**Глава 1. Электронные устройства в схемотехнике**

Основными электронными устройствами в схемотехнике средств связи являются: электронные лампы, полупроводниковые диоды и транзисторы, микросхемы и опто-электронные устройства.

## 1.1.Классификация электронных ламп

Классификация электронных ламп производится по следующим признакам: назначению и области применения, числу электродов, типу катода (прямого или косвенного накала), конструкции баллона, методу управления электронным потоком.

По назначению электронные лампы делятся на: выпрямительные (кенотроны), предназначенные для выпрямления переменного тока; приёмно-передающие, предназначенные для усиления и преобразования колебаний ВЧ в приёмниках, передатчиках и для усиления сигналов НЧ.

В зависимости от количества электродов приёмно-усилительные лампы подразделяются на: *диоды*, используемые в выпрямителях и детекторах; *триоды*, используемые в основном в усилителях ВЧ и НЧ; *тетроды,* используемые для усиления мощности сигналов; *пентоды*, используемые для усиления напряжения и мощности сигналов ВЧ и НЧ; *многоэлектродные,*имеющие 6 или 7 электродов и применяемые для преобразования частоты в приёмниках; *комбинированные* лампы (в одном баллоне 2 диода, триода, пентода или триод-пентод, диод-триод и др. комбинации).

Принцип работы электронных ламп основан на управлении потоком электронов между катодом и анодом изменяющимся электрическим полем при помощи управляющих сеток.

## 1.2.Условные обозначения приёмно - усилительных ламп

Условные обозначения отечественных приёмно-усилительных ламп состоят из 4-х элементов:

*Первый элемент* – это число, округлённо показывающее величину напряжения накала лампы (6 или 1 вольт). Для генераторных ламп диапазона МВ ДМВ – буквы ГУ или ГИ.

*Второй элемент –*буква, характеризующая тип лампы: Д – диод; Х – двойной диод; С – триод; Н – двойной диод; К – пентод экранированный с удлинённой характеристикой; Ж – пентод с короткой характеристикой; А – частотно-преобразовательная лампа с 2-мя управляющими сетками; П – выходной пентод или тетрод; Е – индикатор настройки; Ц – кенотрон (выпрямительный диод); Р - двойной пентод; Ф – триод-пентод.

Генераторные лампы 2-го элемента в условном обозначении не имеют. Для осциллографических трубок с электростатическим отклонением луча - буквы ЛО. Для осциллографических трубок с электромагнитным отклонением луча – буквы ЛМ. Для кинескопов с электромагнитным отклонением луча – буквы ЛК.

*Третий элемент* – число, указывающее для приёмно-усилительных ламп и электронно-лучевых трубок, номер разработки прибора.

*Четвёртый элемент*– буква, обозначающая для приёмно-усилительных ламп конструктивное оформление лампы, а именно: П-пальчиковая; Б-сверхминиатюрная лампа диаметром 1мм; А – тоже, диаметром 6мм; Ж ─  лампа типа «жолудь»; Л ─ лампа с колпачком; Д ─ лампа с дисковыми выводами.

Для электронно-лучевых трубок может быть введена буква, обозначающая цвет люминофора экрана.

**Глава 2. Полупроводниковые приборы**

В главе рассматриваются принципы работы различных полупроводниковх приборов: диодов,тиристоров, транзисторов; рассматриваются их разновдности параметры работы и их характеристики.

**2.1. Классификация диодов, тиристоров  
и оптоэлектронных устройств**

Классификация современных полупроводниковых приборов по назначению, физическим свойствам, основным электрическим параметрам, конструктивно-технологическим признакам, роду исходного полупроводникового материала находит отражение в системе условных обозначений их типов.

В основу системы обозначений положен семизначный буквенно-цифровой код, *первый элемент* которого ─ буква (для приборов широкого применения) и цифра (для приборов, используемых в устройствах специального назначения) обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен прибор. Цифра 1 или буква Г – германий, цифра 2 или буква К – кремний, цифра 3 или  буква А ─ арсенид галлия; *второй элемент* обозначения – буква, определяет подкласс приборов (Д – диод, Т – транзистор); *третий элемент –*цифра (или буква для оптопар), определяет один из основных характеризующих прибор признаков( параметр, назначение или принцип работы); *четвёртый, пятый и шестой элементы –*3-х- значное число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа прибора; *седьмой элемент –*буква, условно определяет классификацию по параметрам приборов, изготовленных по единой технологии.

В стандарте предусмотрено также введение в обозначение дополнительных знаков при необходимости отметить отдельные существенные конструктивно-технологические особенности приборов.

Для обозначения исходного материала используются следующие символы (первый элемент обозначения): Г или 1 – для германия или его соединений; К или 2 – для кремния или его соединений; А или 3 – для соединений галлия (арсенид галлия); И или 4 – для соединений индия (фосфид индия ).

Для обозначения подклассов приборов используется одна из следующих букв (второй элемент обозначения): Д – диоды; Ц – выпрямительные столбы и блоки; В – варикапы; И – туннельные диоды; А – СВЧ-диоды; С – стабилитроны; Г – генераторы шумов; Л – излучающие опто-электронные приборы; О – оптроны; У – управляемые тиристоры.

