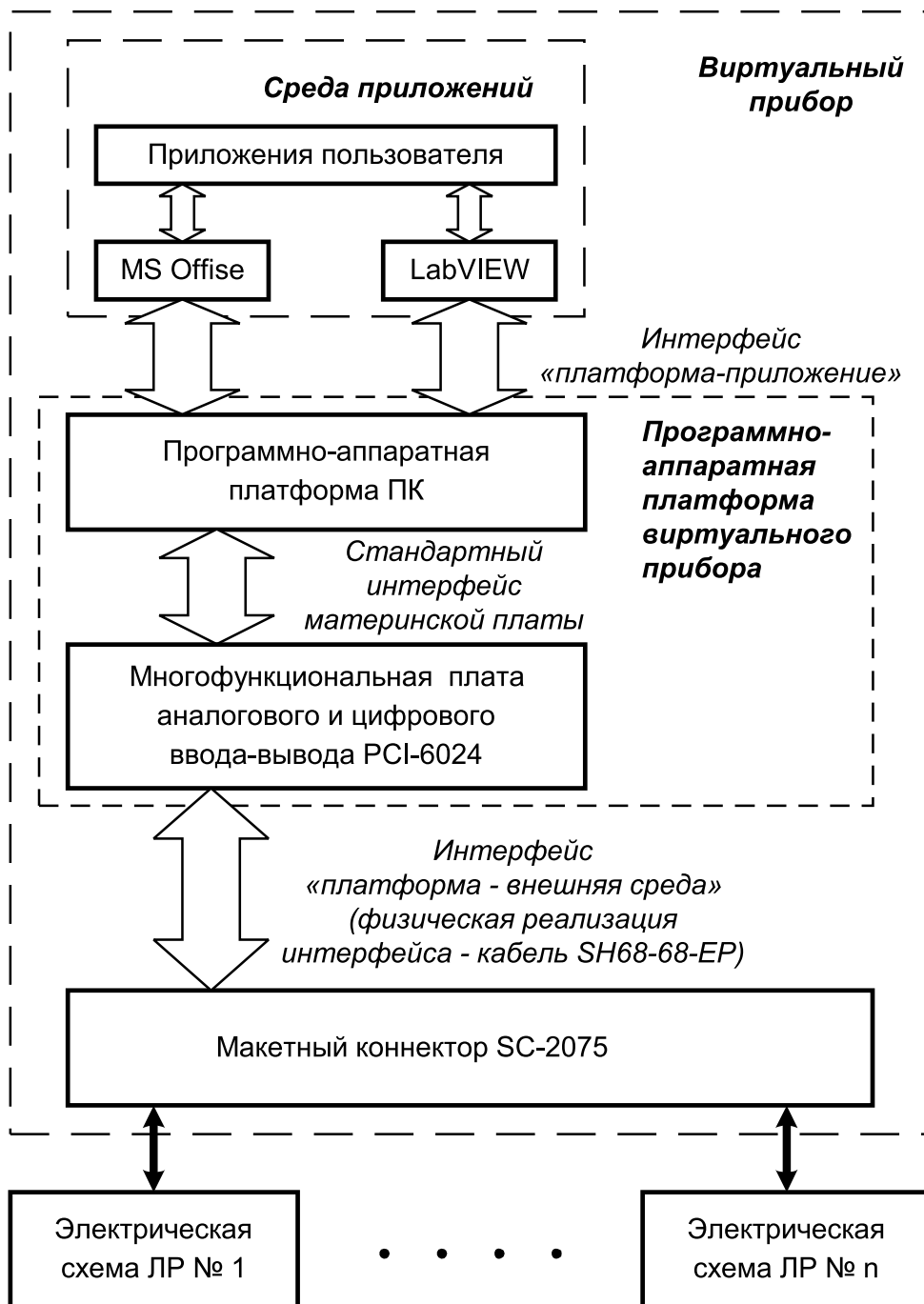


Рис. В.1. Схема виртуального прибора

рационной системой Windows 9x или более старших версий и специализированным набором аппаратных средств, а также оригинальное прикладное программное обеспечение.

