

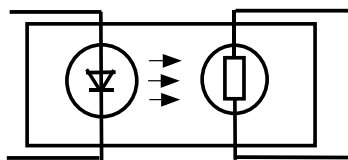
ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В.Н. ТУРЫГИН, В.Я. ИВАНОВ, С.В. ТИТОВ

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

Учебное пособие



Курган 1998

УДК 621.382.

Т - 89

В.Н.Турыгин, В.Я. Иванов, С.В. Титов. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ: Учебное пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та 1998. — 89 с.

В учебном пособии дана классификация современных компонентов (радиокомпонентов) электронных устройств промышленного оборудования, описание их свойств и назначение.

В приложении представлены опорные конспекты, выполненные в виде классификационных схем, графиков, цифровых данных и опорных слов. Текстовая расшифровка опорного конспекта представлена в главах и разделах учебного пособия. Опорные конспекты рекомендуются для индивидуального использования на лекциях и при самостоятельной подготовке студентов.

Учебное пособие предназначено для студентов специальностей 150100, 150200, 150300, 120100, 120200, 120500, 210200.

Рис. – 17, библиограф. – 21 назв., прилож. - 17 с.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Курганского государственного университета.

Научный редактор – канд. техн. наук А.И.Ершов.

Рецензенты: кафедра безопасности и жизнедеятельности и энергетики Курганской сельскохозяйственной академии (зав. кафедрой - доцент, канд. техн. наук В.С.Зуев) ; канд. техн. наук, доцент кафедры № 32 “Пилотажно – навигационные комплексы” Курганского военного института ФПС РФ А.Х.Газиев.

ISBN 5 – 86328 – 148 - 0

© Курганский
государственный
университет, 1998

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Переход от электровакуумных приборов к полупроводниковым дал мощный толчок развития всех отраслей техники, позволил создать новые функциональные приборы и на их основе – компактную высоконадежную электронную аппаратуру управления, сбора, хранения и обработки информации. Полупроводниковые интегральные схемы обеспечили миниатюризацию и сверхнадежность электронной аппаратуры оборудования промышленных предприятий.

На основе большого количества серийно выпускаемых электронных компонентов собираются блоки управления простейших электроприводов и источников питания, сложные блоки управления станков с программным управлением, микропроцессорная техника и персональные компьютеры.

В пособии принята существующая классификация электронных компонентов современных электронных устройств промышленного оборудования по назначению, конструктивным особенностям и характеристикам без описания физических процессов и явлений, происходящих в этих приборах. Не дается описание принципа действия сложных интегральных микросхем. Это сделано, чтобы не дублировать соответствующие разделы курсов физики и электроники (электронные устройства).

В приложении представлены опорные конспекты, выполненные в виде классификационных схем, графиков, цифровых данных и опорных слов. Текстовая расшифровка опорного конспекта представлена в главах и разделах учебного пособия. Опорный конспект охватывает весь раздел в целом и дает знания о логических связях отдельных понятий и элементов. Например: исследователь начинает изучать край, местность с карты (опорного конспекта), одновременно решая для себя, какое болото, лес ему изучать не надо, т.к. флору и фауну он изучил ранее. Опорные конспекты могут быть использованы как раздаточный материал на лекциях, коллоквиумах и практических занятиях.

ГЛАВА 1 ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

ВВЕДЕНИЕ

Под элементной базой электроники подразумевается совокупность электрорадиоэлементов, применяемых в электронных устройствах и служащих для распределения, переключения, преобразования электрических сигналов. Каждый элемент представляет из себя отдельное изделие с регламентируемыми стандартом параметрами. В последнее время термин «элемент» все чаще заменяют на термин «компонент». Это связано с появлением интегральных полупроводниковых микросхем, имеющих сложные функциональные назначения, но объединяющие сотни и тысячи пассивных и активных чипов в одном изделии.

Пассивные элементы, как правило, осуществляют коммутацию, накопление электрических зарядов, оказывают сопротивление прохождению электрического тока и магнитного потока (приложение 1, стр. 71).

Активные элементы осуществляют активный процесс преобразования сигналов: выпрямления, усиления, изменения частоты и т.д.

1.1. РЕЗИСТОРЫ

По эксплуатационным свойствам резисторы делятся на термо - и влагостойкие, вибро- и ударопрочные, повышенной «высотности» и высоконадежные.

Постоянные резисторы, в отличие от переменных, не изменяют сопротивление при сборке, настройке и эксплуатации аппаратуры. Переменные и подстроечные имеют контактный ползун, позволяющий регулировать сопротивление.

В соответствии с новой действующей системой сокращённое обозначение состоит из трёх элементов (табл. 1.1). Полупроводниковые резисторы выделены в отдельную группу и описываются в главе 2 - «Полупроводниковые приборы», сокращённое обозначение полупроводниковых резисторов также отличается от приведенных в табл.1.1.

Таблица 1.1

Обозначение резисторов

	Элемент			Пример обозначения
	первый	второй	третий	
Р-резисторы постоянные; РП-резисторы переменные	1-непроволочные; 2-проволочные, металло- фольговые	Порядковый номер раз- работки ко- нкретного типа резис- тора	Р1-26 (постоянный непроволочный ре- зистор с порядко- вым номером раз- работки 26)	

В старой системе первый элемент обозначался по-иному (С - резисторы постоянные; СП - резисторы переменные; СТ - терморезисторы; СН - варисторы). Второй элемент, как и в новой системе, был цифровой, но с более подробной детализацией по виду материала резистивного элемента (1 - углеродистые и бороуглеродистые; 2 -металлодиэлектрические и металлоокисные; 3 - композиционно-плёночные; 4 - композиционные объёмные; 5 - проволочные).

На резисторы наносится буквенно-цифровая маркировка. Она содержит: номинальную мощность, номинальное сопротивление, допуск и дату изготовления. Номинальное сопротивление обозначается цифрами с указанием единицы измерения: Ом (R или E по старому или вообще без буквы) - Омы; кОм (K) - килоОмы; МОм (M) - мегаОмы; ГОм (G) -гигаОмы; ТОм (T) - тераОмы. Например, 220 Ом, 680 кОм, 3,3 МОм, 4,7 ГОм, 1 ТОм, или 220 R, 680 K, 3M3, 4G7, 1T0 (в этом случае буква обозначает множитель 1, 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} и определяет положение запятой десятичного знака). Полное обозначение допуска состоит из цифр, а кодированное - из буквы. Для наиболее распространённых допусков используется следующая кодировка: 20%-M, 10%- K, 5%-I, 2%- G, 1%-F, 0,5%-D, 0,25%-C, 0,1%-B.

Номинальная мощность и предельное напряжение. Под номинальной мощностью (P_n) понимается наибольшая мощность, которую резистор может рассеивать в заданных условиях в течение гарантированного срока службы (наработки) при сохранении па-

раметров в установленных пределах. Мощность рассеяния зависит от конструкции резисторов, физических свойств материалов и температуры окружающей среды. Обычно для каждого конкретного типа резистора приводят зависимость допустимой мощности от температуры окружающей среды, по которой выбирается электрическая нагрузка.

Конкретные значения номинальных мощностей рассеяния в ваттах устанавливаются согласно ГОСТ 24013-80 и ГОСТ 10318-80 и выбираются из ряда: 0,01; 0,025; 0,05; 0,062; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 250; 500.

Рабочее напряжение резистора не должно превышать значения, рассчитанного исходя из номинальной мощности P_n и номинального сопротивления R_n : $U < P_n / R_n$. Однако при больших номинальных сопротивлениях это напряжение может достигать таких значений, при которых возможен пробой. Поэтому для каждого типа резистора, с учётом его конструкции устанавливается предельное рабочее напряжение ($U_{пред.}$).

Номинальное сопротивление и допуск. Номинальное сопротивление (R_n) - это электрическое сопротивление, значение которого обозначено на резисторе или указано в нормативной документации и является исходным для отсчёта отклонений от этого значения.

Номинальные сопротивления резисторов стандартизированы. Для постоянных резисторов согласно ГОСТ 2825-67 установлено шесть рядов: E6, E12, E24, E48, E96, E192, а для переменных резисторов в соответствии с ГОСТ 10318-80 установлен ряд E6. Цифра после буквы E указывает число номинальных значений в каждом десятичном интервале (табл.1.2).

Таблица 1.2

**Номинальные сопротивления по рядам
E6; E12 и E24**

Ряд I	Числовые коэффициенты
E6	1; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8
E12	1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2
E24	1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,2; 2,4; 2,7; 3; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

Номинальные сопротивления в каждом десятичном интервале соответствуют указанным в таблице числам или числам, полученным умножением или делением их на 10^n , где n - целое положительное или отрицательное число.

Действительные значения сопротивлений резисторов вследствие погрешностей изготовления могут отличаться от номинальных. Разница между номинальным и действительным сопротивлениями, выраженная в процентах по отношению к номинальному сопротивлению, называется допусаемым отклонением от номинального сопротивления или, кратко, допуском.

Температурный коэффициент сопротивления. Температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) называется величина, характеризующая относительное изменение сопротивления на один градус Кельвина или Цельсия. ТКС характеризует обратимое изменение сопротивления резистивного элемента вследствие изменения температуры окружающей среды или изменения электрической нагрузки. Чем меньше ТКС, тем лучшей температурной стабильностью обладает резистор. Значения ТКС прецизионных резисторов лежат в пределах от единиц до $\pm 100 \cdot 10^{-6}$ 1/С, а резисторов общего назначения - от десятков до $\pm 2000 \cdot 10^{-6}$ 1/С.

Шумы резисторов. Различают собственные шумы и шумы скольжения.

Собственные шумы резисторов складываются из тепловых и токовых шумов. Их возникновение связано с тепловым движением свободных электронов и прохождением электрического тока. Собственные шумы резисторов тем выше, чем больше температура и напряжение. Высокий уровень шумов резисторов ограничивает чувствительность электронных схем и создаёт помехи при воспроизведении полезного сигнала.

Собственные шумы резисторов измеряют действующим значением ЭДС шумов и выражают в микровольтах на вольт приложенного напряжения. Значения ЭДС шумов большинства типов проволоочных резисторов от долей единиц до десятков микровольт на вольт. Исключение составляют лакоплёночные и объёмные композиционные резисторы, у которых ЭДС шумов может достигать сотен микровольт на вольт.

Шумы скольжения (вращения) присущи переменным резисторам. Они возникают в динамическом режиме при движении подвижного контакта по резистивному элементу в виде напряжения помех.

В приёмных устройствах эти помехи приводят к различным шорохам и трескам. Уровень шумов перемещения значительно превышает уровень тепловых и токовых шумов. Даже для сравнительно хороших непроволочных переменных резисторов напряжение шумов вращения может достигать десятков милливольт (15...50 мВ).

Функциональная характеристика определяет зависимость сопротивления переменного резистора от положения подвижного контакта. Наиболее распространённые зависимости - линейная, логарифмическая и обратнологарифмическая.

Классификация неполупроводниковых резисторов представлена на рис.1.1.

Металлопленочные резисторы обладают повышенной механической прочностью, хорошими электрическими параметрами при относительно малой стоимости. Пленки специальных сплавов или оксидов металлов наносят на керамический стержень. Снаружи покрывают гидрофобной эмалью обычно красного цвета. К недостаткам можно отнести небольшую стойкость к импульсным нагрузкам и малый частотный диапазон.

Углеродистые резисторы изготовляют методом термического испарения гептана на керамический стержень, покрываются гидрофобной эмалью зеленого цвета. Резисторы этой группы предназначены для импульсных и высокочастотных токов.

Боруглеродистые пленочные резисторы отличаются введением примесей бора в углеродистую пленку с целью снижения ТКС и R.

Металлооксидные резисторы отличаются высокой стабильностью при изменении температуры окружающей среды. В качестве токопроводящего слоя чаще используется двуоксид олова.

Композиционные в составе пленки сажи или графита содержат наполнитель. Обладают высокой надежностью, низкой стоимостью, но менее стабильны. Резисторы типа КЭВ предназначены для высоких напряжений.

Объемные имеют токопроводящий состав в виде спрессованного при высокой температуре стержня из смеси сажи, корунда и стеклоэмали. Обладают высокой надежностью при номинальной мощности до 60 Вт.

Проволочные резисторы изготовляют из манганиновой, никромовой или константановой проволоки. В отличие от пленочных, они обладают высокой стабильностью и надежностью, а также большей мощностью рассеивания. К недостаткам относятся их от-

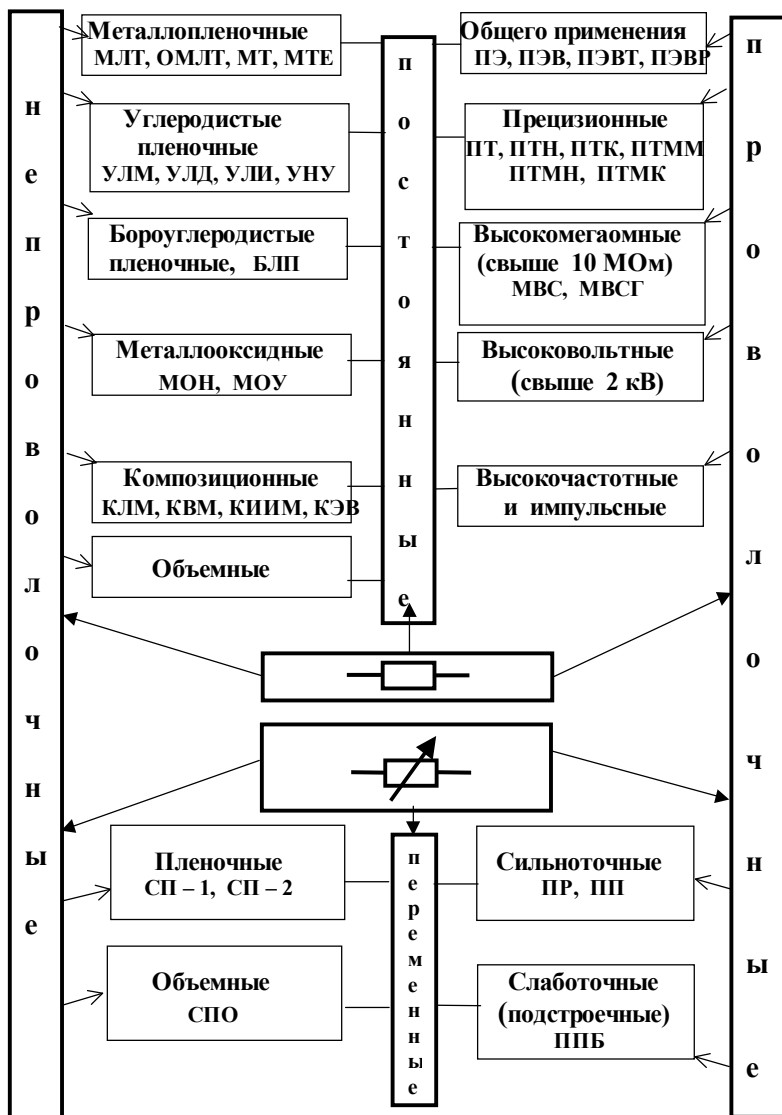


Рис. 1.1. Классификация неполупроводниковых резисторов (ГОСТ 21414 – 75)

носителю высокая паразитная индуктивность, стоимость и габариты.

Пленочные переменные резисторы имеют выводы от концов проводящего слоя и подвижного токосъемника. В зависимости от угла поворота оси подвижного токосъемного контакта значения сопротивления меняются по линейному, логарифмическому или обратнологарифмическому закону.

Объемные переменные резисторы имеют более толстый токопроводящий слой, высокую надежность и меньшие габариты.

Проволочные переменные резисторы изготавливают из высокоомной проволоки с подвижным контактом, перемещающимся по виткам обмотки. Выпускаются проволочные регулируемые резисторы ПР, проволочные переменные ПП и проволочные переменные бескаркасные ППБ.

1.2. КОНДЕНСАТОРЫ

В основу классификации конденсаторов положено деление их на группы по виду применяемого диэлектрика и по конструктивным особенностям. Вид диэлектрика определяет основные электрические параметры конденсаторов: сопротивление изоляции, стабильность ёмкости, потери и др. Конструктивные особенности определяют характер их применения: помехоподавляющие, подстроечные, дозиметрические, импульсные и др.

Условное обозначение конденсаторов может быть сокращённым и полным. Сокращённое условное обозначение состоит из букв и цифр.

Первый элемент - буква или сочетание букв - обозначают подкласс конденсатора: К - постоянной ёмкости; КТ - подстроечные; КП - переменной ёмкости. *Второй элемент* обозначает группу конденсаторов в зависимости от вида диэлектрика. *Третий элемент* определяет назначение конденсаторов. *Четвертый* пишется через дефис и соответствует порядковому номеру разработки. В состав второго и третьего элементов в отдельных случаях может входить также буквенное обозначение.

Для старых типов конденсаторов в основу условных обозначений брались конструктивные, технологические, эксплуатационные и другие признаки (например: КД - конденсаторы дисковые; ФТ - фторопластовые теплостойкие; КТП - конденсаторы трубчатые проходные).

Маркировка на конденсаторах может быть буквенно-цифровая,

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

содержащая сокращённое обозначение конденсатора, номинальное напряжение, ёмкость, допуск, группу ТКЕ, дату изготовления, либо цветовая.

В зависимости от размеров конденсаторов применяются полные или сокращённые (кодированные) обозначения номинальных ёмкостей и их допускаемых отклонений. Незащищённые конденсаторы не маркируются, а их характеристики указываются на упаковке.

Полное обозначение номинальных ёмкостей состоит из цифрового значения номинальной ёмкости и обозначения единицы измерения (пФ-пикофарада, мкФ - микрофарада, Ф - фарада).

Кодированное обозначение номинальных ёмкостей состоит из трёх или четырёх знаков, включающих две или три цифры и букву.

Буква из русского или латинского алфавита обозначает множитель, составляющий значение ёмкости, и определяет положение запятой десятичного знака. Буквы П (р), Н (n), М (μ), И (m), Ф (F) обозначают множители 10^{-12} , 10^{-9} , 10^{-6} , 10^{-3} и 1. Например, 2,2 пФ обозначается 2П2 (2р2), 1500 пФ - 1Н5 (1n5), 0,1 мкФ - М1 (μ 1), 10 мкФ - 10 М (10 μ), 1Ф - 1ФО (1FO).

Допускаемые отклонения ёмкости (в процентах или в пикофарадах) маркируются после номинального значения цифрами или кодом (табл.1.3).

Таблица 1.3

Допускаемые отклонения ёмкости от номинального значения

Допускаемое отклонение ёмкости, %	Код	Допускаемое отклонение ёмкости, %	Код
0,1	В(Ж)	20	М(В)
0,2	С(У)	30	N(Ф)
0,5	D(Д)	-10 +30	O-
1	F(Р)	-10 +50	T(Э)
2	G(Л)	-10 +100	Y(Ю)
5	I(И)	-20 +50	S(Б)
.10	K(С)	-20 +80	Z(А)

Примечание. В скобках указано старое обозначение.

Цветовая кодировка применяется для маркировки номинальной ёмкости, допускаемого отклонения ёмкости, номинального напря-

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

жения до 63 В и группы ТКЕ. Маркировку наносят в виде цветных точек или полосок.

ПАРАМЕТРЫ КОНДЕНСАТОРОВ

Номинальная ёмкость и допускаемое отклонение ёмкости. Номинальная ёмкость (Сн) - ёмкость, значение которой обозначено на конденсаторе или указано в сопроводительной документации. Фактическое значение ёмкости может отличаться от номинальной на величину допускаемого отклонения. Номинальные значения ёмкости стандартизированы и выбираются из определённых рядов чисел путём умножения или деления их на 10^n , где n - целое положительное или отрицательное число. Наиболее употребляемые ряды номинальных ёмкостей приведены в табл.1.4 (значения допускаемых отклонений ёмкостей см. в табл.1.3).

Таблица 1.4

Наиболее употребляемые ряды номинальных значений ёмкостей

E3	E6	E12	E24		E3	E6	E12	E24
1	1	1	1					
			1,1			3,3	3,3	3,3
			1,2				3,9	3,9
			1,3					4,3
	1,5	1,5	1,5		4,7	4,7	4,7	4,7
			1,6					5,1
			1,8				5,6	5,6
			2					6,2
2,2	2,2	2,2	2,2			6,8	6,8	6,8
			2,4					7,5
			2,7				8,2	8,2
			3					9,1

Номинальное напряжение (Un) - это напряжение, обозначенное на конденсаторе (или указанное в документации), при котором он может работать в заданных условиях в течение срока службы с сохранением параметров в допустимых пределах. Номинальное напряжение зависит от конструкции конденсатора и свойств применяемых материалов. При эксплуатации напряжение на конденсаторе не должно превышать номинального. Для многих типов конденсаторов с увеличением температуры (как правило, более 70...85 °С)

допускаемое напряжение снижается.

Тангенс угла потерь ($\operatorname{tg} \delta$) характеризует активные потери энергии в конденсаторе. Значения тангенса угла потерь у керамических высокочастотных, слюдяных, полистирольных и фторопластовых конденсаторов лежат в пределах $(10 \dots 15) \cdot 10^{-4}$, поликарбонатных $(15 \dots 25) \cdot 10^{-4}$, керамических низкочастотных 0,035, оксидных конденсаторов 0,05...0,35, полиэтилентерефталатных 0,01...0,012.

Величина, обратная тангенсу угла потерь, называется добротностью конденсатора.