**2.2. Классификация транзисторов**

Классификация транзисторов по их назначению, физическим свойствам, основным электрическим параметрам, конструктивно-технологическим признакам, роду материала полупроводника находят своё отражение в системе условных обозначений их типов.

В основу системы обозначения положен буквенно-цифровой код, *первый* элемент которого обозначает исходный полупроводниковый материал, на основе которого изготовлен транзистор. *Второй* элемент – буква, определяющая подкласс транзистора; *третий* – цифра, определяющая его основные функциональные возможности (допустимое значение рассеиваемой мощности и граничную либо максимальную рабочую частоту); *четвёртый* – число, обозначающее порядковый номер разработки технологического типа транзисторов (каждый технологический тип может включать в себя один или несколько типов, различающихся по своим параметрам); *пятый* – буква, условно определяющая классификацию по параметрам транзисторов, изготовленных по одной технологии.

Стандарт предусматривает также введение в обозначение ряда дополнительных, отмечающих отдельные существенные конструктивно-технологические особенности приборов.

Для обозначения исходного материала используются следующие символы (первый элемент обозначения):

Г или 1- для германия или его соединений;

К или 2- для кремния или его соединений;

Д или 3- для соединений галлия (арсенида галлия, используемого для создания полевых транзисторов);

И или 4- для соединений индия.

Для обозначения подклассов транзисторов используют 2 буквы (второй элемент обозначения):

Т- для обозначения биполярных транзисторов;

П- для обозначения полевых транзисторов.

Для обозначения наиболее характерных эксплуатационных признаков транзисторов (их функциональных возможностей) используются 9 цифр (третий элемент обозначения), характеризующих подклассы транзисторов по значениям рассеиваемой мощности и граничной ( для полевых транзисторов – максимальной рабочей) частоты: 1 – маломощные, НЧ; 2 – маломощные среднечастотные; 3 – маломощные ВЧ; 4 – ср. мощности, НЧ; 5 – ср. мощности, среднечастотные; 6 – ср. мощности ВЧ, СВЧ; 7 – большой мощности, НЧ; 8 – большой мощности, среднечастотные; 9 – мощные, ВЧ, СВЧ.

Для обозначения порядкового номера разработки используются числа от 101 до 999, для обозначения разновидностей транзисторов одного типа используются буквы русского алфавита от А до Я.

Примеры обозначений транзисторов:

ГТ101А – германиевый биполярный маломощный НЧ, номер разработки 1, группа А.

2Т399А – кремниевый биполярный маломощный СВЧ, номер разработки 99, группа А.

2П904Б – кремниевый полевой мощный ВЧ, номер разработки 4, группа Б.

2Т399А-2 – аналогичен транзистору типа 2Т399А, но в безкорпусном исполнении с гибкими выводами на кристаллодержателе.

За рубежом существуют различные системы обозначений полупроводниковых приборов. ***Наиболее распространенной является*** ***система обозначений JEDEC***, принятая объединенным техническим советом по электронным приборам США. По этой системе приборы обозначаются индексом (кодом, маркировкой), в котором первая цифра соответствует числу p-n переходов: 1 - диод, 2 - транзистор, 3 - тетрод (тиристор). За цифрой следует буква N и серийный номер, который регистрируется ассоциацией предприятий электронной промышленности (EIA). За номером могут стоять одна или несколько букв, указывающих на разбивку приборов одного типа на типономиналы по различным параметрам или характеристикам. Однако цифры серийного номера не определяют тип исходного материала, частотный диапазон, мощность рассеяния или область применения.

***В Европе используется система, по которой обозначения полупроводниковым приборам присваиваются организацией Association International Pro Electron.*** По этой системе приборы для бытовой аппаратуры широкого применения обозначаются двумя буквами и тремя цифрами. Так, у приборов широкого применения после двух букв стоит трехзначный порядковый номер от 100 до 999. У приборов, применяемых в промышленной и специальной аппаратуре, третий знак - буква (буквы используются в обратном алфавитном порядке: Z, Y, X и т.д.), за которой следует порядковый номер от 10 до 99.

В системе **Pro Electron** приняты следующие условные обозначения:

**Первый элемент.** Первый элемент (буква) обозначает исходный полупроводниковый материал, на базе которого создан полупроводниковый прибор. Используются 4 латинские буквы A, B, C и D, в соответствии с видом полупроводника или полупроводникового соединения:

германий ─ А; кремний ─ В; арсенид галлия ─ С; антимокид индия ─ D.

**Второй элемент.** Второй элемент (буква) обозначает подкласс полупроводниковых приборов. В таблице 1 приведены буквы, используемые для обозначения подклассов.

