



МИКРОСХЕМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Выпуск 967

МИКРОСХЕМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ



Москва
«ЭНЕРГИЯ» 1978

ББК 32.252
М59
УДК 621.3.049.77

Редакционная коллегия:

Берг А. И., Белкин Б. Г., Ванев В. И., Геништа Е. Н., Горюховский А. В., Демьянов И. А., Ельяшкевич С. А., Жербоцков И. П., Корольков В. Г., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Чистяков Н. И.

Авторы: В. А. Батушев, В. Н. Вениаминов, В. Г. Ковалев, О. Н. Лебедев, А. И. Мирошниченко

Микросхемы и их применение/Батушев В. А., Вениаминов В. Н., Ковалев В. Г. и др. — М.: Энергия, 1978. 248 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 967).

В пер. 1 р. 50 к.

В книге даны общие сведения об интегральных микросхемах, рассмотрены принципы построения на их основе различных радиоэлектронных устройств, показаны возможности применения микросхем в радиолюбительской практике. Приведена классификация микросхем и необходимые справочные данные.

Книга рассчитана на радиолюбителей, имеющих опыт работы в области полупроводниковой электроники.

М 30404-279
051(01)-78 122-78

ББК 32.252
6Ф0.3

**ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ БАТУШЕВ,
ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ ВЕНИАМИНОВ,
ВЕНЕДИКТ ГРИГОРЬЕВИЧ КОВАЛЕВ,
ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ ЛЕБЕДЕВ,
АНДРЕЙ ИВАНОВИЧ МИРОШНИЧЕНКО
МИКРОСХЕМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

Редактор М. А. Бедрековский
Редактор издательства Т. В. Жукова
Технический редактор Г. Г. Хацкевич
Корректор И. А. Володичева

ИБ № 2032

Сдано в набор 18.01.78 Подписано к печати 28.07.78 Т-13890 Формат 84×108^{1/32} Бумага типографская № 2 Гарн. шрифта литературная Печать высокая Усл. печ. л. 13,02 Уч.-изд. л. 16,83 Тираж 150 000 (1-й завод: 1—110 000) экз. Зак. № 442 Цена 1 р. 50 к.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10
Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

© Издательство «Энергия», 1978 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Последнее десятилетие характеризуется высоким совершенством как профессиональной, так и любительской радиоэлектронной аппаратуры. Дальнейшее повышение технического уровня радиоэлектронной аппаратуры достигается путем ее миниатюризации на основе развития функционально-узлового метода конструирования и использования новой элементной базы — интегральных микросхем. Благодаря таким достоинствам, как высокая надежность, малые габариты и энергопотребление, сравнительно невысокая стоимость, производство интегральных микросхем бурно развивается во многих странах мира.

Проникнув в самые разнообразные виды радиоэлектронной техники — от сложнейших управляющих комплексов до бытовых приборов и устройств, микросхемы значительно расширили сферу применения радиоэлектронных средств и обеспечили высокий технико-экономический эффект от их внедрения. Постепенно возрастает такой показатель современной аппаратуры, как количество функций, приходящихся на единицу объема и массы, существенно повышается срок службы аппаратуры, снижается ее эквивалентная стоимость.

Однако возможности интегральной электроники далеко еще не использованы в практике, особенно в радиолюбительской. Внедрение интегральных микросхем в радиолюбительскую аппаратуру значительно отстает от темпов развития профессиональной аппаратуры, в которой используются микросхемы.

Слабое внедрение микросхем в радиолюбительскую аппаратуру можно отнести за счет недостаточного освещения в литературе возможностей и преимуществ микросхем и опыта их применения. В связи с этим до сих пор наблюдается определенная «робость» радиолюбителей при использовании микросхем.

Переход радиолюбителей к широкому применению микросхем в аппаратуре позволит не только повысить качество аппаратуры, в целом, но и ускорить сроки ее разработки и создания, избежать ряда традиционных неудобств, в том числе настроек и подстроек, собственных сборке узлов и блоков из навесных компонентов. В то же время он потребует отказа от некоторых традиционных схемных решений, более продуманного выбора элементной базы — интегральных микросхем, знания их номенклатуры и принципов синтеза устройств. Интегральная технология, возникшая как дальнейшее развитие и совершенствование способов и процессов, принятых в производстве полупроводниковых приборов, не только породила новые представления об оптимальных функциональных структурах и рациональных способах их построения, но и вызвала к жизни новые принципы проектирования и конструирования аппаратуры, оказала

глубокое влияние на все этапы разработки, производства и эксплуатации радиоэлектронных устройств. В связи с этим возникла необходимость ознакомления широкого круга читателей, интересующихся успехами полупроводниковой электроники и имеющих опыт работы в данной области, с номенклатурой и с практическими вопросами применения интегральных микросхем, выпускаемых отечественной промышленностью, с особенностями конструирования радиоэлектронной аппаратуры на их основе.

В предлагаемой читателям книге даны общие сведения об интегральных микросхемах, выпускаемых промышленностью, рассмотрены принципы их функциональной классификации, приведены количественные значения основных параметров, изложены конструктивные особенности микросхем. Рассмотрен состав основных серий аналоговых микросхем, режимы их применения и примеры реализации на них функциональных узлов, проведено сравнение идентичных функциональных узлов по техническим характеристикам. Изложены особенности построения аналоговых трактов массовой радиоэлектронной аппаратуры на микросхемах и примеры применения микросхем в бытовой аппаратуре, выпускаемой промышленностью, и в радиолюбительских разработках.

Рассмотрены также особенности проектирования, конструирования и эксплуатации аппаратуры на микросхемах, включая разработку печатных плат, размещение на них микросхем, конструирование субблоков и блоков, обеспечение теплового режима, защиту микросхем от действия статического электричества, монтаж и демонтаж микросхем. В приложениях даны принятые условные обозначения микросхем, типы их корпусов.

В целом задачей книги является показ возможностей отечественных микросхем, а также условий их применения на базе обобщения практического опыта.

В книге учтен большой собственный опыт работы авторов с микросхемами. Все разделы книги написаны доступно для массового читателя и в то же время без ущерба для содержания, цельности и строгости излагаемого материала.

Авторы надеются, что книга будет с интересом и пониманием встречена широким кругом радиолюбителей.

Отзывы о книге просим присылать по адресу: 113114, Москва, М-114, Шолоховая наб., 10, издательство «Энергия», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Авторы

Глава первая ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

1-1. ИНТЕГРАЛЬНАЯ МИКРОСХЕМА — СОВРЕМЕННЫЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ УЗЕЛ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Полевые и биполярные транзисторы, полупроводниковые диоды, резисторы, конденсаторы и прочие полупроводниковые, электровакуумные, газоразрядные приборы и радиодетали называют элементами радиоэлектронной аппаратуры или электрорадиоэлементами. При разработке конструкции аппаратуры электрорадиоэлементы рассматриваются как ее неделимые части — конструктивные элементы. Предприятия электронной промышленности выпускают типовые электрорадиоэлементы в широком ассортименте по утвержденным стандартам и техническим условиям в качестве комплектующих изделий. Изготовление аппаратуры заключается в сборке ее из готовых электрорадиоэлементов, радиокомпонентов, установочных и конструктивных деталей. Группы электрорадиоэлементов и компонентов из технологических или эксплуатационных соображений могут конструктивно объединяться в сборочные единицы, называемые узлами, а если объединенные элементы и компоненты при этом совместно выполняют единую функцию, то узел называют функциональным (рис. 1-1). Узлы в свою очередь могут объединяться в субблоки; субблоки — в блоки (см. гл. 6).

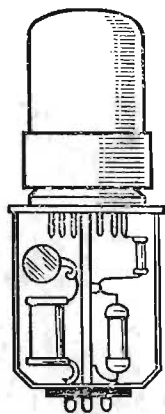
В последние годы получила широкое распространение новая технология создания функциональных узлов, при которой совмещаются процессы изготовления входящих в узел электрорадиоэлементов и процессы объединения их в функциональную конструктивно завершенную структуру. Эта технология получила название интегральной (от латинского — цельный, неразрывный, связанный). Функциональные узлы радиоэлектронной аппаратуры, изготавливаемые методом интегральной технологии, были названы интегральными микросхемами (рис. 1-2), слово «интегральный» может опускаться*. Приставка «микро» подчеркивает характерную особенность интегральной технологии — высокий уровень миниатюризации, достигаемый в ее изделиях.

Миниатюризация — одно из ведущих направлений развития радиоэлектроники, целью которого является создание аппара-

* Терминология дается в соответствии с ГОСТ 17021-75; далее по тексту слова, которые могут в наименованиях опускаться, приводятся в скобках.

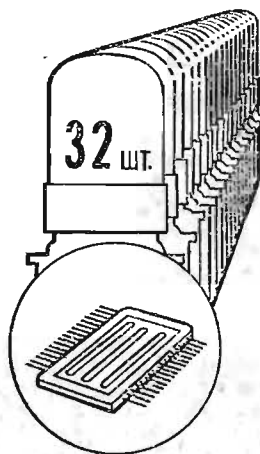
туры, имеющей минимальную массу и объем при заданных функциональных и эксплуатационных характеристиках. Проблема миниатюризации является традиционной для радиоэлектроники, но значение ее непрерывно растет по мере расширения областей применения радиоэлектронного оборудования и увеличения сложности и важности выполняемых функций. В такой же мере растет и значение миниатюризации узлов, субблоков и блоков, поскольку они определяют уровень миниатюризации аппаратуры в целом.

Уровень миниатюризации аппаратуры в достаточной мере характеризуется объемом и массой изделия. Для функциональных уз-



Масса 200 г
Потребление 5 Вт
Плотность упаковки 0,1
эл/см³

Рис. 1-1. Функциональный узел.



Масса 1 г : 32 = 0,03 г
Потребление 0,16 Вт : 32 = 5 мВт
Плотность упаковки 1000 эл/см³

Рис. 1-2. Интегральная микросхема.

лов аппаратуры более удобными показателями уровня миниатюризации являются плотность упаковки, характеризующая отношением числа элементов, содержащихся в узле, к объему, занимаемому узлом, и потребляемая мощность, определяющая возможную массу источника питания. Эти показатели, естественно, зависят от типа функционального узла, тем не менее для широкого класса узлов они сопоставимы.

Опыт показал, что при сборке маломощных функциональных узлов из дискретных (навесных) электрорадиоэлементов не удается достигнуть плотности упаковки выше 2 эл/см³ даже при использовании самых миниатюрных полупроводниковых приборов и радиодеталей. Функциональные узлы, собираемые из специальных электрорадиоэлементов, так называемые микромодули, обеспечивающие

плотность упаковки до 20 эл/см³, не нашли широкого применения из-за высокой стоимости этих конструкций. Интегральная же технология позволяет получить в тысячи раз большую плотность упаковки (до 10 000 эл/см³) при невысокой стоимости и большой надежности. Эта замечательная особенность интегральной технологии, открывшая широкие возможности миниатюризации радиоэлектронных устройств, и явилась причиной широкого и быстрого внедрения интегральных микросхем в радиоэлектронную аппаратуру.

Переход от традиционных методов сборки функциональных узлов аппаратуры из готовых типовых электрорадиоэлементов к принципиально новой методике, совмещающей процессы изготовления элементов и процессы объединения их в конструктивно завершенную функциональную структуру, стал возможным благодаря большим успехам, достигнутым за последние 10—15 лет полупроводниковой технологией, освоившей значительное количество новых весьма эффективных приемов и процессов. Результаты этого перехода оказались столь существенными, что они ознаменовали подъем всей электроники на качественно новый уровень.

Появление интегральных микросхем — это не просто создание более совершенной элементной базы радиоэлектронной аппаратуры. Интегральная технология приводит к новым представлениям об оптимальных функциональных структурах радиоэлектронных устройств и их функциональном базисе, она вызывает к жизни новые принципы и способы конструирования аппаратуры, оказывает глубокое влияние на все этапы изготовления радиоэлектронных устройств и на способы его эксплуатации, невиданно расширяет сферу их применения. Интегральная технология стимулировала формирование микроэлектроники — отрасли электроники, включающей проблемы исследования, конструирования, изготовления и применения электронных изделий с высокой степенью миниатюризации.

1-2. УСТРОЙСТВО ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Полупроводниковые интегральные микросхемы

Наибольшее распространение получили интегральные микросхемы, у которых все элементы и межэлементные соединения выполнены в объеме и на поверхности полупроводника. Их называют полупроводниковыми (интегральными) микросхемами.

Для изготовления полупроводниковых микросхем используются кремниевые монокристаллические пластины диаметром 30—60 мм и толщиной 0,25—0,4 мм. Элементы (микросхемы) — биполярные и полевые транзисторы, диоды, резисторы и конденсаторы — формируют в полупроводниковой пластине методами, известными из технологии дискретных полупроводниковых приборов (селективная диффузия, эпитаксия и др.), но получившими в интегральной технологии дальнейшее развитие. Межсоединения выполняют путем напыления узких проводящих дорожек алюминия на окисленную (т. е. электрически изолированную) поверхность кремния, имеющую окна в пленке окисла в тех местах, где должен осуществляться контакт дорожек с кремнием (в области эмиттера, базы, коллектора транзисторов и т. д.). Для соединения элементов с выводами микросхемы на проводящих дорожках создаются расширенные участки — контактные площадки. Методом напыления иногда изготавливают также резисторы и конденсаторы.

Изготовление полупроводниковых микросхем осуществляется групповым методом, при котором на одной пластине 1 (рис. 1-3) одновременно создается большое число (до 300—500) одинаковых функциональных структур (набор элементов и межсоединений). Одновременной обработке подвергается до 20 пластин. После выполнения всех операций по формированию элементов и межсоединений пластину разрезают на части 2, называемые кристаллами (интеграль-

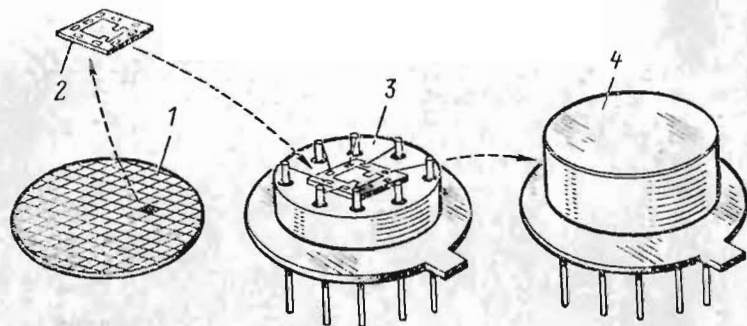


Рис. 1-3. Основные части микросхемы.

ной микросхемы). Каждый кристалл содержит одну функциональную структуру. Его закрепляют на основании корпуса 3: контактные площадки кристалла соединяют с траверсами (выводами) корпуса с помощью тонких проводников; на основание надевается крышка корпуса 4 и корпус герметизируют для обеспечения защиты микросхемы от воздействия окружающей среды.

Рассмотрим теперь некоторые особенности элементов полупроводниковых микросхем, обусловленные необходимостью изоляции элементов от тела кристалла, обладающего заметной электрической проводимостью. Изоляция элементов осуществляется либо с помощью дополнительного электронно-дырочного перехода, находящегося под напряжением обратного смещения, либо с помощью тонкого слоя диэлектрика, например двуокиси кремния. Первый способ сравнительно прост и дешев и поэтому является наиболее распространенным, но при этом токи утечки на тело кристалла оказываются не менее 10 нА, а емкость элемента по отношению к телу кристалла не менее 2 пФ. Второй способ более сложен и дорог, но обеспечивает снижение тока утечки в тысячи раз, а емкости — в десятки раз.

Биполярные транзисторы. Структура транзистора, изолированного электронно-дырочным переходом, показана на рис. 1-4. Электрод коллектора K расположен в интегральных транзисторах в поверхностной части кристалла, там же, где находятся другие электроды — эмиттер $Э$ и база $Б$. Чтобы в этих условиях обеспечить низкоомный путь для тока коллектора к электроду коллектора K , под областью коллектора создают скрытый слой n^+ , обладающий повышенной проводимостью. Изолирующий переход образуется вдоль линии, разделяющей область n коллектора и область n^+ его скрытого слоя от областей p^+ и p тела кристалла.

Транзисторы полупроводниковых микросхем в ряде случаев могут иметь несколько отдельных эмиттеров при общей для всех их базе и общем коллекторе. Такие транзисторы называются **многоэмиттерными**, их устройство показано на рис. 1-5, способы использования рассмотрены в гл. 4.

Если в полупроводниковой микросхеме применяется диэлектрическая изоляция элементов, то транзисторы имеют такую же двух-переходную структуру, как и их дискретные аналоги.

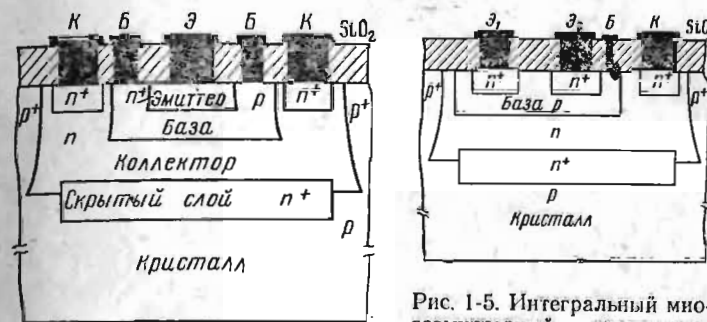


Рис. 1-5. Интегральный многоэмиттерный транзистор.

Рис. 1-4. Интегральный биполярный транзистор, изолированный электронно-дырочным переходом.

Параметры интегрального биполярного транзистора определяются, как обычно, концентрационным профилем структуры, площадью переходов, электрофизическими свойствами материала. Максимальный ток коллектора может достигать 50 мА, коэффициент передачи тока базы — от 20 до 50, обратные токи переходов — менее 10 нА, максимальное напряжение на коллекторе — 40 В, предельная рабочая частота — 1000 МГц.

Полупроводниковые диоды. Для упрощения технологического цикла диоды изготавливают на основе транзисторных структур. Для быстродействующих диодов используется эмиттерный переход при соединении с базой коллекторе (рис. 1-6, а); для диодов, которые должны иметь большое пробивное напряжение, используется коллек-

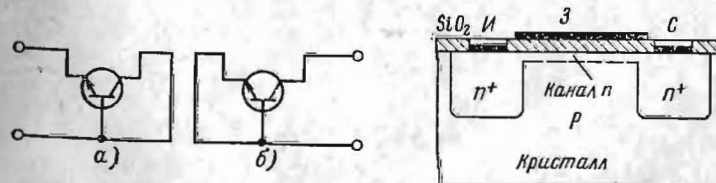


Рис. 1-6. Интегральные полупроводниковые диоды (схема соединения).

Рис. 1-7. Интегральный МДП-транзистор.

торный переход, а эмиттер соединяется с базой (рис. 1-6, б). Во втором случае скорость переключения получается в десятки раз ниже из-за большого неравновесного заряда, накапливающегося не только в области базы, но и в области коллектора, а также из-за большей емкости перехода.

МДП-транзисторы. Эти приборы не нужно специально изолировать от тела кристалла, так как у них область «сток-канал-исток» изолирована от тела кристалла электронно-дырочным переходом, образующимся вдоль линии, разделяющей область p тела кристалла от области n^+ истока, области n канала и области n^+ стока, переход имеет обратное смещение в рабочем режиме (рис. 1-7). Площадь, занимаемая на подложке МДП-структурой, оказывается при этом в сотни раз меньше, чем у биполярных структур, что позволяет получить значительно большую плотность размещения элементов на подложке.

Интегральные МДП-транзисторы имеют следующие параметры:

ток стока — до 10 мА, напряжение стока — до 30 В, входное сопротивление — десятки мегаом, предельная частота — 10 МГц. Таким образом, интегральные МДП-транзисторы — сравнительно низкочастотные элементы, что обуславливается большими межэлектродными емкостями.

Конденсаторы. В полупроводниковых микросхемах применяются в основном конденсаторы $p-n$; для этой цели используется коллекторный переход 1 транзисторной структуры (рис. 1-8), эмиттерная область в данном случае не формируется. Изолирующий переход 2 отделяет конденсатор $p-n$ от тела кристалла. Выводами конденсатора являются алюминиевые электроды 3, 4. Конденсаторы, один вывод которых должен быть соединен с телом кристалла, могут выполняться на основе изолирующего перехода.

Емкость конденсатора $p-n$ определяется выбором площади перехода и обычно не превышает 100 пФ. Добротность — не более 10, отклонение емкости от номинальной — до 30%, температурный коэффициент емкости — до $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.

Малый диапазон емкостей, низкая добротность, высокий температурный коэффициент и зависимость емкости от приложенного напряжения не позволяют иногда использовать конденсаторы $p-n$, в этом случае применяют пленочные конденсаторы типа «металл-диэлектрик-металл». Они выполняются последовательным напылением трех тонких слоев (проводящего, изолирующего и проводящего) на изолирующую пленку двуокиси кремния, находящуюся на поверхности полупроводниковой пластины. Емкость таких конденсаторов достигает 500 пФ при отклонении от номинальной до $5-10\%$, добротность — до 100, температурный коэффициент емкости — до $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, рабочее напряжение — до 60 В.

Применяются также конденсаторы МДП, у которых нижнюю обкладку образует эмиттерный слой транзисторной структуры, диэлектриком является пленка двуокиси кремния, верхняя обкладка — металлическая. Вследствие большого сопротивления потерь нижней (полупроводниковой) обкладки такие конденсаторы несколько усту-

пают конденсаторам с металлическими обкладками, но проще в изготовлении. По сравнению с конденсаторами $p-n$ параметры конденсаторов МДП значительно лучше.

Резисторы. Для формирования в полупроводниковой пластине области с требуемым электрическим сопротивлением, обычно используется базовый слой транзисторной структуры (рис. 1-9), иногда эмиттерный или коллекторный. Такие резисторы называют *диффузионными*. Алюминиевые межсоединения 1 имеют контакт с резистивным элементом 2 через окна в изолирующей пленке двуокиси кремния. Электронно-дырочный переход 3 изолирует резистивный элемент от тела кристалла.

Поскольку параметрами диффузионных слоев — толщиной слоя, концентрацией и распределением примеси — задаются требования к транзисторным структурам, то необходимое сопротивление резистивного элемента может быть получено лишь путем выбора типа слоя, его ширины и длины. Эмиттерный слой, имеющий более высокую концентрацию примесей, используют для получения резисторов с малым сопротивлением (от 2 до 30 Ом), а базовый слой — с большим сопротивлением (от 100 Ом до 20 кОм). Отклонение сопротивления от номинального достигает 20%, а предельная частота — 100 МГц, максимальное рабочее напряжение — 5 и 20 В соответственно для эмиттерного и базового слоев, температурный коэффициент — $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ и $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.

В полупроводниковых схемах обычно применяют диффузионные резисторы, но если требуемое номинальное сопротивление на их основе не может быть реализовано, то в качестве резистивного элемента используют проводящие дорожки из пленки высокоомного металла, напыленные, как и межсоединения, на изолирующий слой двуокиси кремния, покрывающий поверхность кристалла. Эти резисторы называют *пленочными*.

В качестве резисторов в полупроводниковых микросхемах используется также канал МДП-транзистора. Сопротивление при этом может регулироваться с помощью напряжения, подаваемого на затвор; минимальное сопротивление не превышает 100 Ом.