Сопротивление изоляции и ток утечки. Эти параметры характеризуют качество диэлектрика и используются при расчётах высокоомных, времязадающих и слаботочных цепей. Наиболее высокое сопротивление изоляции у фторопластовых, полистирольных и полипропиленовых конденсаторов, несколько ниже у низкочастотных керамических, поликарбонатных и лавсановых конденсаторов. Самое низкое сопротивление изоляции у сегнетокерамических конденсаторов.

Для оксидных (электролитических) конденсаторов задают ток утечки, значение которого пропорционально ёмкости и напряжению.

Наименьший ток утечки имеют танталовые конденсаторы (от единиц до десятков микроампер), у алюминиевых конденсаторов ток утечки, как правило, на один-два порядка выше.

Температурный коэффициент ёмкости (ТКЕ). Это параметр, применяемый для характеристики конденсаторов с линейной зависимостью ёмкости от температуры. Определяет относительное изменение ёмкости от температуры при изменении её на один градус Цельсия.

Например слюдяные и полистирольные конденсаторы имеют ТКЕ в пределах $(50 \dots 200) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, поликарбонатные $50 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$.

Классификация конденсаторов представлена на рис. 1.2.

Слюдяные и керамические конденсаторы обладают наиболее высокими показателями стабильности, точности, надежности и удельной емкости, используются в резонансных контурах, цепях связи и блокировки.

Бумажные имеют высокие электрические показатели, отрицательный ТКС, используются для параметрической стабилизации.

Электролитические конденсаторы являются униполярными (фик-

сированный «+» и «-»). Обычно в качестве одной пластины используют алюминиевую или танталовую фольгу, изолированную оксидным диэлектриком, в качестве другой пластины выступает электролит. Нарушение полярности приводит к выходу конденсатора из строя. Выпускают и неполярные конденсаторы типа ЭП для работы в цепях переменного тока.

Твердые оксидно-полупроводниковые конденсаторы выпускают на номиналы 0,033...300 мкФ и рабочее напряжение 6...30В. Они могут работать при низких температурах до -80 °С.

Переменные и подстроечные конденсаторы служат для настройки резонансных контуров, фазовращающих мостов т.д. При повороте секторов диска происходит изменение суммарной емкости конденсатора. В качестве диэлектриков используются воздух или керамика.

1.3. КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Катушки индуктивности используют в фильтрах, резонансных контурах и цепях связи. Классификация катушек индуктивности приведена на рис.1.3. Катушки индуктивности являются нестандартным изделием и в каждом конкретном случае по заданным электрическим параметрам определяют конструктивные размеры изделия.

Номинальными параметрами являются индуктивность и допуск на неё, добротность, температурная стабильность и собственная емкость. Катушки индуктивности высоких частот классифицируются по длине волны - от УКВ до ДВ.

Вариометры позволяют изменять индуктивность в процессе эксплуатации за счет изменения коэффициента связи между двумя катушками при их механическом линейном перемещении или вращении.

Для интегральных схем изготавливают миниатюрные тороидальные катушки на ферритовых сердечниках или тонкопленочные, напыляемые на ситалловые подложки. Тороидальные катушки индуктивности, как правило, имеют ограниченный диапазон частот (10...100 МГц). Тонкопленочные катушки обладают низкой добротностью и используются тогда, когда другие технические варианты невозможны.



Рис. 1.2. Классификация конденсаторов



Рис. 1.3. Классификация катушек индуктивности

ГЛАВА 2 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ ВВЕДЕНИЕ

Полупроводниковые приборы занимают ведущее место в электронике, вытеснив из электронных устройств электровакуумные приборы. В качестве материала в полупроводниковых приборах используются германий, кремний, селен, индий, арсенид галлия, фосфид галлия и др. Наличие примесей (легирование) придает чистым полупроводникам определенный *тип электропроводности* - электронной при преобладании свободных электронов или дырочной. Электронную проводимость придают донорные примеси, дырочную проводимость - акцепторные. Электронно-дырочный переход (n-p переход) на границе двух полупроводников создает запираю-

щий слой, придающий полупроводниковым приборам особые свойства. Внешнее напряжение, приложенное к прибору с запирающим слоем, в зависимости от полярности, создает прямой ток (р-п переход открыт), или обратный (р-п переход зак-рыт).

Увеличение обратного напряжения может привести к **лавинно-му пробой** (неосновные носители заряда приобретают энергию достаточную для лавинообразного размножения электронов и дырок) и к увеличению обратного тока.

При достижении критического напряжения в сильно легированных полупроводниках (ширина запирающего слоя мала и движущие носители не приобретают достаточной энергии для лавинного пробоя) возникает **электрический пробой** п-р перехода (**эффект Зенера**), ведущий к возрастанию обратного тока.

В сильно-легированных полупроводниках может возникать квантово-механический **туннельный эффект**, при котором малую толщину запирающего слоя основные носители заряда могут преодолевать без изменения энергии. Эффект наблюдается только в определенном диапазоне напряжений как при прямом, так и обратном токе.

Лавинный и туннельный **пробой** используются в качестве рабочего режима, т.к. первоначальные свойства п-р перехода восстанавливаются при снижении напряжения (обратимость процесса).

Если при обратном токе в результате недостаточного теплоотвода происходит нагрев п-р перехода, приводящий к увеличению генерации пар носителей заряда, то происходит **тепловой пробой**, приводящий к разрушению п-р перехода.

Закрытый п-р переход обладает электрической емкостью. При увеличении обратного напряжения ширина п-р перехода возрастает и емкость C уменьшается.

В сложных полупроводниковых приборах - **транзисторах, тиристорах** используют взаимодействие нескольких п-р- переходов.

В **полупроводниковых фотоэлектрических приборах** используются эффекты генерации зарядов под действием света. Фотоэлектрические приборы и микросхемы рассматриваются отдельно в главах 3 и 4.

Система обозначения современных полупроводниковых приборов определена **отраслевым стандартом ОСТ 11 336.919-81**. В основу системы обозначений положен буквенно-цифровой код, который состоит из 5 элементов.

Первый элемент обозначает исходный полупроводниковый ма-

териал транзистора. Так Г или 1 - германий и его соединения; К или 2 -кремний; А или 3 - соединения галлия; И или 4 - соединения индия.

Второй элемент обозначает подкласс или группу приборов:

- Д- диоды выпрямительные и импульсные;
- Ц- выпрямительные столбы и блоки;
- В- варикапы;
- И- туннельные диоды;
- А- сверхвысокочастотные диоды;
- С- стабилитроны;
- Г- генераторы шума;
- Т- биполярные транзисторы;
- П- полевые транзисторы;
- Д- излучающие оптоэлектронные приборы;
- О- оптопара;
- Н- диодный тиристор;
- У- триодный тиристор.

Третий элемент - цифра, обозначающая основные функциональные возможности прибора.

Четвертый элемент - число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа транзистора. Номер от 01 до 99 или 101 до 999.

Пятый элемент - буква от А до Я, условно определяет классификацию транзисторов, изготавливаемых по единой технологии.

Система обозначения может иметь дополнительные элементы, записанные через дефис, которые определяют модификацию транзистора, приводящего к изменению конструкции или параметров. Например:

2Т339А-2 - аналогичен транзистору **2Т399А**, но в бескорпусном исполнении с гибкими выводами на кристаллодержателе. Буква С - для обозначения приборов в общем корпусе однотипных транзисторов (транзисторные сборки). Например: **2ПС202А-2** - набор маломощных кремниевых полевых транзисторов средней частоты, номер разработки 2, группа А, бескорпусные, с гибкими выводами на кристаллодержателе.

2.1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Полупроводниковые резисторы используются в электронных устройствах как пассивные элементы. Сокращенное обозначение полупроводниковых резисторов состоит из двух элементов

(табл. 2.1).

Таблица 2.1

Элемент			Пример обозначения
первый	второй	третий	
ТР-терморезисторы с отрицательным ТКС; ТРП-терморезисторы с положительным ТКС	Полупроводниковые материалы не обозначаются	Порядковый номер разработки	ТР-7 (терморезистор с отрицательным ТКС с порядковым номером разработки 7)
ВР-варисторы постоянные; ВРП-варисторы переменные	Полупроводниковые материалы не обозначаются	Порядковый номер разработки	

Классификация полупроводниковых резисторов приведена на рис. 2.1. **Фоторезисторы** и **магниторезисторы** более подробно рассмотрены в разделе «Фоторезисторы, электронные приборы» главы 4.

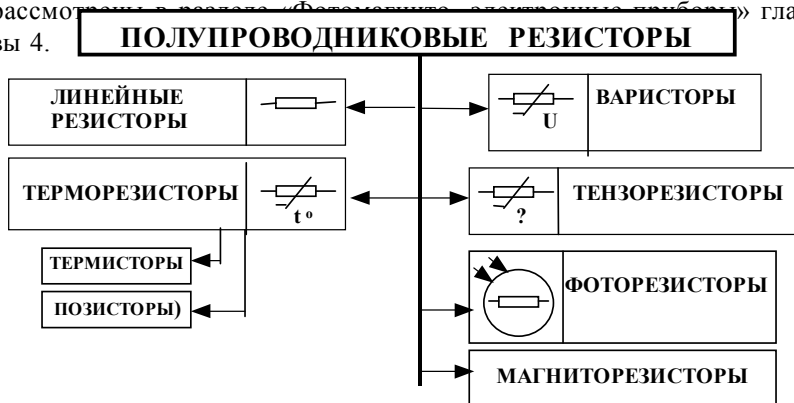


Рис. 2.1. Классификация полупроводниковых резисторов

В зависимости от материала полупроводника, степени его леги-

рования, резистор может быть **линейным** (сопротивление мало зависит от напряженности электрического поля и плотности тока), либо электрическое сопротивление резистора может меняться от температуры, освещенности, плотности тока или приложенного напряжения, механических, магнитных и других воздействий.

Линейные резисторы и варисторы имеют характеристики, слабо зависящие от внешних факторов.

В **линейном резисторе** удельное электрическое сопротивление слабо зависит от плотности тока и напряжения. Обычно изготавливают из арсенида галлия или слаболегированного кремния. Широко используют в интегральных микросхемах.

Полупроводниковые **нелинейные резисторы** в отличие от линейных резисторов изменяют своё электрическое сопротивление под действием управляющих факторов: температуры, напряжения, магнитного поля и др. В зависимости от воздействующего фактора они получили название **терморезисторы, варисторы, тензорезисторы, магниторезисторы**. В последнее время их стали относить к управляемым полупроводниковым резисторам.

Варисторы - полупроводниковые резисторы с нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой (ВАХ), отличительной особенностью которых является резко выраженная зависимость электрического сопротивления от приложенного к ним напряжения (рис. 2.2).

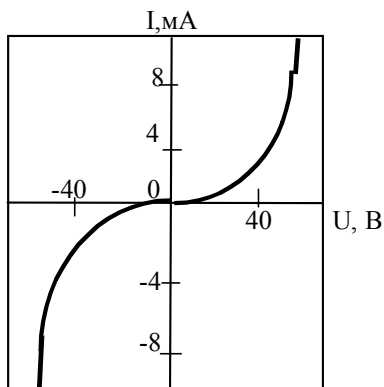


Рис. 2.2. Вольт-амперная характеристика варистора

При повышении напряжения многочисленные границы соприкасающихся кристаллов карбида кремния резко снижают общее электросопротивление варистора. Основным параметр варистора - коэффициенты нелинейности (λ) :

$$\lambda = R / R_d = \frac{U}{I} : \frac{dU}{dI} \approx \text{const} = (2:6)$$

Коэффициент нелинейности - отношение статического сопротивления в данной точке

ВАХ к динамическому сопротивлению в той же точке.

Классификационное напряжение (Укл)- условный параметр,

показывающий значение постоянного напряжения на варисторе при заданном значении классификационного тока.

Классификационный ток $I_{кл}$ - это ток, при котором определяется классификационное напряжение.

Варисторы используют для стабилизации и защиты от перенапряжений, преобразования частоты и напряжения, а также для регулирования усиления в системах автоматики, различных измерительных устройствах, источниках вторичного питания, в телевизионных приёмниках, для подстройки частоты гетеродинов, в генераторах переменного и импульсного пилообразного напряжения, в схемах размагничивания цветных кинескопов и др.

Терморезисторы (ТР) - полупроводниковые резисторы с нелинейной ВАХ, отличительной особенностью которых является резко выраженная зависимость электрического сопротивления от температуры (рис.2.3). Существуют терморезисторы как с отрицательным (**термисторы**), так и с положительным температурным коэффициентом сопротивления - **позисторы**.

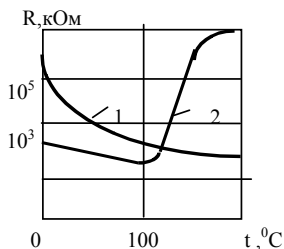


Рис. 2.3. Температурная характеристика терморезисторов: 1-термистора, 2-позистора

Электрическое сопротивление термистора выражается экспоненциальным законом:

$$R_T = K e^{\beta/T},$$

где K , β - коэффициенты, зависящие от материала (окислы металла в смеси окислов) и конструктивных размеров термистора, T - абсолютная температура.

ТР характеризуют следующими основными параметрами.

Номинальное сопротивление (R_n) - электрическое сопротивление, значение которого обозначено на ТР или указано в нормативной документации, измеренное при определённой температуре окружающей среды (для большинства типов ТР при 20 °C, а для ТР с высокими рабочими температурами до 300 °C при 150 °C). Конкретные значения номинальных сопротивлений устанавливаются в основном по ряду Е6 либо Е12. Другие ряды используются редко.

Температурный коэффициент сопротивления (α) так же как и в обычных линейных резисторах ТКС характеризует обратимое изменение сопротивления на один градус Кельвина или Цельсия и является основным параметром термистора:

$$\alpha = \frac{I}{R_T} \cdot \frac{dR_T}{dT}$$

Обычно это процентное отношение изменения сопротивления при изменении температуры на 1°С.

Максимально допустимая мощность рассеяния (P_{\max}) - наибольшая мощность, которую длительное время может рассеивать ТР, не вызывая необратимых изменений характеристик, при этом его температура не должна превышать максимальной рабочей температуры.

Коэффициент температурной чувствительности (B) - определяет характер температурной зависимости данного типа ТР. Этот коэффициент наиболее известен как постоянная B , зависящая от физических свойств полупроводникового материала, из которого выполнен термочувствительный элемент.

Постоянная времени характеризует тепловую инерционность. Она равна времени, в течение которого температура ТР изменяется на 63 °С при перенесении его из воздушной среды с температурой 0 °С в воздушную среду с температурой 100 °С.

Термисторы (рис. 2.3-1) служат для фиксации температур в широком температурном диапазоне. У **позисторов** при повышении температуры сверх точки Кюри резко возрастает сопротивление (на несколько порядков). Такой аномальной температурной зависимостью обладает, например, полупроводниковый материал на основе титан-бариевой керамики с примесью редкоземельных металлов.

Позисторы (рис. 2.3-2) служат как особо чувствительные датчики в узком температурном диапазоне. **ТР** используются в системах дистанционного и централизованного измерения и регулирования температур, противопожарной сигнализации, теплового контроля и защиты машин и механизмов, в схемах температурной компенсации ряда элементов электрических цепей и контуров, в частности для термокомпенсации кварцевых резонаторов и генераторов, для стабилизации режимов транзисторных каскадов, измерения мощности, измерения вакуума, скоростей движения жидкостей и газов, а также в качестве дистанционных бесконтактных переменных резисторов, ограничителей и предохранителей, реле времени, стабилизаторов напряжения, в схемах размагничивания масок цветных кинескопов и др.

Тензорезистор - тензометрический прибор, сопротивление кото-

рого зависит от линейных деформаций полупроводника, ведущих к нарушению регулярности кристаллической решетки (рис. 2.4).

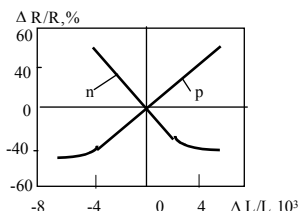


Рис. 2.4. Деформационная характеристика тензорезисторов n- и p-типа

Тензорезисторы обычно изготавливают из полированных пластинок кремния. Основные параметры тензорезистора - номинальное электросопротивление ($R \approx 100 - 500 \text{ Ом}$) и коэффициент тензочувствительности K .:

$$K = \frac{\Delta R}{R} : \frac{\Delta L}{L}, \text{ где } L - \text{линейное удли-}$$

нение.

Тензорезисторы используют для измерения деформаций твердых тел.

2.2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Полупроводниковые диоды - электропреобразовательные приборы с одним электрическим переходом и 2 выводами (классификация и условные обозначения полупроводниковых диодов приведена на рис. 2.5).

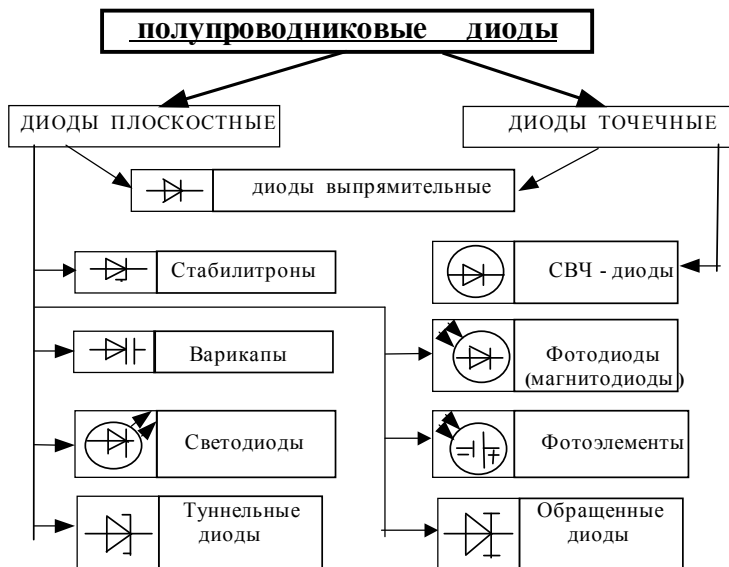


Рис. 2.5. Классификация полупроводниковых диодов

В **точечных** диодах p-n переход обычно образует заостренная стальная проволока с полупроводником. Точечный контакт имеет незначительную междуэлектродную емкость и позволяет использовать такие диоды при высоких частотах (СВЧ-диоды).

Плоскостные диоды образуют p-n переход двумя полупроводниками. Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода небольшой мощности представлена на рис. 2.6. Электросопротивление p-n перехода в прямом и обратном направлении отличается на несколько порядков Ом. В связи с этим обычно характеристику для обратного тока показывают в другом масштабе. Прямой ток в десятки миллиампер наблюдается при прямом напряжении в десятые доливольта. Прямое сопротивление не выше десятков Ом, для мощных диодов это сопротивление снижается до единиц долей Ома. Обратный ток у диодов небольшой мощности составляет единицы или десятки микроампер при обратном напряжении в сотни вольт. Это соответствует сопротивлению несколько со-

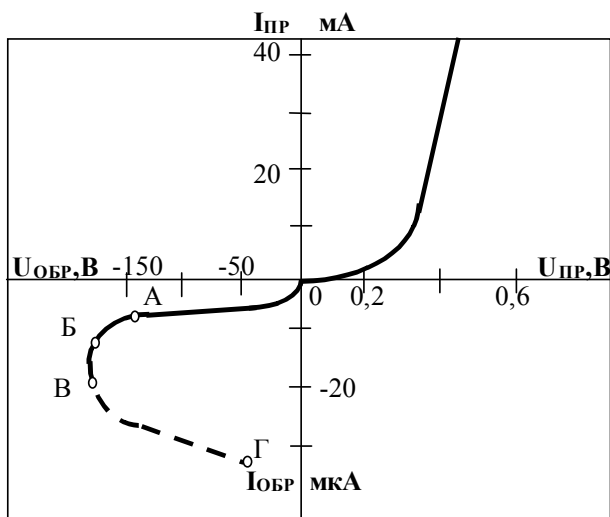


Рис. 2.6. Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода

тен кОм и больше. При одинаковом масштабе характеристика в начале координат была бы плавной, разные масштабы $U_{пр}$ и $U_{обр}$ приводят к излому характеристики.

Характеристика для прямого тока в связи со свойствами запи-

рающего слоя, вначале имеет нелинейный характер, но с увеличением прямого напряжения запирающий слой практически исчезает и характеристика приобретает линейный характер. Это вызвано тем, что при небольшом обратном напряжении резко снижается диффузионный ток, направленный навстречу току проводимости.

При дальнейшем увеличении обратного напряжения ток растет незначительно, т.к. его рост определяется только нагревом перехода и лавинного размножения носителей заряда в результате ударной ионизации.

На участке АБВ рис. 2.6 наблюдается электрический пробой, который является обратимым и работа диода в этом режиме допустима. К электрическому пробую относятся лавинный пробой и туннельный. Область ВГ соответствует тепловому пробую, который сопровождается разрушением структуры вещества в p-n переходе.