При выборе аппаратных средств, в частности многофункциональной платы аналогового и цифрового ввода-вывода, необходимой для создания ВП, мы предпочли плату PCI-6024E, предназначенную для установки в PCI совместимые ПК. При выборе шасси для создания лабораторных макетов мы остановились на макетном коннекторе SC-2075, на котором и собираются электрические схемы всех лабораторных работ. Эти устройства, выпускаемые компанией National Instruments, сравнительно дешевы и хорошо подходят для решения учебных задач. На рис. В.2 показан внешний вид лабораторного стенда, а на рис. В.3 – его компоненты: многофункциональная плата ввода-вывода PCI-6024E, макетный коннектор SC-2075 и соединительный кабель SH68-68-EP.



Рис. В.2. Внешний вид базового лабораторного стенда

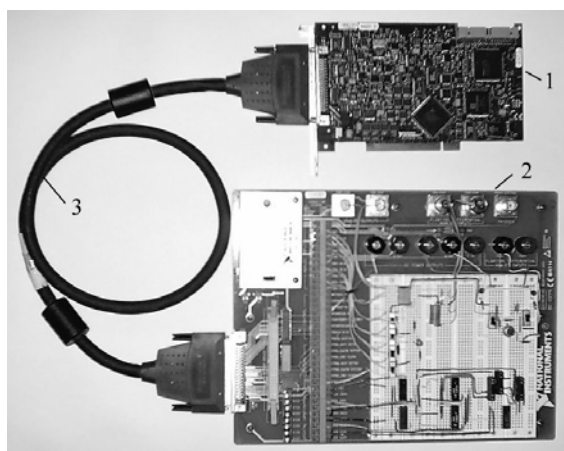


Рис. В.3. Внешний вид многофункциональной платы ввода-вывода (1), макетного коннектора (2) и соединительного кабеля (3)

Прикладное программное обеспечение представленного в учебном пособии лабораторного практикума является оригинальной разработкой авторов книги и спроектировано в среде LabVIEW версии 7.0. Режим дистанционного доступа к ресурсам лабораторного практикума реализуется по технологии National Instruments.

Порядок выполнения процедуры инсталляции лабораторного практикума и инструкции по работе с LabVIEW программным обеспечением, содержатся в Приложениях П.1 и П.2 и на прилагаемом к книге компакт-диске.

Во всех случаях при выполнении приведенных в учебном пособии лабораторных работ студент работает только с лицевой панелью ВП, диаграмма, необходимая для разработки ВП, ему не доступна.

Лицевая панель определяет внешний вид ВП и интерфейс взаимодействия пользователя с ним. На лицевой панели находятся различные элементы управления ВП (выключатели, переключатели, поля ввода и т. д.) и элементы отображения измерительной информации (цифровые индикаторы, графические экраны и т. д.). Предоставляемый интерфейс пользователя прост, поэтому при выполнении заданий требуются только обычные навыки владения персональным компьютером и, конечно, понимание целей и задач, которые ставятся в лабораторной работе.

В зависимости от принятой в конкретной учебной лаборатории методики выполнения работ при их проведении можно реализовать два режима, а именно:

- в процессе занятий студенты самостоятельно собирают исследуемые электронные схемы на наборном поле макетного коннектора, подключают точки подачи и съема электрических сигналов с помощью заранее заготовленных проводников к сигнальным линиям платы ввода-вывода через гнезда зажимного контактора, а потом выполняют необходимые измерения;
- в процессе выполнения лабораторной работы студенты могут только визуально ознакомиться с заранее собранными на макетном коннекторе электрическими схемами, после чего выполнить работу, в частности этот режим реализуется при работе с практикумом в сетевой Intranet/Internet среде.

Текст учебного пособия написан в расчете на реализацию более сложного первого варианта.

При подготовке к выполнению работ необходимо в первую очередь обратить внимание на вопросы, содержащиеся в разделе **«Сведения, необходимые для выполнения работы»**, сопровождающем каждую работу. При этом, помимо теоретического введения, приведенного в каждой работе настоящего пособия, необходимо изучить указанные в тексте задания разделы основной литературы, в случае необходимости полезно воспользоваться и дополнительной литературой. Списки основной и дополнительной литературы приведены в конце учебного пособия.

Для выполнения лабораторной работы во всех случаях после запуска компьютера необходимо открыть папку с библиотекой LabVIEW и загрузить программу лабораторной работы (двойной щелчок на имени файла **Lab-n.vi**, где n – номер работы). На экране монитора откроется окно, вид которого показан на рис. В.4.