Размещение элементов, межсоединений и контактных площадок на поверхности и внутри кристалла полупроводниковой микросхемы иллюстрирует рис. 1-10. Область, занимаемая элементами на кристалле, имеет размеры $1 \times 1 \text{ мм}^2$. На рис. 1-10, а показана принципиальная схема функционального узла, выполненного в виде микросхемы, на рис. 1-10, б — вид сверху. Это так называемый логический элемент ИЛИ — НЕ, состоящий из двух транзисторов T_1 и T_2 и трех резисторов R_1-R_3 (принцип его действия рассмотрен в гл. 4). Межсоединения и контактные площадки 1-5 отмечены штриховкой (на рис. 1-10, б). На рис. 1-10, в показан разрез кристалла по А-А. Видны эмиттерная область n^+ транзистора T_1 и вывод его эмиттера Э, базовая область p и ее вывод Б, коллекторная область n и ее вывод К, а также изолирующий слой двуокиси кремния на поверхности подложки (заштрихован в клетку) и сечения пленочных резисторов R_1 и R_3 (отмечены точками).

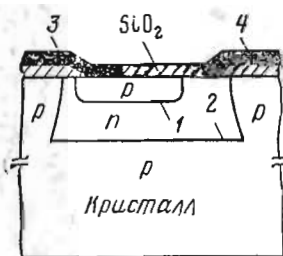


Рис. 1-8. Интегральный конденсатор $p-n$.

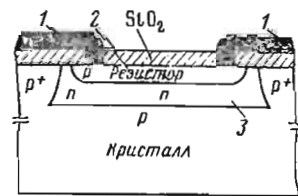


Рис. 1-9. Диффузионный резистор.

Рассмотренная простейшая полупроводниковая интегральная микросхема имеет пять элементов: два транзистора и три резистора. В выпускаемых промышленностью микросхемах число элементов на кристалле, как правило, значительно больше, иногда оно исчисляется тысячами.

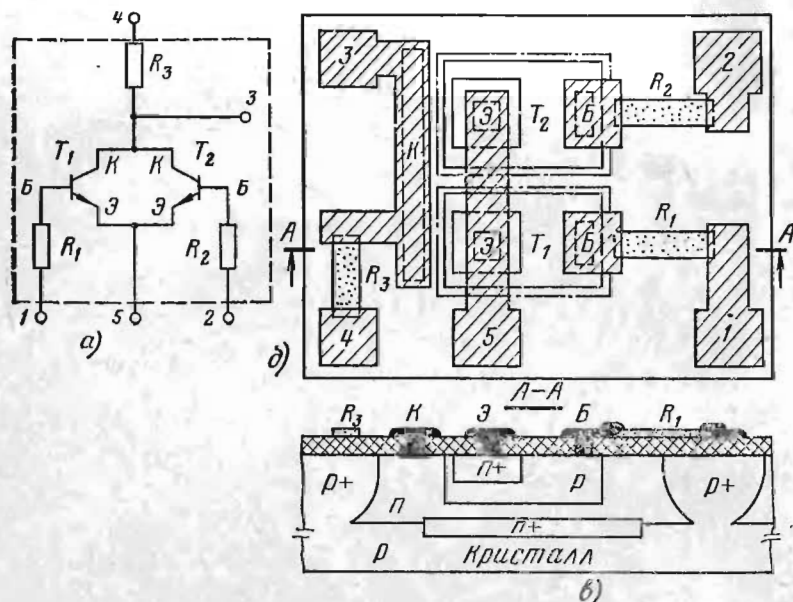


Рис. 1-10. Кристалл полупроводниковой микросхемы.

Пленочные и гибридные интегральные микросхемы

Второй разновидностью микросхем являются пленочные (интегральные) микросхемы, подразделяемые на тонкопленочные и толстопленочные. Более совершенными и более распространенными являются тонкопленочные микросхемы. Они выполняются на диэлектрической подложке (из стекла, ситалла, керамики), элементами их являются резисторы и конденсаторы. Иногда используют индуктивные элементы.

Резисторы изготавливают путем напыления на подложку 3 через трафарет тонкой пленки высокоомного материала (нихром, тантал, сплав МЛТ) нужной конфигурации (рис. 1-11). Концы полученного резистивного элемента 1 соединяют с пленочными контактными площадками 2, выполняемыми из металла, обладающего высокой электропроводимостью (алюминий, медь, золото).

Электрическое сопротивление тонкопленочных резисторов может быть от 10 Ом до 1 МОм в зависимости от толщины, ширины и длины резистивной полоски, а также удельного сопротивления материала. Отклонение сопротивления от номинального — 5—10%; применяя

подгонку, можно получить отклонение менее 0,1%. Температурный коэффициент сопротивления — $(50-500) \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Допустимая удельная мощность рассеяния составляет 1—3 Вт/см². Благодаря малой собственной индуктивности тонкопленочные резисторы имеют частотный диапазон до 1000 МГц.



Рис. 1-11. Интегральный пленочный резистор.

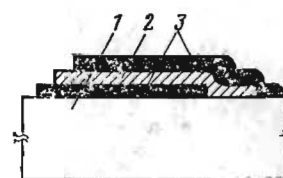


Рис. 1-12. Интегральный пленочный конденсатор.

Конденсаторы выполняют на диэлектрической подложке 1 путем последовательного напыления трех слоев: металл-диэлектрик-металл (рис. 1-12). Металлические слои 3, образующие обкладки конденсатора, напыляют обычно из алюминия; в качестве диэлектрика 2 используют окис кремния, окис алюминия, боросиликатное стекло и др. Емкость такого конденсатора в зависимости от площади обкладок, толщины и диэлектрической проницаемости диэлектрика составляет от 100 до 500 пФ при рабочем напряжении до 60 В. Температурный коэффициент емкости — $(35-400) \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, частотный диапазон — 300—500 МГц.

Индуктивные элементы могут быть выполнены в виде однослойных многослойных спиралей, однако индуктивность их не превышает 20 мкГ при добротности не более 50, поэтому подобные элементы находят малое применение в микросхемах.

На базе пленочной технологии до сих пор не удалось создать достаточно надежные транзисторы или другие усилительные элементы, поэтому пленочные микросхемы имеют ограниченное самостоятельное применение и большей частью составляют пассивную основу гибридных (интегральных) микросхем.

Гибридные микросхемы изготавливаются на диэлектрической подложке. Пассивные элементы R , C , L , межсоединения и контактные площадки выполняются методом пленочной технологии. Применяется групповой метод обработки, при котором на одну подложку наносят до 16—18 идентичных групп элементов и межсоединений, затем подложка разрезается на части — платы, каждая из которых содержит элементы и межсоединения одного функционального узла.

Транзисторы для гибридных микросхем изготавливают отдельно, поэтому их называют не элементами, а компонентами микросхем. В целях экономии объема транзисторы применяют в бескорпусном оформлении, иногда в виде сборки. Их параметры имеют примерно те же численные значения, что и у дискретных аналогов. Защита бескорпусного транзистора от воздействия внешней среды осуществляется с помощью специального влагостойкого покрытия.

Транзистор 1 укрепляют на плате 4 термокомпрессионной сваркой шариковых 3 или балочных 5 выводов с контактными площадками 2 либо с помощью проволоочных выводов (рис. 1-13).

Общий вид платы гибридной интегральной микросхемы показан на рис. 1-14, а. На диэлектрическую подложку наносятся через трафарет резистивные полоски R_1 , R_2 , R_3 из высокоомного материала; затем через другой трафарет распылением металла, имеющего высокую электропроводность, наносятся нижняя обкладка O_1 конденсатора C , межсоединения и контактные площадки 1-5; далее через третий трафарет наносится пленка диэлектрика конденсатора D ; через четвертый трафарет наносится последний слой — верхняя обкладка конденсатора O_2 . Транзистор T приклеивается к подложке и проволоочными выводами присоединяется к соответствующим контактным площадкам.

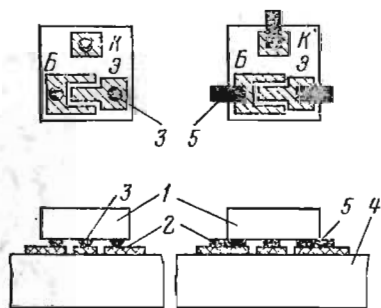


Рис. 1-13. Монтаж бескорпусного транзистора в гибридной микросхеме.

На рис. 1-14, б показана принципиальная схема рассмотренного устройства. Оно не является функционально законченным, поскольку может быть использовано (в усилителе с общим эмиттером, в эмиттерном повторителе и т. п.) лишь при подключении к нему ряда внешних элементов. Такая функциональная незавершенность обычно возникает из-за трудностей выполнения некоторых элементов (например, катушек) в виде, пригодном для монтажа внутри микросхемы. Иногда микросхему специально делают функционально незавершенной, чтобы расширить возможности ее использования.

Рассмотренная простейшая микросхема имеет один компонент (транзистор) и четыре элемента (конденсатор и три резистора). Вы-

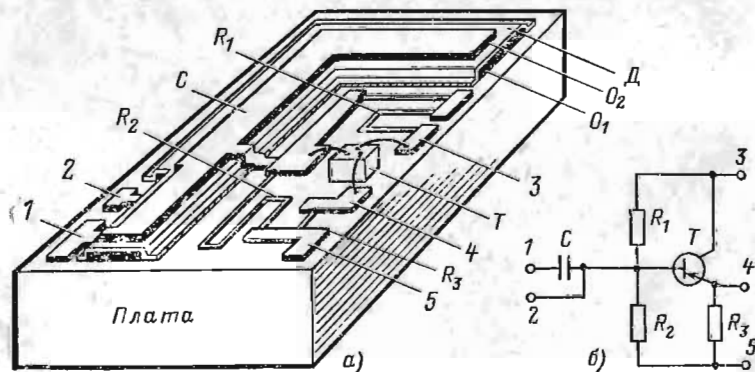


Рис. 1-14. Плата гибридной микросхемы.

пускаемые промышленностью гибридные интегральные микросхемы во многих случаях являются значительно более сложными, число их компонентов и элементов может достигать нескольких сотен.

Гибридные микросхемы могут выполняться и на основе толсто-пленочной технологии, которая является более дешевой, но, как уже указывалось, менее совершенной. Подложка для толсто-пленочной микросхемы, как правило, имеет размеры $16 \times 10 \times 1$ мм или $10 \times 10 \times 1$ мм и выполняется из высокоглиноземистой керамики, имеющей хорошую адгезию к наносимым материалам. Элементами пассивной толсто-пленочной микросхемы являются резисторы и конденсаторы, их выполняют так же, как и межсоединения, путем нанесения на поверхность подложки через сетчатый трафарет специальных проводящих, резистивных и диэлектрических паст, подвергаемых затем термической обработке. Получаемые таким образом резисторы могут иметь сопротивление от 5 Ом до 70 кОм с разбросом (после подгонки) до 1% при удельной мощности рассеяния до $0,5 \text{ Вт/см}^2$. Конденсаторы имеют емкость от 60 до 350 пФ, добротность до 50, пробивное напряжение до 150 В. Температурный коэффициент у резисторов $\pm 5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, у конденсаторов $4 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Компоненты толсто-пленочных гибридных микросхем — бескорпусные транзисторы и диоды, монтируются обычным способом.

1-3. МИКРОСХЕМЫ ПОВЫШЕННОГО УРОВНЯ ИНТЕГРАЦИИ

По числу содержащихся в корпусе микросхемы элементов и компонентов различают пять степеней интеграции: первая — от 1 до 10^1 ; вторая — от 10^1 до 10^2 ; третья — от 10^2 до 10^3 ; четвертая — от 10^3 до 10^4 ; пятая — от 10^4 до 10^5 элементов и компонентов.

Интегральные микросхемы, содержащие более 100 элементов и компонентов, принято называть микросхемами повышенного уровня интеграции, а менее 100 — малого уровня интеграции. Встречающийся в переводной литературе термин «большие интегральные схемы» соответствует четвертой — пятой степеням интеграции.

Микросхемы повышенного уровня интеграции имеют по сравнению с микросхемами малого уровня интеграции значительно лучшие объемно-весовые показатели, меньшую стоимость в расчете на один функциональный элемент, а также ряд других преимуществ, благодаря которым удается существенно улучшить основные технико-экономические характеристики аппаратуры.

Во-первых, значительно уменьшается число соединений в блоках за счет большей функциональной сложности самих микросхем. Усредненные расчеты показывают, что микросхема, например, с пятью логическими элементами (см. гл. 4) нуждается в пяти внешних выводах на один элемент для обеспечения необходимых функциональных связей в устройстве, а при увеличении количества логических элементов в микросхеме до 50 число внешних выводов уменьшается до двух на элемент. Известно, что в микроэлектронной аппаратуре контактные соединения являются одной из основных причин отказов. Поэтому уменьшение числа контактных соединений при использовании микросхем повышенной степени интеграции может на один-два порядка повысить надежность аппаратуры по сравнению с аппаратурой на микросхемах малой степени интеграции.

Во-вторых, сокращается длина соединений между элементами, снижаются паразитные емкости нагрузок и, следовательно, повышается быстродействие аппаратуры. При применении элементов со сред-

ней задержкой переключения 2 нс реализовать их быстроедействие можно только в том случае, если общая длина межсоединений не будет превышать 4 см. Тогда задержка в межсоединениях будет примерно на порядок меньше, чем в элементе. Отсюда следует, что реализация устройств со сверхвысоким быстроедействием принципиально возможна только на базе микросхем повышенного уровня интеграции, в которых длину соединений можно довести до 1 см, снизив тем самым задержку распространения сигнала между элементами до 0,05—0,1 нс.

Вместе с отмеченными достоинствами микросхемы повышенного уровня интеграции имеют целый ряд особенностей, которые осложняют их разработку, изготовление и применение. Например, увеличение удельной рассеиваемой мощности, наблюдающееся при повышении степени интеграции, требует принятия специальных мер по обеспечению теплоотвода, а при удельной мощности более 20 Вт/см² — применения жидкостного охлаждения. Важной задачей при этом становится разработка таких функциональных структур и применение таких функциональных элементов в таких режимах, которые давали бы возможность снизить затраты энергии, приходящиеся на выполняемую функцию.

При повышении плотности упаковки усиливается электромагнитная связь между элементами, что приводит к понижению помехоустойчивости микросхем. Появляются значительные трудности при изготовлении малых по размерам корпусов микросхем с большим количеством выводов.

Повышение степени интеграции приводит к усложнению функции, выполняемой микросхемой. С одной стороны, это является положительным фактором, так как при использовании более сложных микросхем упрощается проектирование, изготовление и наладка аппаратуры. В то же время стоимость ремонта аппаратуры может существенно возрасти. Меньшая универсальность микросхем повышенного уровня интеграции ограничивает потребный объем их выпуска, а следовательно, увеличивает их стоимость. Тем не менее, несмотря на указанные трудности, повышение уровня интеграции микросхем является прогрессивным направлением их развития, направлением, которое помогает существенно улучшить как функциональные, так и эксплуатационные показатели радиоэлектронной аппаратуры.

Существуют два направления в разработке микросхем повышенного уровня интеграции. Одно из них базируется на гибридной технологии, использующей бескорпусные микросхемы малой степени интеграции, и пленочной технологии их соединения на диэлектрической подложке.

Бескорпусные микросхемы по сравнению с их аналогами в корпусах меньше по объему и массе примерно в 70 раз и по площади в 30 раз. Устанавливаются они на многослойную подложку, иногда называемую коммутационной платой. Соединения наносят либо по тонкопленочной, либо по толстопленочной технологии.

Гибридная технология получила широкое распространение для изготовления микросхем повышенной степени интеграции благодаря сравнительно низкой стоимости проектирования и изготовления микросхем малой степени интеграции, хорошо отработанному технологическому процессу и высокому проценту выхода годных изделий.

Другое направление в разработке и производстве микросхем повышенной степени интеграции базируется на полупроводниковой технологии. В этом случае все элементы изготавливаются в объеме

полупроводниковой пластины и затем соединяются в схему с помощью тонких проводящих пленочных полосок, нанесенных на поверхность окисленной пластины. Межсоединения выполняют обычно методом избирательного монтажа, при котором предварительно на каждой пластине проверяют годность элементов, после чего с помощью ЭВМ составляют схему межсоединений и затем уже наносят межсоединения.

Полупроводниковые микросхемы повышенной степени интеграции изготавливают главным образом на основе МДП-транзисторов. Это объясняется их преимуществами перед микросхемами на биполярных транзисторах: втрое меньшим числом технологических операций и на порядок большей плотностью размещения элементов на подложке.

Однако по быстроедействию они значительно уступают микросхемам на биполярных транзисторах. Поэтому основную область их применения составляет аппаратура сравнительно низкого быстроедействия.

1-4. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Практические возможности интегральной технологии в настоящее время таковы, что большинство маломощных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры может быть реализовано в виде микросхем. Однако промышленное производство микросхем определенного типа является целесообразным лишь в том случае, когда данный тип находит широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре. При малом объеме сбыта затраты на разработку и подготовку производства могут существенно повысить стоимость микросхем и применение ее в аппаратуре окажется нецелесообразным по экономическим причинам. Эти соображения обуславливают необходимость определенного ограничения номенклатуры микросхем.

Следует отметить также, что микросхемы относятся к комплекующим изделиям и применяются самостоятельно или в совокупности с другими изделиями как составные части более сложных и притом весьма разнообразных устройств. Поэтому круг требований к микросхемам со стороны потребителей оказывается чрезвычайно широким и порой противоречивым. В то же время удовлетворение этих требований представляется трудной задачей, так как интегральные микросхемы отличаются большой сложностью и для их производства требуются уникальное оборудование, уникальные технологические процессы и высокая квалификация персонала.

Эффективное решение проблемы удовлетворения запросов потребителей и обеспечения высокого качества микросхем возможно лишь на пути планового развития их номенклатуры и стандартизации требований к ним.

Основу такого планового развития номенклатуры микросхем составляют государственные стандарты, определяющие функциональную классификацию и типы изделий, ряды разрабатываемых значений параметров изделий, определяющих их возможности (параметрические ряды), и ряды габаритных и присоединительных размеров, типов и размеров корпусов (размерные ряды), величин питающих напряжений.

Функциональная классификация интегральных микросхем определена государственным стандартом ГОСТ 18682-73. Интегральные

микросхемы по роду выполняемой функции разбиваются на подгруппы (усилители, преобразователи, триггеры и т. д.); внутри каждой подгруппы микросхемы подразделяются по виду выполняемой функции (УВЧ, преобразователи фазы, RS-триггеры и т. д.). В соответствии с функциональной классификацией микросхем присваиваются определенные наименования, познакомиться с ними можно в приложении 1.

Интегральные микросхемы выпускаются промышленностью в виде серий, включающих микросхемы, предназначенные для совместного использования в радиоэлектронной аппаратуре. Все микросхемы, входящие в одну серию, имеют один тип корпуса, одинаковые напряжения питания, ресурс, надежность, допустимые уровни воздействия.

При выборе микросхем для аппаратуры определенного типа необходимо руководствоваться не только функциональным назначением микросхемы, но и их характеристиками и параметрами, т. е. величинами, определяющими свойства микросхемы, режим и условия ее работы. Обычно это:

функциональные параметры микросхемы, определяющие ее возможности;

параметры рабочего режима, определяющие совокупность условий, необходимых для правильного функционирования микросхемы; эксплуатационные характеристики, определяющие уровни воздействия факторов окружающей среды (механических, климатических), не нарушающие нормального функционирования микросхемы в пределах гарантированного ресурса при заданной надежности;

конструктивные параметры, характеризующие габаритные и присоединительные размеры.

Функциональные и конструктивные параметры, параметры режима аналоговых и цифровых микросхем рассмотрены применительно к каждому типу микросхемы в гл. 2 и 4.

Что касается эксплуатационных характеристик, то они являются общими для всех изделий электронной техники, в том числе и для микросхем, поэтому специально здесь не рассматриваются.

Конкретные численные значения параметров и указания по применению приводятся в нормативно-технической документации на изделие и в справочниках. При решении вопроса о применении той или иной микросхемы в проектируемой аппаратуре необходимо исходить из ее параметров и указаний по применению, приведенных в данной документации.

Глава вторая

АНАЛоговые интегральные микросхемы

2-1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Аналоговые интегральные микросхемы находят применение в аппаратуре связи, телевидения и телеуправления, в аналоговых вычислительных машинах, в магнитофонах, в медицинском оборудовании, в измерительных приборах и системах контроля.

Благодаря совершенствованию технологии и методов проектирования номенклатура интегральных микросхем постоянно расширяется. В настоящее время в интегральном исполнении реализуются самые

различные аналоговые функциональные элементы и устройства. В большом количестве выпускаются интегральные микросхемы для различных по назначению и функциональным возможностям генераторов, детекторов, модуляторов, преобразователей, усилителей, коммутаторов, ключей, фильтров, вторичных источников питания, схем селекции и сравнения, а также многофункциональные микросхемы и микросхемы, представляющие собой наборы элементов.

Функциональный состав наиболее распространенных отечественных серий аналоговых интегральных микросхем, находящихся применение как при изготовлении профессиональной аппаратуры, так и в практике радиолюбителей, представлен в табл. 2-1*. Приведенные в таблице цифры показывают, сколько интегральных микросхем различных функциональных групп содержится в сериях. Цифры в скобках обозначают общее количество модификаций микросхем конкретной подгруппы в рассматриваемой серии.

Серии существенно различаются по областям преимущественного применения, функциональному составу и количеству входящих в них интегральных микросхем.

Большая группа серий предназначена в основном для создания приемопередающей аппаратуры радиосвязи, выпускаются серии для телевизионной аппаратуры, магнитофонов, электрофонов и линейно-импульсных устройств. Все эти серии условно можно подразделить на функционально-полные и функционально-неполные. Функционально-полные состоят из широкого круга специализированных микросхем, относящихся к разным функциональным подгруппам (табл. 2-1). Каждая из этих серий позволяет создать практически все реализуемые сейчас в микроэлектронном исполнении узлы таких устройств, как радиоприемники, телевизоры и подобные им по сложности.

Функционально-неполные серии состоят из небольшого числа специализированных микросхем. Они предназначены в основном для создания отдельных трактов аналоговой аппаратуры.

Кроме серий специализированного назначения промышленность выпускает широкий круг серий, микросхемы которых одинаково успешно могут применяться для создания отдельных узлов аппаратуры различных классов.

Особого внимания специалистов и радиолюбителей заслуживают серии, объединяющие наиболее универсальные по своим функциональным возможностям микросхемы — операционные усилители (§ 2-6). Каждый операционный усилитель может служить основой для большого числа узлов, относящихся к различным функциональным подгруппам и видам.

Для характеристики микросхем различных серий и для сравнительной оценки микросхем, относящихся к одному виду, в основном используют совокупности функциональных параметров. Однако в инженерной и радиолюбительской практике важную роль играют и такие факторы, как напряжение питания, конструктивное оформление, масса, предельно допустимые условия эксплуатации микросхем. В ряде случаев именно они имеют решающее значение при выборе элементной базы для конкретной аппаратуры.

Данные по напряжению питания приведены в табл. 2-2, из которой видно, что для питания микросхем используется широкая гра-

* Большинство приведенных в таблице серий с индексом К имеют свои аналоги, выпускаемые под тем же номером без буквенного индекса. Последние обладают более высокими функциональными и эксплуатационными параметрами.