2.2.1. **Выпрямительный диод** - полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный. Основные параметры выпрямительных диодов при нормальной температуре окружающей среды: $I_{пр.ср}$ - средний прямой ток: среднее за период значение прямого тока через диод уменьшается с увеличением температуры окружающей среды (корпуса) и частоты следования тока; $U_{пр}$ - постоянное прямое напряжение: постоянное значение прямого напряжения, обусловленное постоянным прямым током; $U_{пр.ср}$ - среднее прямое напряжение: среднее за период значение прямого напряжения при заданном среднем прямом токе; $I_{обр}$ - постоянный обратный ток, обусловленный постоянным обратным напряжением; $I_{обр.ср}$ - средний обратный ток: среднее за период значение обратного тока; $t_{вос.обр}$ - время обратного восстановления: время переключения диода с заданного прямого тока на заданное обратное напряжение от момента прохождения тока через нулевое значение до момента достижения обратным током заданного значения. Увеличивается с повышением прямого тока и температуры p-n перехода (окружающей среды); f_{max} - максимально допустимая частота: наибольшая частота подводимого напряжения и импульсов тока, при которых обеспечивается надёжная работа диода.

$I_{пр.max}$ в различных по мощности диодах может составлять от 0,01 до 1000 А, обратный ток от 0,1 до 5000 мкА, $U_{обр.max}$ от 10 до 2000 В.

На рис. 2.7 представлено влияние температуры на вольт-ампер-

ную характеристику диода. Работоспособность германиевых диодов сохраняется при температурах менее 85-100 °С, кремниевых - 150-200 °С. Для уменьшения нагрева диодов применяется принудительное охлаждение (обдув), монтаж на радиаторах. Кратковременный большой ток (50-100 -кратная перегрузка по току за время <0,1 с) не приводит к разрушению диода, длительное действие большого тока вызывает интенсивный нагрев полупроводника (за несколько секунд до 700-1000 °С) и разрушение прибора. Аналогично действие и большого обратного напряжения, когда в результате эффекта Зенера проводимость в обратном направлении резко увеличивается.

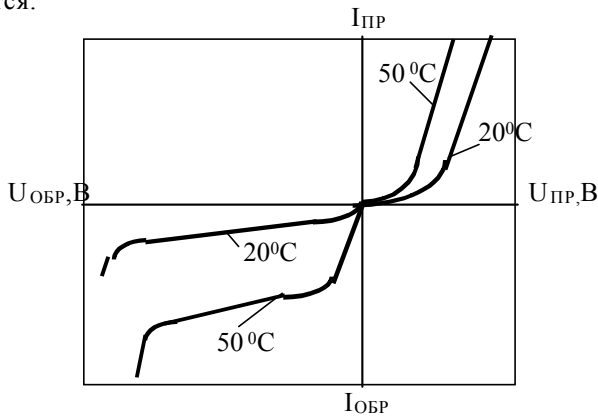


Рис. 2.7. Влияние температуры на вольт-амперную характеристику диода

Выпрямительные диоды нередко объединяют в блоки, позволяющие при определенном порядке соединения получить мостовую схему выпрямителя (рис. 2.8).

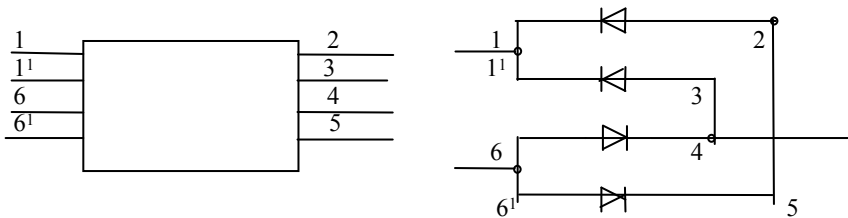


Рис. 2.8. Выпрямительный блок КЦ 401Б. Обозначение выводов и принципиальная схема соединения диодов в блоке

2.2.2. **Стабилитрон** - полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя при обратном смещении слабо зависит от тока в заданном его диапазоне и который предназначен для стабилизации напряжения (рис. 2.9), используют для стабилизации напряжения. Рабочим участком вольт-амперной характеристики является участок с обратной проводимостью.

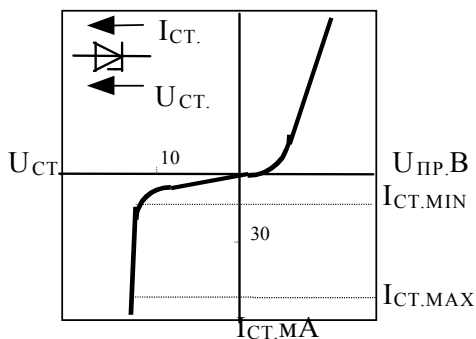


Рис. 2.9. Вольт-амперная характеристика стабилитрона

Основные параметры: $U_{ст}$ - напряжение стабилизации: значение напряжения при протекании тока стабилизации; $U_{ст}$ - временная нестабильность напряжения стабилизации: отношение наибольшего изменения напряжения стабилизации к начальному значению напряжения стабилизации за заданный интервал времени; $U_{ст}$ может достигать 1-1000 В; $R_{до}$ - динамическое сопротивление на участке стабилизации $R_{до} = dU_{до} / dI_{ст}$ обычно 0,5- 200 Ом; минимальный ток стабилитрона $I_{ст.миn} \approx 1-10\text{мА}$, максимальный ток стабилитрона $I_{ст.маx} \approx 50 - 2000\text{мА}$, $I_{ст.миn}$ ограничен нелинейным участком хар-ки, $I_{ст.маx 0}$ - допустимой температурой полупроводника.

Температурный коэффициент напряжения на участке стабилизации $TKU = dU_{ст} / dT \cdot 100\%$ для большинства стабилитронов $TKU \approx (-0,5 \div 0,2)\% / ^\circ\text{C}$.

У **прецизионных стабилитронов** (например **КС196В**) $TKU = 0,0005\% / ^\circ\text{C}$ в диапазоне температур от -60°C до $+60^\circ\text{C}$. Стабилитроны допускают последовательное соединение, **параллельное - недопустимо**, т.к. ток протекает только в одном стабилитроне с

наименьшим $U_{ст}$, что приведет к перегреву и выходу его из строя.

Материал стабилитронов - чаще кремний.

2.2.3. **Стабистор** - полупроводниковый диод, напряжение на котором в области прямого смещения слабо зависит от тока в заданном его диапазоне и который предназначен для стабилизации напряжения.

Основные параметры различных видов стабисторов при нормальной температуре окружающей среды: $I_{ст}$ - ток стабилизации: значение постоянного тока, протекающего через стабилитрон в режиме стабилизации; $P_{ст.мах}$ - максимально допустимая мощность стабилизации; $r_{ст}$ - дифференциальное сопротивление стабилитрона: отношение приращения напряжения стабилизации к вызывающему его приращению тока стабилизации; $\alpha_{ст}$ - температурный коэффициент напряжения стабилизации: отношение относительного изменения напряжения стабилизации к абсолютному изменению температуры окружающей среды при постоянном значении тока стабилизации.

2.2.4. **Варикап** - полупроводниковый диод, действие которого основано на использовании зависимости ёмкости от обратного напряжения, предназначен для применения в качестве элемента с электрически управляемой ёмкостью (рис.2.10). Основные параметры варикапов при нормальной температуре окружающей среды: C_v - ёмкость варикапа; K_c - коэффициент перекрытия по ёмкости:

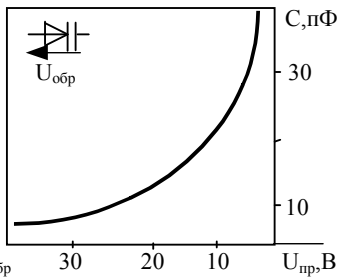


Рис. 2.10. Зависимость ёмкости варикапа от обратного напряжения

отношение общих ёмкостей варикапа при двух заданных значениях обратного напряжения; Q_v - добротность варикапа: отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте к сопротивлению потерь при заданной ёмкости или обратном напряжении; P_v - рассеиваемая мощность варикапа.

2.2.5. **Универсальный и импульсный диод** - полупроводниковый диод, имеющий малую длительность переходных процессов включения и предназначенный для применения в импульсных режимах работы. Основным параметром диодов при нормальной температуре окружающей среды: C_d - общая ёмкость диода. При увеличении обратного напряжения ёмкость уменьшается.

2.2.6. **Туннельный диод** - полупроводниковый диод на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит при прямом включении диода к появлению на ВАХ участка отрицательной дифференциальной проводимости (рис.2.11-1).

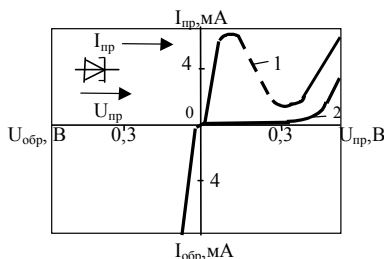


Рис. 2.11. Вольт-амперная характеристика туннельного (1) и обращенного (2) диодов

Наличие такого участка позволяет использовать туннельные диоды в усилителях, генераторах синусоидальных релаксационных колебаний и переключающих устройствах на частотах до сотен и тысяч мегагерц.

2.2.7. **Обращённый диод** - полупроводниковый диод на основе полупроводника с критической концентрацией примеси, в котором проводимость при обратном напряжении

вследствие туннельного эффекта значительно больше, чем при прямом напряжении (рис. 2.11-2). Таким образом, обратное включение позволяет получить вентильные свойства при очень низких напряжениях. Находят широкое применение в импульсных устройствах.

Основные параметры туннельных и обращённых диодов: I_n - пиковый ток: значение прямого тока в точке максимума ВАХ туннельного диода, при котором значение дифференциальной активной проводимости равно нулю; I_v - ток впадины: значение прямого тока в точке минимума ВАХ туннельного диода, при котором значение дифференциальной активной проводимости равно нулю; I_n/I_v - отношение пикового тока к току впадины; U_n - напряжение пика: значение прямого напряжения, соответствующее пиковому току; U_v - напряжение впадины: значение прямого напряжения, соответствующее току впадины; U_{pp} - напряжение раствора: значение прямого напряжения на второй восходящей ветви ВАХ, при котором ток равен пиковому; $r_{ц}$ - сопротивление потерь; L_d - индуктивность диода.

2.2.8. **Сверхвысокочастотные диоды** - полупроводниковые диоды, предназначенные для преобразования и обработки сверхвысокочастотных сигналов. Существует широкая гамма СВЧ диодов:

Смесительный диод - СВЧ диод, предназначенный для преобразования высокочастотных сигналов в сигнал промежуточной час-

тоты.

Детекторный диод - СВЧ диод, предназначенный для детектирования сигнала.

Параметрический диод - варикап, предназначенный для применения в диапазоне СВЧ в параметрических усилителях.

Переключательный диод - полупроводниковый диод, предназначенный для применения в устройствах управления уровнем СВЧ мощности.

Ограничительный диод - полупроводниковый диод с лавинным пробоем, предназначенный для ограничения импульсов напряжения.

Умножительный диод - полупроводниковый диод, предназначенный для умножения частоты.

Генераторный диод (лавинно-пролётный диод) - полупроводниковый диод, работающий в режиме лавинного размножения носителей заряда при обратном смещении р-п перехода и предназначенный для генерации СВЧ колебаний.

Фотодиоды и магнитодиоды рассмотрены в разделе «Фото-магнитоэлектронные приборы» главы 4.

2.3.БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Транзистор - электропреобразовательный полупроводниковый прибор с одним или несколькими электрическими переходами, пригодными для усиления мощности, имеющий три или более выводов.

Биполярные транзисторы (би-2) имеют два перехода. Наружный слой - источник носителей зарядов (электронов или дырок), называется эмиттером, центральный слой - база, наружный слой, принимающий заряды - коллектор.

Биполярные транзисторы классифицируются по частоте: низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные, сверхвысокочастотные, а также по мощности - малой, средней и большой(рис.2.12).

Биполярные и полевые транзисторы подразделяют на группы: усилительные, генераторные, переключательные и импульсные. Каждая из групп характеризуется специфической системой параметров и справочных зависимостей, отражающих особенности применения транзисторов в электронной аппаратуре.

Биполярные транзисторы характеризуются входной и выходной вольт-амперными характеристиками. Зависимость между током I_0 и напряжением U_{03} во входной цепи транзистора при посто-

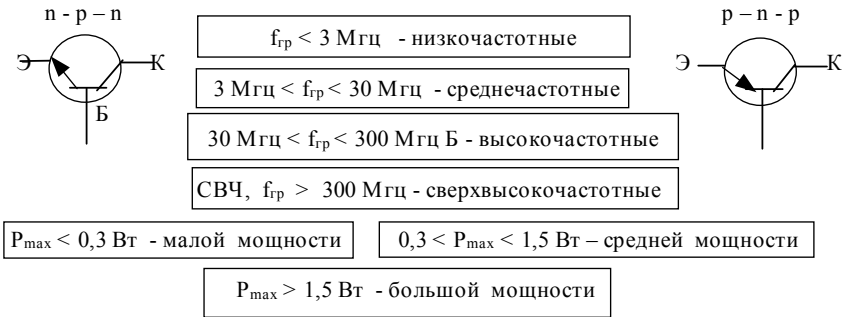


Рис. 2.12. Классификация биполярных транзисторов

янном напряжении $U_{кз}$ называют входной характеристикой (рис. 2.13-Б), а зависимость тока коллектора I_k от напряжения между коллектором I_k до напряжения между коллектором и эмиттером $U_{кз}$ при постоянном токе базы $I_б$ - его выходной, коллекторной характеристикой (рис. 2.13-В). Входная характеристика мало зависит от $U_{кз}$ и обычно приводят одну характеристику, для выходных приводят несколько.

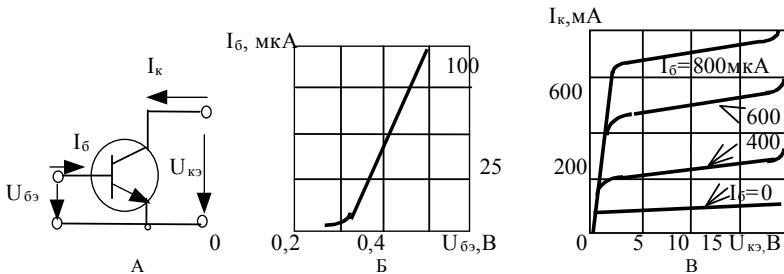


Рис. 2.13. Включение биполярного транзистора по схеме с общим эмиттером (А). Входная (Б) и семейство выходных (В) характеристик биполярного транзистора

Характеристики транзисторов сильно зависят от температуры. С увеличением температуры возрастает начальный коллекторный ток, увеличиваются усилительные свойства транзистора по току (коэффициент передачи по току). В целях увеличения допустимой мощности транзистора, для предотвращения его перегрева транзистор обычно монтируют на специальном радиаторе.

Связь между приращением эмиттерного и коллекторного тока определяется коэффициентом передачи тока:

$$\alpha = \frac{dI_k}{dI_3} \approx \frac{\Delta I_k}{\Delta I_3} (U_{кб} = \text{const}) = (0,9 - 0,995),$$

где α - меньше единицы, т.к. часть зарядов в области базы рекомбинирует, т.е. объединяется с носителем заряда противоположного знака с образованием нейтральных атомов.

$$I_k = I_{к0} + \alpha I_3 \approx I_3,$$

$$I_6 = I_3 - I_k = (1 - \alpha)I_3 - I_{к0}.$$

Малый управляющий ток базы определил широкое использование схем с **общим эмиттером** (рис. 2.13-А).

Для анализа и расчета цепей с биполярными транзисторами обычно используют h-параметры транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, электрическое состояние такого транзистора определяется величинами $I_6, U_{63}, I_k, U_{к3}$. Из практических соображений принимают в качестве независимых $U_{к3}$ и I_6 , тогда:

$$U_{63} = F_1(I_6; U_{к3}); \quad I_k = F_2(I_6; U_{к3}).$$

Входные и выходные сигналы приращения $\Delta U_{63}; \Delta I_k$, поэтому:

$$\Delta U_{63} = \frac{dF_1}{dI_6} \cdot \Delta I_6 + \frac{dF_1}{dU_{к3}} \cdot \Delta U_{к3};$$

$$\Delta I_k = \frac{dF_2}{dI_6} \cdot \Delta I_6 + \frac{dF_2}{dU_{к3}} \cdot \Delta U_{к3}$$

или

$$\Delta U_{63} = h_{113} \cdot \Delta I_6 + h_{123} \cdot \Delta U_{к3}$$

$$\Delta I_k = h_{213} \cdot \Delta I_6 + h_{223} \cdot \Delta U_{к3}$$

$h_{ик3}$ - частные производные:

$$h_{113} = \Delta U_{63} / \Delta I_6 \quad \text{при } U_{к3} = \text{const} (\Delta U_{к3} = 0);$$

$$h_{123} = \Delta U_{63} / \Delta U_{к3} \quad \text{при } I_6 = \text{const} (\Delta I_6 = 0);$$

$$h_{213} = \Delta I_k / \Delta I_6 \quad \text{при } U_{к3} = \text{const} (\Delta U_{к3} = 0);$$

$$h_{223} = \Delta I_k / \Delta U_{к3} \quad \text{при } I_6 = \text{const} (\Delta I_6 = 0);$$

h_{113} - входное сопротивление транзистора;

h_{123} - безразмерный коэффициент обратной связи по напряжению;

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

$h_{12э} = 0,0002 - 0,002$ - можно пренебречь;

$h_{21э}$ - безразмерная величина - коэффициент усиления транзистора по току базы (статический коэффициент передачи тока в схеме ОЭ);

$h_{22э}$ - проводимость выходная транзистора при постоянном токе базы.

Параметры транзистора зависят от частоты переменного напряжения. Частота, при которой параметр $h_{21э}$ уменьшается до единицы, называется граничной частотой коэффициента передачи тока $f_{гр}$.

Условиями перегрева ограничивается мощность:

$$P_{kmax} \geq I_k \cdot U_o = P_k \cdot$$

Увеличение мощности возможно улучшением теплоотвода. Ограничиваются максимальные напряжения и ток:

$$U_{кэ} \leq U_{kmax}; I_k \leq I_{kmax} \cdot$$

Приведем в качестве примера характеристики биполярных транзисторов **КТ206А** /8/:

Транзисторы кремниевые эпитаксиально-планарной структуры n-p-n усилительные предназначены для применения в усилителях и импульсных микромодулях герметизированной аппаратуры, бескорпусные с защитным покрытием и гибкими выводами. Тип прибора указывается на групповой таре.

Масса транзистора не более 0,002 г.

Изготовитель - акционерное общество «Светлана», г. Санкт-Петербург.

Электрические параметры

Статический коэффициент передачи тока в схеме ОЭ при

$U_{кб} = 1В, I_k = 5мА$ 30...90

Граничная частота коэффициента передачи тока в схеме ОЭ при

$U_{кб} = 2В, I_k = 5мА$, не менее 10 МГц

Обратный ток коллектора, не более:

при $U_{кб} = 20 В$ 1 мкА

Обратный ток эмиттера, не более:

при $U_{эб} = 20$ 1 мкА

Емкость коллекторного перехода

при $U_{кб} = 5В, f = 10МГц$, не более 20 пФ

Предельные эксплуатационные данные

Постоянное напряжение коллектор-база 20В

Постоянное напряжение коллектор-эмиттер

при $R_{БЭ} \leq 3 \text{ кОм}$	20В
Постоянное напряжение эмиттер-база:.....	20В
Постоянный ток коллектора	20мА
Постоянная рассеиваемая мощность коллектора:	
при $T = -60...+55^\circ\text{C}$	15 мВт
при $T = +85^\circ\text{C}$	5 мВт
Температура р-п перехода	$-60...+85^\circ\text{C}$

2.4. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полевой транзистор - прибор, в котором ток через канал управляется электрическим полем за счет приложения напряжения между затвором и истоком.

Канал - область прибора, сопротивление которой зависит от потенциала на затворе. Электрод, из которого в канал входят основные носители заряда, называют истоком, электрод, через который уходят заряды - стоком. Электрод, позволяющий электрическим полем регулировать поперечное сечение канала, называется затвором.

Полевые транзисторы изготавливают обычно из кремния и подразделяют на транзисторы с р-п переходом и транзисторы с изолированным затвором (рис. 2.14). В транзисторах с р-п переходом подача запирающего напряжения на р-п переход между затвором и каналом приводит к обеднению приграничных слоев канала носителями зарядов, т.е. к фактическому уменьшению проводящей ширины канала и повышению его общего сопротивления. Влияние этого напряжения $U_{зи}$ отражено переходной характеристикой полевого транзистора.

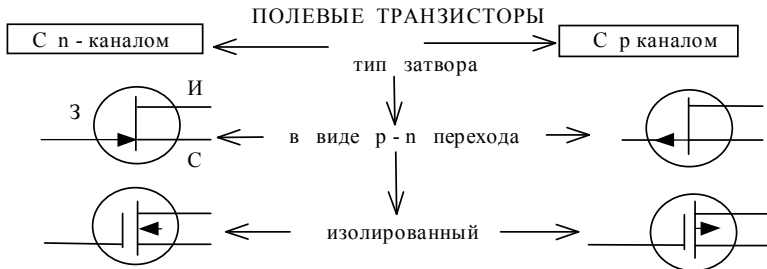


Рис. 2.14. Классификация и условные графические обозначения полевых транзисторов

Зависимость тока стока I_c от напряжения $U_{зи}$ при постоянном

напряжении на затворе $U_{зи}$ определяют выходные (стоковые) характеристики (рис. 2.15), почти аналогичные выходным характеристикам биполярных транзисторов.

Ток утечки затвора I_3 очень мал ($10^{-8} \dots 10^{-7}$ А), т.к. при $U_{зи} < 0$ p-n переход между затвором и каналом закрыт, и обычно током утечки пренебрегают.