 Второй элемент в системе Pro Electron

                                                                                                                           Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***№ п/п*** | ***Подкласс приборов*** | ***Условные***  ***обозначения*** |
| 1 | Диоды детекторные, смесительные | A |
| 2 | Диоды с переменной ёмкостью (варикапы) | B |
| 3 | Транзисторы НЧ, маломощные | C |
| 4 | Транзисторы НЧ, мощные | D |
| 5 | Диоды туннельные | E |
| 6 | Транзисторы ВЧ, маломощные | F |
| 7 | Транзисторы ВЧ, мощные | L |
| 8 | Фотоприёмники (фотодиоды, фототранзисторы и др.) | P |
| 9 | Светоизлучающие приборы (светодиоды, лазеры) | Q |
| 10 | Приборы, работающие в области пробоя | R |
| 11 | Транзисторы переключающие, мощные | S |
| 12 | Регулирующие и переключающие приборы,  мощные управляемые выпрямители | T |
| 13 | Транзисторы переключающие, мощные | U |
| 14 | Диоды умножительные | X |
| 15 | Диоды выпрямительные, мощные | Y |
| 16 | Стабилитроны | Z |

**Третий элемент.** Третий элемент (цифра или буква) обозначает в буквенно-цифровом коде полупроводниковые приборы, предназначенные для аппаратуры общегражданского применения (цифра) или для аппаратуры специального применения (буква). В качестве буквы в последнем случае используются заглавные латинские буквы, расходуемые в обратном порядке Z, Y, X и т.п.

**Четвертый элемент.** Четвертый элемент (2 цифры) означает порядковый номер технологической разработки и изменяется от 01 до 99.

Например, ВТХ10-200 - это кремниевый управляемый выпрямитель (тиристор) специального назначения с регистрационным номером 10 и напряжением 200 В.

***Система стандартных обозначений, разработанная в Японии (стандарт JIS-C-7012, принятый ассоциацией EIAJ-Electronic Industries Association of Japan)*** позволяет определить класс полупроводникового прибора (диод или транзистор), его назначение, тип проводимости полупроводника. Вид полупроводникового материала в японской системе не отражается.

Условное обозначение полупроводниковых приборов по стандарту **JIS-C-7012** состоит из пяти элементов.

**Первый элемент.** Первый элемент (цифра) обозначает тип полупроводникового прибора. Используются 3 цифры (0, 1, 2 и 3) в соответствии с типом прибора. В таблице 2 приведены обозначения для первого элемента.

**Второй элемент.** Второй элемент обозначается буквой S и указывает на то, что данный прибор является полупроводниковым. Буква S используется как начальная буква от слова Semiconductor.

Первый элемент в системе JIS-C-7012

                                                                                                       Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***№ п/п*** | ***Класс приборов*** | ***Условные***  ***обозначения*** |
| 1 | Фотодиоды, фототранзисторы | 0 |
| 2 | Диоды | 1 |
| 3 | Транзисторы | 2 |
| 4 | Четырёхслойные приборы | 3 |

**Третий элемент.** Третий элемент (буква) обозначает подкласс полупроводниковых приборов. В таблице 3 приведены буквы, используемые для обозначения подклассов.

             Третий элемент в системе JIS-C-7012

                                                                                                                                Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***№***  ***п/п*** | ***Подкласс приборов*** | ***Услов.***  ***обозн.*** |  | ***№***  ***п/п*** | ***Подкласс приборов*** | ***Услов.***  ***обозн.*** |
|  | Транзисторы p-n-p, ВЧ | A |  |  | Полевые транзисторы  с n-каналом | K |
|  | Транзисторы p-n-p, НЧ | B |  |  | Симметричные тиристоры | M |
|  | Транзисторы n-p-n, ВЧ | C |  |  | Светоизлучающие диоды | Q |
|  | Транзисторы n-p-n, НЧ | D |  |  | Выпрямительные диоды | R |
|  | Диоды Есаки | E |  |  | Малосигнальные диоды | S |
|  | Тиристоры | F |  |  | Лавинные диоды | T |
|  | Диоды Ганна | G |  |  | Диоды с переменной  ёмкостью, *pin-диоды* | V |
|  | Однопереходные  транзисторы | H |  |  | Стабилитроны | Σ |
|  | Полевые транзисторы  с р-каналом | I |  |  |  |  |

**Четвертый элемент.** Четвертый элемент обозначает регистрационный номер технологической разработки и начинается с числа 11.

**Пятый элемент.** Пятый элемент отражает модификацию разработки (А и В - первая и вторая модификация).

***Система обозначений****JEDEC****(Joint Electron Device Engineering Council),*** принята объединённым техническим советом по электронным приборам США. По этой системе приборы обозначаются индексом (кодом, маркировкой), в котором:

**Первый элемент.** Первый элемент (цифра) обозначает число p-n переходов. Используются 4 цифры (1, 2, 3 и 4) в соответствии с типом прибора:  
1 - диод, 2 - транзистор, 3 - тиристор, 4 - оптопара.

**Второй элемент.** Второй элемент состоит из буквы N и серийного номера, который регистрируется ассоциацией предприятий электронной промышленности (EIA). Цифры серийного номера не определяют тип исходного материала, частотный диапазон, мощность рассеяния и область применения.

**Третий элемент.** Третий элемент - одна или несколько букв, указывают на разбивку приборов одного типа на типономиналы по различным характеристикам.