Функциональный состав серий аналоговых микросхем

Подгруппа	K101	K118	K119	K122	K123	K124	K129	K140	K142	K153	K159	K162	K167	K173	K174	K177	K181
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Генераторы			2														
Детекторы			1														
Коммутаторы и ключи	1 (4)		1			1						1					
Многофункциональные схемы																	
Модуляторы			1														
Наборы элементов							1 (8)		5		1 (6)						
Преобразователи			1														
Вторичные источники питания																	1 (2)
Схемы селекции и срав- нения			3 (4)														
Триггеры		1 (5)	1	1 (5)													
Усилители		4 (15)	5	4 (15)	1 (3)			2 (4)		1 (2)			1	2	2	2 (3)	
Логические элементы																	
Всего в серии	1 (4)	5 (20)	15 (20)	5 (20)	1 (3)	1	1 (8)	2 (4)	5	1 (2)	1 (6)	1	1	2	2	2 (3)	1 (2)

Продолжение табл. 2-1

Подгруппа	K198	K218	219	K224	K226	K223	235	K237	K242	K245	K260	K284	K504	K513	K722	K740
1	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Генераторы		2	3	1				1		2						
Детекторы		1	1	2			3									
Коммутаторы и ключи				1		1	2									
Многофункциональные схемы				6				5	1							
Модуляторы			2				2									
Наборы элементов	8 (16)		1	1 (3)		2					1		4 (12)			
Преобразователи			1 (2)			2	4			2						
Вторичные источники питания				1*												
Схемы селекции и срав- нения				1		1				2		2 (3)				
Триггеры		1		1											1 (5)	
Усилители	2 (5)	6	4 (5)	18	5 (15)	4	11 (12)	4		5		2 (5)	2 (6)	1 (3)	4 (15)	1 (2)
Логические элементы		4														
Всего в серии	10 (21)	14	12 (14)	32 (34)	5 (15)	10	22 (23)	10	1	11	1	4 (8)	6 (18)	1 (3)	5 (20)	1 (2)

* Микросхема К2ПП241.

Таблица 2-2

Напряжения питания аналоговых микросхем

Серия	Номинальные значения напряжения питания, В	Допуск, %
K101	—6,3; —3; 3; 6,3	±10
K118	—6,3; —4; —3; 3; 4; 6,3; 12,6	±10
K119	—6,3; —3; 3; 6,3; 12	±10
K122	—6,3; —4; —3; 3; 4; 6,3; 12,6	±10
K123	6,3	±10
K124	15	
K129	15	
K140	—12,6; —6,3; 6,3; 12,6	±5
K142	9—20; 40	
K149	3; 5; 12,6	±10
K153	—15; 15	±10
K159	20	
K162	30	
K167	—12	±10
K173	—12,6; 12,6	±10
K177	6,3; 12,6	±10
K181	9—20	
K190	—30	
K198	6,3	±10
K218	6,3	±10
219	5	±10
K224	3—3,6; 3,6—9; 5,4—9; 5,4—12	
	3	±5
	—24; 12; 24	±10
	9	±20
	4	±25
K226	—9; —6,3; 6; 12,6	±10
K228	—6,3; 6,3	±10
235	6,3	±10
K237	5	±10
	5—10; 6—10; 5,6—10; 7,2—15; 3,6—10;	
	3,6—6; 4,5—5,5	
K242	9	±20
K245	6	±20
	12	±10
K284	—9; —6; 6; 9	±10
K504	—12	±10
K722	—6,3; —4; —3; 3; 4; 6,3; 12,6	±10
K740	—15, 15	±10

дация номинальных значений напряжений положительной и отрицательной полярности. При этом допуск в большинстве случаев составляет $\pm 10\%$. Исключение составляют микросхемы серий K140, имеющие допуск $\pm 5\%$, часть микросхем серии K224 с допусками ± 5 , ± 20 и $\pm 25\%$, микросхемы серии K245 с допуском $\pm 20\%$, а также частично микросхемы серий 219, K224, 235 и K237, нормально работающие при изменении напряжений в более широких пределах.

Различие по величине питающих напряжений во многих практических случаях затрудняет или делает невозможным использование в одном устройстве микросхем различных серий, даже если они отвечают требованиям по основным функциональным параметрам.

Разнообразно конструктивное оформление микросхем различных серий. Они отличаются по форме, размерам, материалу корпусов, количеству и типу выводов, массе и т. д. Как видно из табл. 2-3, для

Таблица 2-3

Корпуса аналоговых микросхем

Серия интегральных микросхем	Тип корпуса	Масса, г
K218	151.14-2	2
K218, K226, K228	151.15-2	3
K228, K284	151.15-4	2—4,5
K260	157.29-1	17
K118	201.14-1	1,1
K245	206.14-2	
K101, K124, K153, K159, K167, K504	301.8-2	1,5
K122, K140, K173, K181	301.12-1	1,5
K162, K177	401.14-1	1
K119, K149, K193	401.14-2	0,45
K123	401.14-3	0,45
K142	402.16-2	1,4
K224	«Трап»	3
219, 235	«Акция»	3—5
K237	«Кулсн»	3

рассматриваемых в настоящей главе микросхем используется 15 типов размеров прямоугольных и круглых корпусов со штырьковыми или планарными выводами. Часть микросхем (серий K129, K722) выпускается в бескорпусном оформлении с гибкими проволочными или жесткими выводами. Масса микросхем в корпусах колеблется от долей грамма (корпуса 401.14-2 и 401.14-3) до 17 г (корпус 157.29-1). Масса бескорпусных микросхем не превышает 25 мг.

По предельно допустимым условиям эксплуатации микросхемы разных серий существенно отличаются друг от друга.

Различие по температурному диапазону применения аналоговых микросхем показано в табл. 2-4. Очевидно, что микросхемы, характеризующиеся нижним пределом температурного диапазона —10 или —25°C, не могут быть рекомендованы для применения в переносной

Таблица 2-4

Температурный диапазон аналоговых микросхем

Серии микросхем	Диапазон температур, °С
K101, K118, K124, K162, K245 K153 (Б) K224	-10 ÷ +70 -10 ÷ +85 -30 ÷ +50
K237 K119 K226	-25 ÷ +55 -45 ÷ +85 -45 ÷ +55
K140, K167, K218, K228, K284 K122, K129, K142, K149, K153 (А), K177, K198, K504	-45 ÷ +70 -60 ÷ +85
219, 235 K123, K260, K740 K159	-60 ÷ +70 -60 ÷ +85 -60 ÷ +100

аппаратуре, предназначенной для работы в зимних условиях. В отдельных случаях серьезные ограничения накладывает верхняя граница +50 или +55°С.

По устойчивости к механическим нагрузкам микросхемы различных серий близки друг к другу. Большинство микросхем выдерживает вибрационную нагрузку в диапазоне от 1—5 до 600 Гц с ускорением 10 g. (Для микросхем серий K122, K123 ускорение не должно превышать 5 g, а для микросхем серий K119 и K167 — 7,5 g.) Исключение составляют микросхемы серии K245 и часть микросхем серии K224, диапазон вибрационных нагрузок для которых 1—80 Гц с ускорением 5 g.

Объем настоящей книги не позволяет детально рассмотреть все выпускаемые отечественной промышленностью микросхемы. Поэтому далее дана лишь краткая характеристика приведенных в табл. 2-1 серий и входящих в них микросхем с указанием основных параметров, проведено сравнение микросхем по видам и более подробно проанализированы схемотехнические и функциональные особенности микросхем серий K140, 219, K224, 235, K722, которые, по мнению авторов, могут представлять наибольший интерес для широкого круга читателей.

Необходимую информацию о микросхемах других серий можно найти в каталогах, справочниках, книгах и в периодической литературе, в первую очередь в журналах «Радио» и «Электронная промышленность». Пользуясь этими изданиями, следует помнить о том, что в них часто отождествляются параметры собственно интегральных микросхем и параметры функциональных узлов, иногда представляющих лишь один из многих вариантов применения конкретной микросхемы. При использовании ее с другими внешними элементами и при иных вариантах коммутации выводов параметры узлов могут существенно отличаться от приводимых в литературе данных. Кроме того, следует заметить, что в различных источниках наблюдаются

расхождения при описании отдельных микросхем, при количественной оценке их параметров. Это связано с расширением номенклатуры отдельных серий и с модернизацией некоторых микросхем.

2-2. СЕРИИ МИКРОСХЕМ ДЛЯ АППАРАТУРЫ РАДИОСВЯЗИ И РАДИОВЕЩАНИЯ

В настоящее время большинство каскадов приемопередающей и радиовещательной аппаратуры может быть выполнено на основе интегральных микросхем.

Отечественная промышленность выпускает несколько серий микросхем, предназначенных для использования в аппаратуре радиосвязи. Из них наибольшей функциональной полнотой по видам микросхем обладают серии 219, 235 и K224.

Микросхемы серии 219 для КВ и УКВ радиоаппаратуры

Комплекс микросхем серии 219 [1, 7] предназначен для построения трактов приемопередающей радиоаппаратуры, работающей в диапазоне до 55 МГц. Серия состоит из 13 интегральных микросхем, выполненных по гибридной технологии на транзисторах 2Т317 в металлополимерных корпусах типа «Акция».

Микросхема 2УС191 используется в усилителях высокой частоты. Она выпускается в двух модификациях, различающихся по коэффициенту усиления. На частоте 50 МГц при входном сигнале 10 мВ и добротности контура $Q=60$ резонансный усилитель, выполненный на микросхеме 2УС191А, позволяет получить усиление в 20—35 раз, а выполненный на микросхеме 2УС191Б — в 28—70 раз.

Основу усилителя составляет каскодная пара ОЭ—ОБ. Наличие в эмиттерной цепи набора резисторов позволяет использовать микросхему не только при номинальном напряжении питания 5 В, но и при более высоких напряжениях — до 8 В. Потребляемая мощность не превышает 15 мВт.

Микросхема 2УС192 предназначена для использования в УПЧ, работающих в диапазоне 0,5—1,0 МГц. Основу ее составляет схема ОЭ—ОЭ. При резонансной нагрузке, если добротность контура $Q=60$, и при входном сигнале 0,1 мВ усилитель обеспечивает на частоте 650 кГц коэффициент усиления не менее 600. Входное сопротивление превышает 600 Ом.

Микросхему 2УС192 можно использовать и в качестве смесителя. В этом случае напряжение от внешнего гетеродина следует подавать на вывод 8.

Напряжение питания микросхемы $5 \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 20 мВт.

Микросхема 2УС193 предназначена для создания двухкаскадного микрофонного усилителя с коэффициентом усиления на частоте 1 кГц не менее 200 и с коэффициентом нелинейных искажений не более 5%. Подбором внешних элементов можно не только обеспечить работу в основном частотном диапазоне 300—3400 Гц, но и перевести усилитель в диапазон промежуточных частот до 5 МГц. Напряжение питания микросхемы $5 \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 10 мВт.

Микросхема 2УС194 представляет собой двухкаскадный УНЧ и используется в качестве элемента шумоподавителя при отсутствии на входе приемника полезного сигнала. Диапазон рабочих частот от

300 Гц до 5 МГц. При входном напряжении 30 мВ на частоте 3 кГц выходное напряжение усилителя превышает 750 мВ. Помимо основного назначения микросхема 2УС194 может найти применение в предварительном УНЧ, имеющем диапазон 0,1—7 кГц, и в усилителе промежуточной частоты на частотах до 700 кГц.

Напряжение питания микросхемы $5 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 10 мВт.

Микросхемы 2МС191 и 2МС192 предназначены для использования в подмодуляторах. Двухкаскадный подмодулятор на основе 2МС191 может управлять емкостью варикапа в диапазоне от 200 Гц до 5 МГц, обеспечивая на частоте 1 кГц усиление более чем в 18 раз. Напряжение питания микросхемы $5 \text{ В} \pm 10\%$ или $8 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 18 мВт.

Микросхема 2МС192, выполненная по трехкаскадной схеме, обладает большим усилением и обеспечивает на частоте 1 кГц выходное напряжение 800 мВ при входном напряжении 2 мВ. Диапазон рабочих частот от 200 Гц до 1,5 МГц. Эту микросхему можно применить в любительских радиостанциях для тонального вызова корреспондентов. Тонгенератор обеспечивает выходное напряжение не менее 1 В. Напряжение питания микросхемы $5 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 15 мВт.

Микросхема 2ДС191 совмещает в себе ограничитель и дискриминатор, что позволяет ограничивать по амплитуде сигнал промежуточной частоты перед подачей на чувствительный фазовый детектор и снижает уровень нелинейных искажений. Микросхема используется в диапазоне 0,125—2 МГц. На частоте 650 кГц при входном напряжении 1 мВ напряжение ограничения составляет 0,9—1,4 В. Напряжение питания микросхемы $5 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 2,5 мВт.

Микросхема 2ПС191 предназначена в основном для применения в преобразователях частоты. Она выпускается в двух модификациях (А, Б) для диапазонов частот 44—55 и 10—14 МГц. При частоте сигнала 48 МГц ($U_{\text{сиг}} = 10 \text{ мВ}$) и частоте гетеродина 34 МГц ($U_{\text{гет}} = 200 \text{ мВ}$) коэффициент преобразования смесителя на микросхеме 2ПС191А не менее 30. Микросхема 2ПС191Б при частоте сигнала 14 МГц ($U_{\text{сиг}} = 5 \text{ мВ}$) и частоте гетеродина 13,35 МГц ($U_{\text{г}} = 250 \text{ мВ}$) обеспечивает коэффициент преобразования не менее 80.

Наличие в микросхеме дифференциальной пары согласованных транзисторов позволяет создавать на ее основе такие каскады малогабаритных приемников УКВ диапазона, как дифференциальные и каскадные УВЧ и УПЧ, преобразователь частоты с внутренним гетеродином, УНЧ и т. д.

Напряжение питания микросхемы $5 \text{ В} \pm 10\%$ или $8 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 23 мВт.

Микросхемы 2ГС191 и 2ГС192 применяются в качестве активных элементов кварцевых генераторов, работающих соответственно на частотах 30—70 и 1—30 МГц. Генераторы выполнены по емкостной трехточечной схеме. Генератор на микросхеме 2ГС191 на частоте 34 МГц позволяет получать выходное напряжение не менее 130 мВ. Общая относительная нестабильность частоты не хуже $\pm 10 \cdot 10^{-6}$. Потребляемая мощность не более 15 мВт. Генератор на микросхеме 2ГС192 на частоте 13,35 МГц обеспечивает выходное напряжение не менее 230 мВ. Общая относительная нестабильность частоты $\pm 20 \cdot 10^{-6}$. Потребляемая мощность не более 15 мВт. Напряжение питания для обеих микросхем $5 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхема 2ГС193 предназначена для создания маломощных ЧМ возбудителей в виде кварцевых генераторов с непосредственной модуляцией. Для обеспечения модуляции последовательно с кварцем включается варикап, емкость которого меняется под влиянием напряжения, подаваемого с выхода подмодулятора. На частоте 10 МГц девиация частоты составляет не менее $\pm 5 \text{ кГц}$. Выходное напряжение модулированного сигнала не менее 45 мВ. Коэффициент нелинейных искажений не более 13%. Напряжение питания микросхемы $5 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 15 мВт.

Микросхемы 2НТ191 и 2НТ192 являются транзисторными сборками, предназначенными для создания маломощных транзисторных устройств, например предварительных УНЧ. Они состоят соответственно из пяти и четырех транзисторов 2Т317.

Микросхемы серии 235 для КВ и УКВ радиоаппаратуры

Сочетанием высокой функциональной законченности с многоцелевым назначением характеризуются микросхемы серии 235, предназначенные для использования в КВ и УКВ радиоаппаратуре на частотах до 200 МГц [1, 7].

Серия состоит из 22 микросхем, выполненных по гибридной технологии с использованием бескорпусных транзисторов 2Т307. Микросхемы конструктивно оформлены в корпусах типа «Акция».

Микросхема 2УС351 (рис. 2-1, а) выпускается в двух модификациях (А, Б) и применяется в основном в УВЧ (см. рис. 2-2, а).

Усилительная часть микросхемы, выполненная по каскадной схеме ОЭ—ОБ на транзисторах T_2 и T_1 , обеспечивает устойчивое усиление на высоких частотах при сравнительно низком уровне шума (на частоте 180 МГц коэффициент шума не более 7 дБ для модификации А и не более 10 дБ для модификации Б). Крутизна проходной характеристики на частоте 170 МГц не менее 8 мА/В, а на частоте 10 МГц не менее 20 мА/В. Благодаря термозависимому делителю базового смещения (резисторы R_1 — R_3 и диоды D_1 и D_2) и цепям обратной связи относительное изменение крутизны проходной характеристики не превышает $\pm 25\%$ в интервале температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$.

На частоте 10 МГц входное сопротивление не менее 0,5 кОм, входная емкость не более 25 пФ, выходное сопротивление не менее 30 кОм, а выходная емкость около 9 пФ.

Схема на транзисторе T_3 позволяет осуществить АРУ. Изменение напряжения (подаваемого на вывод 7) вызывает изменение эмиттерного тока транзистора T_3 , а следовательно, и напряжения на резисторе R_6 . В результате происходит смещение рабочей точки усилителя. Напряжение задержки АРУ не менее 1,45 В, а максимальная глубина регулировки по цепи АРУ не менее 46 дБ (при напряжении АРУ 4 В).

При сопротивлении нагрузки 100 Ом микросхема обеспечивает на частоте 10 МГц усиление не менее чем в 200 раз (при коэффициенте устойчивости 0,9).

Напряжение блокировки усилителя не менее 150 мВ.

Напряжение питания $6,3 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 20 мВт.

Кроме своего основного назначения микросхема 2УС351 применяется в смесителях с регулируемым коэффициентом преобразования. Напряжение внешнего гетеродина в этом случае подается в кол-

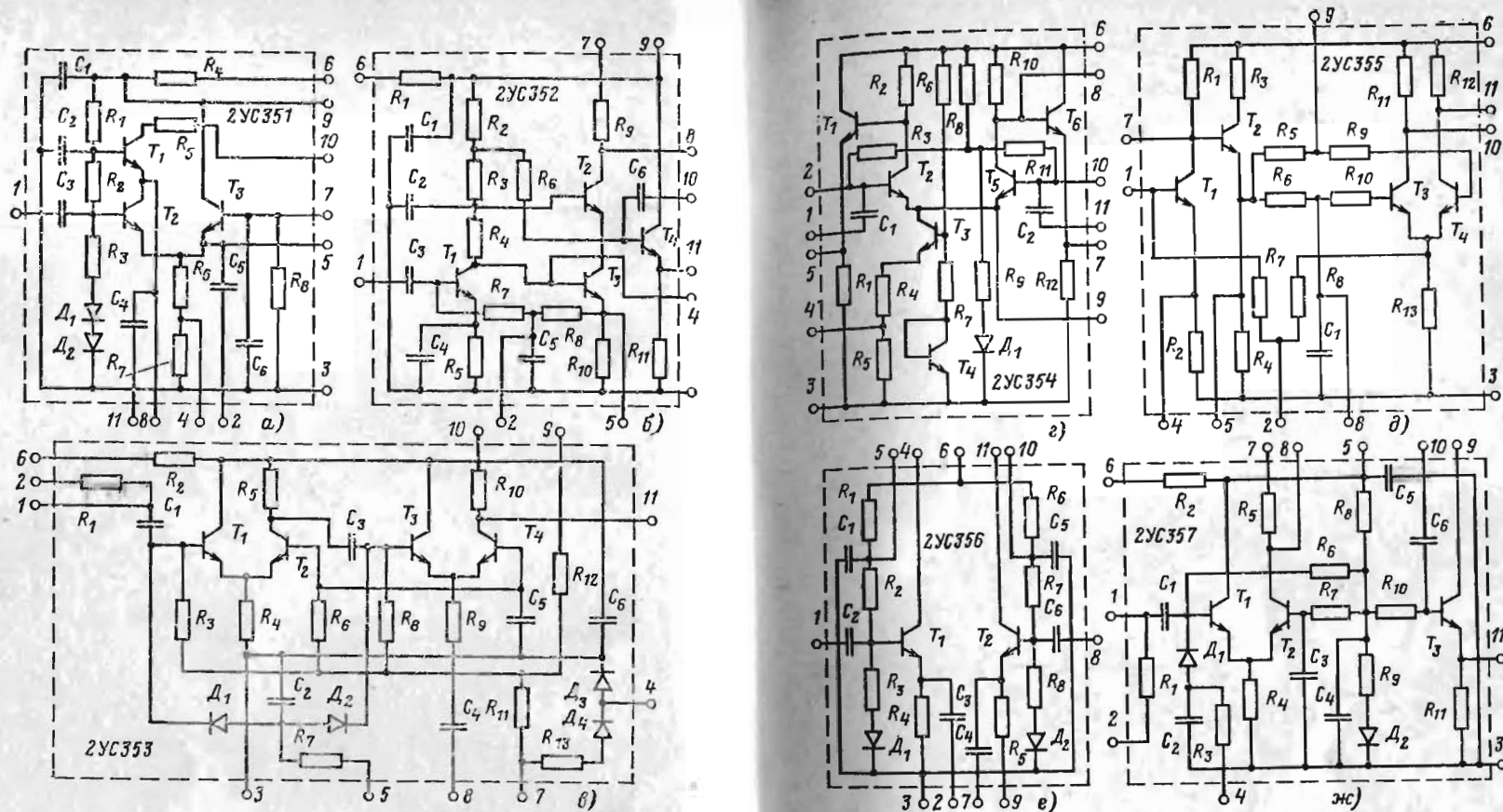


Рис. 2-1. Усилительные

латорную цепь транзистора T_2 через конденсатор C_4 или через внешний конденсатор, подключаемый к выводу 6.

Микросхемы 2УС352 (рис. 2-1, б) и 2УС358 предназначены главным образом для работы в качестве выходных усилителей тракта промежуточной частоты. Они имеют одинаковое схемное построение, которое включает в себя трехкаскадный усилитель на транзисторах T_1 — T_3 и эмиттерный повторитель на транзисторе T_4 .

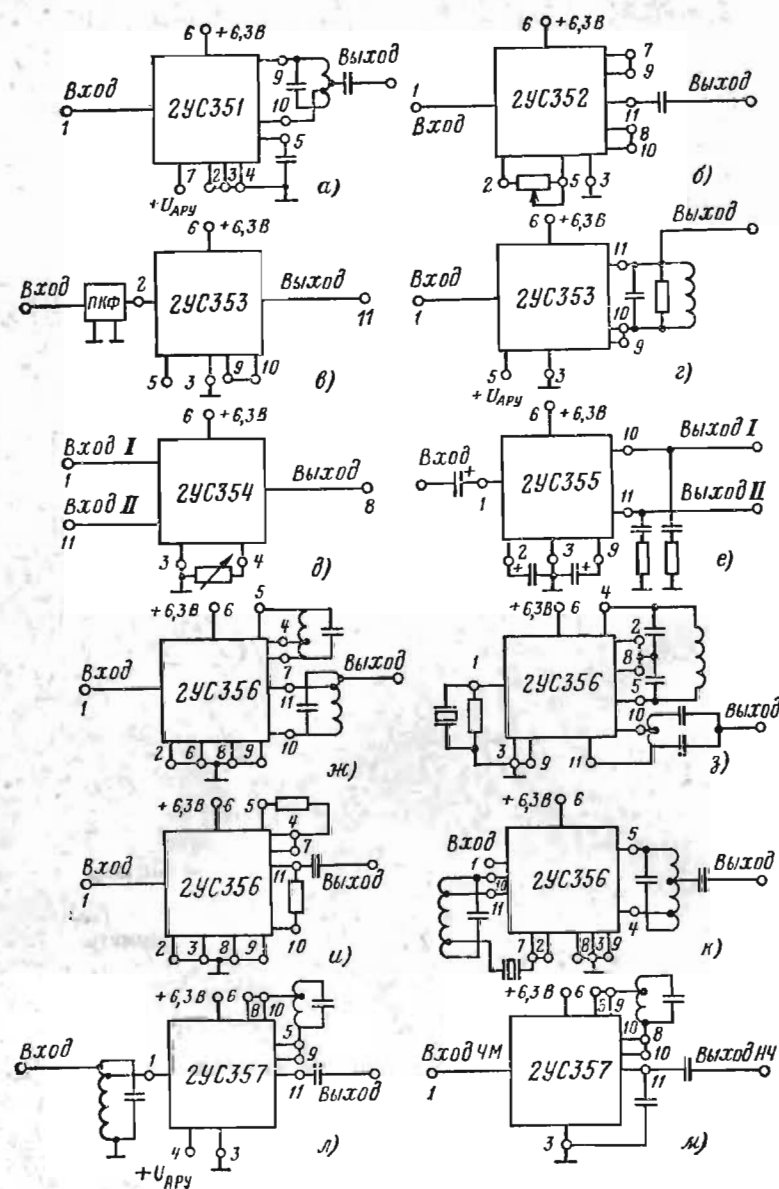
Входная часть усилителя выполнена по схеме с ОЭ, а выходная — по каскодной схеме. Это обеспечивает хорошую развязку по переменной составляющей между входом и выходом микросхемы. Наличие глубокой обратной связи по постоянному току позволяет изменять питающее напряжение от 4 до 16 В.