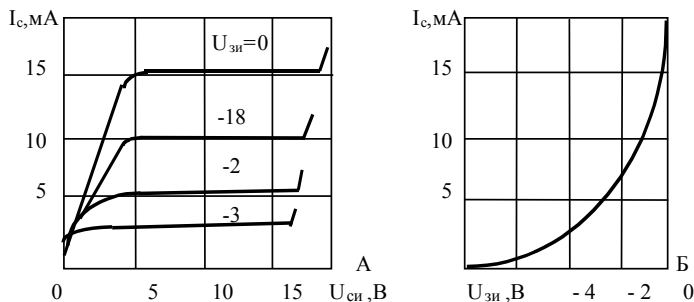


Рис. 2.15. Семейство выходных (А) и переходная (Б) характеристики полевого транзистора с каналом n-типа

В полевом транзисторе с изолированным затвором между металлическим затвором и каналом находится тонкий слой диэлектрика (**МДП-транзисторы** - металл-диэлектрик-полупроводник). В **МОП-транзисторах** (металл-окисел-полупроводник) в качестве диэлектрика обычно используют окись кремния.

Изолированный затвор позволяет работать в области положительных напряжений на затворе $U_{зи} > 0$, в которой происходит расширение канала и увеличение тока стока I_c .

Основные параметры полевых транзисторов:

Крутизна переходной характеристики S:

$$S = dI_c / dU_{зи} \quad \text{при } U_{си} = \text{const.}$$

Дифференциальное сопротивление стока (канала) на участке насыщения:

$$R = \frac{\Delta U_{си}}{dI_c} \quad \text{при } U_{зи} = \text{const.}$$

В качестве примера приведем характеристики полевого транзистора 2П310А /8/ :

Транзисторы кремниевые и диффузионно-планарные полевые с изолированным затвором и каналом n-типа предназначены для применения в приемно-передающих устройствах сверхвысокочас-

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

точного диапазона. Выпускаются в металlostеклянном корпусе с гибкими выводами. На торцевую поверхность баллона каждого транзистора наносится красная точка.

Масса транзистора не более 0,7 г.

Изготовитель - НПП «Восток», г. Новосибирск.

Электрические параметры.

Коэффициент шума на частоте $f = 1$ ГГц при

$U_{си} = 5$ В, $I_c = 5$ мА:

5...6 дБ

Коэффициент усиления по мощности на частоте $f = 1$ ГГц при

$U_{си} = 5$ В, $I_c = 5$ мА

5...7 дБ

Крутизна характеристики при

$U_{си} = 5$ В, $I_c = 5$ мА, $f=50...1500$ Гц; $T = +25$ °С

3...6 мА/В

типичное значение

4 мА/В

$T = -60$ °С

1,5...6 мА/В

типичное значение

4,2 мА/В

$T = +125$ °С

1,5...4,7 мА/В

типичное значение

3,5 мА/В

Начальный ток стока при $U_{си} = 5$ В, $U_{зи} = 0$:

$T = +25$ °С

0,35...5 мА

типичное значение

0,1 мА

$T = -60$ °С, не более

15 мА

$T = +125$ °С, не более

8 мА

Остаточный ток стока при $U_{си} = 5$ В, $U_{си} = -5$ В.

1...100 мкА

типичное значение

10 мкА

ток утечки затвора при $U_{зи} = -10$ В

10^{-4} ...3 нА

типичное значение

1 нА

Входная емкость при $U_{си} = 5$ В, $U_{зи} = 0$,

$f = 10$ МГц

1,4...2,5 пФ

типичное значение

1,8 пФ

Проходная емкость при $U_{си} = 5$ В, $U_{зи} = 0$,

$f = 10$ МГц

0,2...0,5 пФ

типичное значение

0,3 пФ

Выходная емкость при $U_{си} = 5$ В, $U_{зи} = -1$ В,

$f = 10$ МГц

1,2...2 пФ

типичное значение

1,4 пФ

Предельные эксплуатационные данные

Напряжение сток-исток

8 В

Напряжение затвор-сток

10 В

Напряжение затвор-исток

10 В

Ток стока.

20 мА

Постоянная рассеиваемая мощность 5^1

при $T = -60...+125\text{ }^\circ\text{C}$ 80 мВт

Температура окружающей среды $-60...+125\text{ }^\circ\text{C}$

Минимальное расстояние места изгиба выводов от корпуса транзистора 3 мм, радиус изгиба не менее 1,5 мм.

Пайка выводов транзистора допускается не ближе 3 мм от корпуса. Пайку производить отключенным от сети паяльником мощностью не более 60 Вт. В момент пайки все выводы транзистора должны быть закорочены. При работе с транзисторами необходимо принимать меры по их защите от статического электричества.

Полевые транзисторы могут работать на частотах до нескольких сотен мегагерц, применяют в усилительных каскадах с высоким входным сопротивлением, в ключевых и логических схемах.

2.5. ТИРИСТОРЫ

Тиристор - полупроводниковый прибор с тремя или более р-п переходами, в вольт-амперной характеристике которого имеется участок отрицательного дифференциального сопротивления. Материал тириستоров - обычно кремний (рис.2.16).

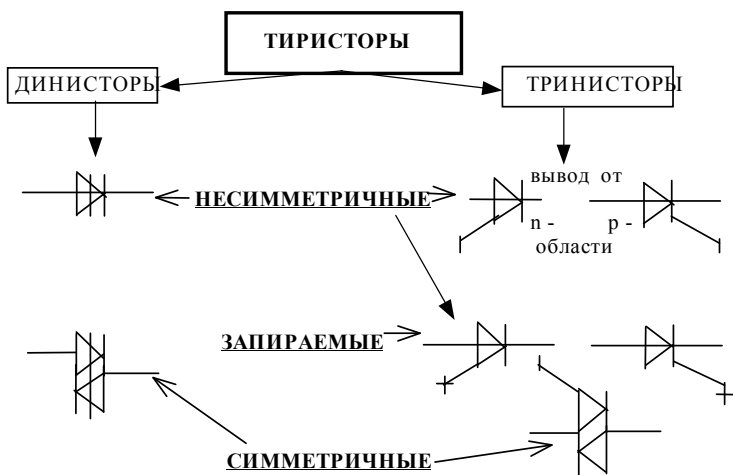


Рис. 2.16. Классификация и условные графические обозначения тиристоров

¹ В диапазоне температур $+25...+125\text{ }^\circ\text{C}$ мощность рассчитывается по формуле $P_{\text{макс}} = 80 - 0,55(t - 25\text{ }^\circ\text{C})$, мВт, где $t\text{ }^\circ\text{C}$ - температура окружающей среды при эксплуатации прибора.

Диодный тиристор - динистор имеет 2 вывода. Триодный тиристор - тринистор имеет третий управляющий электрод.

Тиристоры имеют четырехслойную структуру с тремя p-n переходами.

Центральный переход обычно закрыт, и к нему приложено все напряжение питания. Включение тиристора происходит при критическом напряжении $U_{вкл}$, которое приводит к лавинообразному размножению движущихся зарядов в закрытом до этого переходе (рис. 2.17-Б).

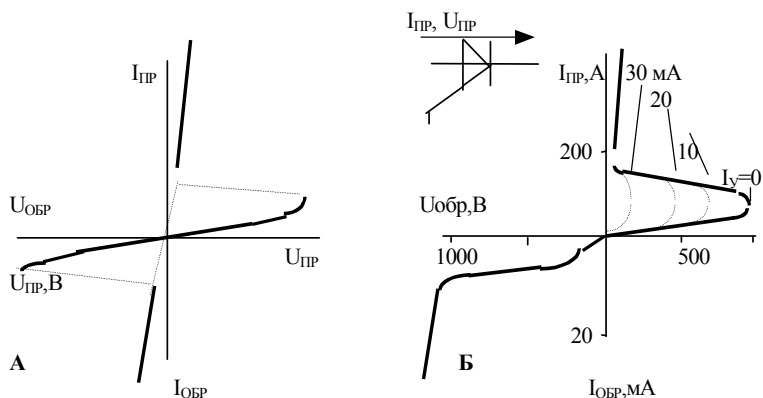


Рис. 2.17. Вольт – амперные характеристики симметричного (А) и несимметричного (Б) тиристоров

Происходит переключение тиристора, напряжение снижается до 0,5-1В, ток в приборе нарастает в соответствии с вертикальным участком вольтамперной характеристики. При уменьшении тока восстанавливается высокое сопротивление центрального перехода, время восстановления после снятия напряжения обычно 10-30 мкс.

Напряжение $U_{вкл}$ может быть снижено введением неосновных носителей заряда в любой из слоев, прилегающих к центральному закрытому переходу. Эти добавочные носители заряда увеличивают число актов ионизации атомов в переходе, в связи с чем напряжение включения $U_{вкл}$ уменьшается.

Добавочные носители заряда вводятся через управляющий электрод триодного тиристора от независимого источника питания (рис. 2.17-Б). Ток управления на несколько порядков ниже основного тока тиристора.

В симметричных тиристорах открывание происходит в прямом

и в обратном направлениях (рис. 2.17-А). Это достигается встречно-параллельным включением двух одинаковых четырехслойных структур. В несимметричных при подаче обратного напряжения возникает небольшой ток. Во избежание пробоя тиристора в обратном направлении необходимо, чтобы обратное напряжение было меньше $U_{обр. max}$.

Промышленность выпускает тиристоры на токи 1-2000 А и напряжение 100-4000 В. Тиристоры широко применяют в управляемых выпрямителях, инверторах, регуляторах сварочного тока.

Основные параметры различных видов тиристоров приведены в ГОСТ 20332-84 «Тиристоры. Термины, определения и буквенные обозначения параметров»: $I_{oc. cp. max}$ - максимально допустимый средний ток в открытом состоянии; $I_{oc. д. max}$ - максимально допустимый действующий ток в открытом состоянии (для симисторов); $I_{зп}$ - запираемый импульсный ток (для запираемых тиристоров); $I_{oc. п}$ - повторяющийся импульсный ток в открытом состоянии: наибольшее мгновенное значение тока в открытом состоянии тиристора, включая все повторяющиеся переходные токи; $U_{зс. п}$ - повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии: наибольшее мгновенное значение напряжения в закрытом состоянии, прикладываемого к тиристор, включая только повторяющиеся переходные напряжения; $U_{зс. max}$ - максимально допустимое постоянное напряжение в закрытом состоянии; $U_{от}$ - наименьшее значение прямого напряжения, необходимое для переключения динистора из закрытого состояния в открытое; $U_{обр. п}$ - повторяющееся импульсное обратное напряжение: наибольшее мгновенное значение обратного напряжения, прикладываемого к тиристор, включая только повторяющиеся переходные напряжения; $U_{обр. max}$ - максимально допустимое постоянное обратное напряжение; $I_{oc. удр}$ - ударный неповторяющийся ток в открытом состоянии: наибольший импульсный ток в открытом состоянии, протекание которого вызывает превышение максимально допустимой температуры перехода, но воздействие которого за время службы тиристора предполагается редким, с ограниченным числом повторений; $U_{oc. и}$ - импульсное напряжение в открытом состоянии: наибольшее мгновенное значение напряжения в открытом состоянии, обусловленное импульсным током в открытом состоянии заданного значения; U_{oc} - постоянное напряжение в открытом состоянии; $I_{зс. п}$ - повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии: импульсный ток в закрытом состоянии, обусловленный повторяющимся напряжением

ем; $I_{дс}$ - постоянный ток в закрытом состоянии; $I_{обр.п}$ - повторяющийся импульсный обратный ток: импульсный обратный ток, обусловленный повторяющимся импульсным обратным напряжением; $I_{обр.}$ - постоянный обратный ток; $I_{в.от.}$ - отпирающий постоянный ток управления: наименьший постоянный ток управления, необходимый для включения тиристора; $U_{в.от.}$ - отпирающее постоянное напряжение управления: напряжение управления, соответствующее $I_{в.от.}$; $I_{в.от.п}$ - отпирающий импульсный ток управления; $U_{в.от.п}$ - отпирающее импульсное напряжение управления; $I_{в.з.п}$ - запирающий импульсный ток управления: наименьший импульсный ток управления, необходимый для выключения тиристора; $U_{в.з.п}$ - запирающее импульсное напряжение управления; $v_{кр}$ - скорость нарастания тока в открытом состоянии; $v_{кр.з}$ - критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии: наибольшее значение скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии, которое не вызывает переключения тиристора из закрытого состояния в открытое; $v_{кр.к}$ - критическая скорость нарастания коммутационного напряжения: наибольшее значение скорости нарастания основного напряжения, которое непосредственно после нагрузки током в открытом состоянии в противоположном направлении не вызывает переключения симистора из закрытого состояния в открытое; $t_{вкл}$ - время включения; $t_{нр}$ - время нарастания; $t_{выкл}$ - время выключения; f_{max} - максимально допустимая частота следования тока; $R_{пк}$ - тепловое сопротивление переход-корпус; $R_{ск}$ - тепловое сопротивление переход-среда.

ГЛАВА 3 МИКРОСХЕМЫ

Комплектуемое изделие, созданное на основе принципов элементной интеграции - объединение в одном сложном миниатюрном элементе многих простейших (резисторов, диодов, транзисторов и т.д.), называют **интегральной микросхемой (ИМС)**.

В соответствии с терминологией в микроэлектронике согласно ГОСТ 17021-88: *Интегральная микросхема* - микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования, обработки сигнала и (или) накопления информации и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и (или) кристаллов, которое с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуата-

ции рассматривается как единое целое.

Объединение в единое изделие большого количества элементов повышает надежность устройства, уменьшает интенсивность отказов. Повышение надежности определяется технологией изготовления ИМС, приводящей к резкому снижению количества отдельных компонентов в электронном устройстве, количества соединенных простейших элементов на качественно новой основе.

Степень интеграции ИМС « $K=lgN$ », где K - коэффициент, показывающий степень интеграции, значение которого округляется до ближайшего большого целого числа; N - число элементов, в том числе содержащихся в составе компонентов, входящих в интегральную микросхему. Это степень сложности микросхемы. Если в ИМС входит не более 10 элементов, то это называют ИМС первой степени интеграции, если 11-100 элементов и компонентов - ИМС второй степени интеграции. Для четвертой степени интеграции количество элементов и компонентов должно находиться в пределе 1001-10000. Большие ИМС (БИС) как правило имеют третью или четвертую степень интеграции.

По технологии изготовления различают гибридные и полупроводниковые микросхемы.

3.1. ГИБРИДНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Гибридные интегральные микросхемы (ГИМС) объединяют в одном корпусе на изоляционном основании пленочные и навесные элементы. ГИМС содержит кроме элементов простые и сложные компоненты, например, полупроводниковые микросхемы.

Изоляционное основание - стекло, керамика или другой диэлектрик.

Пленочные элементы - нанесенные на основание методом напыления проводники, резисторы, конденсаторы небольшой емкости.

Навесные элементы - бескорпусные полупроводниковые приборы (диоды, транзисторы и т.д.), трансформаторы, дроссели, конденсаторы большой емкости.

Корпус - пластиковый или металлический, обычно герметичный.

Для изготовления тонкопленочных элементов (проводников, резисторов, конденсаторов, изоляционных покрытий) широко используется метод термического напыления в вакууме, позволяющий получить пленки толщиной до 1 мкм. Проводники обычно выполняют из алюминия, меди, золота, для обеспечения адгезии с

изоляционным основанием предварительно наносят подслои никеля, хрома или титана. Пленочные резисторы выполняют из чистого хрома, тантала или нихрома, а также из металлодиэлектрических смесей, например, из хрома и монооксида кремния.

Плотность упаковки при многослойном расположении в гибридной интегральной микросхеме может достигать 60-100 пассивных и активных элементов на 1 см^2 .

Согласно ГОСТ 17021-88: компонент интегральной микросхемы - часть интегральной микросхемы, реализующая функции какого-либо электрорадиоэлемента, которая может быть выделена как самостоятельное изделие с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации. Компонент является частью гибридной микросхемы.

3.2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Полупроводниковые интегральные микросхемы (ПИМС) - микросхемы, все элементы и межэлементные соединения которых выполнены в объеме и на поверхности полупроводника. В едином кристалле полупроводника отдельные области выполняют функции транзистора, диода, резистора или конденсатора.

Транзисторы в полупроводниковых микросхемах представляют трехслойные структуры с двумя p-n переходами, диоды - двухслойные структуры с одним p-n переходом, либо транзисторы в диодном включении. Роль конденсатора выполняют p-n переходы, запертые обратным постоянным напряжением. Емкость таких конденсаторов обычно не превышает 100-200 пФ, чаще менее 50 пФ.

Резисторы представляют собой участки легированного полупроводника с двумя выводами. Дроссели в полупроводниковом кристалле создать очень трудно, поэтому устройства проектируются так, чтобы исключить индуктивные элементы.

Соединение элементов в микросхемах осуществляют золотыми или алюминиевыми пленками, нанесенными методами вакуумного напыления через маски соответствующей формы. Соединение микросхемы с внешними выводами осуществляется золотыми или медными проводниками диаметром около 10 мкм. Собранный ПИМС помещают в металлический или пластмассовый корпус. ПИМС могут рассеивать мощность порядка 50-100 мВт, работать до частот 20-100 МГц, обеспечивать время распространения сигнала через микросхему 2-5 нс.

Надежность ПИМС велика, время безотказной работы достигает $(2...5)10^7$ час. Плотность монтажа - до 500 активных и пассивных элементов в 1 см^3 .

Обозначение по ГОСТ 194 80-74 (СТ СЭВ 1817-79) состоит из 4 элементов:

1) элемент - цифра - конструктивно-технологическая группа ИМС. Цифры 1,5,7 обозначают полупроводниковые ИМС; 2,4,6,8 - гибридные ИМС; 3- прочие.

2) элемент обозначения - две цифры от 00 до 99, указывает номер серии.

3) элемент - две буквы - функциональное назначение ИМС.

4) элемент - порядковый номер разработки ИМС в серии.

В маркировке микросхем, предназначенных для широкого применения, перед всеми элементами обычно ставят индекс «К».

Например К 153УД5 - операционный усилитель в виде ПИМС, серия 153, порядковый номер разработки в серии 5.

По функциональному назначению ИМС делятся на 2 класса:

а) линейно-импульсные или аналоговые ИМС;

в) логические или цифровые ИМС.

Аналоговые и цифровые ИМС изготавливают обычно сериями.

Серия - это совокупность ИМС, выполняющих различные функции, но имеющие единое конструктивно-технологическое исполнение, предназначенное для совместного применения в радиоэлектронной аппаратуре.

3.2.1. Аналоговые интегральные микросхемы

Аналоговые интегральные микросхемы - микросхемы, предназначенные для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции. Линейно-импульсные схемы обеспечивают примерно пропорциональную зависимость между входным и выходным сигналами. К основным параметрам таких схем относятся: коэффициент усиления по напряжению k_y ; входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивление; максимальное выходное напряжение $U_{вых.макс}$; рабочий частотный диапазон f_n и f_b , где f_n и f_b - соответственно нижняя и верхняя рабочие частоты. Особенностью аналоговых ИМС является большее по сравнению с цифровыми число параметров, требуемое для их правильного применения, сложность внутренней структуры и необходимость нескольких источников питания. Как правило, для выполнения заданной функции аналоговые ИМС требуют подключения внешних элементов,

число которых иногда значительно.

На рис. 3.1 приведена классификация аналоговых ИМС широкого применения. Дадим краткую информацию об основных аналоговых микросхемах.

Усилители предназначены для усиления напряжения, тока и мощности. Усилители на микросхемах имеют малые размеры и массу, экономичны, обладают высокой чувствительностью, быстродействием, надежностью.

Операционным называется усилитель (ОУ), предназначенный для выполнения математических операций при использовании его в схеме с обратной связью. Однако область его использования значительно шире. В измерительных устройствах, где необходимо усиливать без искажения слабые электрические сигналы датчиков, применяются прецизионные ОУ. Разработаны универсальные и быстродействующие ОУ, мощные и высоковольтные, регулируемые и многоканальные.

Электронным генератором гармонических колебаний называется устройство, преобразующее энергию источника постоянного тока в энергию электромагнитных колебаний синусоидальной формы, требуемой частоты и мощности.

Аналоговые ключи и коммутаторы в устройствах электроники, автоматики и вычислительной техники предназначены для управляемой передачи аналоговой информации от датчиков к исполнительным механизмам. Основным параметром является коммутируемый ток и максимально допустимое напряжение, время переключения ключа.

Интегральные стабилизаторы напряжения предназначены для фиксации напряжения питания во всех звеньях электронной аппаратуры. Основными параметрами являются: коэффициент неустойчивости по напряжению, коэффициент неустойчивости по току, коэффициент сглаживания пульсаций.

Аналоговые перемножители - модуляторы (АП) предназначены для перемножения двух аналоговых величин и поэтому могут быть использованы для построения умножителей частоты, фазовых детекторов, балансных модуляторов, а также в системах автоматического регулирования в качестве перемножителей и схем возведения в степень. Совместно с ОУ АП могут выполнять деления, извлечение корней и выделение тригонометрических функций.