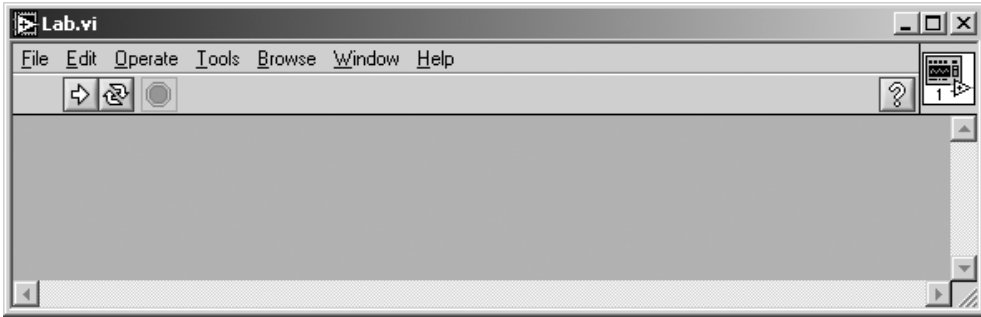



Рис. В.4. Внешний вид окна программы LabVIEW

Запуск программы осуществляется нажатием на кнопку **RUN** с изображением стрелки .

В процессе выполнения лабораторной работы необходимо ознакомиться с разделом **«Описание лабораторного стенда»** и последовательно выполнить все указания, приведенные в разделе работы **«РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ»**. По мере выполнения задания на экране монитора могут, в виде подсказок, возникать дополнительные рекомендации. Результаты измерений и наблюдений можно заносить в отчет сразу же по мере их получения. Для этого удобно использовать текстовый редактор **MS Word**. Предполагается, что студенты владеют основными приемами формирования и обработки текстов, создания и форматирования таблиц.

При выполнении заданий лабораторного практикума следует ориентироваться на указанные в тексте значения электрических параметров включения полупроводниковых приборов и электрических схем. Однако незначительные (в пределах $\pm 10\%$) отклонения от рекомендованных значений допускаются. Кроме того, отметим, что, используя специализированное программное обеспечение практикума, на собранных макетах можно проводить и дополнительные исследования, не вошедшие в описание работ. Цели и порядок таких работ должны отдельно определяться преподавателем с учетом возможностей платы ввода-вывода PCI-6024E.

Для удобства составления отчетов по выполненным работам в описаниях приводится рекомендуемый вид таблиц и указания по сохранению экспериментальных данных в электронной форме.

По желанию преподавателя, под руководством которого выполняется работа, требования к отчетным материалам могут быть дополнены или изменены.

Лабораторный практикум снабжен тремя приложениями. Приложение 1 содержит рекомендации по сборке лабораторных макетов с использованием макетного коннектора SC-2075. В приложении 2 приведены сведения по установке программного обеспечения лабораторного практикума, необходимые сведения по работе с LabVIEW приложениями и некоторые данные по разработке простых ВП в среде LabVIEW. В приложении 3 содержатся данные об основных параметрах электронных приборов, подлежащих исследованию при выполнении работ.

Исследование характеристик полупроводниковых диодов и устройств на их основе



1. Цель работы

Целью работы является:

- исследование вольтамперной характеристики (ВАХ) выпрямительного полупроводникового диода;
- исследование ВАХ полупроводникового стабилитрона;
- исследование работы полупроводниковых выпрямителей.

2. Сведения, необходимые для выполнения работы

Перед выполнением работы полезно ознакомиться со следующими вопросами:

- устройство, назначение и основные характеристики выпрямительных и специальных полупроводниковых диодов [1, с. 20–42];
- ВАХ полупроводниковых приборов [1, с. 23–25, 33–36];
- схемы включения полупроводниковых диодов [1, с. 22, 34–35];
- принципы построения схем и особенности работы диодных выпрямителей [1, с. 321–328].

Полупроводниковый прибор, который имеет два электрода и один (или несколько) р-п-переходов, называется диодом.