Для выравнивания частотной характеристики в эмиттерной цепи первого каскада использована частотная коррекция, благодаря это-

мисхемы серии 235.

му микросхему можно применять как широкополосный усилитель. Коэффициент усиления с глубиной 18 дБ регулируется изменением сопротивления резистора, подключаемого между выводами 2 и 5. Поскольку этот резистор оказывается включенным в цепь обратной связи, то изменение его сопротивления практически не оказывает влияния на стыковочные параметры микросхемы. Наличие вывода 4 позволяет подавать входной сигнал непосредственно на базу транзистора T_3 , минуя входной каскад. Микросхема может применяться с различными по характеру нагрузками (LC-контур, электромеханический фильтр и др.).

Микросхемы 2УС352 и 2УС358 различаются номиналами используемых конденсаторов. Применение в микросхеме 2УС358 конденсаторов большей емкости снижает нижнюю граничную частоту до 75 кГц вместо 250 кГц у микросхемы 2УС352. На частотах 1,6



и 25 МГц микросхемы обеспечивают крутизну проходной характеристики соответственно не менее 75 и 25 мА/В, входное сопротивление не менее 3 кОм, а входную емкость не более 35 пФ. Напряжение блокировки не менее 20 мВ. При коэффициенте устойчивости 0,9 обе микросхемы на частоте 1,6 МГц обеспечивают усиление более чем в 300 раз.

Пример построения усилителя на основе микросхемы 2УС352 показан на рис. 2-2, б).

Микросхемы 2УС353 (рис. 2-1, в) и 2УС359 предназначены для использования в УПЧ с апериодической или селективной нагрузкой. Они отличаются от микросхем 2УС352 и 2УС358 наличием цепи АРУ.

Обе микросхемы выполнены по одинаковой электрической схеме и различаются номиналами используемых конденсаторов. В микросхемах имеются по два одинаковых усилительных каскада, собранных по схеме ОК—ОБ. Транзисторы T_1 и T_3 , включенные по схеме с ОК, предназначены для целей согласования каскадов, а транзисторы T_2 и T_4 обеспечивают основное усиление по напряжению. Напряжение АРУ подается на базовые входы транзисторов T_1 и T_3 через диоды D_1 и D_2 . Максимальная глубина регулирования 86 дБ.

На диодах D_3 и D_4 выполнена схема, которая позволяет менять характер температурной зависимости крутизны характеристики микросхемы путем перекоммутации внешних выводов. Например, если замкнуть выводы 7 и 8, температурная зависимость становится отрицательной и микросхему можно стыковать с пьезокерамическим фильтром, имеющим обратную температурную зависимость.

Помимо построения различных УПЧ (рис. 2-2, а, г) микросхемы 2УС353 и 2УС359 можно использовать в качестве ограничителей с максимальным выходным напряжением не менее 2,3 В или в ключевом режиме.

Обе микросхемы обеспечивают на частоте 30 МГц крутизну проходной характеристики не менее 30 мА/В, а на частоте 1,6 МГц — не менее 70 мА/В. На этой же частоте входное сопротивление превышает 2,5 кОм, входная емкость не более 20 пФ, выходное сопротивление не менее 10 кОм, а выходная емкость составляет около 10 пФ. При коэффициенте устойчивости более 0,8 максимальный коэффициент усиления превышает 400. Напряжение питания микросхем $6,3 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 23 мВт.

Микросхемы 2УС354 (рис. 2-1, г) и 2УС3510 обладают широкими функциональными возможностями. Они могут быть использованы как дифференциальные широкополосные усилители, УНЧ с эмиттерным повторителем, инверторы, паразитные усилители, симметричные ограничители, электронные ключи и т. д.

Основу микросхем, которые различаются только номиналами используемых конденсаторов, составляет дифференциальный каскад на транзисторах T_2 и T_5 с токостабилизирующим элементом на транзисторе T_3 . В базовом делителе дифференциальной пары применен для термокомпенсации диод D_1 . Транзистор T_4 в диодном включении

Рис. 2-2. Варианты применения усилительных микросхем серии 235.

а — резонансный УВЧ; б — апериодический УПЧ; в — регулируемый УПЧ с пьезокерамическим фильтром на входе; г — резонансный УПЧ с АРУ; д — дифференциальный усилитель; е — микрофонный усилитель; ж — резонансный усилитель ОЭ—ОБ; з — кварцевый гетеродин с удвоителем частоты; и — апериодический усилитель ОЭ—ОБ; к — преобразователь частоты с собственным кварцевым гетеродином; л — регулируемый резонансный УПЧ с эмиттерным повторителем на выходе; м — частотный детектор.

стабилизирует режим транзистора T_3 . Входные сигналы можно подать на выводы 1 и 11 или 2 и 10. Выходное напряжение снимается с выводов 5 и 7. На обоих выходах микросхем включены эмиттерные повторители на транзисторах T_1 и T_6 . При использовании в качестве входных выводов 1 и 11 нижняя граница частотного диапазона усилителя на микросхеме 2УС354 составляет менее 2,5 кГц, а на микросхеме 2УС3510 менее 0,3 кГц. Верхняя граничная частота на уровне 3 дБ достигает 4 МГц. На частоте 10 кГц входное сопротивление больше 4 кОм, а коэффициент усиления не менее 16.

Микросхемы обеспечивают подавление синфазного сигнала с коэффициентом не менее 40 дБ. Коэффициент асимметрии выходных напряжений не превышает 10%.

С помощью внешнего резистора, включенного между выводами 3 и 4, можно регулировать коэффициент усиления в пределах до 4 дБ.

При подаче сигналов на входы 2 и 10 микросхемы могут применяться для усиления постоянного тока.

При использовании микросхем в качестве ограничителей порог ограничения по входному сигналу составляет 110 ± 40 мВ. Если микросхема работает в ключевом режиме, то запирающее напряжение следует подавать на эмиттеры транзисторов T_2 и T_5 через вывод 9. Максимальное затухание в ключевом режиме не менее 34 дБ. В качестве формирователя запирающих импульсов предусмотрено использование микросхемы 2ПМ351. Напряжение питания $6,3 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 23 мВт.

Пример использования микросхемы 2УС354 приведен на рис. 2-2, д.

Микросхема 2УС355 (рис. 2-1, д) применяется для усиления низкочастотных колебаний. Первый каскад микросхемы на транзисторе T_1 выполнен по схеме с ОЭ, второй каскад на транзисторе T_2 работает как эмиттерный повторитель, обеспечивая согласование с оконечным парафазным каскадом на транзисторах T_3 и T_4 . На частоте 1 кГц микросхема усиливает не менее чем в 400 раз. Входное сопротивление не менее 4 кОм. Максимальное выходное напряжение с парафазного выхода не менее 1 В. Рабочий диапазон частот составляет от 25 Гц до 100 кГц, причем верхнюю граничную частоту можно регулировать с помощью внешнего конденсатора, включаемого между выводом 8 и корпусом.

Предусмотрена возможность подачи входного сигнала непосредственно на базу транзистора T_2 минуя первый усилительный каскад. Усиление микросхемы в этом случае уменьшается в 30–40 раз. При необходимости может быть задействован только первый каскад.

Напряжение питания микросхемы $6,3 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 14 мВт.

Пример включения микросхемы в усилительном режиме показан на рис. 2-2, е.

Микросхема 2УС356 (рис. 2-1, е) занимает особое положение в серии 235 в силу своей многофункциональности. Ее называют универсальной. Микросхема состоит из двух идентичных ступеней, позволяющих создавать как независимые однокаскадные устройства, так и различные их комбинации. При этом независимо от схемы включения транзисторов имеющиеся в микросхеме пассивные компоненты обеспечивают постоянство режима по постоянному току. Для термостабилизации режима использованы термозависимые базовые

делители с диодами D_1 и D_2 , а также глубокая отрицательная обратная связь по постоянному току через резисторы R_4 и R_5 .

Микросхема 2УС356 предназначена для использования в диапазоне частот 0,5–200 МГц в качестве УПЧ, УВЧ, смесителя, гетеродина, ограничителя, преобразователя или умножителя частоты и т. д.

Крутизна проходной характеристики на частоте 10 МГц превышает 12 мА/В, а на частоте 200 МГц не менее 5 мА/В. На частоте 10 МГц входное сопротивление не менее 1,2 кОм, выходное сопротивление не менее 20 кОм, а входная и выходная емкости не превышают 15 пФ.

Напряжение питания $6,3 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 28 мВт.

Примеры применения микросхемы 2УС356 показаны на рис. 2-2, ж–к.

Микросхемы 2УС357 (рис. 2-1, ж) и 2УС3511 используются преимущественно в УПЧ. Они отличаются от микросхем 2УС352 и 2УС358 меньшим усилением, наличием цепи АРУ и большим входным сопротивлением, а от микросхем 2УС353 и 2УС359 — лучшей равномерностью усиления в частотном диапазоне и меньшей глубиной регулировки коэффициента усиления.

Каждая из микросхем содержит усилитель на транзисторах T_1 и T_2 и многоцелевой каскад на транзисторе T_3 . Последний может быть использован как развязывающий эмиттерный повторитель, дополнительная ступень усиления с коллекторной нагрузкой или амплитудный транзисторный детектор.

Каскад, выполненный по схеме с ОК на транзисторе T_1 , обеспечивает согласование с предыдущим каскадом. Основное усиление обеспечивает транзистор T_2 , включенный по схеме с ОБ. Смещение на базах транзисторов задается термозависимой цепочкой, на которую через вывод 4 подается напряжение АРУ (максимальная глубина регулировки по цепи АРУ не менее 46 дБ). Нагрузкой входного каскада служит резистор R_5 , напряжение с которого можно подать на базу транзистора T_3 , если соединить выводы 8 и 10.

Режим ограничения в микросхемах реализуется в активной области за счет уменьшения коэффициента усиления каскада. При увеличении входного сигнала возрастают постоянные составляющие токов баз транзисторов T_1 и T_2 , а следовательно, и падение напряжения на резисторах R_6 и R_7 . Положительные смещения на базах уменьшаются, транзисторы работают при меньшей крутизне передаточной характеристики. За счет диода D_1 создаются предискажения входного сигнала. Этим частично компенсируется искажения в усилителе. Уменьшению искажений усиленного сигнала способствует и отрицательная обратная связь из-за падения напряжения на резисторе R_4 .

Верхняя граничная частота микросхем составляет 100 МГц, а нижняя для микросхемы 2УС357 не превышает 100 кГц и для микросхемы 2УС3511 75 кГц. На частоте 1,6 МГц крутизна проходной характеристики обеих микросхем более 10 мА/В, а на частоте 100 МГц более 5 мА/В.

Напряжение блокировки 100 мВ. При коэффициенте устойчивости более 0,8 на частоте 4,2 МГц коэффициент усиления более 100.

Микросхема имеет на частоте 1,6 МГц входное сопротивление не менее 2 кОм, выходное сопротивление не менее 10 кОм, входную емкость не более 20 пФ, а выходную емкость не более 15 пФ.

Напряжение питания $6,3 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 30 мВт.

Примеры построения схем на основе микросхем 2УС357 и 2УС351 показаны на рис. 2-2, л, м.

Микросхема 2ДС351 (рис. 2-3, а) совмещает в себе усилитель-ограничитель и частотный детектор. Усилительная часть на транзисторах T_1 и T_2 выполнена по такой же схеме, как и усилитель микросхемы 2УС357. Введение в базовую цепочку транзистора T_3 вместо диода обеспечивает большую идентичность предискажений с искажениями, возникающими в каскаде на транзисторе T_2 . Напряжение АРУ подается в базовую цепь транзистора T_1 через включенный диодом транзистор T_3 . Глубина регулирования по цепи АРУ более

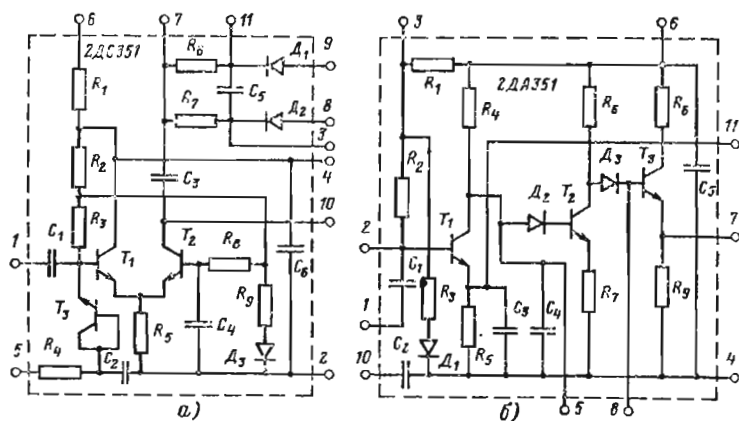


Рис. 2-3. Детекторные микросхемы серии 235.

52 дБ. Усилитель микросхемы 2ДС351 имеет такие же параметры, как и усилитель микросхемы 2УС357.

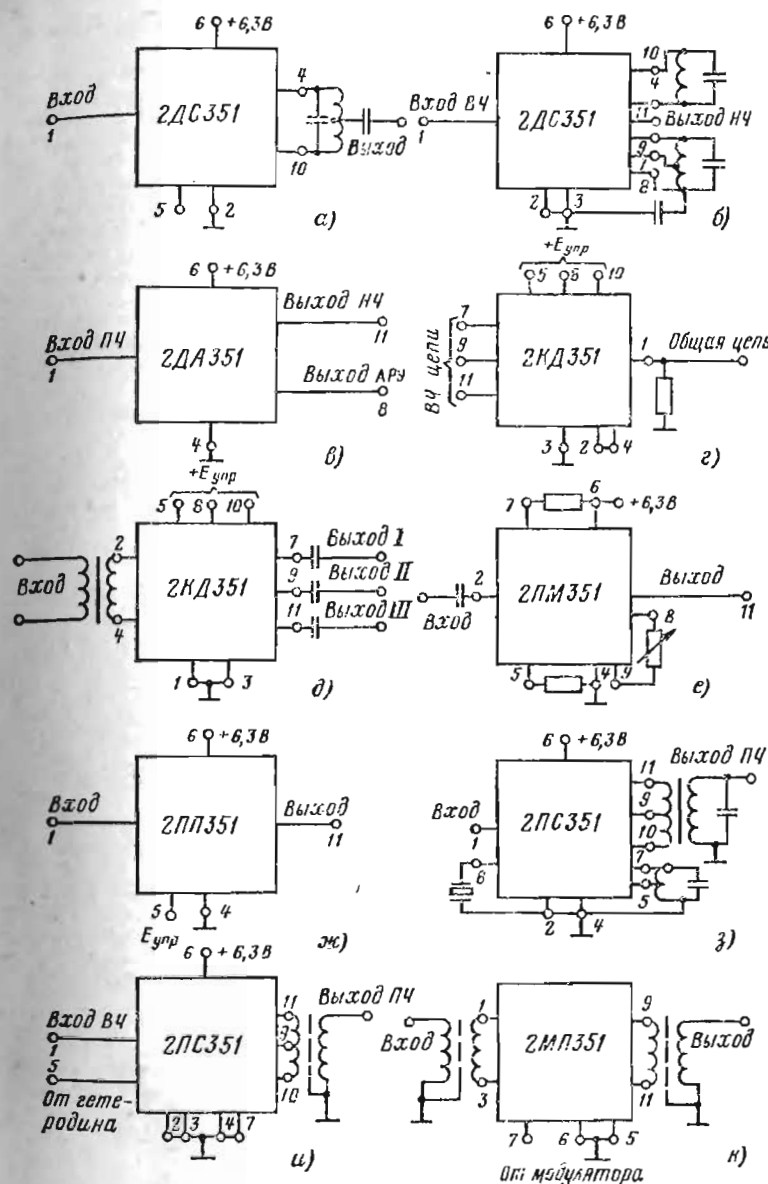
Частотный детектор микросхемы выполнен на диодах D_1 и D_2 . Для фильтрации высокочастотной составляющей продетектированного сигнала используется общий для двух диодных детекторов конденсатор C_5 . Коэффициент передачи частотного детектора более 0,35. Напряжение питания микросхемы $6,3 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 30 мВт.

Примеры построения схем усилителя-ограничителя и частотного детектора с ограничителем приведены на рис. 2-4, а, б.

Микросхемы 2ДА351 и 2ДА352 (рис. 2-3, б) могут быть использованы как амплитудные детекторы и одновременно в ка-

Рис. 2-4. Варианты применения микросхем серии 235.

а — усилитель-ограничитель; б — частотный детектор с ограничителем; в — детектор АМ сигналов и АРУ с усилителем постоянного тока; г — коммутатор высокочастотных цепей 3×1 ; д — коммутатор с трансформаторным входом; е — формирователь импульсов с регулируемым порогом; ж — управляемый делитель напряжения; з — преобразователь частоты с трансформаторным выходом; и — балансный смеситель; к — кольцевой балансный модулятор.



честве детекторов АРУ с усилителем постоянного тока. Микросхемы различаются номиналами трех конденсаторов.

В каждой из микросхем оба детектора совмещены в одном каскаде на транзисторе T_1 . Сигнал низкой частоты снимается с эмиттерной нагрузки R_5 , C_8 через вывод 11, а напряжение АРУ с коллекторной нагрузки R_4 , C_4 подается на усилитель постоянного тока. Постоянная времени детектора сигнала может быть изменена за счет подключения конденсатора C_2 при замыкании выводов 10 и 11 или за счет подключения внешнего конденсатора между выводами 11 и 4.

На выходе усилителя постоянного тока, выполненного на транзисторе T_2 , включен пиковый детектор D_3 с большой постоянной времени цепи нагрузки. В качестве нагрузки пикового детектора используются эмиттерный повторитель на транзисторе T_3 и внешний конденсатор, подключаемый к выводу 8. При такой схеме эффективно подавляется переменная составляющая низкой частоты. Напряжение АРУ пропорционально амплитуде огибающей модулированного сигнала. Меняя емкость подключаемых к выводу 8 конденсаторов, можно регулировать постоянную времени АРУ.

Если к выводу 8 не подключать конденсатор, диод D_3 , как и диод D_2 , будет выполнять функцию развязки между каскадами. Начало действия системы АРУ по входному сигналу может изменяться шунтированием резистора R_1 внешним резистором, подключаемым между выводами 3 и 6, или включением резистора между выводами 5 и 6.

Детектор сигнала характеризуется коэффициентом передачи не менее 0,4. Коэффициент передачи по управляющему напряжению АРУ на частоте сигнала 1,6 МГц не менее 20, а на частоте 100 МГц не менее 14. Постоянная времени спада напряжения АРУ (при подключении к выводу 8 конденсатора $C=10$ мкФ) около 4 с.

Верхняя граничная частота микросхемы 100 МГц, а нижняя граничная частота у микросхемы 2ДА351 300 кГц, а у микросхемы 2ДА352 30 кГц.

На частоте 1,6 МГц входное сопротивление не менее 3 кОм, а входная емкость не более 25 пФ.

Коэффициент нелинейных искажений не более 5%.

Напряжение питания 6,3 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 15,2 мВт.

Пример построения схемы амплитудного детектора на микросхеме 2ДА351 показан на рис. 2-4, в.

Микросхемы 2КД351 (рис. 2-5) и 2КД352 являются коммутаторами графтов промежуточной и низкой частоты и многочастотных гетеродинов и обеспечивают переключение одной цепи на три направления и наоборот.

Принцип действия коммутатора основан на изменении сопротивления $p-n$ переходов диодной матрицы при изменении полярности управляющего напряжения. При подаче в цепь смещения напряжения 6,3 В (ток смещения не более 0,5 мА) и при отсутствии управляющих напряжений все три направления закрыты. На частоте 1 МГц в этом случае обеспечивается затухание в каждой цепи не менее 34 дБ. При подаче в одну из цепей достаточного для открывания перехода напряжения (ток управления не более 2,5 мА) затухание в цепи падает до 6 дБ. Отношение затухания закрытого и открытого каналов можно получить несколько большим путем увеличения питающих напряжений до 10—12 В. Развязка между каналами более 20 дБ.

Обе микросхемы обеспечивают одинаковые параметры за исключением нижней граничной частоты. У микросхемы 2КД351 она составляет 350 кГц, а у микросхемы 2КД352 снижена до 75 кГц.

Напряжение питания микросхем 6,3 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 20 мВт.

Рекомендуемые варианты использования микросхемы 2КД351 показаны на рис. 2-4, г, д.

Микросхема 2ПМ351 (рис. 2-6) предназначена для формирования импульсных сигналов и представляет собой триггер Шмита с выходным усилителем мощности.

Микросхема устойчиво работает в диапазоне частот от 80 Гц до 1 МГц. Входное сопротивление не менее 5 кОм. Напряжение срабатывания формирователя не превышает 225 мВ, а амплитуда выходного импульса больше 2,5 В. Изменением сопротивления резистора, включаемого между выводами 8 и 9, можно регулировать порог срабатывания. Резисторы, включаемые между выводами 7 и 6, 4 и 5, служат для изменения скважности выходных импульсов.

Напряжение питания 6,3 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 20 мВт.

Вариант использования микросхемы показан на рис. 2-4, е.

Микросхема 2ПП351 (рис. 2-7) используется как управляемый делитель напряжения системы АРУ.

Регулирование осуществляется изменением сопротивлений диодов, включенных в цепь передачи сигнала и управляемых усилителем постоянного тока на транзисторе T_1 . Пока на вывод 5 не подается управляющее напряжение, диоды D_1 и D_3 открыты, а диод D_2 закрыт. Ослабление сигнала в этом случае не превышает 8 дБ. При воздействии управляющего напряжения на базу транзистора T_1 диоды D_1 и D_3 закрываются, а шунтирующий их диод D_2 открывается. При управляющем напряжении 4 В (ток в цепи управления не превышает 2,2 мА) коэффициент ослабления в цепи передачи сигнала возрастает до 46 дБ.

Для некоторого изменения режима работы в микросхеме имеются подключаемые к выводам 3 и 9 резисторы R_1 и R_{10} . Предусмотрена также возможность повышения коэффициента передачи при отсутствии запирающего напряжения. Для этого следует подключить к выводам 2, 7 и 10 дроссели.

Напряжение питания микросхемы 6,3 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 20 мВт.

Пример применения микросхемы 2ПП351 показан на рис. 2-4, ж.

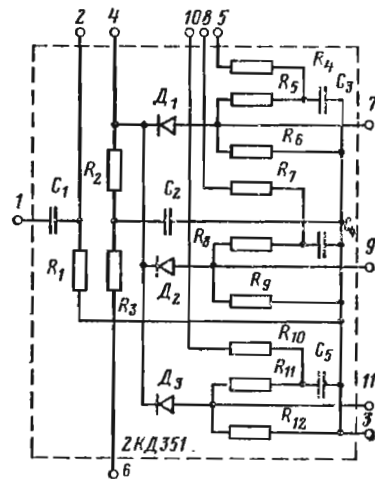


Рис. 2-5. Микросхема коммутаторная 2КД351.

Микросхемы 2ПС351 (рис. 2-8) и 2ПС352 применяются в преобразователях частоты. В каждую из них входит усилитель на транзисторе T_1 , двойной балансный смеситель на транзисторах T_2-T_5 и гетеродин на транзисторе T_7 .