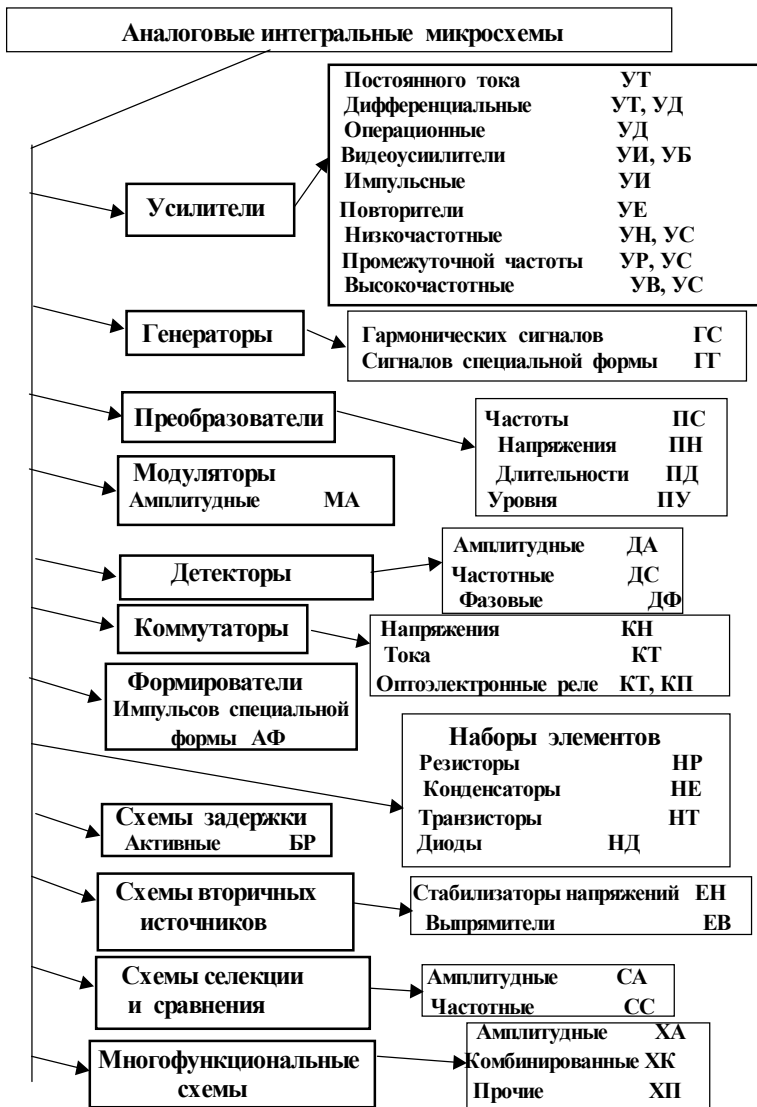


Рис. 3.1. Классификация аналоговых интегральных микросхем широкого применения

3.2.2. Цифровые интегральные микросхемы

Логические или цифровые микросхемы служат для преобразования и обработки электрических сигналов, изменяющихся по закону дискретных функций. Цифровые микросхемы представляют собой электронные устройства, позволяющие строить практически все узлы и блоки ЭВМ, в которых вся информация представлена в двоичном коде. Переменные величины и функции, принимающие только два значения - 0 и 1, называются логическими переменными и логическими функциями. Свойства логических функций изучает алгебра логики, а устройства, реализующие эти функции, называют логическими или цифровыми.

На рис. 3.2 приведена классификация цифровых ИМС широкого применения.

Логические элементы (ЛЭ) выполняют простейшие логические операции над цифровой информацией. Наибольшее распространение получили логические элементы (ЛЭ), реализующие функции «НЕ», «ИЛИ», «И», «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ». Основными электрическими параметрами базовых ЛЭ являются: быстродействие, потребляемая мощность, помехоустойчивость.

Триггеры. На основе логических элементов могут быть построены сложные функциональные узлы: сумматоры, триггеры, счетчики, регистры. Все современные серии цифровых микросхем, как правило, включают различные типы триггеров, представляющих устройство с двумя устойчивыми состояниями. Это свойство триггеров широко используется для запоминания информации (запоминающие устройства), в схемах управления.

Компаратором называется устройство, позволяющее сравнивать два напряжения. Триггер Шмидта - компаратор, у которого уровни включения и выключения не совпадают.

Элементы запоминающих устройств предназначены для хранения информации. Различают элементы оперативной (ОЗУ) и постоянной памяти (ПЗУ).

Элементы арифметических устройств объединяют сумматоры, счетчики, шифраторы, дешифраторы, регистры.

Регистры (register - журнал записей) предназначены для записи и хранения дискретного «слова» - двоичного числа или другой кодовой информации.

Шифраторы предназначены для перевода обычной информации в двоичный код, дешифраторы (декодеры) служат для распознавания кодовых комбинаций.

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

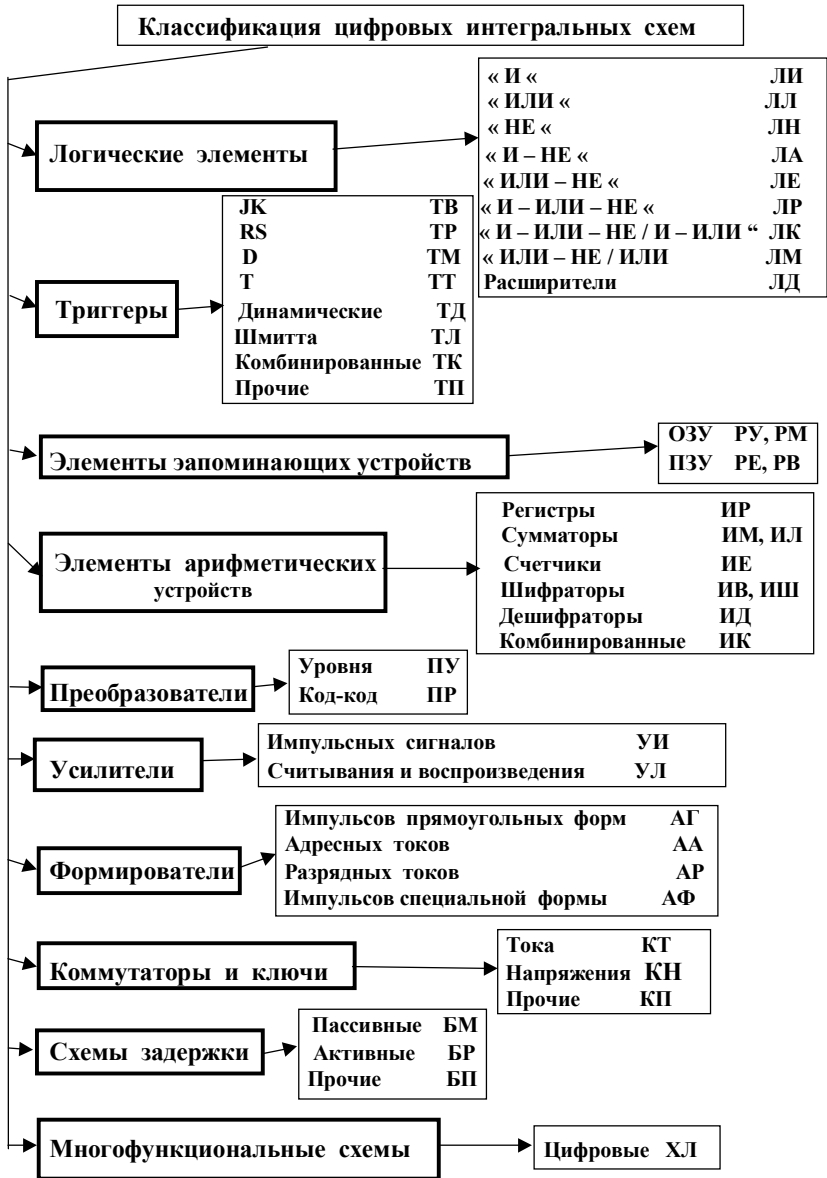


Рис. 3.2. Классификация цифровых интегральных схем широкого применения

Цифровые счетчики импульсов реализуют счет и фиксацию входных импульсов в каком-либо коде.

ГЛАВА 4

ПРОЧИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

4.1. ПРИБОРЫ ПЬЕЗОЭЛЕКТРОНИКИ

Прямой *пьезоэлектрический эффект (пьезоэффект)* состоит в том, что при давлении на кристаллические тела, называемые *пьезоэлектриками*, на противоположных гранях этих тел возникают равные по величине, но разные по знаку электрические заряды. Если изменить направление деформации, т.е. не сжимать, а растягивать пьезоэлектрик, то заряды на гранях изменят знак на обратный.

Пьезоэлектрической эффект был открыт в 1880 г. французскими учеными братьями П.Кюри и Ж.Кюри. Слово «пьезоэлектричество» означает «электричество от давления».

Кроме прямого пьезоэффекта применяется и *обратный пьезоэффект*, который состоит в том, что под действием электрического поля пьезоэлектрик сжимается или расширяется в зависимости от направления вектора напряженности поля. У кристаллических пьезоэлектриков интенсивность прямого и обратного пьезоэффекта зависит от того, как направлена относительно осей кристалла механическая сила или напряженность электрического поля.

К пьезоэлектрикам относятся некоторые естественные или искусственные кристаллы, например, кварц или сегнетова соль, а также специальные пьезокерамические материалы, например, титанат бария. Для практических целей применяют пьезоэлектрики различной формы: прямоугольные или круглые пластинки, цилиндры, кольца. Из кристаллов такие пьезоэлементы вырезают определенным образом, соблюдая при этом ориентировку относительно осей кристалла. Пьезоэлемент помещают между металлическими обкладками или наносят металлические пленки на противоположные грани пьезоэлемента.

Если к такому пьезоэлементу подвести переменное напряжение, то пьезоэлемент за счет обратного пьезоэффекта будет совершать механические колебания. В этом случае энергия электрических колебаний превращается в энергию механических колебаний с частотой, равной частоте приложенного переменного напряжения. Так как пьезоэлемент обладает определенной частотой собственных ме-

ханических колебаний, то может наблюдаться явление резонанса. Наибольшая амплитуда колебаний пластинки пьезоэлемента получается при совпадении частоты внешней ЭДС с собственной частотой колебаний пластинки.

При воздействии внешней переменной механической силы на пьезоэлементе возникает переменное напряжение той же частоты. В этом случае механическая энергия преобразуется в электрическую и пьезоэлемент становится генератором переменной ЭДС.

Каждый пьезоэлемент эквивалентен колебательному контуру. В эквивалентной схеме пьезоэлемента на рис. 4.1 индуктивность L отражает инерционные свойства пьезоэлектрической пластинки, емкость C характеризует упругие свойства пластинки и активное сопротивление, R - потери энергии при колебаниях. Емкость C_0 , называемая статической, представляет собой обычную емкость между обкладками пьезоэлемента и не связана с его колебательными свойствами.

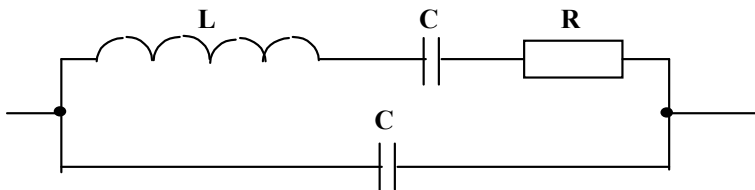


Рис. 4.1. Эквивалентная схема пьезоэлемента

На рис. 4.2 представлена классификация приборов пьезоэлектроники. К пьезоэлектрическим приборам относится **кварцевый резонатор**, имеющий очень высокую стабильность частоты колебаний. Кварцевые резонаторы широко используются в качестве эталонов частоты, в приборах для измерения частоты, в электронных часах для обеспечения высокой точности хода. Из кварцевых резонаторов составлены полосовые электрические фильтры, пропускающие весьма узкую полосу частот.

Обширную группу пьезоэлектрических приборов представляют различные пьезодатчики, реагирующие на температуру, давление, перемещение, ускорение. В большинстве случаев работа таких датчиков основана на том, что даже небольшие изменения геометрических размеров пьезоэлемента дают заметное изменение его резонансной частоты. На использовании прямого пьезоэффекта рабо-

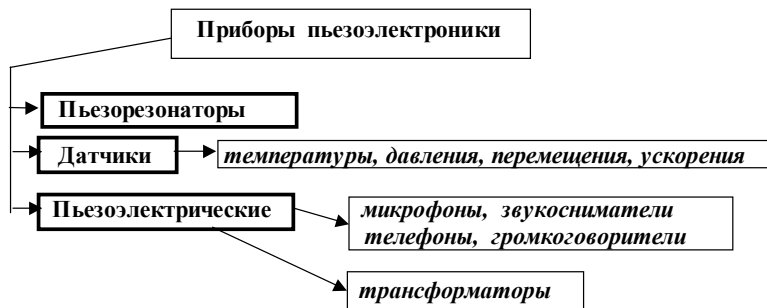


Рис. 4.2. Классификация приборов пьезоэлектроники

тают пьезоэлектрические микрофоны и звукосниматели. Значительный интерес представляют *пьезоэлектрические трансформаторы* (ПЭТ), в которых пьезоэлемент имеет три или большее число электродов, подключенных к источнику переменного напряжения и нагрузке, либо к нескольким источникам и нескольким нагрузкам.

4.2. АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

В акустоэлектронике для преобразования акустических колебаний в электрические и обратно широко используется прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Ультразвуковые волны, распространяясь в твердом теле, вызывают колебания кристаллической решетки, что приводит к колебательным изменениям внутрикристаллических электрических полей. Возникновение в металле или полупроводнике тока или ЭДС под воздействием ультразвуковых волн называют акустоэлектрическим эффектом. Акустоэлектрический эффект вызывается действием объемных ультразвуковых волн в толще звукопровода, либо поверхностных акустических волн (ПАВ). Преимущества ПАВ - сравнительно небольшая скорость распространения (1,6 - 4,0 км/с) и возможность взаимодействия с планарными структурами в виде пленок на поверхности звукопровода.

На рис. 4.3 представлена классификация акустоэлектронных приборов.

К акустоэлектронным приборам на ПАВ относятся линии задержки, полосовые фильтры, резонаторы, различные датчики и др. Принцип устройства таких приборов показан на рис. 4.4. В качестве звукопровода 1 обычно применяется пластина, или стержень, или провод из пьезоэлектрического материала (например, ниобат лития LiNbO_3 , пьезокварц SiO_2 , германат висмута $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, пье-



Рис. 4.3. Классификация приборов акустоэлектроники

зокерамика) с тщательно отполированной поверхностью, на которой расположены электромеханические преобразователи: входной (2) и выходной (3). Эти преобразователи обычно выполняются в виде гребенчатых электродов из тонкой металлической пленки толщиной 0,1-0,5 мкм. Их называют *встречно-штыревыми преобразователями* (ВШП). К входному ВШП подключен источник электрического сигнала, и в звукопроводе возникает ПАВ. А в выходном преобразователе, к которому подключена нагрузка, возникает электрический сигнал.

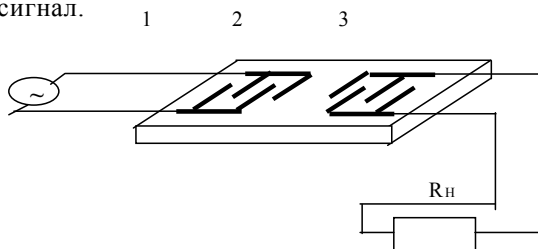


Рис. 4.4. Принцип устройства акустоэлектронного прибора на действии поверхностных акустических волн (ПАВ)

Основные параметры преобразователей на ПАВ - вносимое затухание, входное и выходное сопротивление, частотная избирательность, полоса пропускаемых частот. Все эти параметры зависят главным образом от устройства ВШП.

Параметры фильтров на ПАВ не хуже, чем у LC-фильтров. В некоторых случаях фильтры на ПАВ обладают преимуществами. Так, например, в усилителях промежуточной частоты телевизионных приемников должны быть точно настроены фильтры. Это про-

ще сделать с фильтрами на ПАВ, а не с LC-фильтрами. Кроме того, производство фильтров на ПАВ легче автоматизировать.

Различные внешние воздействия на звукопровод изменяют условия распространения в нем ПАВ, и по этому принципу могут быть построены различные датчики. Под действием механических сил звукопровод растягивается или изгибается, и от этого изменяется время задержки. Кроме того, механические воздействия изменяют плотность и упругость звукопровода, и тогда изменяется скорость распространения волн. Она зависит также и от температуры. На этом основаны датчики для измерения силы, давления, температуры.

4.3. МАГНИТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

На рис. 4.5 представлена классификация магнитоэлектронных приборов.

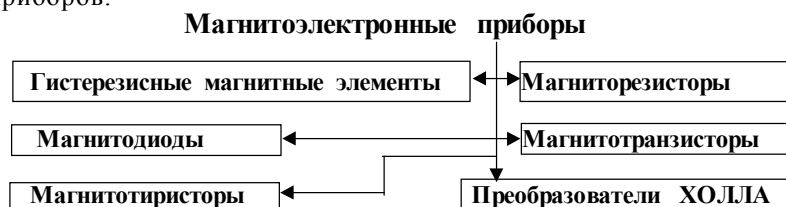


Рис. 4.5. Классификация магнитоэлектронных приборов

В гистерезисных магнитных элементах используется свойство магнитных сердечников намагничиваться и перемагничиваться. Магнитные сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса используются в магнитных двоичных ячейках (МДЯ, рис.4.6). Эти ячейки служат для запоминания информации. Для запоминания информации в управляющую обмотку W_y подается импульс тока такой величины и направления, чтобы сердечник намагничивался до величины остаточной магнитной индукции $+B_{max}$. После окончания импульса эта намагниченность остается на любой длительный срок. Таким образом в сердечник ввели кодовую информацию $+1$. Если надо записать ноль, то

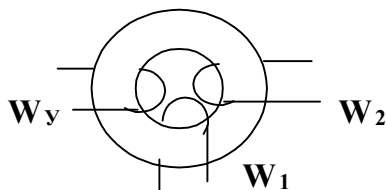


Рис. 4.6. Магнитная двоичная ячейка (МДЯ)

Если надо записать ноль, то

импульс либо не подается на размагниченный сердечник, либо меняет свое направление так, чтобы перемагнитить сердечник до значения магнитной индукции $-V_{\max}$.

Для считывания информации в обмотку W_1 подается импульс такой величины и направления, чтобы намагнитить сердечник до значения V_{\max} . Если записан 0, то от такого импульса магнитная индукция сердечника не изменится, в выходной обмотке W_2 индуцируется незначительная ЭДС, что означает, что в МДЯ записан 0. Но если записана 1 (сердечник намагничен до $+V_{\max}$), то при подаче считывающего импульса магнитная индукция в сердечнике изменится от $+V_{\max}$ до $-V_{\max}$, т.е. $2V_{\max}$, что вызовет в обмотке W_2 значительный импульс ЭДС, соответствующий цифре 1. МДЯ обычно работает с диодами или транзисторами, образуя феррит-диодные или феррит-транзисторные ячейки. Недостаток простейших МДЯ - после считывания информация уничтожается. В более современных магнитных элементах сердечник имеет два или более отверстия, называемые трансфлюксорами, записанная информация в них сохраняется независимо от считывания.

Магниторезисторы - это полупроводниковые резисторы, у которых электрическое сопротивление зависит от действующего на резистор магнитного поля. Изменение электрического сопротивления под действием поперечного магнитного поля называют *магниторезистивным эффектом (эффектом Гаусса)*.

Основные параметры магниторезисторов: номинальное сопротивление при отсутствии магнитного поля; отношение сопротивления при действии магнитного поля с определенным значением магнитной индукции к номинальному сопротивлению; температурный коэффициент сопротивления и максимальная допустимая мощность рассеяния.

Магниторезисторы применяются в измерительной технике, в частности для измерения магнитной индукции, в качестве бесконтактных датчиков перемещений, в бесконтактных выключателях и переключателях, их используют в регуляторах громкости высококачественной радиоаппаратуры, в качестве датчиков угла поворота в специальных устройствах автоматики и т.п.

Магнитодиоды представляют собой полупроводниковые диоды, у которых вольт-амперная характеристика изменяется под действием магнитного поля. У обычных полупроводниковых диодов тонкая база и магнитное поле незначительно изменяют вольт-амперную характеристику. А магнитодиоды имеют **толстую** («длин-

ную») базу, в которой длина пути тока много больше диффузной длины инжектированных в базу носителей. Под диффузной длиной понимается расстояние, которое успевают пройти носители заряда до уменьшения их количества в e раз ($e = 2,718$ - основание натурального логарифма). Обычно толщина базы составляет несколько миллиметров. В этом случае сопротивление базы соизмеримо с прямым сопротивлением p-n - перехода. При увеличении индукции поперечного магнитного поля сопротивление базы значительно возрастает, подобно тому как это происходит в магниторезисторе. Возрастает общее сопротивление диода, и прямой ток уменьшается. Такой **магнитодиодный эффект** наглядно показывают вольт-амперные характеристики магнитодиода, которые показывают, что с повышением магнитной индукции прямой ток уменьшается.

Магнитодиоды нашли широкое и разнообразное применение в бесконтактных кнопках и клавишах, служащих для ввода информации; в качестве датчиков положения движущихся предметов; для считывания магнитной записи информации; для измерений и контроля различных неэлектрических величин. На магнитодиодах могут быть построены бесконтактные реле тока. Схема на магнитодиодах может заменять коллектор у электродвигателя постоянного тока.

Магнитотранзисторы представляют собой транзисторы, у которых характеристики и параметры изменяются под влиянием магнитного поля.

Представляют интерес **магнитотристоры**, у которых напряжение включения можно изменять, воздействуя внешним магнитным полем. При отсутствии магнитного поля магнитотристоры имеют некоторое среднее напряжение включения. Увеличивая напряженность магнитного поля в одном направлении, можно повысить напряжение включения, а в противоположном направлении - понизить.