Фирма-изготовитель, приборы которой по своим параметрам подобны приборам, зарегистрированным EIA, может представлять свои приборы с обозначением, принятым по системе JEDEC.

Пример: 2N2221A, 2N904.

**2.3.Разновидноститранзисторов.  
 Рекомендации по выбору режима работы**

*Биполярный транзистор –*полупроводниковый прибор с двумя взаимодействующими переходами и тремя или более выводами, усилительные свойства которого обусловлены явлениями инжекции и экстракции неосновных носителей заряда. Работа биполярного транзистора зависит от носителей обеих полярностей.

*Полевой транзистор –*полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей, протекающим через проводящий канал и управляемый электрическим полем. Действие полевого транзистора вызвано носителями заряда одной полярности.

      Транзисторы – приборы универсального применения. Они могут быть использованы не только в классе схем, для которых они разработаны, но и во многих других схемах. Однако набор параметров  и характеристик, приводимых в справочниках, соответствует в первую очередь назначению транзистора.

Эксплуатация транзисторов должна осуществляться в соответствии с требованиями ТУ и стандартами-руководствами по применению п/п приборов и руководством для конкретного класса приборов.

Рабочий режим транзистора в проектируемой схеме часто отличается от того режима, для которого приводятся параметры в ТУ.

Значения большинства параметров транзисторов зависит  от рабочего режима и температуры, причём с увеличением температуры зависимость параметров от режима сказывается более сильно. В справочниках, как правило, приводятся типовые (усреднённые) зависимости параметров транзисторов от тока, напряжения, температуры, частоты. Эти зависимости должны использоваться при выборе типа транзистора  и ориентировочных расчётах схем, т. к. значения параметров транзисторов одного типа не одинаковы, а лежат в некотором интервале.

При конструировании схем необходимо стремиться обеспечить их работоспособность в возможно более широких интервалах изменений важнейших параметров транзисторов.

В аппаратуре транзистор может быть использован в широком диапазоне напряжений и токов. Ограничением служат значения предельно допустимых режимов, превышение которых в условиях эксплуатации не допускается независимо от длительности импульсов напряжения или тока. Даже кратковременное превышение предельно допустимых режимов может привести к пробою *p-n* перехода, сгоранию внутренних выводов  и выходу прибора из строя. Поэтому при применении транзисторов необходимо обеспечивать их защиту от мгновенных изменений токов и напряжений, возникающих при переходных процессах, мгновенных изменений питающих напряжений. Не допускается также работа транзисторов в совмещённых предельных режимах (например, по напряжению и току).

Режимы работы транзисторов должны контролироваться с учётом возможных неблагоприятных сочетаний условий эксплуатации аппаратуры. Необходимо принимать во внимание колебания напряжений источников питания, значение и характер нагрузки на выходе блока, амплитуды, длительности выходных сигналов, уровни внешних воздействующих факторов.

Правильный выбор теплового режима работы снижает интенсивность отказов транзисторов и обеспечивает стабильность выходных параметров аппаратуры.

Для учёта зависимости параметров от температуры в ГОСТах и ТУ приводятся температурный диапазон использования транзисторов, значения параметров и режимов при различных температурах и их температурные зависимости.

**2.4. Особенности использования транзисторов в аппаратуре связи**

Все преимущества полупроводниковых приборов, позволяющие создавать экономичную малогабаритную аппаратуру высокой надёжности, могут быть сведены к минимуму, если при разработке, изготовлении и эксплуатации её не будут приняты во внимание их специфические особенности.

Высокая надёжность аппаратуры связи и вещания может быть обеспечена только при учёте таких факторов, как разброс параметров транзисторов, температурная нестабильность и зависимость их параметров от режима работы, а также изменение параметров транзисторов в процессе эксплуатации аппаратуры.

Значение большинства параметров транзисторов зависит от рабочего режима и температуры, причём с увеличением температуры зависимость параметров от режима сказывается более сильно.

При конструировании схем необходимо стремиться обеспечить их работоспособность в возможно более широких интервалах изменения важнейших параметров.

Режимы работы транзисторов должны контролироваться с учётом возможных неблагоприятных сочетаний условий эксплуатации аппаратуры. При измерениях необходимо принимать во внимание колебания напряжений источников питания, значение и характер нагрузки на выходе узлов аппаратуры, амплитуды, длительности выходных сигналов, уровни внешних воздействующих факторов.

Для повышения надёжности транзисторов в эксплуатации следует выбирать рабочие режимы с коэффициентами нагрузки по напряжению и мощности в диапазоне 0,7-0,8. от максимума. Однако следует учесть, что применение транзисторов при малых рабочих токах приводит к снижению устойчивости их работы в диапазоне температур, нестабильности усиления во времени. Использование более ВЧ- транзисторов в НЧ схемах нежелательно т. к. они дороги, склонны к самовозбуждению и обладают меньшими диапазонами изменения параметров в рабочем режиме.

При применении мощных транзисторов необходимо обеспечивать правильный тепловой режим работы. Превышение предельной температуры может привести к тепловому пробою р-n перехода.