Входной усилительный каскад используется для повышения уровня напряжения сигнала, подаваемого на вход смесителя. Нагрузкой каскада служат транзисторы T_2 и T_3 . На транзисторы T_4 и

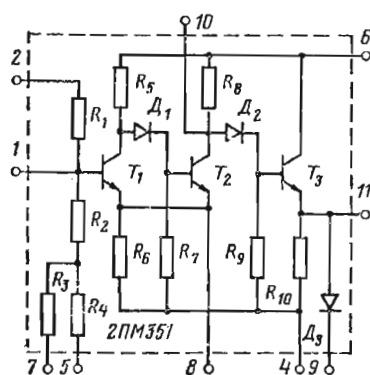


Рис. 2-6. Микросхема формирователя импульсных сигналов 2ПМ351.

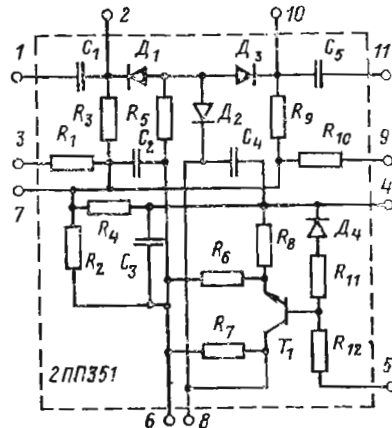


Рис. 2-7. Микросхема управляемого делителя напряжения 2ПП351.

T_5 , также входящие в состав смесителя, напряжение сигнала не подается. При подаче на вывод 5 напряжения гетеродина в нагрузке происходит компенсация встречно направленных составляющих тока с частотой гетеродина, протекающих в коллекторных цепях транзистора основной и вспомогательной пар. Комбинационные составляющие не претерпевают изменений. Такой преобразователь, в частности, может найти применение в приемниках однополосных сигналов.

Гетеродинная часть микросхем на транзисторе T_7 может быть использована в нескольких вариантах.

Режим работы транзисторов микросхемы по постоянному току определяется делителем R_{10} , R_6 , R_7 , R_8 , T_6 . Транзистор T_6 используется как термокомпенсирующий диод.

Нижняя граничная частота по сигнальному входу для микросхемы 2ПС351 не более 600 кГц, а для микросхемы 2ПС352 не более 50 кГц и соответственно по гетеродиному входу 50 кГц и 1 кГц.

Микросхема обеспечивает крутизну преобразования не менее 2 мА/В при частоте сигнала 150 МГц и частоте гетеродина 148,4 МГц. Коэффициенты подавления по сигнальному и гетеродиному входам не менее 10 дБ. Сопротивление сигнального входа не менее 1 кОм, а гетеродиного входа не менее 1,5 кОм. Емкости сигнального и гетеродиного входов не более 25 пФ. Напряжение собственного гетеродина не менее 300 мВ.

Напряжение питания 6,3 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 35 мВт.

Пример практического использования микросхемы показан на рис. 2-4, 3, и.

Микросхемы 2МП351 (рис. 2-9) и 2МП352 представляют собой кольцевые модуляторы, выполненные по единой схеме и различающиеся только емкостью отдельных конденсаторов. Последовательно с диодами D_1-D_4 включены резисторы R_5-R_8 для улучшения сим-

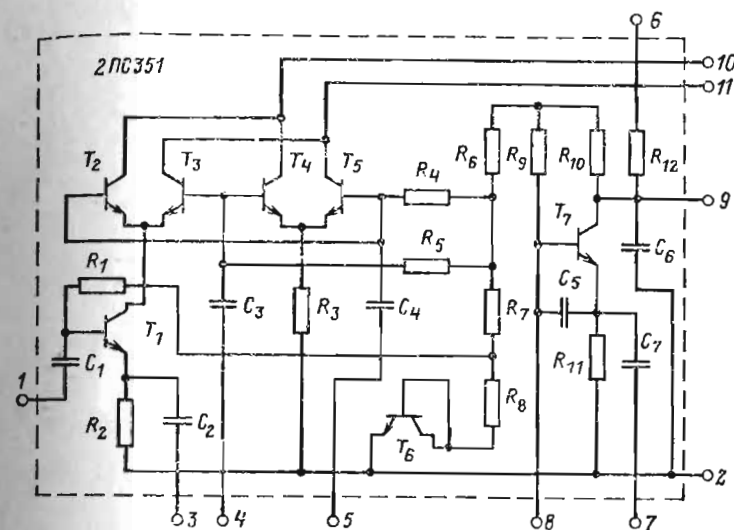


Рис. 2-8. Микросхема преобразователя частоты 2ПС351.

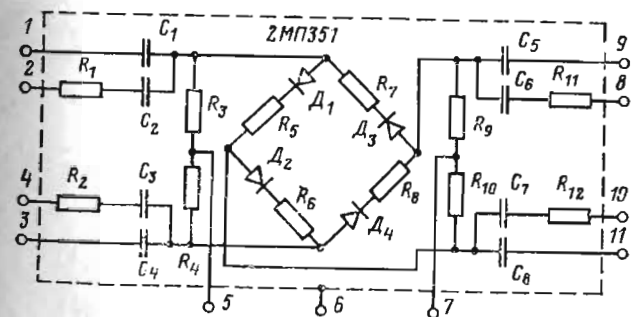


Рис. 2-9. Микросхема кольцевого модулятора 2МП351.

метрии схемы. Симметрирование входов и выходов модулятора проводится с помощью резисторов R_1 , R_2 , R_{11} , R_{12} . Для подачи напряжения на диагонали моста в схеме имеются две пары резисторов: R_3 , R_4 и R_9 , R_{10} .

Если подключить к микросхеме трансформаторы и подать напряжения несущей и модулирующего так, как показано на рис. 2-4, к, то на выходе появится балансно-модулированное колебание, в спектре которого содержатся составляющие верхней и нижней боковых частот. Составляющие с частотой несущей и модулирующего сигнала будут подавлены. Можно выполнить модулятор и без трансформаторов. В этом случае микросхема включается между симметрирующими усилительными микросхемами 2УС354, обеспечивающими парафазные выходы.

Микросхемы 2МП351 и 2МП352 используются и для создания фазовых детекторов. Напряжения гетеродина и сигнала подаются через симметрирующие усилители 2УС354 на входы 1, 3 и 9, 11, а выходное напряжение низкой частоты снимается с нагрузки (с фильтрующим конденсатором), включенной между выводами 5 и 7.

Нижняя граничная частота по сигнальному входу у микросхем 2МП351 не превышает 10 кГц, а у микросхем 2МП352 — 2,5 кГц. Крутизна характеристики в режиме фазового детектора на частоте 0,2 МГц не менее 6,5 мВ/град, коэффициент передачи модулятора на этой частоте более 0,2. Коэффициент подавления высокой частоты в диапазоне 50—2500 кГц изменяется от 26 до 14 дБ.

Пример схемы модулятора на микросхеме 2МП351 приведен на рис. 2-4, к.

Микросхемы серии К224 для радиовещательной аппаратуры

Серия К224 состоит из 32 типов микросхем, выполненных по гибридной технологии с использованием бескорпусных транзисторов КТ359. Микросхемы этой серии применяются в радиовещательных приемниках, малогабаритных радиостанциях, черно-белых и цветных телевизорах, магнитофонах, усилителях, измерительных приборах и в другой аппаратуре [1, 2, 14, 15]. Однако по основному предназначению их условно можно разделить на две группы. Первую группу, на базе которой можно выполнить радиовещательные приемники, составляют 14 типов микросхем.

Вторую группу составляют микросхемы, предназначенные для создания телевизионных приемников.

Микросхема К2УС241 (рис. 2-10, а) предназначена для УВЧ и УПЧ, а также буферных каскадов генераторов, работающих в диапазоне 0,15—110 МГц. Выполнена микросхема на двух транзисторах по каскодной схеме общий эмиттер — общая база. Режим транзисторов по постоянному току задается делителем базового смещения на резисторах R_1 — R_3 и резисторами R_5 , R_6 включенными в цепь эмиттера транзистора T_2 . Наличие выводов 5, 6 и 7 позволяет регулировать сопротивление нижнего плеча делителя и менять смещение между эмиттером и базой входного транзистора. Поэтому микросхема может питаться от источников с напряжением от 5,4 В до 12 В. Потребляемая мощность не превышает 50 мВт.

В микросхеме предусмотрена возможность подачи базового смещения от внешнего источника (3 В) или от системы АРУ. В этом случае вывод 2 не соединяется с делителем R_1 — R_3 , а напряжение смещения подается через вывод 3 и резистор R_4 . Конденсатор C_1 обеспечивает включение транзистора T_1 по схеме с общей базой,

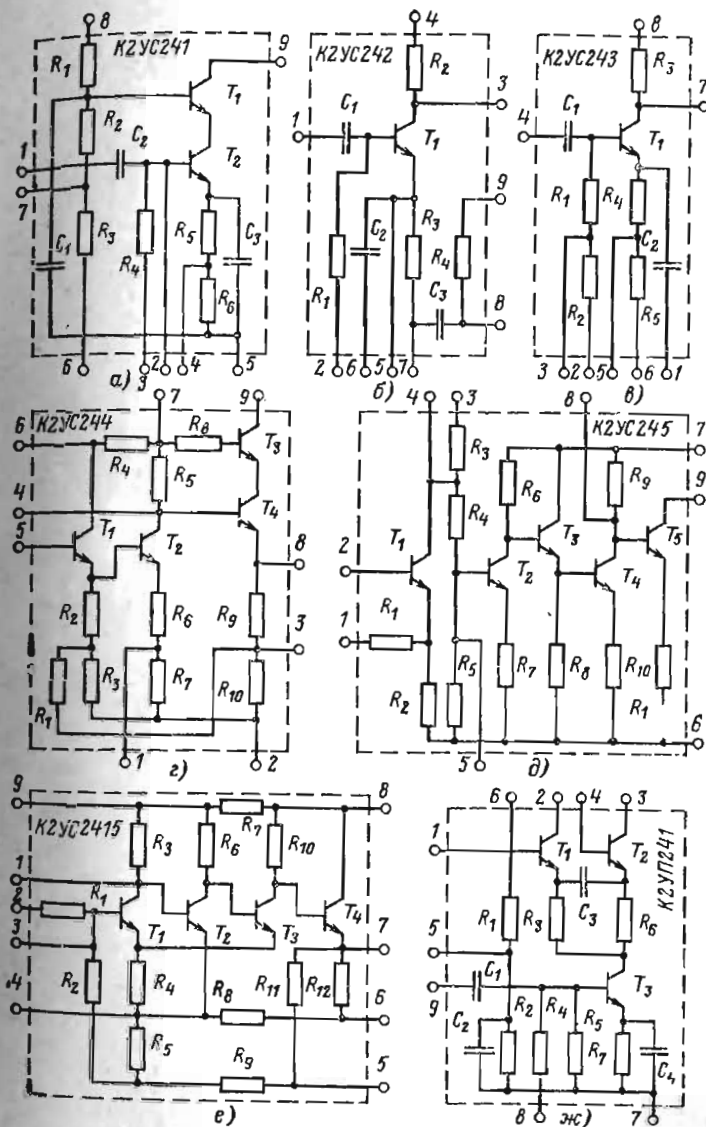


Рис. 2-10. Усилительные микросхемы серии К224 для радиовещательной аппаратуры.

а конденсатор C_3 уменьшает обратную связь по переменной составляющей.

Входной сигнал подается на базу транзистора T_2 через вывод 1 и разделительный конденсатор C_2 . При необходимости в качестве входного можно использовать вывод 2. Нагрузка усилителя может

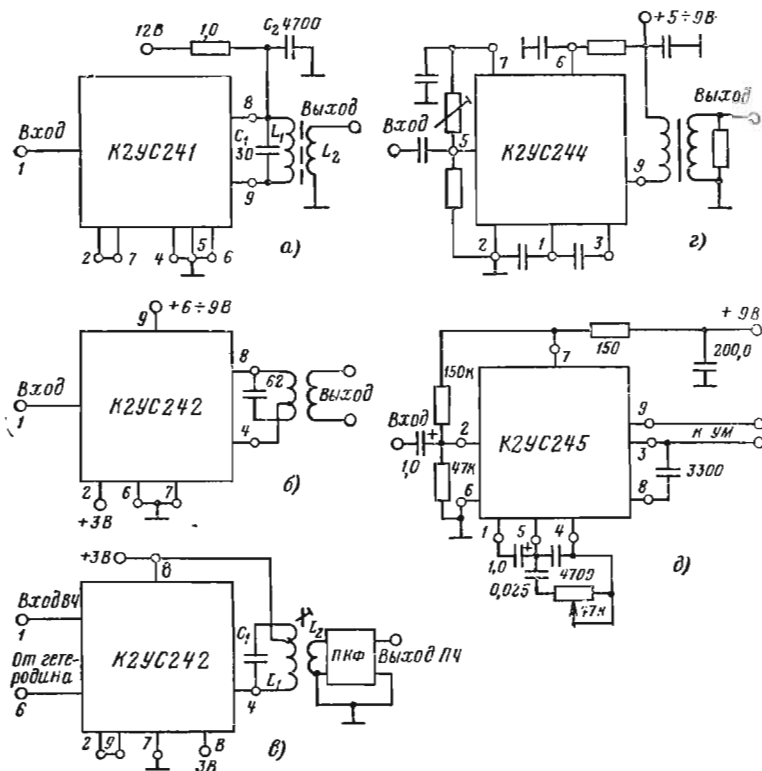


Рис. 2-11. Варианты применения усилительных микросхем серии K224 в радиовещательной аппаратуре.

а — УВЧ с резонансной нагрузкой ($f=28,5$ МГц); б — УПЧ с резонансной нагрузкой; в — смеситель; г — предварительный УНЧ; д — предварительный бестрансформаторный УНЧ.

быть аperiodической или резонансной и включается между выводами 8 и 9 (рис. 2-11, а).

В диапазоне от 0,15 до 30 МГц микросхема обеспечивает крутизну вольт-амперной характеристики не ниже 30 мА/В, а на более высоких частотах рабочего диапазона выше 12 мА/В. Входное сопротивление на частоте 10 МГц не менее 150 Ом. Неравномерность частотной характеристики не более 12 дБ.

Микросхема K2UC242 (рис. 2-10, б) представляет собой однокаскадный универсальный усилитель для приемников АМ и ЧМ.

Транзистор T_1 может быть включен по схеме ОЭ, ОБ или ОК. В зависимости от схемы включения меняются функции, выполняемые имеющимися в микросхеме пассивными компонентами. В схеме ОЭ резистор R_2 используется в качестве нагрузочного, резистор R_3 стабилизирует режим транзистора, конденсатор C_2 при соединении выводов 6 и 7 уменьшает обратную связь по переменной составляющей, а цепочка R_4, C_3 выполняет роль фильтра в цепи питания, если напряжение питания подается на вывод 9.

Смещение на базу транзистора подается обычно от внешнего стабилизированного источника (3 В) через вывод 2 и резистор R_1 . Эта цепь может быть задействована для подачи напряжения АРУ (например, от микросхемы K2ЖА243).

При усилении по схеме ОЭ сигнал поступает на базу транзистора через вывод 1 и конденсатор C_1 . Нагрузка может быть апериодической или резонансной. В первом случае ее сопротивление должно выбираться из условия реализации рабочей точки в линейной области характеристик при заданном питающем напряжении и из условия обеспечения требуемого коэффициента усиления. При резонансной нагрузке первичную обмотку трансформатора целесообразно включить между выводами 4 и 8, а напряжение питания подать на вывод 9 (см. рис. 2-11, б). Для расширения полосы пропускания параллельно контуру можно подключить резистор сопротивлением 5—10 кОм.

Микросхему K2UC242 можно использовать в качестве смесителя. В этом случае сигнал подается на вывод 1 и далее на базу транзистора, а напряжение гетеродина подводится через вывод 6 на эмиттер. Для выделения промежуточной частоты целесообразно использовать пьезокерамический фильтр, связанный с микросхемой через согласующий трансформатор.

На основе рассматриваемой микросхемы можно создать и гетеродин. Он выполняется по схеме с индуктивной связью с переменным конденсатором в выходном контуре (при необходимости перестройки гетеродина).

Примеры использования микросхемы K2UC242 в усилителе и в преобразователе показаны на рис. 2-11, б, в.

Микросхема K2UC242 может использоваться в диапазоне 0,15—33 МГц. При этом параметры устройства существенно зависят от схемы включения транзистора и параметров навесных элементов. Для примера можно отметить, что в усилительном режиме при включении транзистора по схеме с общим эмиттером микросхема на частоте 10 МГц имеет входное сопротивление 150 Ом и обеспечивает крутизну передаточной характеристики не менее 25 мА/В. Напряжение питания 3,6—9 В, потребляемая мощность не более 15 мВт.

Микросхема K2UC243 (рис. 2-10, в) по своему функциональному назначению и ряду параметров аналогична микросхеме K2UC242. Сравнение схем показывает, что различие заключается в отсутствии в микросхеме K2UC243 фильтра в цепи питания и в разделении резисторов, подключенных к базе и эмиттеру транзистора, на составные части, что расширяет возможности регулирования режимов по постоянному и переменному токам, в частности позволяет использовать рассматриваемую микросхему на частотах до 110 МГц. При этом на верхних частотах рабочего диапазона крутизна передаточной

характеристики не хуже 10 мА/В. Напряжение питания 3,6—9 В, потребляемая мощность не более 25 мВт.

Микросхема К2УС244 (рис. 2-10, з) предназначена для создания трансформаторного предварительного УНЧ, работающего на частотах от 80 Гц до 20 кГц.

На транзисторе T_1 выполнен эмиттерный повторитель. Он необходим для обеспечения входного сопротивления не менее 20 кОм. Второй каскад на транзисторе T_2 — усилитель напряжения. С него напряжение подается на оконечный каскад микросхемы, выполненный на двух транзисторах T_3 и T_4 . Этот каскад нагружен на первичную обмотку выходного трансформатора (см. рис. 2-11, з).

Для нормального функционирования микросхемы необходимо с помощью внешних элементов подать смещение на базу транзистора T_1 . Благодаря имеющимся в микросхеме выводам можно в значительных пределах менять режимы работы транзисторов по переменному и постоянному токам, а также исключить из тракта усиления транзисторы T_1 и T_2 , подавая сигнал на вывод 4.

Один из примеров подключения навесных элементов к микросхеме К2УС244 показан на рис. 2-11, з. Навесные элементы обеспечивают заданный режим работы входного транзистора, отделение микросхемы по постоянному току от предыдущего каскада, выделение и передачу на следующий каскад усиленного сигнала, фильтрацию в цепи питания, уменьшение обратной связи по переменной составляющей как в отдельных каскадах, так и между входом и выходом микросхемы.

Во всем частотном диапазоне микросхема усиливает более чем в 100 раз при коэффициенте нелинейных искажений менее 5%. Напряжение питания микросхемы 5,4—9 В, потребляемая мощность не более 80 мВт.

Микросхема К2УС245 (рис. 2-10, д) предназначена для создания бестрансформаторных УНЧ. Она выполнена на пяти транзисторах. Каскад на транзисторе T_1 используется как эмиттерный повторитель. Он обеспечивает входное сопротивление микросхемы больше 15 кОм, что необходимо при согласовании с высокоомным выходом амплитудного детектора.

Остальные каскады представляют собой аперiodические усилители, причем каскад на транзисторе T_3 работает как эмиттерный повторитель. Резисторы в эмиттерных цепях транзисторов обеспечивают обратную связь по переменной и постоянной составляющим. Кроме того, можно подавать напряжение обратной связи с выходного каскада УНЧ на базы транзисторов T_2 (через вывод 3) и T_5 (через вывод 8). Благодаря этому коэффициент нелинейных искажений не превышает 3%. Коэффициент усиления в диапазоне от 80 Гц до 20 кГц больше 140. Напряжение питания микросхемы 5,4—12 В, потребляемая мощность не превышает 80 мВт.

На рис. 2-11, д показан один из возможных вариантов использования микросхемы К2УС245.

Микросхема К2УС2415 (рис. 2-10, е) представляет собой УНЧ для аппаратуры низовой радиосвязи. На частоте 1 кГц она усиливает более чем в 12 раз, входное сопротивление превышает 50 кОм, а коэффициент нелинейных искажений меньше 3%. Напряжение питания 9 В $\pm 20\%$, потребляемая мощность не более 220 мВт.

Микросхема К2УП241 (рис. 2-10, ж) благодаря наличию дифференциальной пары на транзисторах T_1 и T_2 является универсальным устройством и находит применение в УВЧ и УПЧ, смесителях, гете-

родинах и в других каскадах АМ и ЧМ трактов радиовещательных приемников.

Микросхема может применяться в диапазоне частот 0,15—110 МГц. Крутизна вольт-амперной характеристики в диапазоне 0,15—30 МГц не менее 10 мА/В, а в диапазоне 30—110 МГц не менее 5 мА/В. Если дифференциальная пара используется без каскада на транзисторе T_3 , то крутизна характеристики на частоте 10 МГц превышает 4 мА/В. Напряжение питания 5,4—9 В, потребляемая мощность не выше 20 мВт.

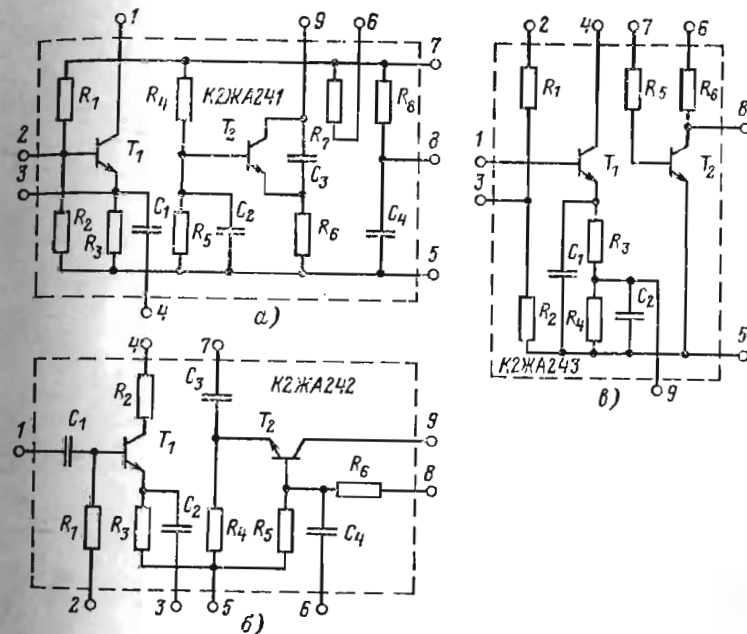


Рис. 2-12. Многофункциональные микросхемы серии К224 для аппаратуры радиосвязи.

Микросхема К2ЖА241 (рис. 2-12, а) предназначена для создания смесителя и гетеродина тракта УКВ—ЧМ сигналов.

Смеситель выполняется на транзисторе T_1 . Резисторы R_1 — R_3 определяют режим этого транзистора по постоянному току. Входной сигнал целесообразно подавать на базу транзистора T_1 через внешний разделительный конденсатор и вывод 2. Для подачи напряжения гетеродина в цепь эмиттера предназначен конденсатор C_1 , подключенный к выводу 4. Напряжение гетеродина может быть подведено и через вывод 3. Для выделения напряжения промежуточной частоты обычно используют колебательный контур, включаемый между коллектором транзистора T_1 (вывод 1) и источником питания.

Гетеродин УКВ диапазона может быть выполнен на транзисторе T_2 по схеме с емкостной связью. База транзистора заземляется по

высокой частоте с помощью конденсатора C_2 . Конденсатор C_3 обеспечивает фазовые условия самовозбуждения. Резисторы R_4 — R_5 обеспечивают режим транзистора по постоянному току. Контур гетеродина включается в коллекторную цепь транзистора T_2 . Если гетеродин используется совместно со смесителем на транзисторе T_1 , следует соединить выводы 4 и 9.