Преобразователи Холла. В последние годы значительное развитие получила полупроводниковая магнитоэлектроника, основанная на **гальваномагнитных явлениях**. Эти явления представляют собой результат воздействия магнитного поля на электрические свойства полупроводников, по которым протекает электрический ток. Важнейшее из гальваномагнитных явлений - **эффект Холла**. Он состоит в том, что при протекании тока в полупроводнике возникает поперечная разность потенциалов, если на этот полупроводник действует магнитное поле, вектор которого перпендикуля-

рен направлению тока (рис. 4.7).

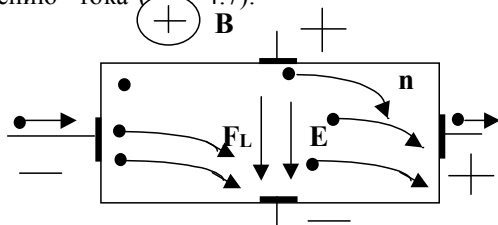


Рис. 4.7. Влияние эффекта Холла на траекторию электронов в полупроводнике n – типа

Эффект Холла объясняется тем, что на подвижные носители заряда в магнитном поле действует сила Лоренца, которая вызывает их отклонение. Рассмотрим для примера это явление в полупроводнике n-типа. Все сказанное ниже об электронах можно повторить и для дырок. Электроны под действием силы Лоренца отклоняются к одной из граней полупроводниковой пластинки. На этой грани возникает отрицательный заряд, а на противоположной грани, откуда электроны уходят - положительный заряд. Между электродами на этих гранях создается разность потенциалов и электрическое поле, которое противодействует смещению электронов под влиянием силы Лоренца. Когда сила, действующая на электрон со стороны поля, становится равной силе Лоренца, дальнейшее смещение электронов прекращается и наступает равновесное состояние. Сила действия поля равна qE , а сила Лоренца - qvB , где q - заряд электрона, E - напряженность поля, v - скорость поступательного движения электронов. Из равенства этих сил вытекает, что $E = vB$. Выразив E как U_H/d , где U_H - напряжение Холла между электродами на гранях, а d - расстояние между гранями, получим $U_H/d = vB$ или $U_H = dvB$.

Как видно, получается линейная зависимость между напряжением, возникающим при эффекте Холла, и магнитной индукцией, вызывающей это напряжение. Поэтому удобно использовать эффект Холла для построения приборов, измеряющих магнитную индукцию. Приборы, в которых используется эффект Холла, принято называть **преобразователями Холла** или **датчиками Холла**. Их широко применяют для различных измерений. Поскольку магнитное поле может быть создано электрическим током и в этом случае магнитная индукция пропорциональна силе тока, то на основе эффек-

та Холла созданы бесконтактные измерители силы тока. Это особенно важно для измерения сильных постоянных токов, протекающих по проводам большого диаметра, которые практически невозможно разрывать для включения амперметра.

Преобразователи Холла применяются и для многих других целей, например, для измерения электрической мощности и таких неэлектрических величин, как давление, перемещение, угол и др. С помощью эффекта Холла возможно измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках.

Важнейший параметр преобразователей Холла - магнитная чувствительность, представляющая собой отношение возникшего напряжения к магнитной индукции, т.е. напряжение Холла при магнитной индукции, равной единице.

4.4. ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Фоторезисторы используют явление фотопроводимости (изменение электропроводимости при освещении полупроводника), обнаруженное в селене в 1973 году У. Смитом. Через неосвещенный полупроводник при подключении источника питания протекает так называемый темновый ток. Ток в цепи сильно возрастает при освещении за счет увеличения числа свободных носителей заряда (рис. 4.8).

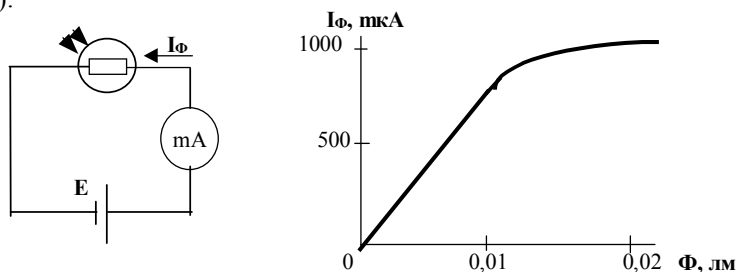


Рис. 4.8. Схема включения и энергетическая характеристика фототока I_ϕ фоторезистора

Ток, протекающий при освещении прибора, называется фототокком. Величина его зависит от интенсивности освещенности, спектра светового потока, приложенного напряжения.

Энергетическая характеристика фототока: при больших значениях светового потока светоток не пропорционален потоку.

Вольтамперные характеристики обычно линейны, но при повышении напряжения линейность нарушается (рис. 4.9).

Спектральная чувствительность характеризуется длиной волны λ_{\max} , соответствующей максимуму фототока, и порогом фотоэффекта длиной волны λ_0 , при которой фототок составляет 1% от I_{\max} (рис. 4.10).

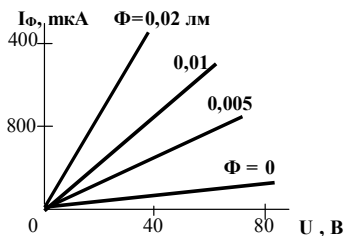


Рис. 4.9. Вольт-амперная характеристика фоторезистора

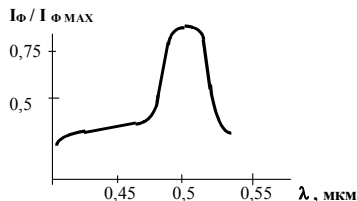


Рис. 4.10. Зависимость относительного значения фототока фоторезистора от длины волны излучения

Время фотоответа (время установления стационарной величины фотопроводимости) определяет максимально допустимую частоту модуляции светового потока и частотный диапазон работы фоторезистора.

Чувствительность - монохроматическая и интегральная. Монохроматическая чувствительность $S = I_{\phi} / \Phi$, где Φ - световой поток, I - фототок. Интегральная определяется при освещенности лампой накаливания с вольфрамовой нитью при температуре 2850 °С.

Темновое сопротивление - сопротивление неосвещенного фоторезистора.

Рабочее напряжение - определяется расстоянием между электродами и составляет от 1 до сотен вольт.

Пороговый поток - минимальный поток Φ_n , вызывающий изменение тока, превышающий уровень шумов.

Преимущества фоторезисторов - высокая чувствительность, возможность использования в инфракрасной области спектра излучения, малые габариты, возможность использования для цепей постоянного и переменного токов.

Фотодиод - полупроводниковый прибор, обладающий внутренним фотоэффектом и имеющий один электронно-дырочный переход.

Фотодиоды могут работать без внешнего источника питания (режим фотогенератора) и с внешним источником (режим фотопреобразователя), (рис.4.11). Изготавливают их из германия, крем-

ния, селена, сернистого серебра, арсенида галлия, арсенида индия, сульфида кадмия и др.

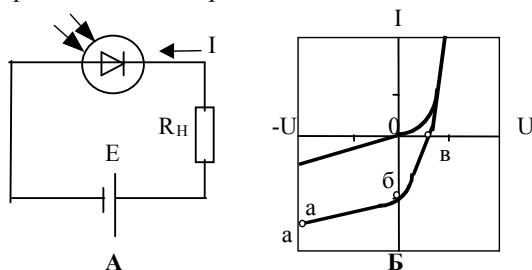


Рис. 4.11. Схема включения фотодиода (А) и его вольт-амперная характеристика (Б). Режимы работы фотодиода : аб – фотопреобразовательный, бв – фотогенераторный

При освещении фотодиода часть валентных электронов переходит в область проводимости, что приводит к появлению потенциала на электродах при разомкнутой цепи (фото ЭДС). У селена и кремния фото ЭДС может достигать 0,5-0,6 В, у арсенида галлия - 0,87 В.

Темновой ток фотодиода определяет минимальную величину измеряемого светового потока. У кремниевых диодов этот ток 1-3 мкА, у германиевых - 10-30 мкА.

Токтовую чувствительность фотодиода в режиме фотопреобразователя (фотогенератора) измеряют при коротком замыкании:

$$S_1 = I_{\Phi} / \Phi = I_{MA} / \Phi.$$

У селеновых фотодиодов чувствительность 0,3-0,75 мА/Лм.

Спектральная характеристика селеновых фотодиодов близка к чувствительности человеческого глаза, германиевые и кремниевые чувствительны в видимой и инфракрасной части спектра излучения.

В настоящее время созданы высокочастотные (быстродействующие) фотодиоды на основе арсенида галлия и кремния, работающие при частотах модуляции светового потока в несколько мегагерц.

Недостаток фотодиодов - сильная зависимость параметров от температуры. Кремниевые диоды более стабильны.

Фотодиоды более быстродействующие, чем фоторезисторы, но менее чувствительны.

Фототранзисторы имеют более высокую интегральную чувствительность по сравнению с фотодиодами. Биполярный фото-

транзистор имеет в корпусе прозрачное окно, через которое световой поток может воздействовать на базу. Схема включения фототранзистора со свободной (т.е. никуда не подключенной) базой приведена на рис. 4.12 А.

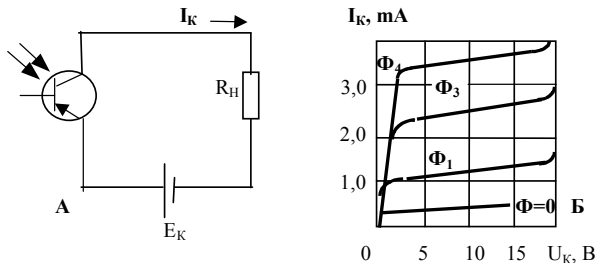


Рис. 4.12. Схема включения фототранзистора (А) и его вольт-амперная характеристика (Б)

Выходная характеристика фототранзистора аналогична выходным характеристикам биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером (рис.4.12 Б). Различные кривые соответствуют различным значениям светового потока, вне тока базы. Кроме биполярных транзисторов в качестве приемников излучения используют и полевые транзисторы. Облучение панели вызывает генерацию зарядов и уменьшает его сопротивление. Ток стока увеличивается.

Недостаток фототранзисторов - сравнительно высокий уровень собственных шумов.

Фототиристоры управляются световым потоком, который снижает уровень напряжения отпирания (рис. 4.13). Фототиристоры могут успешно применяться в различных автоматических устройствах в качестве бесконтактных ключей для включения значительных напряжений и мощностей. Достоинство фототиристоров - малое потребление энергии, малые габариты, быстроедействие, отсутствие искрения.

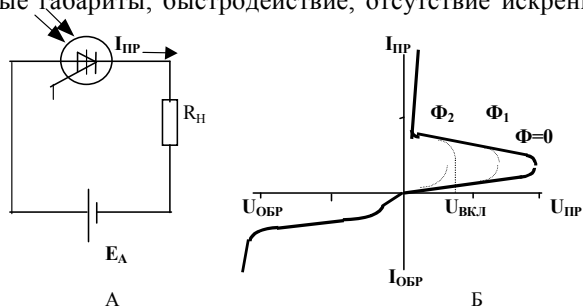


Рис. 4.13. Схема включения фототиристора (А) и его вольт-амперная характеристика (Б)

Светодиод - источник некогерентного (неорганизованного) излучения, преобразует энергию электрического поля в нетепловое оптическое излучение, называемое электролюминесценция. Изготавливают из арсенида галлия (GaAs), фосфида галлия (GaP), карбида кремния (SiC). Эти полупроводниковые материалы имеют большую ширину запрещенной зоны (например, у *GaAs* $\Delta W_3 = 1,387$ эВ). Поэтому при протекании рекомбинационных процессов освобождающаяся энергия поглощается объемом полупроводника, а избыток выделяется в виде кванта света. Цвет свечения зависит от длины волны светового потока. Фосфид галлия и карбид кремния излучают видимый свет в диапазоне от голубого до красного цвета.

Параметрами светодиодов являются: яркость свечения, измеряемая при определенном значении прямого тока, цветом свечения (спектр излучения), мощностью излучения и КПД.

Предназначены для вывода информации в микроэлектронных устройствах, в качестве индикаторов, источников излучения в оптронах.

4.5.ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Оптрон - электронный полупроводниковый прибор, содержащий источник и приемник светового излучения, которые оптически и конструктивно связаны между собой. Условные графические обозначения оптронов и их разновидности представлены на рис. 4.14.

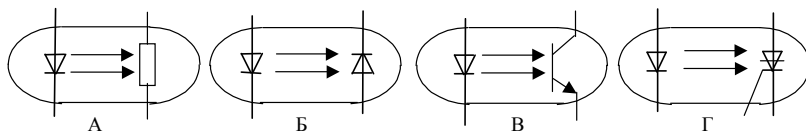


Рис. 4.14. Условные графические обозначения фоторезисторного (А), фотодиодного (Б), фототранзисторного (В) и фототиристорного (Г) оптронов

Главная особенность оптрона - гальваническая развязка входной и выходной цепей и однаправленность сигналов. Это позволяет с помощью низких напряжений управлять очень высокими напряжениями, связывать цепи с различными частотами, повышать помехоустойчивость схем (электромагнитные помехи не воздействуют на оптическую связь).

К простейшим оптоэлектронным приборам относится оптоэлектронная пара или оптрон. Принцип действия оптрона, состоя-

щего из источника излучения, иммерсионной среды (световода) и фотоприемника, основан на преобразовании электрического сигнала в оптический, а затем снова в электрический.

Оптроны как функциональные приборы обладают следующими преимуществами перед обычными радиоэлементами:

полной гальванической развязкой «вход-выход» (сопротивление изоляции превышает $10^{12} \dots 10^{14}$ Ом);

абсолютной помехозащищенностью в канале передачи информации (носителями информации являются электрически нейтральные частицы - фотоны);

однаправленностью потока информации, которая связана с особенностями распространения света;

широкополосностью из-за высокой частоты оптических колебаний;

достаточным быстродействием (единицы наносекунд); высоким пробивным напряжением (десятки киловольт);

малым уровнем шумов; хорошей механической прочностью. По выполняемым функциям оптрон можно сравнивать с трансформатором (элементом связи) или реле (ключом).

Излучателями в современных оптронах чаще всего являются светодиоды, а приемником излучения - фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фототиристоры.

В оптронных приборах применяют полупроводниковые источники излучения - светоизлучающие диоды, изготавливаемые из материалов группы $A^{III} B^V$, среди которых наиболее перспективны фосфид и арсенид галлия. Спектр их излучения лежит в области видимого и ближнего инфракрасного излучения (0,5...0,98 мкм). Светоизлучающие диоды на основе фосфида галлия имеют красный и зеленый цвет свечения. Перспективны светодиоды из карбида кремния, обладающие желтым цветом свечения и работающие при повышенных температурах, влажности и в агрессивных средах.

Светодиоды, излучающие свет в видимом диапазоне спектра, используют в электронных часах и микрокалькуляторах.

Светоизлучающие диоды характеризуются спектральным составом излучения, который достаточно широк, квантовой эффективностью, определяемой отношением числа испускаемых квантов света к количеству прошедших через р-п-переход электронов; мощностью (при невидимом излучении) и яркостью (при видимом излучении); вольт-амперными, люмен-амперными и ватт-амперными характеристиками; быстродействием (нарастанием и спа-

дом электролюминесценции при импульсном возбуждении); рабочим диапазоном температур. При повышении рабочей температуры яркость светодиода падает и снижается мощность излучения.

Светоизлучающие диоды в оптоэлектронных приборах соединяются с фотоприемниками иммерсионной средой, основным требованием к которой является передача сигнала с минимальными потерями и искажениями. В оптоэлектронных приборах используют твердые иммерсионные среды - полимерные органические соединения (оптические клеи и лаки), халькогенидные среды и волоконные световоды. В зависимости от длины оптического канала между излучателем и фотоприемником оптоэлектронные приборы можно подразделить на оптопары (длина канала 100...300 мкм), оптоизоляторы (до 1 м) и волоконнооптические линии связи - ВОЛС (до десятков км).

Фотодиоды выполняют на основе кремния и германия. Максимальная спектральная чувствительность кремния соответствует длине волны излучения 0,8 мкм, а германия - до 1,8 мкм. Они работают при обратном смещении на р-п-переходе, что позволяет повысить их быстродействие, стабильность и линейность характеристик.

Фоторезисторы изготавливают в основном из поликристаллических полупроводниковых пленок на основе соединения кадмия с серой и селеном. Максимальная спектральная чувствительность фоторезисторов соответствует длине волны 0,5 ...0,7 мкм. Фоторезисторы, как правило, применяют при малой освещенности; по чувствительности они сравнимы с фотоэлектронными умножителями - приборами с внешним фотоэффектом, но требуют низковольтного питания. Недостатками фоторезисторов являются низкое быстродействие и высокий уровень шумов.

Отношение коэффициента передачи тока к времени переключения называется добротностью оптрона и составляет $10^5 \dots 10^6$ для фотодиодных и фототранзисторных оптронов. Широко используют оптроны на основе фототиристоров. Оптроны на фоторезисторах не получили широкого распространения из-за низкой временной и температурной стабильности.

В современной оптоэлектронике широко используются оптоэлектронные интегральные микросхемы (ОЭИМС). На рис. 4.15 представлена ОЭИМС, состоящая из двух фотодиодных оптронов и двух биполярных транзисторов, подключенных к выходам фотодиодов. Эта ОЭИМС является аналогом импульсного трансформа-

тора, в который оптроны работают в вентильном режиме.

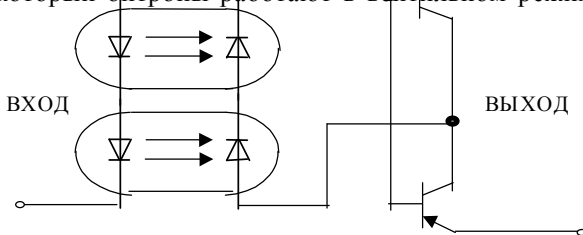


Рис. 4.15. Оптоэлектронная интегральная микросхема

В оптоэлектронике для конструирования компактных устройств используют полупроводниковые лазеры - лазерные диоды, применяемые, например, в волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС) вместо традиционных линий передачи информации - кабельных и проводных. Они обладают высокой пропускной способностью (полоса пропускания единицы гигагерц), устойчивостью к воздействию электромагнитных помех, малой массой и габаритами, полной электрической изоляцией от входа к выходу, взрыво- и пожаробезопасностью. Особенностью ВОЛС является использование специального волоконнооптического кабеля. Промышленные образцы таких кабелей имеют затухание 1...3 дБ/км и ниже. Волоконно-оптические линии связи используют для построения телефонных и вычислительных сетей, систем кабельного телевидения с высоким качеством передаваемого изображения. Эти линии допускают одновременную передачу десятков тысяч телефонных разговоров и нескольких программ телевидения.

Разрабатываются и применяются оптроны с управляемым оптическим каналом между источником излучения и фотоприемником (рис. 4.16). Вход 1 - управление источником излучения (ИИ), вход 2 - управление оптическим каналом (УОК), выход 3 содержит фотоприемник (ФП). В качестве УОК удобно использовать жидкие кристаллы, с помощью которых, изменяя приложенное напряжение, можно менять прозрачность канала.

Оптоэлектронные устройства широко применяют в вычислительной технике, автоматике, контрольно-измерительных устройствах.

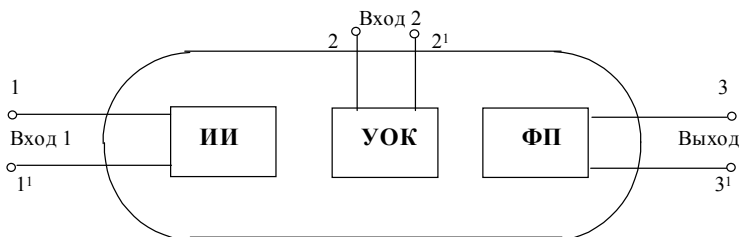


Рис. 4.16. Схема оптрона с управляемым оптическим каналом

4.6. КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА И СОЕДИНИТЕЛИ

Классификация коммутационной аппаратуры представлена на рис. 4.17.

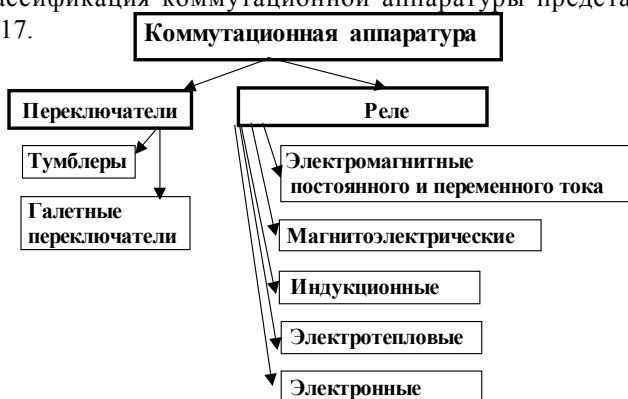


Рис. 4.17. Классификация коммутационной аппаратуры

Основным назначением **переключателей** в радиоаппаратуре является коммутация электрических цепей для обеспечения того или иного режима ее работы.

Переключатели состоят из двух основных элементов: контактной пары и механизма ее замыкания-размыкания. Контакты выполняют из платины, серебра, золота и некоторых их сплавов, а также из бронзы, латуни или вольфрама.

В зависимости от способа действия механизма замыкания-размыкания контактов переключатели делятся на нажимные (кнопки и клавишные), перекидные (тумблеры) и галетные, а по назначе-

нию - на высокочастотные и низкочастотные, сильноточные и слаботочные.