Все полупроводниковые диоды можно разделить на две группы: выпрямительные и специальные. Выпрямительные диоды, как следует из самого названия, предназначены для выпрямления переменного тока. В зависимости от частоты и формы выпрямляемого тока они делятся на низкочастотные, высокочастотные и импульсные. Специальные типы полупроводниковых диодов используют различные свойства р-п-переходов, например явление пробоя, фотоэффект, наличие участков с отрицательным сопротивлением и другие. Специальные полупроводниковые диоды находят, в частности, применение для стабилизации постоянного напряжения, регистрации оптического излучения, формирования электрических сигналов и т. д.

Выпрямительный диод

Выпрямительные полупроводниковые диоды изготавливаются, как правило, из кремния, германия или арсенида галлия. Классифицировать выпрямительные полупроводниковые диоды можно по конструкции и технологии изготовления. В зависимости от конструкции такие диоды делятся на плоскостные и точечные, а в зависимости от технологии изготовления – на сплавные, диффузионные и эпитаксиальные.

Плоскостные диоды имеют большую площадь р-п-перехода и используются для выпрямления больших токов (до 30 А). Точечные диоды имеют малую площадь р-п-перехода и, соответственно, предназначены для выпрямления малых токов (до 30 мА).

Обычно выпрямительный полупроводниковый диод нормально работает при напряжениях, лежащих в диапазоне до 1000 В. При необходимости увеличения выпрямляемого напряжения используются выпрямительные столбы, состоящие из ряда последовательно включенных полупроводниковых диодов, в этом случае выпрямляемое напряжение удастся повысить вплоть до 15 000 В.

Предназначенные для выпрямления больших токов выпрямительные полупроводниковые диоды большой мощности называют силовыми. Они позволяют выпрямлять токи силой вплоть до 30 А. Материалом для таких диодов обычно служит кремний или арсенид галлия, поскольку германий характеризуется сильной зависимостью обратного тока через р-п-переход от температуры.

Сплавные диоды чаще всего используются для выпрямления переменного тока с частотой до 5 кГц и изготавливаются из кремния. Кремниевые диффузионные диоды могут работать на повышенной частоте, до 100 кГц. Кремниевые эпитаксиальные диоды с металлической подложкой (с барьером Шоттки) могут использоваться на частотах до 500 кГц. Наилучшими частотными характеристиками обладают арсенидгаллиевые выпрямительные диоды, способные работать в диапазоне частот до нескольких мегагерц.

Основные характеристики полупроводникового диода можно получить, анализируя его ВАХ. При исследовании ВАХ следует принимать во внимание, что зависимость тока I через р-п-переход от падения напряжения U на переходе описывается уравнением Эберса-Молла:

$$I = I_s (e^{U/\varphi_T} - 1), \quad (1.1)$$

где I_s – обратный ток насыщения диода, а φ_T – тепловой потенциал.

Поскольку для полупроводниковых материалов при $T = 300$ К тепловой потенциал $\varphi_T = 25$ мВ, то уже при $U = 0,1$ В можно пользоваться упрощенной формулой:

$$I = I_s e^{U/\varphi_T}. \quad (1.2)$$

Важным параметром, характеризующим свойства диода, является дифференциальное сопротивление р-п-перехода, равное отношению приращения падения напряжения на диоде к приращению тока через диод:

$$r_{\text{диф}} = \frac{dU}{dI}. \quad (1.3)$$

Дифференциальное сопротивление можно вычислить, используя выражения (1.2) и (1.3), а именно: $\frac{1}{r_{\text{диф}}} = \frac{dI}{dU} = \frac{1}{\varphi_T} (I + I_S)$ или

$$r_{\text{диф}} = \frac{\varphi_T}{I + I_S}. \quad (1.4)$$

При протекании большого тока (в зависимости от типа диода этот ток может быть от единиц до десятков миллиампер) через р-п-переход в объеме полупроводника падает значительное напряжение, пренебрегать которым нельзя. В этом случае уравнение Эберса-Молла приобретает вид:

$$I = I_S e^{(U - IR) / \varphi_T}, \quad (1.5)$$

где R – сопротивление объема полупроводникового кристалла, которое называют последовательным сопротивлением.

На рис. 1.1а приведено условное графическое обозначение полупроводникового диода на электрических схемах, его структура – на рис. 1.1б. Электрод диода, подключенный к области p , называют анодом, а электрод, подключенный к области n , – катодом. Статическая вольтамперная характеристика диода показана на рис. 1.1в.