Пример преобразователя на микросхеме К2ЖА241 показан на рис. 2-13, а. Выполненный на микросхеме гетеродин работает в диа-

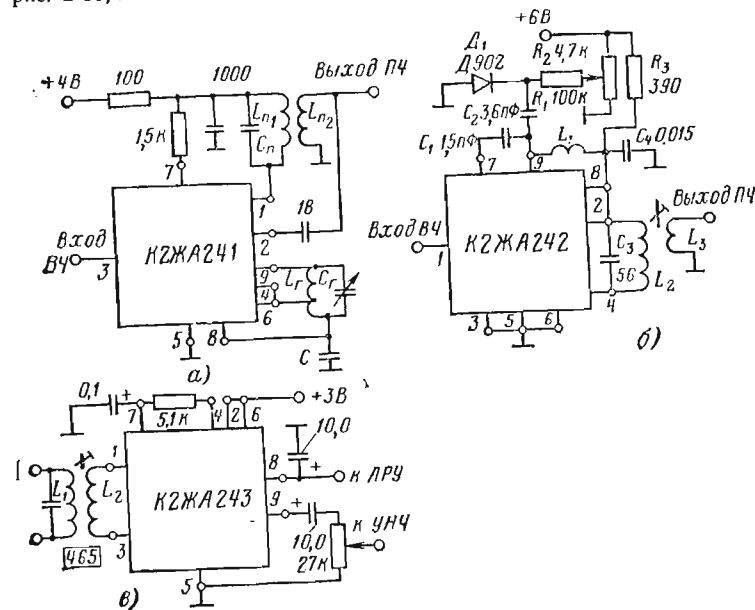


Рис. 2-13. Варианты применения многофункциональных микросхем серии К224 в радиоприемной аппаратуре.

а — преобразователь; б — преобразователь спортивного приемника для «охоты на лис»; в — детектор АМ сигналов и детектор АРУ.

пазоне частот 65—120 МГц, а диапазон смесителя 10—110 МГц. Крутизна вольт-амперной характеристики смесителя на частоте 10 МГц более 7 мА/В, входное сопротивление превышает 150 Ом, а коэффициент преобразования не менее 2. Напряжение питания 4 В, потребляемая мощность не более 30 мВт.

Микросхема К2ЖА242 (рис. 2-12, б) предназначена для создания смесителя и гетеродина в трактах АМ сигналов.

Смеситель выполняется на транзисторе T_1 . В отличие от предыдущей микросхемы напряжение сигнала подается на базу транзистора совместно с напряжением гетеродина. Это делается с целью увеличения коэффициента преобразования смесителя и повышения чувствительности приемника. Резистор R_1 используется в цепи базового смещения, резистор R_3 стабилизирует режим тран-

зистора T_1 . По высокой частоте резистор R_3 можно зашунтировать конденсатором C_2 , соединив выводы 3 и 5. Напряжение промежуточной частоты снимается с контура, который следует подключить к выводу 4.

Гетеродин выполняется на транзисторе T_2 . Смещение на базу транзистора подается с делителя R_5 , R_6 . Для заземления базы по высокой частоте предназначен конденсатор C_4 . Для стабилизации режима работы преобразователя в цепях питания может использоваться микросхема К2ПП241. Смещение на базу транзистора T_2 целесообразно подавать со стабилизатора, подключаемого к выводу 8.

Один из возможных примеров использования микросхемы К2ЖА242 показан на рис. 2-13, б.

Диапазон рабочих частот смесителя 0,15—30 МГц, а гетеродина 0,5—30 МГц. На частоте 10 МГц крутизна вольт-амперной характеристики смесителя более 18 мА/В, а гетеродина более 14 мА/В. Напряжение питания 3,6—9 В для смесителя и 3—3,6 В для гетеродина, потребляемая микросхемой мощность не превышает 40 мВт.

Микросхема К2ЖА243 (рис. 2-12, в) предназначена для детектирования АМ сигналов промежуточной частоты и усиления напряжения АРУ.

Сигнал на базу входного транзистора T_1 может быть подан через внешний трансформатор промежуточной частоты, вторичная обмотка которого включается между выводами 1 и 3 (см. рис. 2-13, в). Смещение на базу транзистора подается в этом случае с делителя R_1 , R_2 .

Эмиттерный переход транзистора вместе с нагрузкой, состоящей из резисторов R_3 , R_4 и конденсаторов C_1 , C_2 , используется для детектирования сигнала. Раздельная нагрузка способствует увеличению входного сопротивления детектора, улучшению фильтрации несущей частоты и снижению искажений детектируемого сигнала. Низкочастотная составляющая с выхода детектора (вывод 9) может быть подана через разделительный конденсатор на вход усилителя низкой частоты.

Коллекторный переход транзистора T_1 используется в детекторе АРУ. Фильтр этого детектора выполняется из навесных элементов с использованием резистора R_5 и включается между выводами 4 и 8.

Напряжение АРУ подается на базу транзистора T_2 . Каскад на этом транзисторе используется для усиления сигнала АРУ. Нагрузкой каскада служит резистор R_6 . С него напряжение АРУ поступает на регулируемые каскады. Влияние высокочастотной составляющей детектируемого сигнала можно ослабить, подключив конденсатор емкостью 10 мкФ между выводом 8 и корпусом.

Пример практического использования микросхемы К2ЖА243 показан на рис. 2-13, в.

Коэффициент передачи детектора 0,3. Коэффициент нелинейных искажений менее 3,5%. На частоте 465 кГц входное сопротивление превышает 500 Ом. При входном сигнале 1 В напряжение АРУ меньше 1 В, а при отсутствии входного сигнала напряжение АРУ превышает 1,8 В. Напряжение питания 3 В $\pm 5\%$, потребляемая мощность не более 10 мВт.

Микросхема К2ДС241 (рис. 2-14, а) используется в частотных детекторах. Например, на ней можно выполнять детектор отношения, схема которого показана на рис. 2-14, в.

Транзисторы T_1 и T_2 выполняют роль диодов. Для преобразования вида ЧМ—АЧМ используются два внешних контура и катушка связи. Остальные компоненты микросхемы предназначены для фильтрации и подавления паразитной АМ. Низкочастотный фильтр R_3C_4 предотвращает проникновение напряжения промежуточной частоты на вход УНЧ, подключаемого к выводу 9. Конденсатор C_3 сглаживает импульсы тока, возникающие при воздействии импульс-

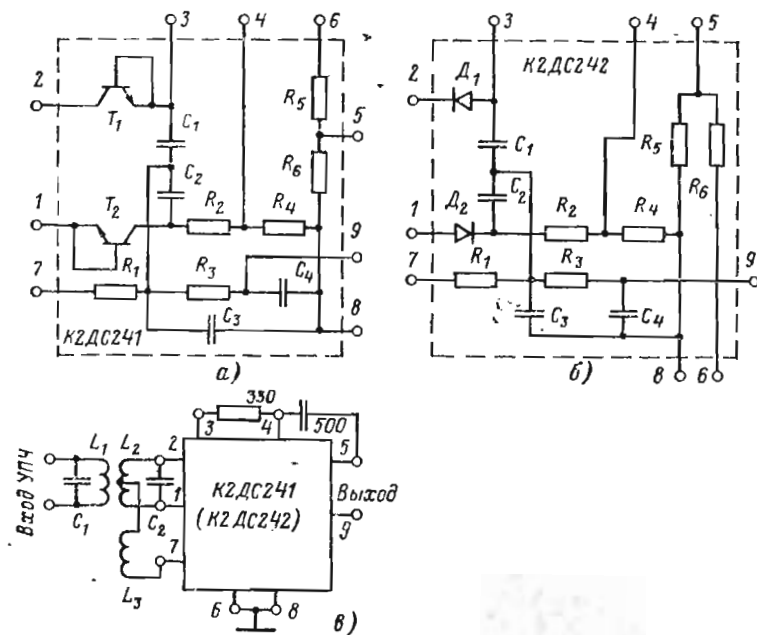


Рис. 2-14. Микросхемы частотных детекторов и вариант их применения.

ных помех. Резистор R_1 подавляет резонанс в последовательном контуре, создаваемом катушкой связи и конденсатором C_3 . Резистор R_2 и внешний переменный резистор служат для симметрирования ветвей нагрузки. Конденсатор, включаемый между выводами 4 и 6, шунтирует резисторы R_4 — R_6 , обуславливающие угол отсечки амплитудного детектора. Напряжения на резисторах не успевают измениться за период паразитной АМ.

Детектор на рис. 2-14, в имеет частотный диапазон 5—20 МГц. Коэффициент передачи не менее 0,15.

Микросхема К2ДС242 (рис. 2-14, б) выпускается для замены микросхемы К2ДС241. Она выполнена на диодах по типовой схеме симметричного детектора отношений. Микросхема К2ДС242 при-

меняется в диапазоне частот 5—20 МГц. Коэффициент передачи не менее 0,15.

Микросхема К2ПП241 (рис. 2-15, а) представляет собой часть стабилизатора базовых цепей транзисторов переносных радиовещательных приемников.

Для нормального функционирования к микросхеме подключают опорные стабилизирующие элементы (рис. 2-15, б). Транзистор T_1

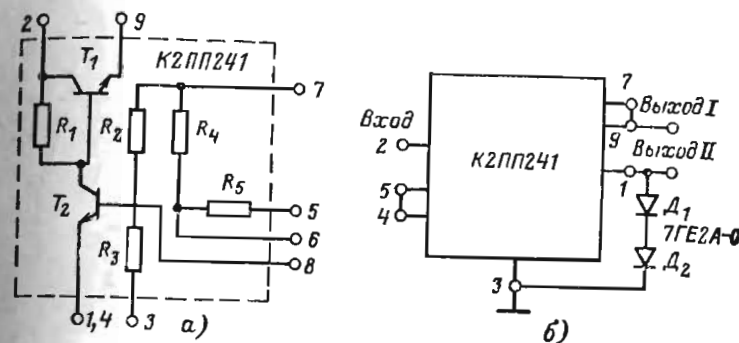


Рис. 2-15. Микросхема К2ПП241 и стабилизатор базовых цепей на ее основе.

используется как регулирующий элемент, а на транзисторе T_2 выполнен усилитель обратной связи. Если на выходе микросхемы (выводы 7 и 9) увеличилось напряжение, смещение на базе транзистора меняется так, что возрастает ток коллектора. Это приводит к увеличению падения напряжения на резисторе R_1 и уменьшению тока базы транзистора T_1 . В результате увеличивается разность потенциалов между коллектором и эмиттером транзистора T_1 , что способствует компенсации приращения выходного напряжения, так как весь ток нагрузки проходит через этот транзистор.

Напряжение стабилизации определяется внешними опорными элементами и обычно составляет 3,3—3,9 В при входном напряжении 5,4—12 В. Коэффициент стабилизации равен 5. Потребляемая мощность не более 20 мВт.

Микросхема К2НТ241 (рис. 2-16) представляет собой транзисторную сборку, содержащую три транзистора КТ359. Микросхема выпускается в трех модификациях. Классификация выполняется по коэффициенту передачи тока базы транзисторов (30—90, 50—150, 70—280). Модуль коэффициента передачи тока на частоте 100 МГц

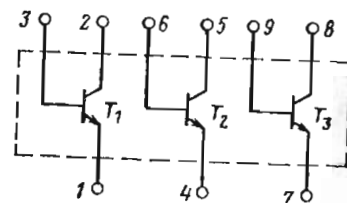


Рис. 2-16. Транзисторная матрица К2НТ241.

не менее 3. Обратный ток коллектора менее 0,5 мкА. Напряжение питания $9 \text{ В} \pm 20\%$.

В литературе [2, 25—27, 12—14] приведены различные варианты использования описанных микросхем серии К224 в радиоэлектронной аппаратуре.

Микросхемы для усилительных трактов аппаратуры радиосвязи

Наряду с функционально полными сериями микросхем для радиоаппаратуры промышленность выпускает ограниченные по составу серии или серии, состоящие из одной микросхемы, которые можно использовать для создания отдельных трактов или узлов. Это в первую очередь серии К260, К284, К123, К167, К174, К173, К226, К504, К129, К159, К177, К198.

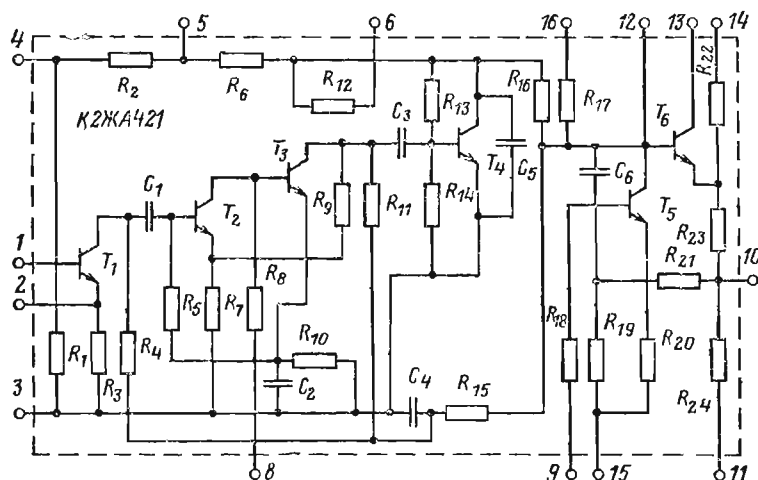


Рис. 2-17. Многофункциональная микросхема К2ЖА421.

Микросхема К2НЕ601 серии К260 предназначена для создания малошумящих УПЧ. Она применяется в совокупности с внешними транзисторами и представляет собой резистивно-конденсаторную матрицу, содержащую 16 резисторов сопротивлением от 100 Ом до 10 кОм и 13 конденсаторов емкостью 1000 и 4700 пФ.

Серия К242 состоит из одной многофункциональной микросхемы К2ЖА421 (рис. 2-17), на базе которой можно выполнить тракт радиоприемника от УПЧ до предварительного УНЧ включительно.

Напряжение промежуточной частоты 465 кГц подается между выводами 2 и 4. Оно усиливается трехкаскадным УПЧ на транзисторах T_1 — T_3 и поступает на детектор, выполненный на транзисторе T_4 . После детектирования низкочастотные колебания подаются на двухкаскадный предварительный УНЧ на транзисторах T_5 и T_6 . Для

этого между выводами 6 и 9 включают регулятор громкости и разделительный конденсатор. Предварительно усиленный низкочастотный сигнал поступает на выводы 13 и 14, с которых может быть подан на оконечный УПЧ, выполненный на внешних элементах.

Напряжение АРУ с нагрузки детектора через резисторы R_6 и R_2 и обмотку трансформатора промежуточной частоты поступает на базу транзистора T_1 .

Микросхема обеспечивает усиление в 20 000—45 000 раз при коэффициенте нелинейных искажений не более 5%. При изменении входного сигнала на 26 дБ за счет действия АРУ выходной сигнал изменяется не более чем на 8 дБ. Входное сопротивление не менее 500 Ом. Напряжение питания $9 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 45 мВт.

Серия К284 состоит из трех модификаций операционного усилителя (К284УД1)* с дифференциальным входом на полевых транзисторах, истокового повторителя (К2УЭ841А, К2УЭ841Б), активного элемента RC-фильтров (К2СС841). Четвертая микросхема серии (К2СС842А, К2СС842Б) представляет собой два самостоятельных истоковых повторителя и инвертирующий усилитель.

Несколько серий целиком состоят из микросхем усилителей низкой частоты.

Серия К123 объединяет три модификации микросхемы К1УС231. Полоса пропускания УНЧ, выполненных на основе этой микросхемы, составляет 0,02—100 кГц. На частоте 1 кГц при выходном напряжении 0,5 В микросхемы модификаций А, Б, В имеют соответственно коэффициент усиления 300—500, 100—350 и 30—500. При этом коэффициент нелинейных искажений у микросхем К1УС231А и К1УС231Б не более 2%, а у микросхемы К1УС231В не более 5%. Входное сопротивление 10 кОм, выходное сопротивление 200 Ом. Напряжение питания $6,3 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 100 мВт.

Усилитель низкой частоты на полевых транзисторах можно выполнить, используя микросхему К1УС671 (рис. 2-18). Усилитель имеет верхнюю граничную частоту не менее 100 кГц, усиление на частоте 1 кГц 500—1300. При выходном напряжении 1 В коэффициент нелинейных искажений на этой частоте не превышает 5%. Коэффициент шума менее 6,5 дБ. Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$ при потребляемой мощности не более 60 мВт.

Серия К226 содержит пять микросхем УНЧ. Каждая микросхема выпускается в трех модификациях. Усилители выполнены на полевом транзисторе 2П201 и биполярных транзисторах 2Т332 и 2Т307. Входной каскад на полевом транзисторе позволяет получить большое входное сопротивление (не менее 10 МОм). Благодаря приме-

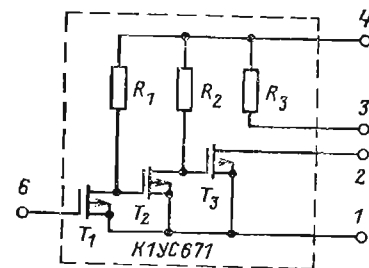


Рис. 2-18. Микросхема УНЧ на полевых транзисторах К1УС671.

* Основные параметры для удобства анализа приведены в табл. 2-6.

нению маломощных транзисторов уровень шума не превышает 5 мкВ для микросхем модификации А, а для остальных — не выше 12 мкВ.

Верхняя граничная частота для микросхем К2УС261, К2УС263 и К2УС265 не ниже 100 кГц, а для остальных не ниже 200 кГц. Нижняя граничная частота составляет 1—6 Гц. Максимальное выходное напряжение не менее 1,5 В (К2УС261, К2УС262 и К2УС265) или 2,5 В (К2УС263, К2УС264).

Микросхемы различаются коэффициентом усиления и в общем перекрывают диапазон 9—350. Коэффициент нелинейных искажений не более 5%.

Напряжение питания для микросхем К2УС261, К2УС262, К2УС265 $12,6 \text{ В} \pm 10\%$ и $-6,3 \text{ В} \pm 10\%$, а для остальных 6 В $\pm 10\%$ и $-9 \text{ В} \pm 10\%$. Потребляемая мощность для различных микросхем от 10 до 60 мВт.

Серия К504 объединяет две микросхемы низкочастотных маломощных усилителей на полевых транзисторах с р-каналом

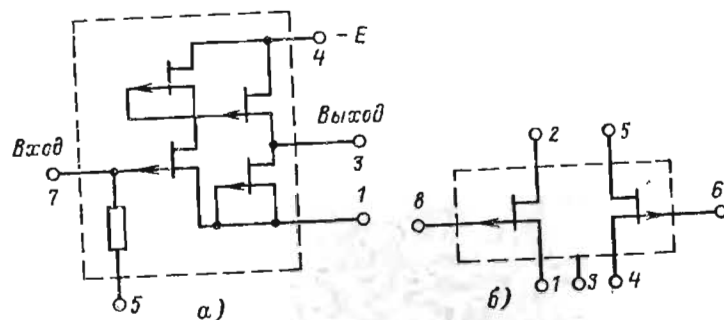


Рис. 2-19. Микросхемы серии К504.

а — маломощный УНЧ; б — согласованная пара полевых транзисторов.

(рис. 2-19, а) и четыре микросхемы, представляющие собой согласованные пары таких транзисторов (рис. 2-19, б).

Усилители К5УС041А, К5УС041Б, К5УС041В и К5УС042А, К5УС042Б, К5УС042В обладают высоким входным сопротивлением. Для микросхем модификаций А и Б оно превышает 1 МОм, а для модификации В не менее 0,5 МОм. Поэтому микросхемы целесообразно использовать для усиления сигналов высокоомных датчиков.

Разно использовать для усиления сигналов высокоомных датчиков. Диапазон рабочих частот усилительных микросхем составляет 5—10 000 Гц. На частоте 1 кГц коэффициент усиления соответственно для модификаций А, Б и В находится в пределах 20—60, 40—120 и 80—200. Обе микросхемы на нагрузке 3 кОм могут развивать максимальное выходное напряжение не менее 0,5 В. При этом коэффициент нелинейных искажений достигает 10%.

Важным достоинством обеих усилительных микросхем является низкий уровень шума. Приведенное ко входу напряжение шума у микросхемы К5УС041 не превышает 3 мкВ, а у микросхемы К5УС042 — 5 мкВ.

Напряжение питания микросхем от -6 В до -18 В .

Согласованные пары полевых транзисторов предназначены в основном для использования во входных устройствах маломощных дифференциальных и операционных усилителей. Двенадцать модификаций четырех микросхем имеют разную крутизну (от 0,3 мА/В для К5НТ041А до 5 мА/В для К5НТ044В) и разный начальный ток стока. Входная и проходная емкости не превышают у микросхем К5НТ041 и К5НТ042 соответственно 6 и 2 пФ, а у остальных 17 и 4 пФ. Напряжение отсечки для всех транзисторов не более 4,5 В, а максимальное напряжение сток-исток $10 \text{ В} \pm 10\%$. Коэффициент шума не более 2 дБ. Граничная частота усиления по мощности для всей совокупности модификаций составляет от 25 до 350 МГц.

Микросхемы трех последних серий предназначены в основном для создания предварительных УНЧ.

Серии К173 и К174 содержат микросхемы усилителей мощности. Эксплуатируются они с теплоотводом или при принудительном охлаждении.

Микросхемы К1УС731 и К1УС741 на частоте 12 кГц обеспечивают коэффициент усиления по напряжению от 100 до 300 и выходную мощность не менее 1 Вт при коэффициенте нелинейных искажений не более 1,5% (модификации А) или 3% (модификации Б). Диапазон рабочих частот 30 Гц — 20 кГц.

Еще большую мощность развивает микросхема К174УН7. Выходная мощность на нагрузке 4 Ом превышает 4,5 Вт при коэффициенте нелинейных искажений менее 10%. При снижении мощности до 2,5 Вт коэффициент нелинейных искажений становится меньше 2%.

Для иллюстрации схематических особенностей мощных УНЧ серий К173 и К174 на рис. 2-20, а приведена принципиальная схема микросхемы К1УС744, а на рис. 2-20, б показан вариант применения ее с внешними элементами. Схема состоит из входного, предоконечного и выходного каскадов. Входной сигнал подается через разделительный конденсатор на вывод 4. Нагрузка подключена непосредственно на выход усилителя.

Основу входного каскада составляет дифференциальная пара транзисторов T_3 и T_6 . Они обеспечивают режим по входу, стабильность параметров усилителя в диапазоне температур и при изменении питающих напряжений, а также удобство введения обратной связи. Предоконечный каскад выполнен на транзисторах T_9 и T_{10} . Режим работы этого каскада задается диодно-включенными транзисторами T_7 и T_8 и резистором R_9 . Двухтактный оконечный каскад содержит в каждом плече по два составных $n-p-n$ транзистора (T_{14} , T_{15} и T_{12} , T_{16}). Для изменения фазы управляющего сигнала используется $p-n-p$ транзистор T_{11} . Это упрощает схему предоконечного и оконечного каскадов и согласование между ними.

Транзистор T_{13} с резисторами R_{12} и R_{13} образуют цепь стабилизации усилителя. Для получения максимальной выходной мощности при минимальных искажениях и при высоком к.п.д. в оконечном каскаде при подключении конденсатора между выводами 6 и 8 используется положительная обратная связь. Отрицательная обратная связь по постоянному току через резистор R_{14} служит для стабилизации рабочей точки усилителя.

Коэффициент усиления на нижних частотах определяется емкостью конденсатора C_4 . Емкость между выводом 4 и общей точкой схемы ограничивает верхний предел частотной характеристики.