Основными параметрами переключателей являются: переходное сопротивление; емкость между контактами; сопротивление изоляции; мощность контактов; срок службы; четкость фиксации; масса и габариты.

Переходное сопротивление зависит от материала контактов и состояния их поверхности. Чем больше давление между контактами и чем меньше они окислены, тем меньше переходное сопротивление и выше надежность контактирования. Обычно переходное сопротивление равно 0,01-0,03 Ом.

Емкость **между контактами** определяется их взаимным перекрытием по площади и расстоянием между ними, а также видом диэлектрика, на котором они укреплены. Емкость высокочастотных переключателей должна быть не более 1-2 пФ.

Сопротивление изоляции между контактами определяет их электрическую прочность. Это особенно важно в радиопередающей аппаратуре, где под действием высоких напряжений в диэлектрике возможна повышенная поляризация и увеличение токов утечки.

Мощность контактов определяется произведением предельно допустимого тока при их замыкании на предельно допустимое напряжение при их размыкании. При этих токах и напряжениях гарантируется нормальная работа переключателей в течение определенного срока службы.

Срок службы оценивается не в единицах времени, а числом переключений исправно работающего переключателя, обычно составляет от нескольких тысяч до нескольких миллионов переключений и зависит как от мощности контактов, так и от действия климатических факторов.

Четкость фиксации характеризуется отношением силы, необходимой для вывода переключателя из зафиксированного положения, минимальной силе, потребной для его движения в промежуточном (не зафиксированном) положении. В переключателях часто предусматривается фиксатор, удерживающий контакты в строгозамкнутом (или разомкнутом) положении и препятствующий их перемещению при вибрациях и ударах.

Масса и габариты определяются в основном мощностью и типом механизма переключателя, числом коммутирующих контактных пар и другими факторами.

Переключатели типа «тумблер» обычно применяются в цепях

низкой частоты и постоянного тока, где требуется быстрое включение-выключение или переключение цепей, они высоконадежны и могут использоваться при значительных токах (единицы ампер) и напряжениях (сотни вольт).

Галетные переключатели являются многополюсными и позволяют одновременно коммутировать несколько функционально связанных цепей.

Назначением **реле**, как и переключателей, является коммутация электрических цепей радиоустройств. Однако если в переключателе эта коммутация осуществляется механическим нажатием кнопок, клавиш, изменением положения рычага тумблера или ручки галетного переключателя, то в реле одновременное размыкание (замыкание) контактных пар происходит под действием электрического, магнитного или температурного поля.

По принципу действия (ГОСТ 16022-76) реле делятся на электромагнитные, магнито-электрические, электродинамические, индукционные, электротепловые, электронные и др. Наибольшее распространение получили электромагнитные реле, которые состоят из контактных пар, якоря, обмотки, сердечника и элементов для их механической сборки.

В зависимости от вида коммутируемого тока могут быть электромагнитные реле постоянного или переменного токов. Реле постоянного тока подразделяют на нейтральные и поляризованные. Нейтральные реле срабатывают только при наличии постоянного тока в обмотке, а поляризованные имеют якорь, расположенный между контактными пластинами, который при срабатывании реле перемещается в ту или другую сторону в зависимости от направления протекающего в обмотке тока.

По конструктивному оформлению эти реле могут быть электромагнитными (с якорем поворотного или втяжного типа) и герконовыми.

В зависимости от времени срабатывания реле разделяют на быстродействующие (не более 0,005 с), нормальные (от 0,005 с до 0,015 с) и замедленные (более 0,015 с).

Основными параметрами реле являются: токи (напряжения) срабатывания и отпускания; время срабатывания и отпускания; мощность срабатывания; срок службы; масса и габариты; эксплуатационные характеристики.

Соединители (разъемы) предназначены для выполнения электрического монтажа между блоками и функциональными ячейками

радиоэлектронной аппаратуры с помощью кабелей, жгутов и печатных проводников на общей соединительной плате. Соединители состоят из 2-х частей: вилки и розетки, в изоляционных основаниях которых соответственно укреплены штыри и гнезда, образующие контактные пары.

В зависимости от назначения соединители подразделяют на высоко- и низкочастотные, а по применению в аппаратуре - на межблочные и межячеечные (внутриблочные).

Соединители выполняются с гладкими плоскими и круглыми штырями, с пружинными гнездами и с гиперболоидной поверхностью гнезда или штыря. Последний вид соединения наиболее надежен, так как контактирование осуществляется во многих точках гиперболоидной поверхности.

По форме соединители бывают цилиндрические и плоские прямоугольные. Первые используются в высокочастотных цепях межблочной коммутации, а вторые - для внутриблочных соединений.

Основными параметрами соединителей являются число и надежность контактных пар, их переходное сопротивление, рабочее напряжение и максимальный рабочий ток, рабочий диапазон частот, масса и габариты, срок службы и эксплуатационные характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника /Учебник для вузов.- М.: Высш. шк., 1982. -496 с., ил.
2. Жеребцов Н.Н. Основы электроники.-Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1990.-352 с., ил.
3. Манаев В.Н. Основы радиоэлектроники. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Радио и связь, 1990. -512 с., ил.
4. Ерофеев Ю.Н. Основы импульсной техники.- М.: Высш. шк., 1979.
5. Основы промышленной электроники /Под ред. В.Г.Герасимова:-М.: Высш. шк., 1986.
6. Справочник по электрическим конденсаторам. /Под ред. И.И.Четверткова и В.Ф. Смирнова.- М.: Радио и связь, 1985.
7. Микросхемы для бытовой радиоаппаратуры. /Справочник.- М.: Радио и связь, 1989 .
8. Транзисторы / Справочник/ под ред. О.П. Григорьева и др.- М.: Радио и связь, 1989.
9. Диоды. /Справочник / под ред. О.П. Григорьева и др. -М.: Радио и связь, 1990.
10. Тиристоры. /Справочник / под ред. О.П. Григорьева и др. - М.: Радио и связь, 1990.
11. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы. /Справочник.-М.: Радио и связь, 1988.
12. Горшков Б.И. Элементы радиоэлектронных устройств. /Справочник.-М.: Радио и связь.
13. Цифровые и интегральные микросхемы. /Справочник п о д ред. С.В. Якубовского.- М.: Радио и связь, 1990 г.-496 с. ил.
14. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. /Справочное пособие под ред. С.В. Якубовского.- М.: Радио и связь, 1985. -432 с. ил. (Проектирование РЭА на интегральных микросхемах).
15. Полупроводниковые БИС запоминающих устройств. /Справочник под ред. А.Ю. Горюнова и Ю.Н. Дьяконова.-М.: Радио и связь. 1986.
16. Справочник по интегральным микросхемам./Под ред. Б.В. Тарабрина. -М.: Энергия, 1977.
17. Кофлин. Дрискол. Операционные усилители и линейные интегральные схемы.
18. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. -Л.: Энергоатомиздат, 1988.

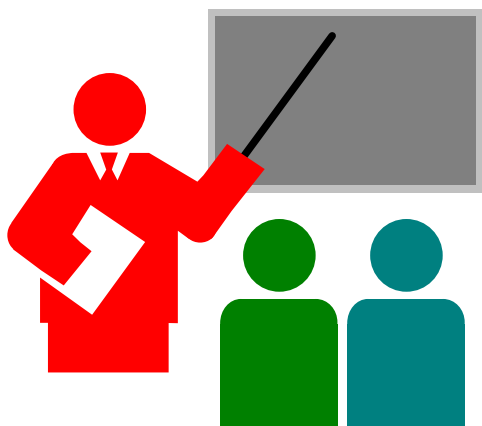
19. Н.В. Никулин, А.С. Назаров. Радиоматериалы и радиокомпоненты. -М.: Высш.шк., 1986.

20. Петухов В.М. Маломощные транзисторы и их зарубежные аналоги. /Справочник. -Т.1, изд. «КУБК-а», Москва, 1997.

21. Справочник. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные. Стабилитроны. Тиристоры. /Под общей ред. А.В. Голомедова. -М.: Радио и связь, 1989.

ПРИЛОЖЕНИЕ

**ОПОРНЫЕ КОНСПЕКТЫ
«ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ»**



1.

Элементная база электроники

Пассивные компоненты : производят количественные изменения электрических или магнитных потоков – коммутацию, накопление, сопротивление протеканию тока и др.

Активные – осуществляют активные процессы : выпрямления, усиления, преобразования частоты и др. активные процессы .

Пассивные компоненты :

резисторы

конденсаторы

частотно-избирательные узлы

трансформаторы

переключатели

реле

соединители

дроссели

Активные компоненты : **ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ**

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

диоды

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

транзисторы

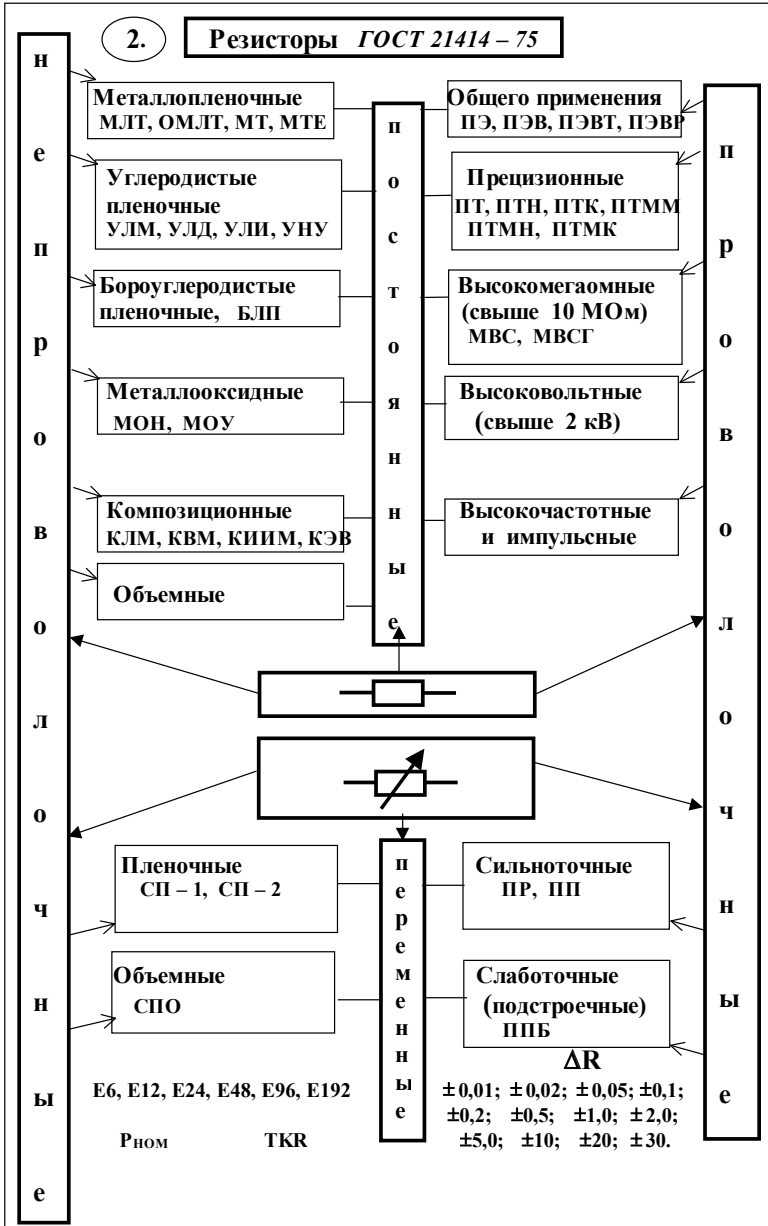
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

тиристоры

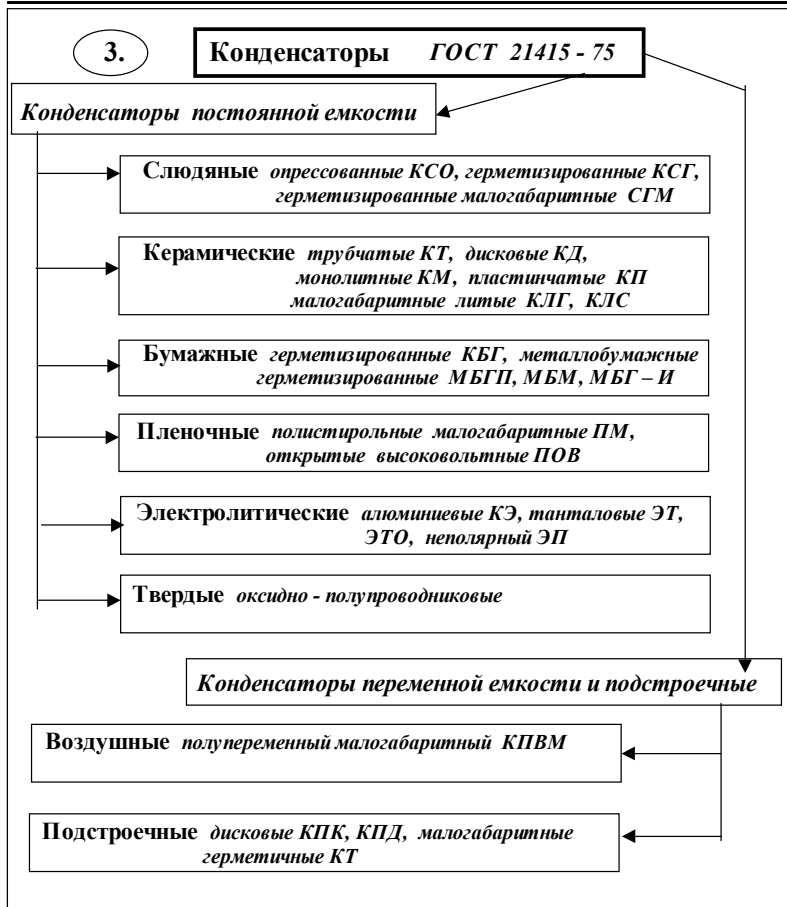
МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

1. Что вы понимаете под терминами **ЭЛЕМЕНТ**, **КОМПОНЕНТ** и **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ УЗЕЛ** ?

2. Какие требования предъявляются к элементной базе современной радио-электронной аппаратуры, микропроцессорной техники ?



ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

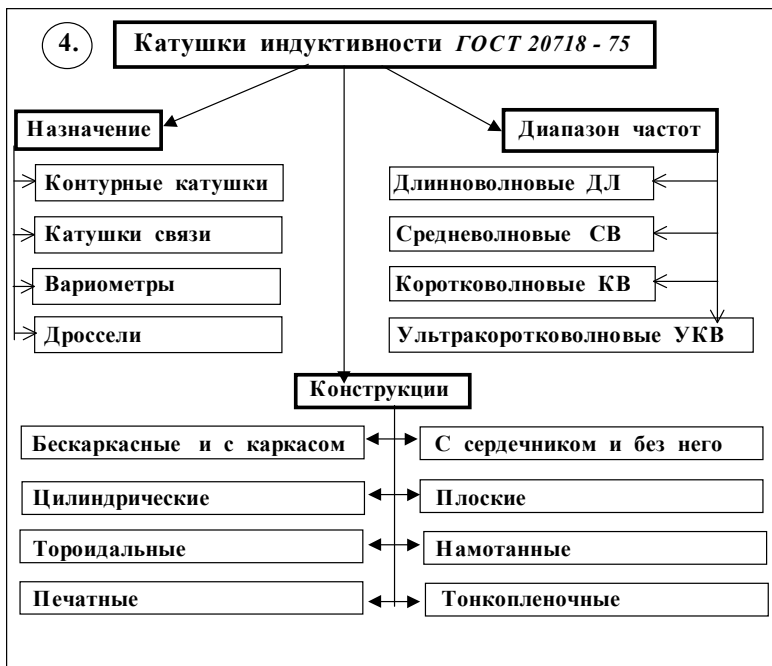


Номинальная емкость Е6, Е12, Е24.

Температурный коэффициент емкости ТКС.

о б о з н а ч е н и е			
1	2	3	4

1. К – постоянной емкости, КТ – подстроечный
2. Тип диэлектрика – 10 или 15-керамический, 22-стеклоэмалевый, 24-слюданой малой мощности, 32-слюданой большой мощности, 40 или 41 – бумажный, 50- электролитический алюминиевый, 52- электролитический танталовый, 53- оксидно-полупроводниковый, 60- воздушный, 70 или 71- полистирольный.
3. Назначение конденсатора – П- постоянного тока, У- переменного тока и в импульсном режиме, И- в импульсном режиме, Ч- переменного тока.
4. Порядковый номер разработки



1. Дайте классификацию катушек индуктивности и назовите их основные параметры?
2. Каковы назначения катушек связи, вариометров и дросселей?
3. Что ограничивает применение каркасных катушек в гибридных ИС и какие катушки в них используют?

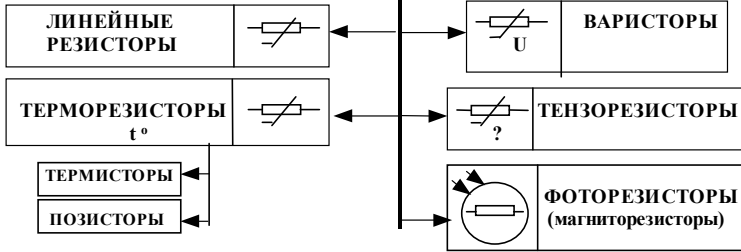
5.



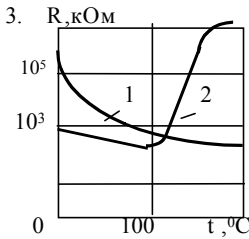
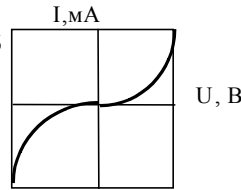
1. Расскажите о назначении полупроводниковых резисторов, диодов, транзисторов, биполярных и полевых транзисторов, фотоэлектрических полупроводниковых приборов, оптронных устройств.
2. Интегральные микросхемы и микроминиатюризация приборов и устройств современной электроники.

6.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ РЕЗИСТОРЫ

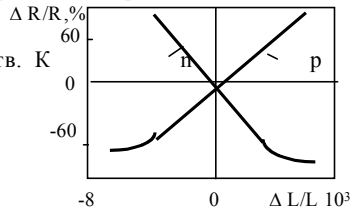


1. Линейный резистор $R = \text{const}$.
2. Варистор $\lambda = R/R_d = U/I : dU/dI \cong \text{const} \sim 2 - 6$
Защита электрических цепей от перенапряжений.



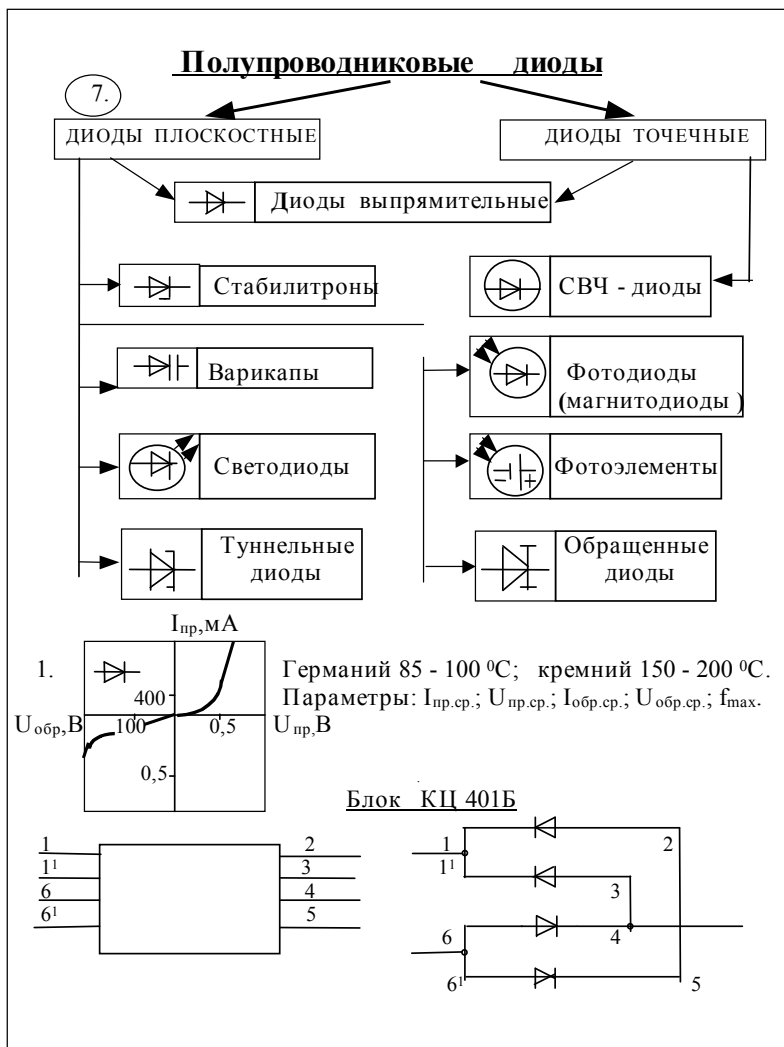
1 - термистор $R_t = K e^{\beta/T}$
 $\alpha = dR_T / R_T dT$ - температурный коэффициент сопротивления.
 2 - позистор
 Терморезисторы (1,2) применяют в системах регулирования температуры, тепловой защиты, противопожарной сигнализации.

4. Тензорезистор. Коэф. тензочувств. K
 $K = \Delta R/R : \Delta L / L$
 $K (-150 - +150); R (100 - 500)$.