**2.5.Предельно допустимые параметры режима эксплуатации транзисторов**

IK max – максимально допустимый постоянный (импульсный) ток коллектора;

PK max – максимально допустимая постоянная (импульсная) рассеиваемая мощность  коллектора;

P max – максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность полевого транзистора;

UКЭ – постоянное напряжение коллектор – эмиттер;

UКЭR – постоянное напряжение коллектор – эмиттер при определённом сопротивлении в цепи база – эмиттер;

UКЭ гр – граничное напряжение биполярного транзистора;

UКБ max – максимально допустимое постоянное напряжение коллектор – база;

UЭБ max – максимально допустимое постоянное напряжение эмиттер – база;

UСИ max – максимально допустимое напряжение сток – исток;

UЗИ max – максимально допустимое напряжение затвор – исток;

UЗС max – максимально допустимое напряжение затвор – сток;

IC max – максимально допустимый постоянный ток стока.

**2.6. Малосигнальные параметры транзисторов**

Малосигнальные параметры транзисторов характеризуют работу транзисторов при воздействии малого сигнала. При воздействии малого сигнала транзистор рассматривают как линейный активный несимметричный четырёхполюсник. Этот четырёхполюсник имеет ту особенность, что у него всегда один из выводов является общим для цепей входа и выхода.

К малосигнальным относятся *h*-параметры (преимущественно для низких частот) и *y*-параметры (преимущественно для высоких частот),параметры схемы замещения транзистора, предельные и граничные частоты и коэффициент шумов.

В соответствии с теорией четырёхполюсников входные и выходные напряжения и токи (U1, I1, U2, I2) однозначно связаны между собой системой 2-х уравнений, содержащих 4 параметра четырёхполюсника.

*Система h-параметров* получила наиболее широкое распространение. Она удобна, т. к. требует воспроизведения холостого хода на входе (I1=0) и короткого замыкания на выходе (U2=0), что легко осуществимо при измерениях. Уравнения четырёхполюсника в этой системе имеют вид: U1= h11I1+ h12U2; I2 = h21I1+ h22U2.

Физический смысл h-параметров определяют следующим образом: - вх.

сопротивление транзистора при КЗ на выходе =- коэф. ОС по напряжению при разомкнутом по переменному току входе (I1=0); h21=- коэф. передачи тока при КЗ на выходе - выходная проводимость при разомкнутом по переменному току входе (I1=0).

Для наиболее часто используемых параметров приняты особые обозначения:   h21б = - α, h21э =  β.

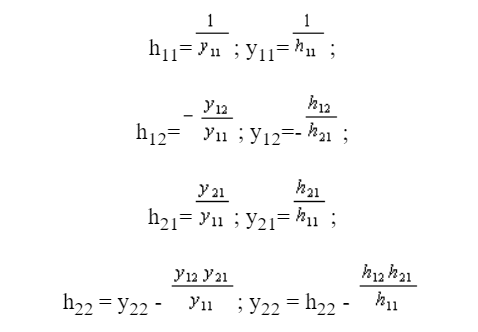
Зависимость между α и β определяется следующим выражением: , где α - коэффициент усиления по току при КЗ на выходе в схеме с ОБ; β - коэффициент усиления по току при КЗ на выходе в схеме с ОЭ.

Система *у – параметров* используется преимущественно при расчёте работы транзисторов на высоких частотах. По способу определения *у – параметры*являются параметрами КЗ.

I1= y11U1+ y22U2,

I2= y21U1+ y22U2

Связь между *h-*и*y-параметрами* выражается следующими формулами:



*Высокочастотные параметры* характеризуют работу транзистора на высоких частотах. Предельные частоты определяются по значению параметра, соответствующему пределу выше которого транзистор не может быть использован как усилительный элемент.

*Предельная частота fтркоэффициента усиления по току* в схеме с общим эмиттером определяется значением частоты, при которой модуль h21э=1.

*Предельная частота fмак. коэффициента усиления по мощности* определяется значением частоты, при которой усиление транзистора по мощности становится равным 1.

*Предельная частота fш коэффициента шумов*определяется значением частоты, выше которой начинается резкое возрастание уровня внутренних шумов транзистора.

*Граничная частота коэффициента передачи по току*в схеме с общим эмиттером и общей базой определяется значением частоты, при которой коэффициент усиления по току уменьшился в 1,41 раза по сравнению с его значением, измеренным на низкой частоте.

**2.7. Вольтамперные характеристики (ВАХ) транзисторов**

ВАХ содержит информацию о свойствах транзистора во всех режимах работы на больших и малых сигналах и о связях параметров между собой. По вольтамперным характеристикам можно определять ряд параметров, не приводимых в справочниках, а также произвести расчёты цепей смещения, стабилизацию режима, оценку работы транзистора в широком диапазоне импульсных и постоянных токов, мощностей и напряжений. Чаще всего используются два семейства статических вольтамперных характеристик: входные и выходные.