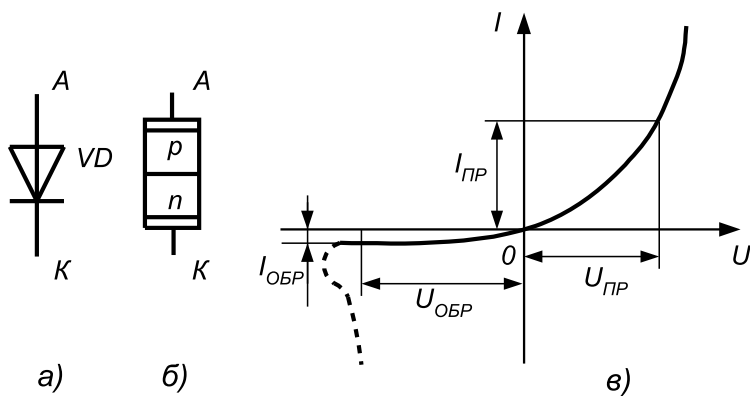


Рис. 1.1. Условное обозначение (а), структура (б) и статическая вольтамперная характеристика (в) полупроводникового диода

Стабилитрон

Стабилитрон – это полупроводниковый диод, р-п-переход которого работает в режиме лавинного пробоя. Такой режим возникает при смещении р-п-перехода в обратном направлении. В режиме лавинного пробоя в широком диапазоне из-

менения тока через диод падение напряжения на нем остается практически неизменным. На рис. 1.2 (а, б) показано схематическое изображение стабилитронов, а на рис. 1.2в приведена типовая ВАХ.

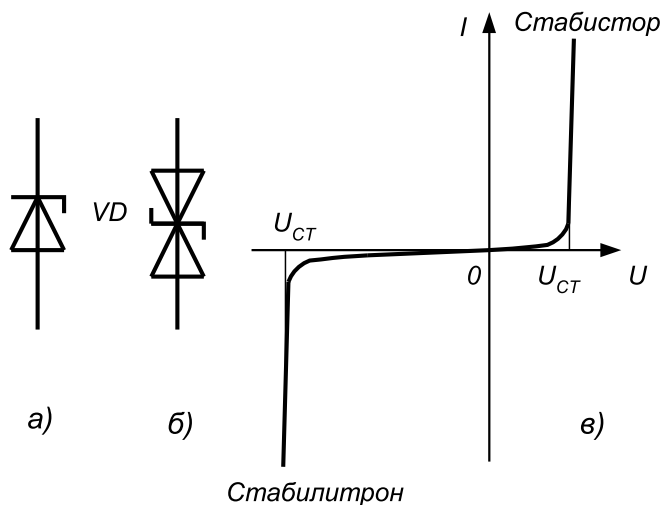


Рис. 1.2. Схематическое изображение стабилитронов (а – односторонний, б – двухсторонний) и их ВАХ (в). U_{CT} – напряжение стабилизации

Лавинный ток для типового маломощного кремниевого стабилитрона составляет примерно 10 мА, поэтому для ограничения тока через стабилитрон последовательно с ним включают ограничительное сопротивление R_B (рис. 1.3а). Если лавинный ток таков, что мощность, рассеиваемая на стабилитроне, не превышает предельно допустимого значения, то в таком режиме прибор может работать неограниченно долго. Для большинства стабилитронов предельно допустимая рассеиваемая мощность составляет от 100 мВт до 8 Вт.

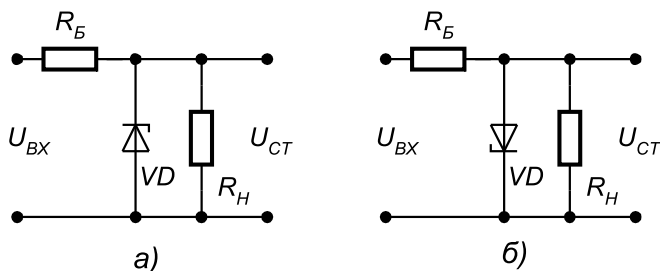


Рис. 1.3. Схема включения стабилитрона (а) и стабистора (б):

R_B – балластный резистор, U_{BX} – входное напряжение,

U_{CT} – стабилизированное напряжение

Иногда для стабилизации напряжения используют тот факт, что прямое падение напряжения на диоде слабо зависит от силы протекающего через р-п-переход тока. Приборы, в которых используется этот эффект, в отличие от стабилитронов называются стабисторами. В области прямого смещения падение напряжения на р-п-переходе составляет, как правило, 0,7–2 В, поэтому стабисторы позволяют стабилизировать только малые напряжения (не более 2 В). Для ограничения тока через стабистор последовательно с ним также включают сопротивление R_B (рис. 1.36).