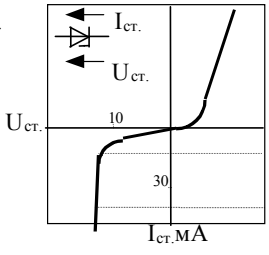
5. Фоторезистор - R зависит от освещенности или светового потока.
6. Магниторезистор - R зависит от величины магнитного потока.

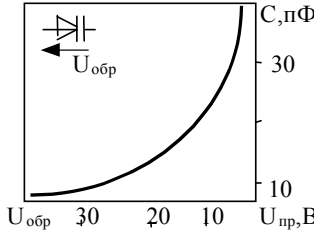
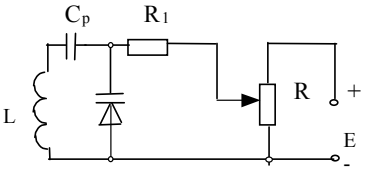
1. Что Вы знаете о характеристиках, параметрах, назначении полупроводниковых резисторов?

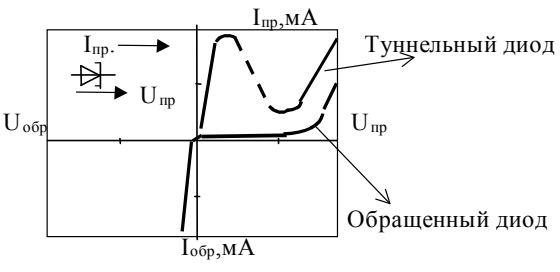


1. Расскажите о назначении и характеристиках полупроводниковых выпрямительных диодов.

2.  СВЧ — смесительный (8)
 — детекторный
 — параметрический — ГРУППЫ — $f_{max} < 100$ МГц
 — переключательный — 300 МГц $< f_{max} < 1000$ МГц
 — умножительный — ограничительный — > 1000 МГц
 — генераторный

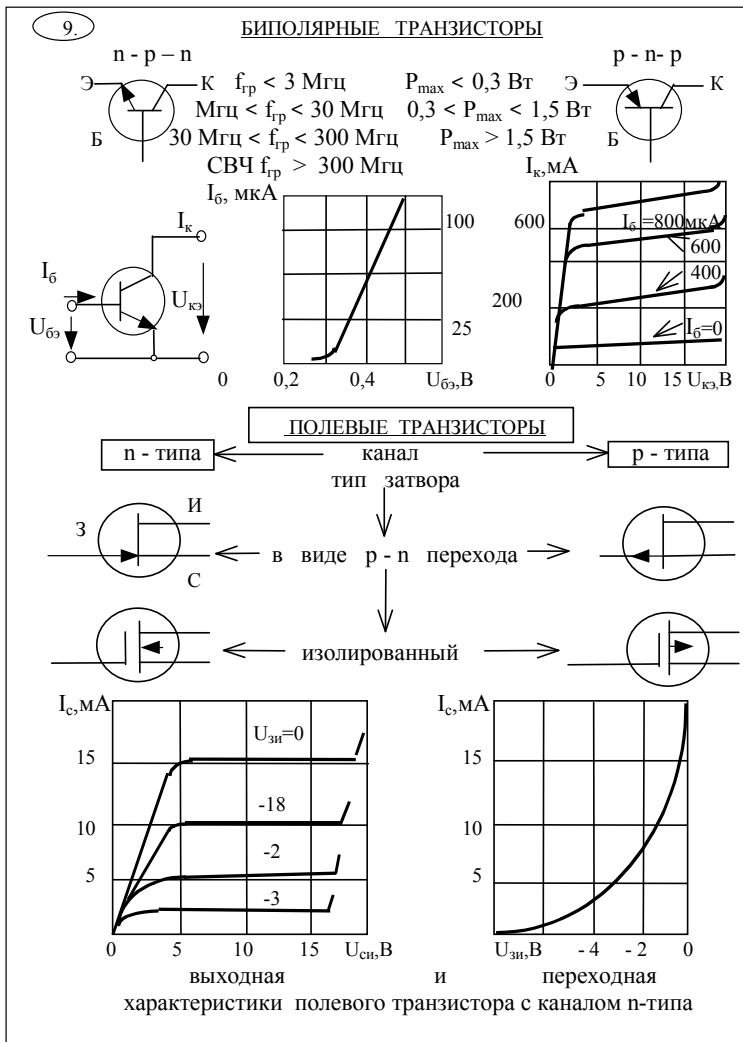
3.  $I_{ст}$, МА
 $U_{ст}$, В
 $I_{ст, max}$ ТКН = $\Delta U_{ст} / (U_{ст} \Delta T)$ от 10^{-5} до 10^{-3}
 Последовательное каскадное включение?

4.  C , пФ
 $U_{обр}$, В
 $U_{пр}$, В

 $K_C = C_{max} / C_{min} = 5 - 20$

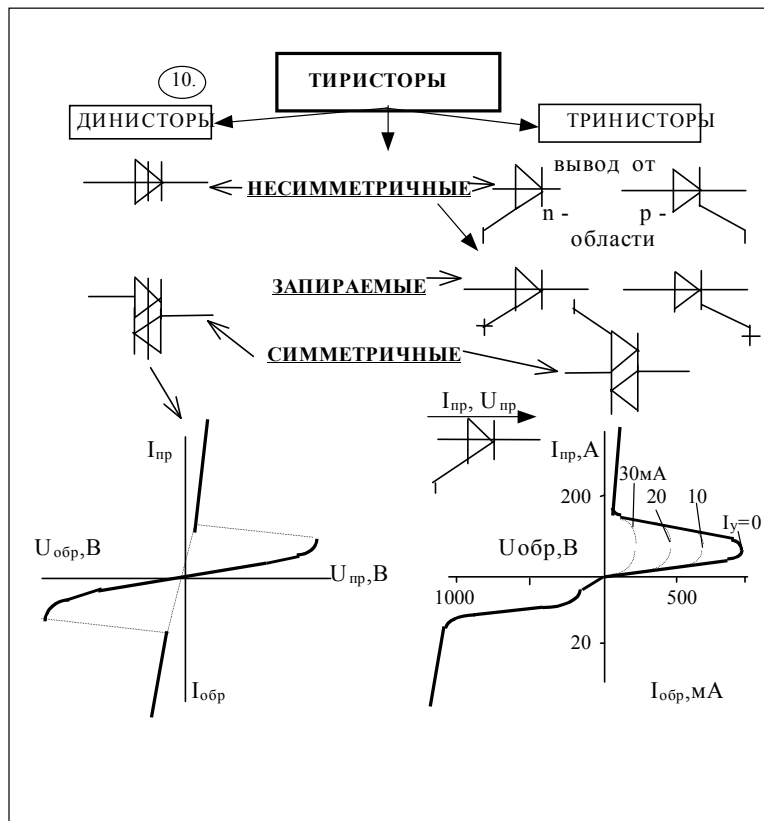
5.  $I_{пр}$, МА
 $I_{обр}$, МА
 — Туннельный диод
 — Обращенный диод

6. Фотодиоды . 7. Оптроны. 8. Магнитодиоды.

1. Характеристики, параметры, назначение полупроводниковых диодов СВЧ, стабилитронов, варикапов, фотодиодов, фотоэлементов, светодиодов, оптронов.



1. Как классифицируются биполярные и полевые транзисторы?
2. Объясните процесс усиления мощности в транзисторе.

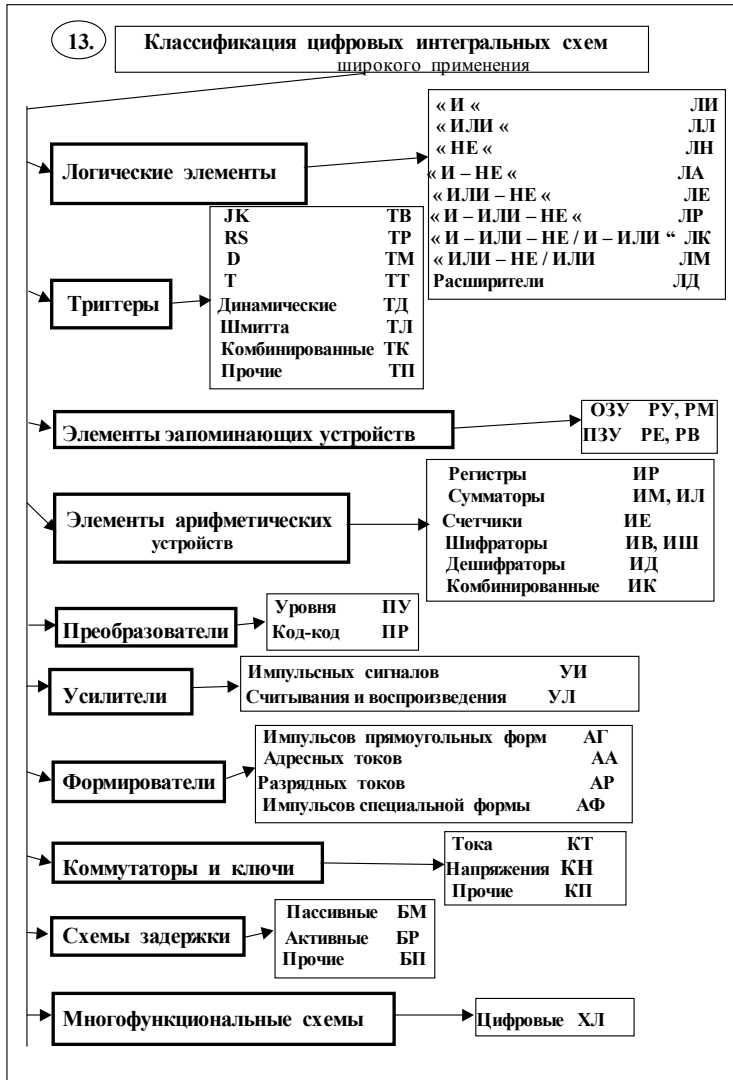


1. Опишите принцип работы симметричного, несимметричного, диодного, триодного управляемого и запираемого тиристоров.



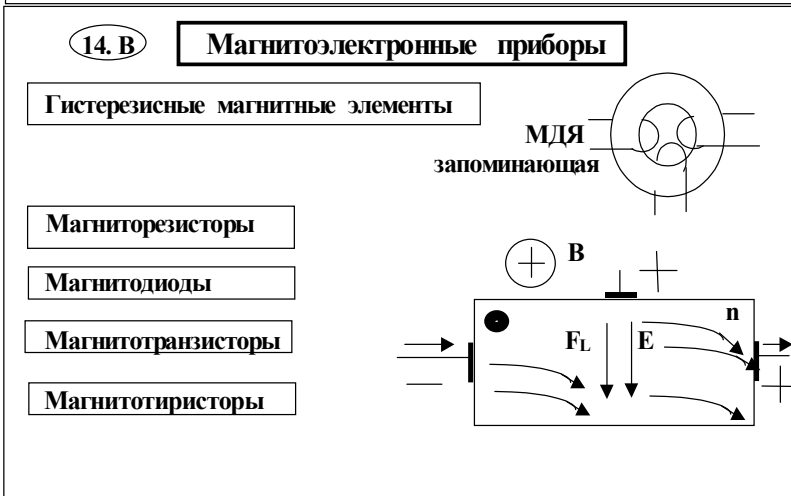
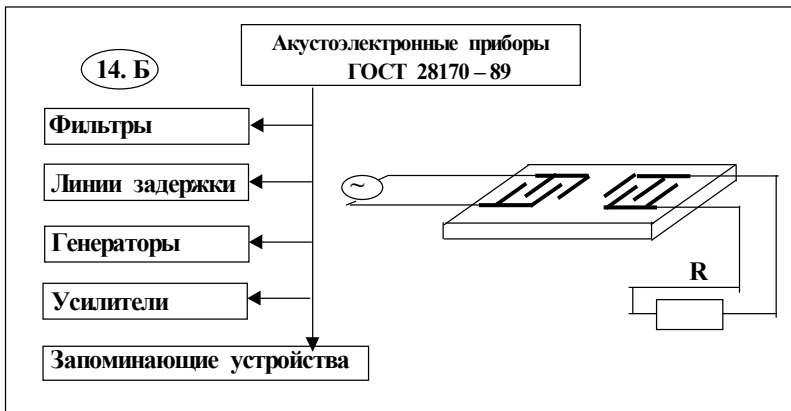
1. Какие функции выполняют большие интегральные схемы?
2. Приведите примеры использования тех или других типов микросхем и требования, предъявляемых к ним.





1. Что такое серия ИС и как ее обозначают ?
2. Дайте классификацию цифровых и аналоговых ИС по функциональному назначению.

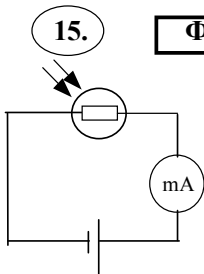
ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ



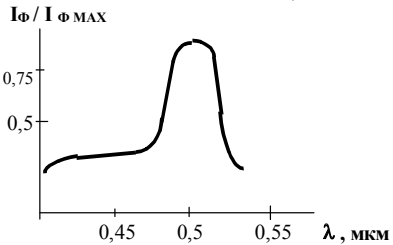
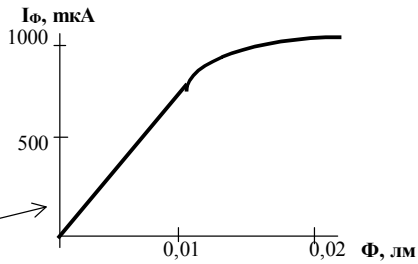
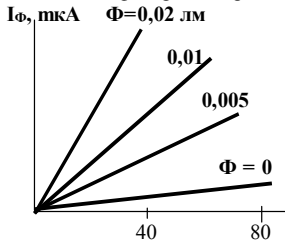
15.

Фотоэлектрические приборы

1.

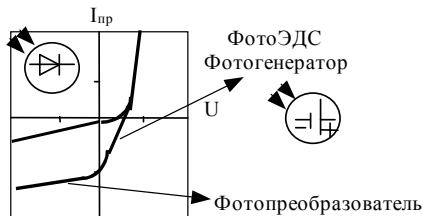
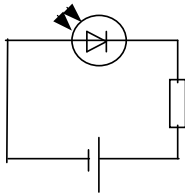


Энергетическая характеристика фототока I_{Φ} фоторезистора

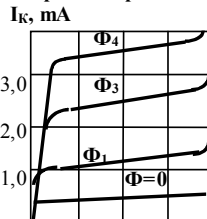


Вольт-амперная характеристика фоторезистора Влияние длины волны излучения

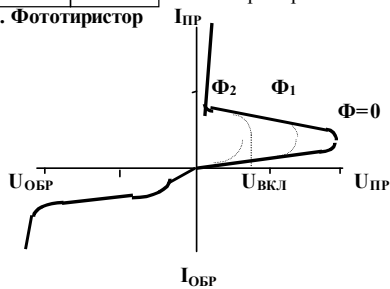
2. Фотодиод



3. Фототранзистор

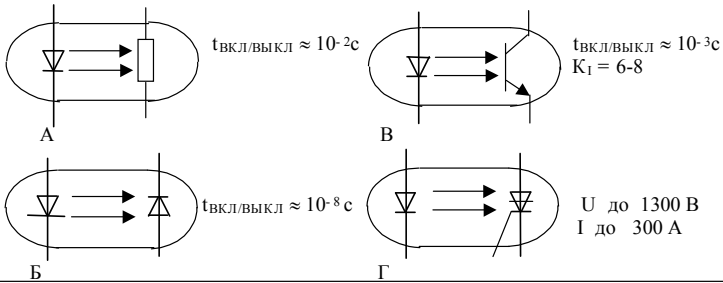


4. Фототиристор

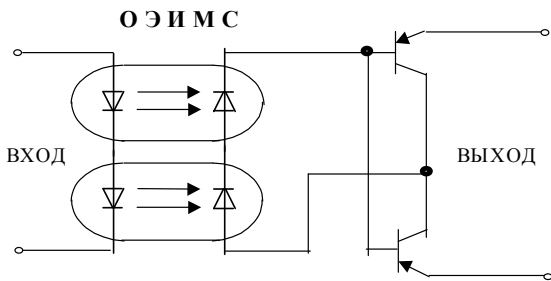


16

ОПТРОНЫ *светодиод-оптическая среда-фотоприемник*

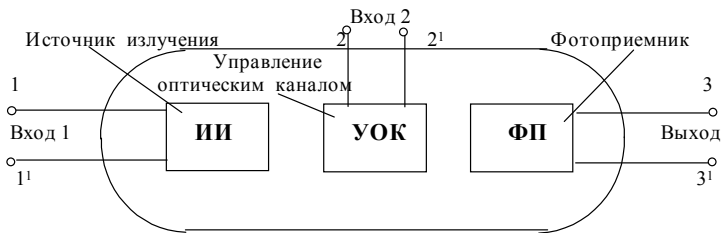


Преимущества: 1- полная гальваническая развязка; 2- широкополосность частот пропускаемых колебаний от 0 до 10^{14} ГЦ; 3- однонаправленность потока информации; 4- высокая помехозащищенность; 5- возможность управления оптическим каналом; 6- возможность совмещения с другими электронными приборами; 7- высокая механическая прочность

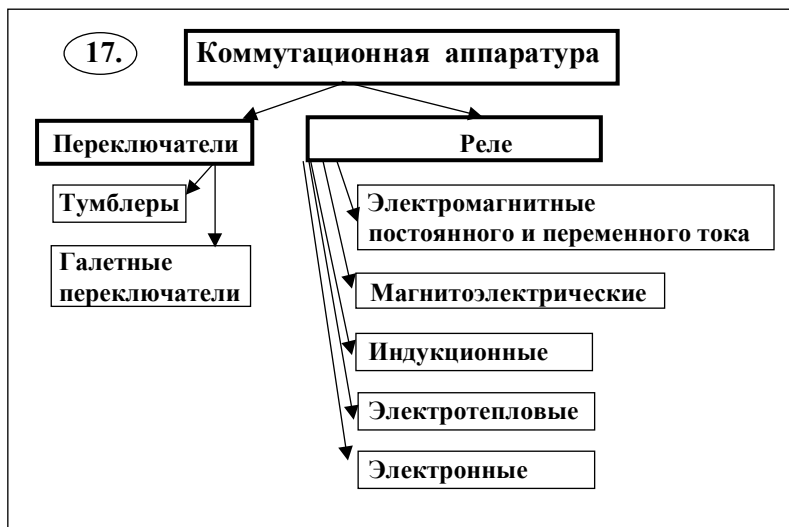


Недостатки
1- низкий КПД;
2- невысокая температурная стабильность и радиационная стойк.;
3- заметное старение;
4- высокий уровень собственных шумов;
5- необходимость применения гибридной, а не планарной технологии.

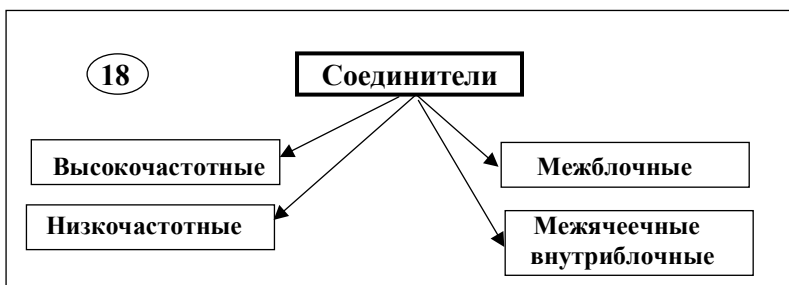
Оптоэлектронная интегральная микросхема.



1. Поясните принцип действия оптрона.
2. Каковы перспективы и область применения оптронов?



1. Чем отличается работа реле от работы переключателей и какие конструкции реле вы знаете?



1. Как классифицируются соединители?
2. Какие требования предъявляются к соединителям?

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ	4
1.1. РЕЗИСТОРЫ	4
1.2. КОНДЕНСАТОРЫ	10
1.3. КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ	14
ГЛАВА 2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ	16
2.1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ РЕЗИСТОРЫ	18
2.2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ	23
2.3. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ	30
2.4. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ	34
2.5. ТИРИСТОРЫ	37
ГЛАВА 3. МИКРОСХЕМЫ	40
3.1. ГИБРИДНЫЕ МИКРОСХЕМЫ	41
3.2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ	42
3.2.1. Аналоговые интегральные микросхемы	43
3.2.2. Цифровые интегральные микросхемы	46
ГЛАВА 4. ПРОЧИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ	48
4.1. ПРИБОРЫ ПЬЕЗОЭЛЕКТРОНИКИ	48
4.2. АКУСТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ	50
4.3. МАГНИТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ	52
4.4. ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ	56
4.5. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ	60
4.6. КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА И СОЕДИНИТЕЛИ	64
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	68
ПРИЛОЖЕНИЕ: Опорные конспекты «Элементная база электроники»	70
ОГЛАВЛЕНИЕ	89

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

Турыгин Владимир Николаевич
Иванов Владимир Яковлевич
Титов Сергей Владимирович

ЭЛЕМЕНТАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОНИКИ

Учебное пособие

Оригинал-макет выполнен отделом компьютерной верстки КГУ

Редактор Н.М.Кокина

Лицензия ЛР №020376 от 17.06.97

Подписано в печать	Формат 60x80 1/16	Бумага тип № 1
Плоская печать	Усл.печ.л. 5,75	Уч.изд.л. 5,75
Заказ	Тираж	Цена свободная

Издательство Курганского государственного университета.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет, ризограф.