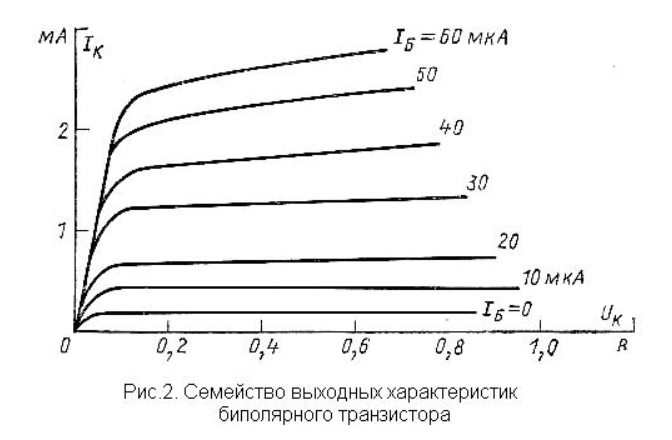
*Входные* *характеристики* отражают зависимость входного тока от напряжения между базой и эмиттером при фиксированных значениях напряжения на коллекторе у биполярных транзисторов.

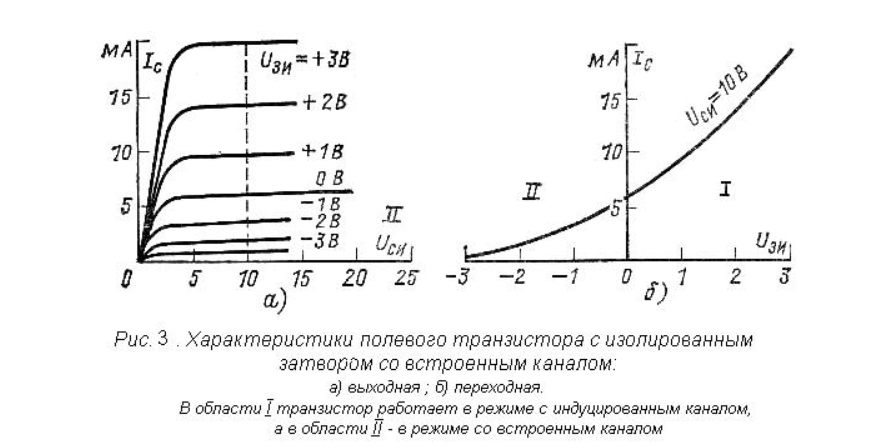
*Выходные характеристики* отражают зависимость тока коллектора от напряжения на коллекторе при фиксированных значениях тока базы или эмиттера (в зависимости от способа включения транзистора).

У полевых транзисторов вместо *входной* характеристики используется *переходная*, которая характеризует зависимость тока стока от напряжения затвор – исток при фиксированных значениях напряжения сток – исток.

*Выходная характеристика* полевого транзистора характеризует зависимость тока стока от напряжения сток – исток при фиксированных значениях напряжения затвор – исток.







# Глава 3. Микросхемы

Микросхема – это микромодульное изделие, выполняющее определённую функцию усиления, преобразования, обработки сигнала или накапливания информации и имеющая высокую плотность упаковки электрически соединённых элементов, компонентов и кристаллов. Под плотностью упаковки понимается отношение числа элементов и компонентов микросхемы к объёму микросхемы без учёта объёма выводов. Микросхемы являются основной элементной базой современной радиоэлектронной аппаратуры – от сложнейших устройств автоматического управления, связи, вычислительной техники, систем контроля до бытовых приборов (телевизоров, мобильных телефонов, компьютеров и др.). Внедрение микросхем в электронную аппаратуру связи позволяет уменьшить габариты, массу, упростить разработку, повысить качество и надёжность аппаратуры, уменьшить габариты и массу, упростить разработку, повысить качество и надёжность аппаратуры, уменьшить потребление энергии от источников питания.

## 3.1. Классификация и система условных обозначений микросхем

В зависимости от технологии изготовления микросхемы делятся на: *полупроводниковые, плёночные и гибридные*.

*Полупроводниковая* микросхема – это микросхема, все элементы и межэлементные соединения которой выполнены в объёме и поверхности полупроводника. *Плёночная*микросхема – это микросхема, все элементы которой выполнены в виде плёнок методом шёлкографии с выжиганием. *Гибридная* микросхема – это микросхема, содержащая кроме элементов компоненты и кристаллы. Частный случай гибридной микросхемы – многокристальная микросхема.

По степени интеграции микросхемы характеризуются числом содержащихся в них элементов и компонентов. Интегральной схемой 1-й степени является микросхема, содержащая от 1-го до 10 элементов и компонентов включительно.

Микросхемы 2-ой – 6-ой степеней интеграции содержат соответственно 11- 100, 101 – 1000, 1001 – 10000, 10001 – 100000, 100001 – 1000000 элементов и компонентов.

Микросхема, содержащая 500 и более элементов и компонентов называется большой интегральной микросхемой (БИС).

*Цифровая* микросхема предназначена для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции. Частным случаем цифровых микросхем являются логические микросхемы, реализующие функции алгебраической логики: И, ИЛИ, НЕ, ИЛИ-НЕ и др.