Дифференциальное сопротивление стабилитрона – это параметр, который характеризует наклон его вольтамперной характеристики в области пробоя:

$$r_{\text{диф}} = \frac{\Delta U_{\text{СТ}}}{\Delta I_{\text{СТ}}}. \quad (1.6)$$

На рис. 1.4 показан линеаризованный участок ВАХ стабилитрона, который позволяет определить дифференциальное сопротивление прибора.

Полупроводниковые выпрямители

Выпрямителем называется устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения в постоянное. Основное назначение выпрямителей заключается в сохранении направления тока в нагрузке при изменении полярности напряжения, приложенного ко входу выпрямителя. Существуют разновидности полупроводниковых выпрямителей, отличающиеся количеством диодов и схемой их включения. Ниже рассмотрены некоторые из этих схем.

Схема *однофазного однополупериодного выпрямителя* приведена на рис. 1.5.

Однофазный однополупериодный выпрямитель пропускает на выход только одну полуволну питающего напряжения (рис. 1.6). Среднее значение напряжения на выходе такого выпрямителя вычисляется по формуле:

$$U_{\text{ВЫЛ}} = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \sin \omega t \, dt = \frac{U_m}{\pi}, \quad (1.7)$$

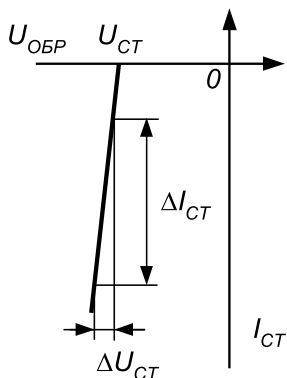


Рис. 1.4. Линеаризованная характеристика стабилитрона

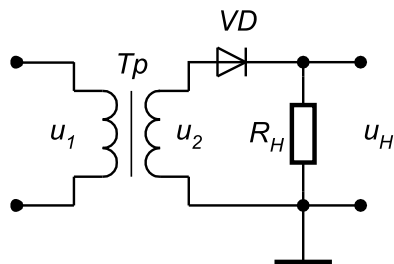


Рис. 1.5. Схема однофазного однополупериодного выпрямителя:
Tr – трансформатор; R_H – сопротивление нагрузки; u_1 , u_2 – напряжения на первичной и вторичной обмотках трансформатора;
 u_H – напряжение на нагрузке

где U_m – амплитуда напряжения на вторичной обмотке трансформатора; T – период входного напряжения; ω – круговая частота сигнала, $\omega = 2\pi/T$.

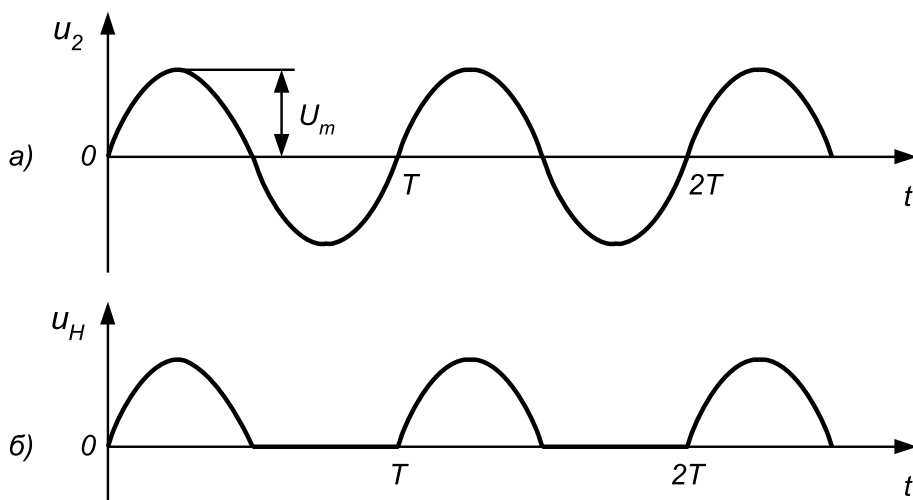


Рис. 1.6. Форма напряжений на входе (а) и выходе (б) однофазного однополупериодного выпрямителя

Период сигнала на выходе однополупериодного выпрямителя равен периоду входного сигнала. Максимальное обратное напряжение на диоде равно максимуму входного напряжения:

$$U_{max} = U_m. \quad (1.8)$$

На рис. 1.7 приведена схема *двухфазного двухполупериодного выпрямителя*.