Микросхема имеет частотный диапазон 30—20 000 Гц. Серия К177 состоит из дифференциальных усилителей (К1УТ771А, К1УТ771Б) и двухтактного усилителя (К1УС771), обладающих универсальными свойствами.

Дифференциальный усилитель позволяет получить коэффициент усиления 35—80 и коэффициент ослабления синфазного сигнала не

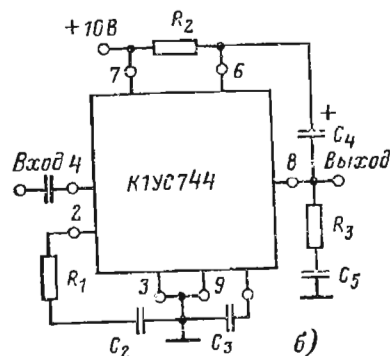
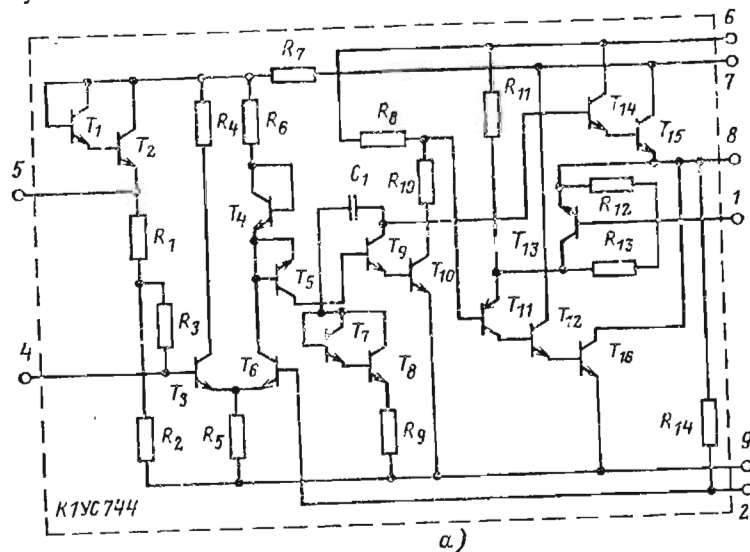


Рис. 2-20. Микросхема К1УС744 и вариант подключения к ней внешних элементов.

менее 70 дБ. Напряжение смещения нуля менее 15 мВ, максимальное выходное напряжение более 5,5 В. Входное сопротивление не менее 100 кОм (модификация А) или 500 кОм (модификация Б). Ток смещения менее 5 или 2,5 мкА.

Напряжение питания $\pm 6,3 \text{ В} \pm 10\%$ при токе менее 4 мА. Усилитель напряжения имеет входное сопротивление более 40 кОм, выходное сопротивление 50 Ом и обеспечивает максимальное выходное напряжение не менее 6 В. Напряжение питания $12,6 \text{ В} \pm 10\%$ при токе менее 5 мА.

На микросхемах этой серии создаются операционные усилители с высоким входным и низким выходным сопротивлением.

Серия К198 обладает широкими функциональными возможностями. Она включает в себя две модификации многофункционального усилителя общего назначения К1УТ981, три модификации универсального линейного каскада К1УС981, а также по восемь модификаций различных матриц из трех—пяти *n-p-n* или *p-n-p* транзисторов.

Напряжение питания микросхем серии $6,3 \text{ В} \pm 10\%$. Микросхема К1УТ981 на частоте 10 кГц усиливает в 20—70 раз, а микросхема К1УС981 не менее чем в 2 раза (модификация В) или 4 раза (модификация А, Б).

Серия К129 состоит из микросхем, являющихся наборами биполярных транзисторов.

Восемь модификаций бескорпусной микросхемы К1НТ291 представляют собой пары идентичных *p-p-n* транзисторов и используются в качестве активных элементов в широкополосных балансных схемах, например в дифференциальных или операционных усилителях. По коэффициенту передачи тока транзисторы подразделяются на четыре группы (20—80, 40—160, 60—180 и более 80), а по разности прямых падений напряжения эмиттер-база на две группы. Максимальное напряжение коллектор-база не более 15 В, обратный ток коллектора не более 200 нА. Допустимая рассеиваемая мощность не более 15 мВт.

Шесть модификаций таких же пар транзисторов выпускаются в металлокерамических корпусах и объединяются в серию К159. Микросхемы этой серии отличаются более высокой допустимой рассеиваемой мощностью (50 мВт).

Микросхемы вторичных источников питания

Несомненный интерес для радиолюбителей и специалистов представляют микросхемы серий К181, К275. Они предназначены для использования во вторичных источниках питания для стабилизации напряжения. Такие устройства позволяют, в частности, по-новому осуществить электропитание сложных устройств с нестабилизированными источниками постоянного тока за счет применения индивидуальных стабилизаторов для отдельных блоков и каскадов.

Микросхема серии К181 (рис. 2-21) выполнена по схеме с последовательным включением регулирующего элемента.

Основными каскадами стабилизатора являются: составной регулирующий транзистор, симметричный дифференциальный усилитель и источник опорного напряжения, включающий в себя стабилитрон и эмиттерный повторитель.

Микросхема К1ЕН811 работает при нестабильном входном напряжении 9—20 В, обеспечивая стабилизированное выходное напряжение 3—15 В. Максимальный ток нагрузки не должен превышать 150 мА.

Коэффициент нестабильности по напряжению $7 \cdot 10^{-4}$.

Для стабилизации напряжений 6,3 и 12,6 В разной полярности предназначены четыре микросхемы серии К275. Каждая микросхема выпускается в двух модификациях, различающихся допустимым разбросом $U_{\text{вых}}$ (± 1 или 2,5%). Для микросхем, имеющих номинальное выходное напряжение $\pm 6,3$ В, входное напряжение

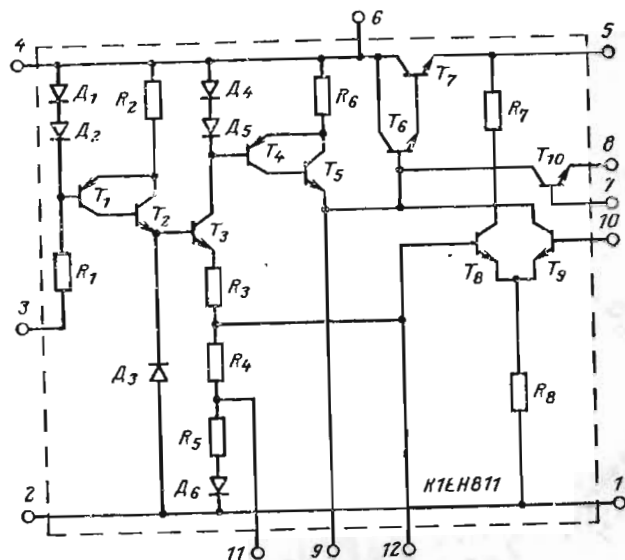


Рис. 2-21. Микросхема К1ЕН811.

не должно быть меньше 9,5 В. Для остальных микросхем это ограничение составляет 16 В.

Номинальный ток нагрузки для микросхем серии К275 равен 20 мА.

2-3. СЕРИИ МИКРОСХЕМ ДЛЯ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ АППАРАТУРЫ

Микросхемы серии К224 для телевизионной аппаратуры

Восемнадцать специализированных микросхем серии К224 предназначены для телевизионных приемников черно-белого и цветного изображения [2, 9, 13, 15, 19, 20, 26].

Микросхема К2УС246 (рис. 2-22, а) предназначена для использования в регулируемых усилителях трактов промежуточной частоты изображения черно-белых и цветных телевизоров.

Усилительная часть микросхемы выполнена на транзисторах T_1 и T_2 . Режим работы транзисторов по постоянному току задается

базовым делителем R_1 — R_3 и резистором R_4 в цепи эмиттера транзистора T_2 . Этот резистор способствует стабилизации режима, создавая обратную связь по постоянной составляющей. Обратная связь на частоте сигнала ослабляется конденсатором C_4 . Фильтрация подаваемого на транзисторы напряжения осуществляется цепочкой R_5C_1 .

Входной сигнал подается на вывод 1 или через внешний разделительный конденсатор на вывод 2. Выходное напряжение снимается с нагрузки, подключаемой к коллектору транзистора T_1 (вывод 9). Включение этого транзистора по схеме ОБ обеспечивается конденсатором C_2 . Транзистор T_3 используется для регулировки усиления. При подаче управляющего напряжения на вывод 6 диапазон регулирования крутизны вольт-амперной характеристики превышает 40 дБ.

Микросхема работает в диапазоне частот 30—45 МГц при неравномерности частотной характеристики не более 1 дБ. На частоте 35 МГц номинальная крутизна передаточной характеристики превышает 25 мА/В. Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 100 мВт.

Микросхема К2УС247 (рис. 2-22, б) предназначена для создания выходных усилителей промежуточной частоты изображения. Она представляет собой двухкаскадный усилитель, выполненный по схеме ОЭ—ОБ.

Имеющиеся в микросхеме резисторы задают режимы работы транзисторов по постоянному току. Конденсаторы C_1 и C_2 разделительные, конденсатор C_3 уменьшает обратную связь по переменной составляющей в первом каскаде, а конденсатор C_4 обеспечивает включение транзистора T_2 по схеме ОБ.

Используя выводы 2, 4, 5 и 8, можно в широких пределах менять режимы работы транзисторов.

Выходной сигнал снимается с коллектора транзистора T_2 (вывод 9) и подается затем на видеодетектор тракта цветности.

Частотный диапазон микросхемы К2УС247 составляет 30—45 МГц. Неравномерность частотной характеристики меньше 3 дБ. На частоте 35 МГц крутизна вольт-амперной характеристики микросхемы больше 50 мА/В. Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 300 мВт.

Микросхема К2УС248 (рис. 2-22, в) используется в усилителях промежуточной частоты звукового сопровождения в цветных и черно-белых телевизорах.

Транзисторы микросхемы включены по схеме ОЭ—ОК—ОБ. Входной сигнал подается на базу транзистора T_1 через вывод 2. С нагрузки входного каскада (резистор R_4) сигнал поступает на эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторе T_2 и далее через разделительный конденсатор C_2 на выходной каскад. Нагрузкой микросхемы может служить контур частотного детектора, выполненного, например, на микросхеме К2ДС241 (см. рис. 2-14, а). Такая нагрузка подключается к выводам 7 и 8 (см. рис. 2-23, а).

Имеющиеся в микросхеме резисторы в основном предназначены для обеспечения заданных режимов работы транзисторов по постоянному току. Конденсаторы C_1 и C_3 используются для уменьшения обратной связи по переменному току.

В микросхеме предусмотрена возможность подачи входного сигнала непосредственно на эмиттерный повторитель через вывод 3.

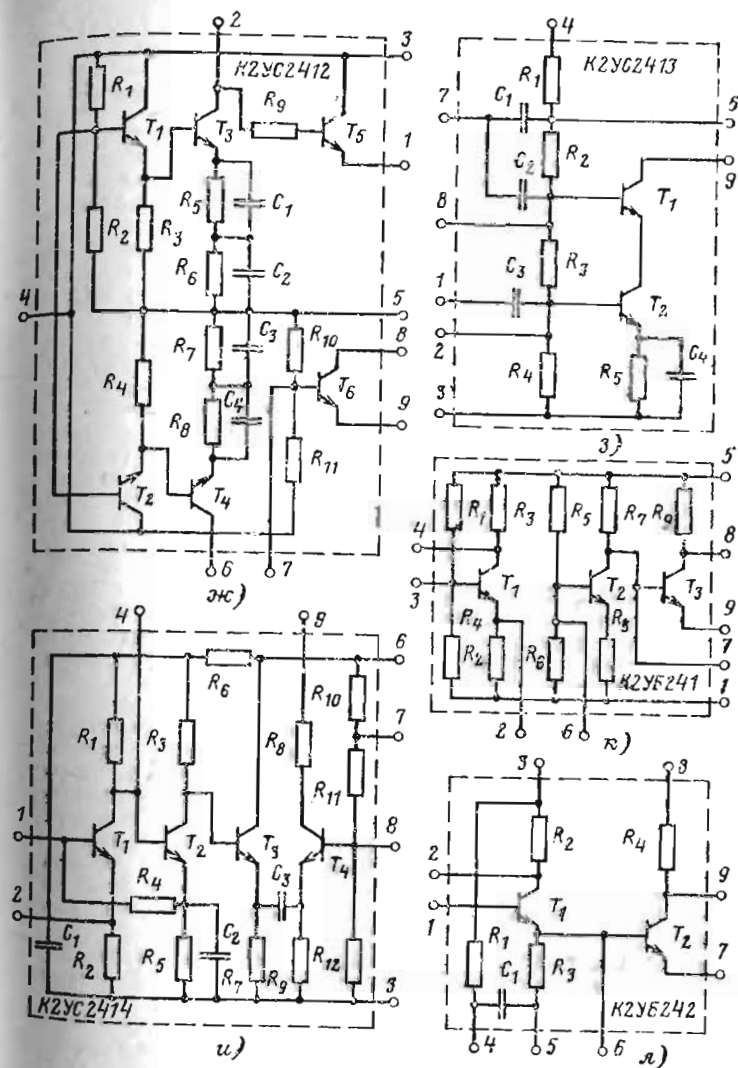
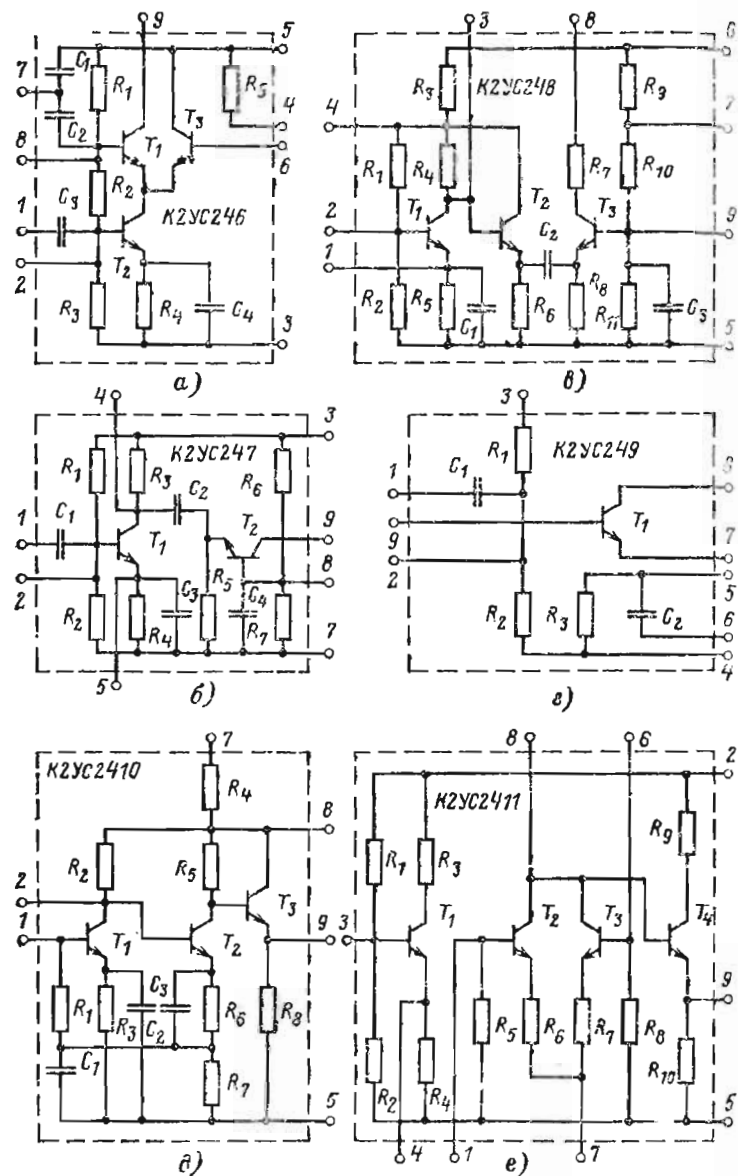


Рис. 2-22. Усилительные микросхемы серии К224

для телевизионной аппаратуры.

Диапазон рабочих частот микросхемы 4—10 МГц. Неравномерность частотной характеристики меньше 3 дБ. На частоте 6,5 МГц крутизна вольт-амперной характеристики больше 1000 мА/В. Напряжение питания 12 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 150 мВт.

Микросхема К2УС249 (рис. 2-22,з) является универсальным усилителем на одном транзисторе. Микросхема может найти применение в усилителях изображения и звука, в видеоусилителях, в блоках декодирования и в других узлах цветных и черно-белых телевизоров.

В зависимости от схемы включения транзистора назначение имеющихся в микросхеме пассивных компонентов может быть различным. Например, при использовании микросхемы в качестве предварительного видеоусилителя можно включить транзистор по схеме ОЭ, для чего необходимо соединить выводы 5 и 7 между собой, а при необходимости и выводы 4 и 6. Базовое смещение можно подать с делителя R_1, R_2 , соединив вывод 9 с выводом 2 и подключив вывод 3 микросхемы к источнику питания. Нагрузку в виде широкополосного фильтра целесообразно включить между выводами 8 и 3. Такой каскад используется для согласования нагрузки видеодетектора с более низким входным сопротивлением оконечного каскада. Частотный диапазон микросхемы 0,3—30 МГц. Крутизна характеристики на частоте 6,5 МГц превышает 20 мА/В. Напряжение питания 12 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 50 мВт.

Микросхема К2УС2410 (рис. 2-22,д) используется в выходных усилителях устройства задержки блока цветности. Микросхема выполнена на трех транзисторах с непосредственной связью между ними. Транзисторы T_1 и T_2 включены по схеме ОЭ; на транзисторе T_3 выполнен эмиттерный повторитель.

Резисторы R_2, R_5 и R_8 выполняют роль нагрузки, резисторы R_1 и R_6 стабилизируют режим транзисторов по постоянному току. С резистора R_7 через резистор R_1 подается положительное смещение на базу транзистора T_1 . Обратная связь по переменной составляющей внутри каскадов и между ними ослабляется конденсаторами $C_1—C_3$. Резистор R_4 вместе с конденсатором, который подключается к выводу 8, образуют развязывающий фильтр в цепи питания.

Усилитель на микросхеме К2УС2410 (см. рис. 2-23,б) на частоте 4,5 МГц обеспечивает усиление по напряжению не менее чем в 10 раз. Напряжение питания 12 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 270 мВт.

Микросхема К2УС2411 (рис. 2-22,е) представляет собой матрицу RGB канала цветности. Она состоит из четырех транзисторных структур.

На транзисторе T_1 выполнен входной эмиттерный повторитель. Режим работы транзистора по постоянному току задается резисторами $R_1—R_4$. Резистор R_4 выполняет роль нагрузки входного каскада. Транзисторы T_2 и T_3 включены по схеме ОЭ. Резисторы R_5, R_6 вместе с двумя навесными резисторами обеспечивают режим работы этих транзисторов. Коллекторы транзисторов соединены между собой и с базой транзистора T_4 , на котором выполнен выходной эмиттерный повторитель. Режим транзистора T_4 задается резисторами R_9 и R_{10} .

Входной эмиттерный повторитель может использоваться самостоятельно и вместе с остальными каскадами. В последнем случае

между выводами 1 и 4 включается разделительный конденсатор. «Синий» и «красный» цветоразностные сигналы подаются через навесные разделительные конденсаторы на выводы 3 и 6. «Зеленый» цветоразностный сигнал снимается с резистора R_{10} через разделительный конденсатор.

Рабочий диапазон частот микросхемы 0—2 МГц, коэффициент усиления по напряжению не менее 2. Напряжение питания 12 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 440 мВт.

Пример использования микросхемы К2УС2411 в блоке цветности показан на рис. 2-23,в.

Микросхема К2УС2412 (рис. 2-22,ж), как и микросхема К2УС2410, предназначена для использования в выходном усилителе устройства задержки блока цветности.

Микросхема содержит два канала с общим входом (вывод 4) и отдельными выходами (выводы 1 и 9). Каждый канал выполнен на трех транзисторах. Транзисторы T_1 и T_2 используются во входных эмиттерных повторителях, причем оба транзистора питаются от общего делителя базового смещения R_1, R_2 . С нагрузочных резисторов R_3 и R_4 входных каскадов сигналы поступают на базы транзисторов T_3 и T_4 , включенных по схеме ОЭ. В эмиттерных цепях этих транзисторов включены стабилизирующие резисторы $R_5—R_8$, зашунтированные по высокочастотной составляющей конденсаторами $C_1—C_4$.

Коллекторное напряжение на транзисторы T_3 и T_4 подается через навесные элементы (см. рис. 2-23,г).

Выходные каскады обоих каналов выполнены в виде эмиттерных повторителей на транзисторах T_5 и T_6 . Сигнал с коллектора транзистора T_3 подается на базу транзистора T_5 через резистор R_9 , а для связи транзисторов T_4 и T_6 между выводами 6 и 7 необходимо включить конденсатор емкостью 0,01 мкФ. Нагрузкой в обоих каналах служат внешние резисторы, включаемые в эмиттерные цепи транзисторов T_5 и T_6 .

Рабочий диапазон микросхем 3—6 МГц, коэффициент усиления по напряжению на частоте 4,5 МГц не менее 10. Напряжение питания микросхемы 12 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 610 мВт.

Микросхема К2УС2413 (рис. 2-22,з) представляет собой каскадный усилитель, выполненный на транзисторах T_2 и T_1 по схеме ОЭ—ОБ.

Резисторы R_2, R_3 и R_4 образуют базовый делитель, резистор R_1 с конденсатором C_1 используется как развязывающий фильтр в цепи питания, конденсатор C_2 заземляет базу транзистора T_1 по высокой частоте, резистор R_5 предназначен для стабилизации режима, а конденсатор C_4 уменьшает обратную связь по переменной составляющей.

Входной сигнал подается на базу транзистора T_2 через вывод 1 и разделительный конденсатор C_3 или через внешний разделительный конденсатор и вывод 2. Выходная нагрузка включается между выводами 5 и 9.

Пример использования микросхемы К2УС2413 показан на рис. 2-23, д. Каскадный усилитель имеет частотный диапазон 30—45 МГц. На частоте 35 МГц при сопротивлении нагрузки 100 Ом крутизна прямой передачи превышает 25 мА/В. Напряжение питания 12 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 100 мВт.

Микросхема К2УС2414 (рис. 2-22, и) предназначена для создания усилителей промежуточной частоты тракта звукового сопровождения.

Транзисторы микросхемы включены по схеме ОЭ—ОЭ—ОК—ОБ. Напряжение питания ($12 \text{ В} \pm 10\%$) подается на транзисторы T_1 и T_2 через развязывающий фильтр $R_6 C_1$, а на транзистор T_4 через фильтр, состоящий из резистора R_{10} и внешнего конденсатора, включаемого между выводами 7 и 3. В эмиттерных цепях транзисторов T_1 и T_2 находятся стабилизирующие режим работы резисторы R_2 и R_5 . С резистора R_5 смещение подается на базу входного транзистора, что способствует более жесткой стабилизации режимов обоих транзисторов по постоянному току. Для уменьшения отрицательной обратной связи по переменному току резистор R_3 зашунтирован конденсатором C_2 . С этой же целью предусмотрено подключение внешнего конденсатора к выводу 2. В качестве нагрузки в первых двух каскадах используются резисторы R_4 и R_3 .

Транзисторы T_3 и T_4 с разделительным конденсатором C_3 и резисторами R_7 , R_8 , R_{11} , R_{12} образуют усилитель с параллельным питанием. Смещение на базу транзистора T_4 подается с делителя $R_{11} - R_{12}$. По высокой частоте база заземлена с помощью внешнего конденсатора, подключаемого к выводам 8 и 3.

Поступивший на вывод 1 сигнал после усиления подается с выводов 9 и 7 на внешний фазовращающий трансформатор и далее на диоды частотного детектора.