*Аналоговая* микросхема предназначена для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону непрерывной функции. Частным случаем аналоговой микросхемы является микросхема с линейной передаточной функцией (линейный усилитель).

*Условное обозначение микросхем* состоит из 4-х элементов, например:

*или*

*Первый элемент –*цифра, указывающая на конструктивно- технологическое исполнение: 1,5,6,7-полупроводниковые; 2,4,8-гибридные; 3-прочие.

*Второй элемент*– две-три цифры, обозначающие порядковый номер разработки данной серии микросхемы.

*Третий элемент*– две буквы, обозначающие функциональную классификацию микросхемы, при этом 1-я буква обозначает подгруппу, а 2-я – вид микросхемы (ЛА-цифровая микросхема И-НЕ, ТМ-триггер типа D).

*Четвёртый элемент –*порядковый номер разработки по функциональному признаку микросхемы. Этот номер может состоять из одной или нескольких цифр.

Для микросхем широкого применения в начале условного обозначения указывается буква «К», например: К155ТМ2. В конце условного обозначения микросхемы может быть буквенный индекс (от А до Я), характеризующий отличие микросхемы данного типа по численному значению одного или нескольких параметров, например: К140УД8А отличается от К140УД8Б (операционный усилитель общего назначения).

**3.2. Цифровые микросхемы, их классификация и основные параметры**

Цифровые микросхемы включают в себя логические и арифметические устройства: триггеры, запоминающие устройства и микропроцессорные комплексы.

В основу классификации цифровых микросхем положены следующие признаки: вид компонентов логической схемы (биполярные, униполярные), способ соединения полупроводниковых приборов в логическую схему и вид связи между логическими схемами.

По этим трём признакам логические микросхемы можно классифицировать следующим образом: РТЛ – схемы, входная логика которых осуществляется на резисторных цепях; РЕТЛ – схемы с резистивно-ёмкостными связями; ДТЛ - диодно-транзисторная логика; ТТЛ – транзисторно-транзисторная логика, включая многоэмиттерные транзисторы; И2Л – схемы с совмещёнными транзисторами (интегрально-инжекторная логика).

В настоящее время практически все логические элементы реализуются в виде интегральных схем (ИС). Это позволяет не только экономить пространство, но и снижать времена распространения сигналов, потребляемую мощность и стоимость элементов.

Для производства логических микросхем используются два совершенноразных технологических процесса, что привело к возникновению двух совершенно разных *семейств логических элементов: ТТЛ*и*КМОП.* ТТЛ-компоненты реализуются по технологии изготовления биполярных транзисторов, а КМОП ─ по технологии полевых транзисторов.

В основном цифровые микросхемы относятся к потенциальным схемам: сигнал на их входе и выходе представляется высоким и низким уровнями напряжений. Этим двум составляющим сигнала ставятся в соответствие логические значения «1» и «0».

Большинство цифровых микросхем представляет собой логические элементы, выполняющие функции НЕ. И-НЕ, ИЛИ-НЕ, И-ИЛИ-НЕ и др.

Это так называемые базовые функциональные элементы. Их основные электрические параметры определяют характеристики практически всех цифровых микросхем, входящих в состав серии. К числу электрических параметров, которые достаточно полно характеризуют эти микросхемы различных серий и позволяют сравнивать их между собой, относятся: *напряжение питания и логические уровни, потребляемая мощность и помехоустойчивость, нагрузочная способность и быстродействие.*

**3.3. Аналоговые микросхемы, области применения, разновидности**

Аналоговые интегральные микросхемы выпускаются самые различные по назначению и функциональным возможностям (генераторы и детекторы, модуляторы и преобразователи, стабилизаторы напряжения и тока, операционные усилители и др.) Аналоговые микросхемы находят широкое применение в аналоговых вычислительных машинах, аппаратуре преобразования аналоговой и цифровой информации, аппаратуре связи, телевидения и телеуправления, системах контроля и измерительных приборах.

Аналоговые микросхемы можно разделить на две группы. Первую составляют микросхемы универсального назначения: матрицы согласованных резисторов, диодов, транзисторов и т. д. Во вторую группу входят специализированные аналоговые микросхемы, выполняющие некоторые определённые функции, например, фильтрации, компрессию, перемножение аналоговых сигналов.

Разработка любого аналогового устройства сопряжена с ошибками, источниками которых может быть технологический разброс параметров элементов, их температурный и временной дрейфы, шумы, наводки. Уменьшение погрешности работы аналоговых устройств ─ одна из главных задач их разработчиков. Высокая сложность решения этой проблемы вызвала отставание технологии аналоговых микросхем как самостоятельного направления микроэлектроники по сравнению с технологиями цифровых микросхем. Серьёзным препятствием явился ограниченный набор элементов полупроводниковых микросхем, в частности сложность изготовления  индуктивностей и ёмкостей в микромодульном исполнении.