По сути, она представляет собой два параллельно соединенных однофазных выпрямителя, которые питаются от двух половин вторичной обмотки трансформатора. В результате создаются два противофазных питающих выпрямителя напряжения. Форма напряжения на выходе такого выпрямителя приведена на рис. 1.8.

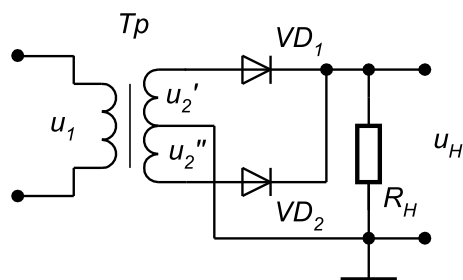


Рис. 1.7. Схема двухполупериодного выпрямителя:
 u_2', u_2'' – напряжения на вторичных обмотках ($u_2' = u_2''$)

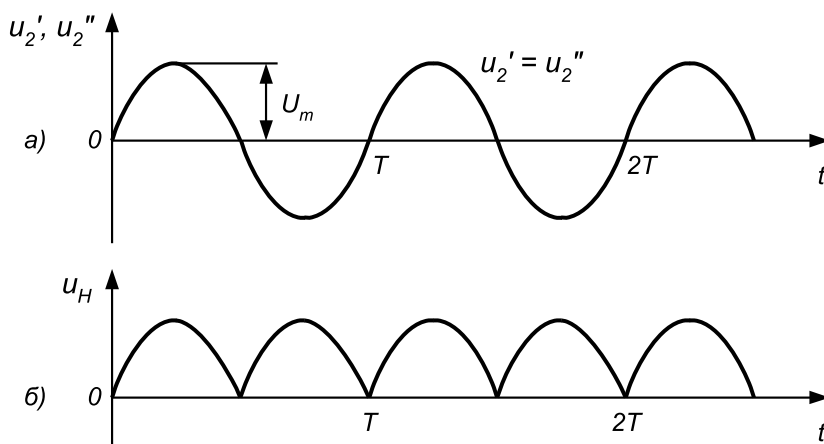


Рис. 1.8. Форма напряжений на входе (а) и выходе (б) двухфазного двухполупериодного выпрямителя

Двухфазный двухполупериодный выпрямитель характеризуется хорошим использованием трансформатора. Среднее значение напряжения на выходе выпрямителя вычисляется по формуле:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{2 \cdot U_m}{\pi}. \quad (1.9)$$

Период сигнала на выходе двухполупериодного выпрямителя в два раза меньше, чем у однополупериодного. Максимальное обратное напряжение на каждом диоде равно разности максимального значения напряжения на вторичной обмотке (сумма напряжений на двух полуобмотках $u_2 = u_2' + u_2''$) и прямого падения напряжения на диоде $U_{\text{пр}}$:

$$U_{\text{max}} = U_m - U_{\text{пр}}. \quad (1.10)$$

Наиболее широкое практическое распространение получил однофазный двухполупериодный мостовой выпрямитель, схема которого приведена на рис. 1.9.

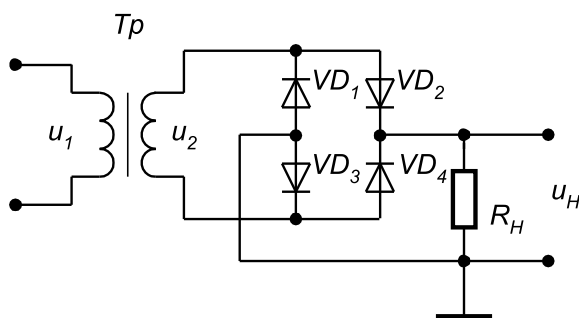


Рис. 1.9. Схема однофазного мостового выпрямителя