В настоящее время многие из указанных трудностей преодолены. Разработаны специальные схемотехнические приёмы взаимной компенсации нестабильности параметров элементов электронных схем, при которых точность работы аналогового устройства гарантируется идентичностью характеристик элементов. Особенностью схемотехники современных аналоговых микросхем является реализация принципа схемотехнической избыточности, который, не смотря на усложнение изделий, благодаря интегральной технологии, позволяет улучшить их качество.

Применение аналоговых микросхем всегда специфично. Серии микросхем существенно различаются по областям преимущественного применения, функциональному составу и числу входящих в серию микросхем. Примером широко распространённой аналоговой микросхемы являются операционные усилители (ОУ), появление которых является важнейшим достижением современной аналоговой микроэлектроники. ОУ широко используются в самых разнообразных электронных устройствах.

Основой технологического процесса изготовления полупроводниковых микросхем является планарный процесс, обеспечивающий одновременное изготовление большого количества микросхем на одной пластине полупроводникового материала. В основе изготовления гибридных интегральных микросхем лежит плёночная технология.

**3.4.Микросхемы с программируемой структурой**

Микросхемы с *программируемой структурой* ─ это средства реализации узлов и устройств на кристаллах повышенного и высокого уровня интеграции. Создание таких микросхем оценивается специалистами как новый этап (революция) в развитии микроэлектронной техники.

Цифровые системы содержат как стандартные части (процессор, память и др.), так и нестандартные, специфические для данного цифрового устройства. Это прежде всего схемы управления модулями системы  и обеспечения их взаимодействия. Реализация нестандартных частей системы исторически была связана с применением микросхем малого и среднего уровней интеграции (МИС и СИС), поскольку изготовление по заказу специализированных БИС связано с очень большими затратами средств и времени. Использование МИС и СИС сопровождается резким ростом числа корпусов ИС, усложнением монтажа, снижением надёжности системы и её быстродействия.

Возникшие трудности разрешились при разработке микросхем с программируемыми структурами. Одни из таких микросхем изготовляются как законченные *стандартные*изделия и затем программируются пользователями в соответствии с требованиями конкретных проектов. Потребитель в этом случае избавляется от необходимости заказывать для себя дорогостоящие специализированные микросхемы. Другие разновидности изготовляются как *полуфабрикаты* и далее специализируются с помощью сокращённого числа технологических операций. В этом случае потребитель существенно уменьшает расходы на создание требуемой продукции в сравнении с расходами на изготовление полностью заказанной схемы. Первыми представителями микросхем с программируемой структурой явились:

     *программируемые логические матрицы ПЛМ;*

     *программируемая матричная логика ПМЛ;*

     *вентильные матрицы ВМ,* чаще называемые в отечественной литературе *базовыми матричными кристаллами (БМК).*

Появление ПЛМ, ПМЛ и БМК ознаменовало собой начало важнейшего направления развития цифровой компонентной базы, в рамках которого стало экономически возможным применение микросхем высокого уровня интеграции и в проектах небольшой тиражности. Разработка БИС / СБИС с программируемой и перепрограммируемой структурой оказалась чрезвычайно перспективным направлением и привела к новым эффективным средствам создания специализированных ИС, таким как: CPLD, FPGA, SGA, SOPC и др..

Целесообразность применения того или иного типа специализированных ИС зависит от конкретных условий, в большой степени от объёма выпуска проектируемой аппаратуры.

Все специализированные, т. е. приспосабливаемые к требованиям конкретного потребителя, ИС делятся на программируемые пользователем и программируемые изготовителем. В обоих случаях речь идёт о программировании структуры, т. е. изменении схемы согласно требованиям проекта. Программирование пользователем или изготовителем существенно меняет характер разработки ЦУ.

Среди программируемых пользователем логических (цифровых) схем выделены простые (SPLD), представляющие первое поколение схем с программируемой структурой, в число которых входят микросхемы ПЛМ и ПМЛ, более сложные программируемые логические устройства (СРLD) и программируемые пользователем вентильные матрицы (FPGA), отличающиеся максимальной сложностью структуры и максимальными функциональными возможностями. К микросхемам, программируемым изготовителем (точнее с его участием), относятся полузаказные и заказные ИС. В число полузаказных ИС входят базовые матричные кристаллы, среди которых выделены стандартные и появившиеся в последнее время структурированные варианты. Полностью заказанные схемы отличаются наилучшими техническими характеристиками, но и самым дорогостоящим проектированием. Они делятся на схемы, разрабатываемые методом стандартных ячеек, т. е. с широким использованием готовых библиотечных фрагментов схем, и полностью заказанные, проектируемые индивидуально вплоть до транзисторного уровня. Важным видом БИС / СБИС являются «*системы на кристалле».*К «системам на кристалле» относятся схемы, объединяющие в себе все основные функциональные элементы конечного продукта (процессор, память, аппаратные быстродействующие блоки разного фундаментального назначения, интерфейсные схемы и т. д.). Разработка «систем на кристалле» требует новых подходов к задачам их проектирования. Что касается средств реализации «систем на кристалле», то они могут быть различными. «Жёсткие» системы *SoC* могут быть реализованы на полностью заказанных или полузаказанных схемах, программируемые системы *SoPC* в качестве своей основы обычно используют *FPGA*.