Пример построения схемы усилителя приведен на рис. 2-23, в. Микросхема работает в диапазоне 4—10 МГц. На частоте 6,5 МГц при сопротивлении нагрузки 100 Ом крутизна прямой передачи не менее 2000 мА/В. Потребляемая мощность не более 150 мВт.

Микросхема К2УБ241 (рис. 2-22, к) представляет собой трехкаскадный предварительный видеоусилитель.

Входной каскад на транзисторе T_1 выполнен в виде эмиттерного повторителя. Резисторы R_1 , R_4 обеспечивают режим транзистора по постоянному току. Для заземления коллектора транзистора T_1 по высокой частоте к выводу 4 следует подключить внешний конденсатор большой емкости. Нагрузка эмиттерного повторителя может быть связана с базой транзистора T_2 с помощью внешнего элемента, включаемого между выводами 2 и 6. Транзистор T_2 включен по схеме ОЭ. Режим транзистора по постоянному току задается резисторами $R_5 - R_6$. Резистор R_7 выполняет роль нагрузки, с которой усиленный сигнал подается на базу транзистора выходного каскада. Если коллектор транзистора T_3 заземлить по высокой частоте с помощью внешнего конденсатора, а между выводами 9 и 1 включить резистор, то на транзисторе T_3 будет выполнен эмиттерный повторитель. Это обеспечивает сравнительно малое выходное сопротивление видеоусилителя.

Рабочий диапазон усилителя 25 Гц—6,5 МГц. Неравномерность частотной характеристики менее 10%. Коэффициент усиления на частоте 6,5 МГц превышает 1,5. Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 220 мВт.

Один из возможных вариантов использования микросхемы К2УБ241 показан на рис. 2-23, ж.

Микросхема К2УБ242 (рис. 2-22, л) представляет собой двухкаскадный предварительный видеоусилитель.

Входным каскадом микросхемы является эмиттерный повторитель на транзисторе T_1 . Выходной каскад обычно выполняется

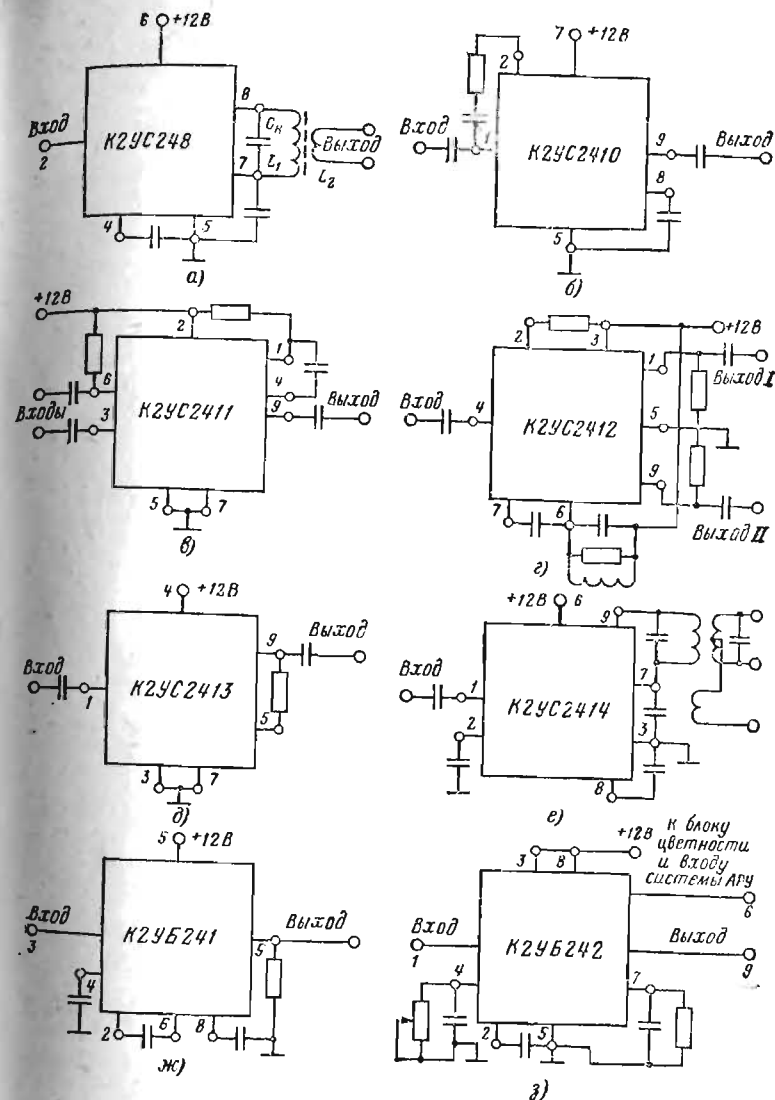


Рис. 2-23. Примеры построения схем телевизионных узлов на усилительных микросхемах серии К224.

а — УПЧ канала звукового сопровождения; б — выходной усилитель устройства задержки блока цветности; в — матрица RGB канала цветности; г — выходной усилитель устройства задержки блока цветности; д — каскадный усилитель; е — УПЧ канала звукового сопровождения; ж — предварительный видеоусилитель; з — предварительный видеоусилитель.

по схеме ОЭ. Имеющихся в микросхеме компонентов недостаточно для нормального функционирования видеоусилителя. Один из возможных вариантов соединения микросхемы с внешними элементами показан на рис. 2-23, з. Помимо основного выхода (вывод 9) в усилителе предусмотрена подача видеосигнала с эмиттера транзистора T_1 через вывод 6 на систему АРУ и блок цветности.

Микросхема К2УБ242 имеет такой же частотный диапазон, как и микросхема К2УБ241, но более высокий коэффициент усиления

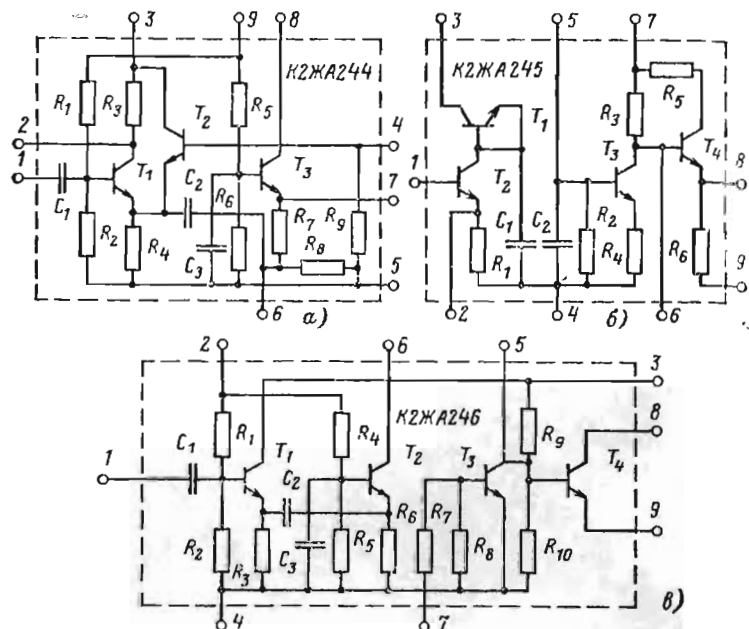


Рис. 2-24. Многофункциональные телевизионные микросхемы серии К224.

($K_V > 20$). Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 200 мВт.

Микросхема К2ЖА244 (рис. 2-24, а) используется в качестве усилителя-ограничителя блока цветности при работе с частотным детектором.

Усижительные каскады выполнены на транзисторах T_1 и T_2 . Первый из них используется в схеме эмиттерного повторителя. Транзистор T_3 с помощью конденсатора C_3 включен по схеме ОБ. Базовое смещение на транзисторы T_1 и T_3 подается с одинаковых делителей $R_1 - R_2$ и $R_5 - R_6$, подключенных к выводу 9. Изменением подаваемого на этот вывод напряжения можно регулировать усиление обоих каскадов.

Входной сигнал подается на базу транзистора T_1 через разделительный конденсатор C_1 . С нагрузки эмиттерного повторителя сигнал может подаваться на эмиттер транзистора T_3 через резистор R_7 или непосредственно, если соединены выводы 6 и 7. Нагрузка подключается к выводу 8.

Транзистор T_2 , на базу которого через вывод 4 подается управляющее напряжение, используется для изменения режима транзистора T_1 и регулировки порога ограничения.

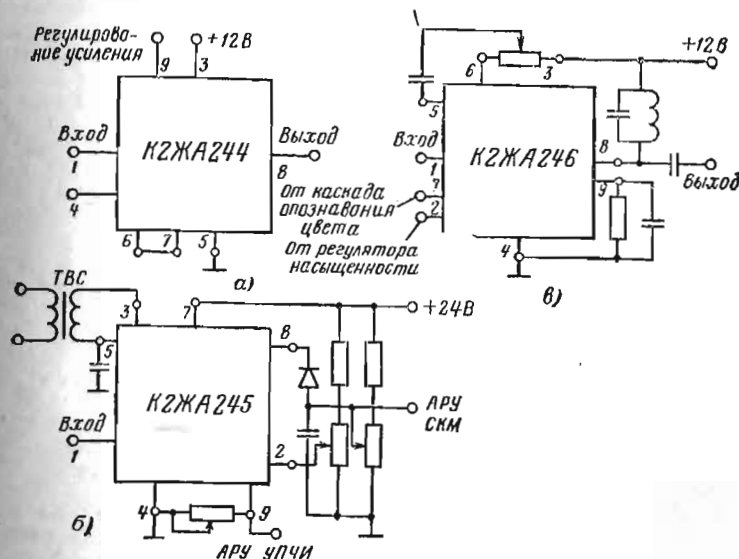


Рис. 2-25. Варианты применения многофункциональных телевизионных микросхем серии К224.

а — усилитель-ограничитель блока цветности; б — усилитель АРУ телевизионного приемника; в — усилитель-ограничитель блока чувствительности цветного телевизора.

Микросхема предназначена для работы на частотах 3—6 МГц с неравномерностью частотной характеристики менее 3 дБ. Номинальная крутизна вольт-амперной характеристики на частоте 4,5 МГц не менее 2 мА/В. Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 180 мВт. Пример схемы усилителя-ограничителя на микросхеме К2ЖА244 показан на рис. 2-25, а. Микросхема К2ЖА245 (рис. 2-24, б) предназначена для усиления в системе АРУ телевизионного приемника.

Усилитель выполняется на четырех транзисторах, причем транзистор T_2 имеет $p-n-p$ структуру. Этот транзистор работает в режиме ключа. На его базу с предварительного видеоусилителя через вывод 1 подается управляющее напряжение отрицательной полярности. Если к выводу 2 подключить переменный резистор, появится возможность регулировать смещение на эмиттере входного

транзистора микросхемы, а следовательно, и изменять задержку АРУ.

Для нормального функционирования микросхемы в качестве усилителя АРУ к ней необходимо подключить внешние элементы, как это, например, показано на рис. 2-25, б. В частности, между выводами 3 и 5 включают обмотку ТВС. Возникающие в ней при обратном ходе луча кинескопа импульсы напряжения отрицательной полярности приводят к тому, что за счет импульсов тока, проходящих через транзисторы T_1 и T_2 , заряжаются конденсатор C_2 и внешний конденсатор, подключенный к выводу 5. С этих конденсаторов напряжение подается на базу транзистора T_3 и усиливается как этим транзистором, так и транзистором T_4 выходного каскада микросхемы. Очевидно, что уровень выходного напряжения зависит от величины постоянной составляющей напряжения, поступающего на вход 1. Меняя с помощью внешнего резистора смещение на эмиттере транзистора T_4 , можно регулировать усиление в цепи АРУ. Выходные напряжения усилителя используются для АРУ селектора телевизионных каналов и усилителя промежуточной частоты изображения.

Напряжение АРУ, подаваемое на селектор, меняется в пределах 2—9 В, а подаваемое в тракт усилителя промежуточной частоты изображения — в пределах 1—7 В. Напряжение питания $24 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 500 мВт.

Микросхема К2ЖА246 (рис. 2-24, в) предназначена для использования в блоке чувствительности цветного телевизора в качестве усилителя-ограничителя.

Микросхема содержит четыре каскада. Входной каскад на транзисторе T_1 выполнен по схеме эмиттерного повторителя. Смещение на базу транзистора T_1 подается с делителя R_1 — R_2 , подключаемого к регулятору насыщенности (вывод 2). Входной сигнал поступает на базу транзистора T_1 через разделительный конденсатор C_1 . С нагрузки эмиттерного повторителя сигнал подается через разделительный конденсатор C_2 на эмиттер транзистора T_2 , база которого заземлена по высокой частоте конденсатором C_3 . Смещение на базу транзистора T_2 подается с делителя R_4 , R_5 .

Транзистор T_3 включен по схеме ОЭ. Так же с помощью внешних элементов можно включить и транзистор T_4 . Пример соединения микросхемы с внешними элементами показан на рис. 2-25, в.

С транзистора T_2 через подключенные к выводам 5 и 6 резистор и конденсатор сигнал подается на базу транзистора T_4 . Меняя сопротивление переменного резистора, можно регулировать уровень выходного сигнала. Через каскад на транзисторе T_3 в цепь базы транзистора T_4 поступают также сигналы с каскада опознавания цвета. Базовое смещение на транзистор T_4 задается делителем R_9 , R_{10} . Режим транзистора по постоянному току стабилизируется внешним резистором, подключенным к выводу 9. Параллельно этому резистору включают конденсатор для уменьшения обратной связи по току.

В качестве нагрузки целесообразно использовать LC-контур, подключаемый между выводами 8 и 3.

Рассмотренный усилитель имеет частотный диапазон 3—6 МГц. На средней частоте диапазона крутизна характеристики передачи превышает 500 мА/В. Напряжение питания микросхемы $12 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 440 мВт.

Микросхема К2СА241 (рис. 2-26, а) представляет собой амплитудный селектор блока разверток и служит для выделения из полного видеосигнала синхронизирующих импульсов, необходимых для управления частотами задающих генераторов строчной и кадровой разверток.

Транзистор T_1 используется во входном эмиттерном повторителе, на который через вывод 1 подается полный видеосигнал. Для соединения нагрузки эмиттерного повторителя с остальной частью микросхемы между выводами 3 и 5 включают интегрирующую це-

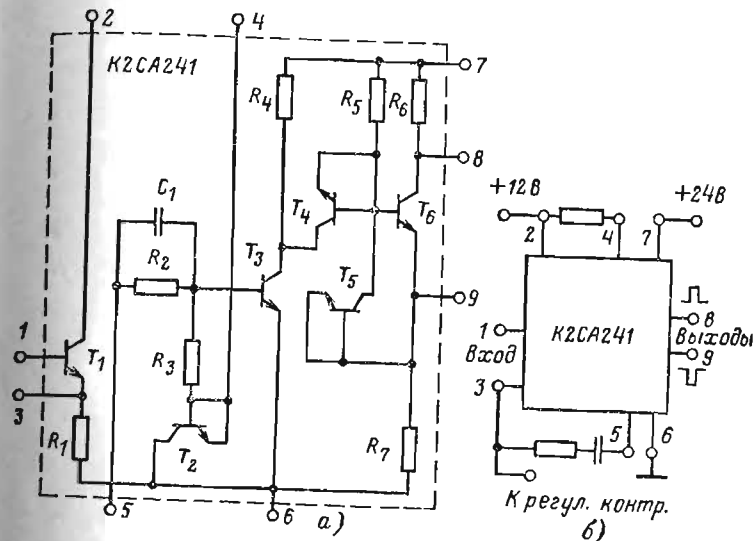


Рис. 2-26. Микросхема амплитудного селектора К2СА241 и вариант использования ее в блоке разверток.

почку. С ее помощью подавляются импульсные помехи, которые могут нарушать синхронизацию. После интегрирующей цепочки сигнал попадает на дифференцирующую цепочку C_1 , R_2 , а затем на базу транзистора T_3 . Этим транзистором вместе с транзисторами T_4 , T_5 , которые используются как диоды, осуществляется выделение и ограничение амплитуды синхронимпульсов. Смещение на базу транзистора T_3 подается с делителя, состоящего из внешнего резистора, включаемого между выводами 2 и 4, коллекторного перехода транзистора T_2 и резистора R_3 .

Выходной каскад селектора выполнен на транзисторе T_6 , имеющем разделенную нагрузку в виде двух резисторов R_6 и R_7 . С них снимаются противофазные импульсы и через выводы 8 и 9 подаются на устройство АПЧ и Ф строчной развертки. С резистора R_6 импульсы подаются и на вход интегрирующего каскада, предназначенного для формирования импульсов синхронизации кадровой развертки. Амплитуда выходных импульсов селектора 8 В. Напряжение питания $24 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность менее 800 мВт.

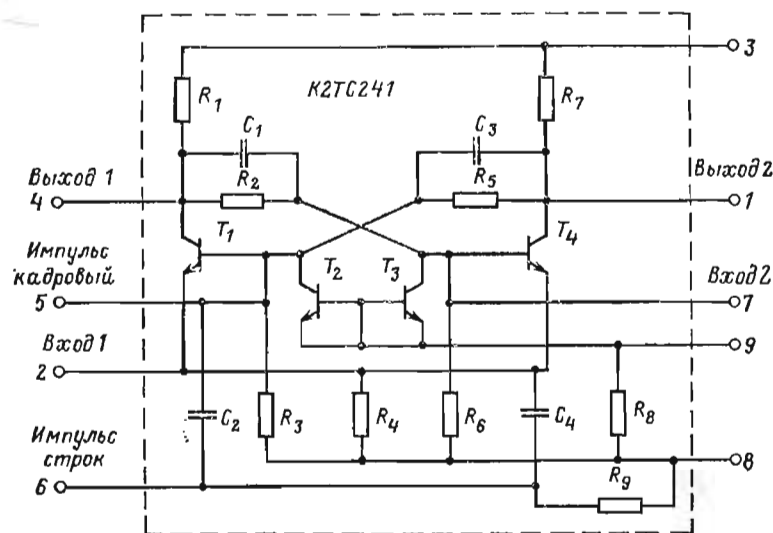


Рис. 2-27. Универсальный триггер К2ТС241.

Вариант использования микросхемы К2СА241 показан на рис. 2-26, б.

Микросхема К2ТС241 (рис. 2-27) выполнена в виде универсального триггера, предназначенного для управления электронными ключами в блоке цветности телевизоров. В частности, микросхема может найти применение при коммутации сигналов цветности поднесущей и цветовой синхронизации, при автоматическом выключении канала цвета при приеме черно-белого изображения и т. д.

Триггер выполнен на транзисторах T_1 и T_4 . Переброс триггера из одного состояния в другое осуществляется подачей импульсов на выходы 5, 6 или 7. Транзисторы T_2 и T_3 заменяют диоды и используются для синхронизации работы триггера.

Максимальная частота переключения 20 кГц. Амплитуда выходных импульсов не менее 5 В при длительности фронтов не более 5 мкс.

Напряжение питания 12 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 150 мВт.

Микросхема К2КТ241 (рис. 2-28) представляет собой электронный ключ, предназначенный для использования в блоке цветности телевизоров. Для управления ключом служит микросхема К2ТС241.

Диапазон рабочих частот 3–6 МГц, диапазоны управляющих напряжений 0–1,5 и 7–12 В. Коэффициент передачи открытого ключа на частоте 4,5 МГц не хуже 0,8. Подавление сигнала при закрытом ключе 40 дБ. Напряжение питания 12 В $\pm 10\%$. Потребляемая мощность не выше 240 мВт.

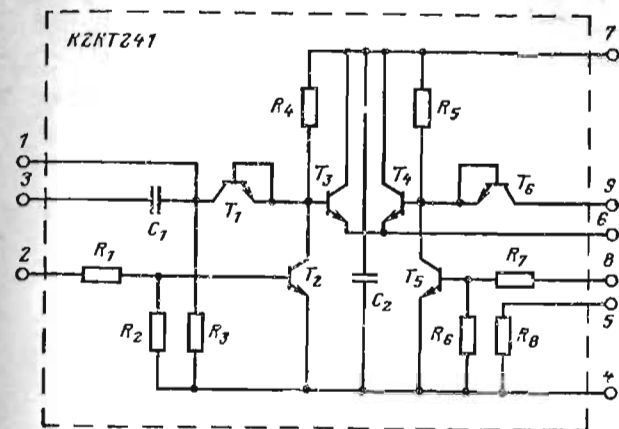


Рис. 2-28. Электронный ключ К2КТ241.

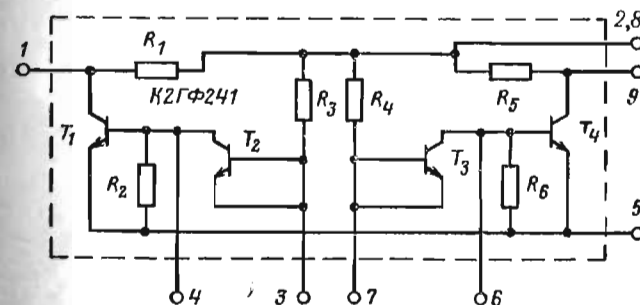


Рис. 2-29. Микросхема К2ГФ241.

Микросхема К2ГФ241 (рис. 2-29) применяется в качестве универсального элемента в устройствах автоматики. Длительность импульсов 95–135 мкс, период повторения 190–270 мкс. Амплитуда на выходе 7 В.

Напряжение питания 9 В $\pm 20\%$, потребляемая мощность не более 100 мВт.

Микросхемы серии К245 для телевизионной аппаратуры

Комплект микросхемы серии К245 полностью охватывает маломощную часть приемника изображения и звука черно-белого и цветного телевизоров [12, 13 и др.]. Серия состоит из 11 гибридных

ных интегральных микросхем, относящихся к четырем функциональным подгруппам.

Микросхема К2УП451 используется как входной усилитель промежуточной частоты изображения с регулируемым коэффициентом усиления. При нагрузке 1 кОм на частоте 35 МГц коэффициент усиления не менее 40 дБ. При изменении напряжения АРУ от 2 до 6 В глубина регулировки усиления не менее 46 дБ. Неравномерность амплитудно-частотной характеристики в диапазоне 30—40 МГц не более 3 дБ.

Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхема К2УП452 является оконечным усилителем сигнала промежуточной частоты изображения с видеодетектором и детектором разностной частоты.

На частоте 35 МГц коэффициент передачи не менее 40 дБ. Напряжение видеосигнала на выходе 2,5—4 В при коэффициенте нелинейных искажений не более 5%. Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхема К2УП453 включает в себя усилитель-ограничитель разностной частоты, частотный детектор и предварительный УНЧ.

Усилитель разностной частоты обеспечивает коэффициент усиления не менее 60 дБ. Коэффициент усиления предварительного УНЧ не менее 50 дБ. Он развивает на нагрузке максимальное напряжение не менее 4,2 В при коэффициенте нелинейных искажений не более 2%. В микросхеме предусмотрена возможность регулировки тембра.

Для питания микросхемы используются напряжения $12 \text{ В} \pm 10\%$ и $24 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхема К2УП454 представляет собой усилитель промежуточной частоты изображения с элементом автоматического регулирования усиления в пределах 46 дБ.

Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхема К2УП455 объединяет усилитель промежуточной частоты изображения и предварительный видеоусилитель.

Напряжение питания микросхемы $12 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхема К2ПН451 является ключевой схемой АРУ. Она функционирует при подаче на вход с частотой 15,6 кГц прямоугольных стробирующих импульсов положительной полярности с амплитудой 3—12 В. На СКМ подается регулировочное напряжение от 9—10 до 2—3 В, а на усилитель промежуточной частоты изображения от 5,7—6,5 до 2—3 В.

Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхема К2ПН452 предназначена для системы АРУ и работает при том же напряжении питания.

Микросхемы К2СА451 и К2СА452 предназначены соответственно для использования в качестве селектора строчных синхронимпульсов с АПЧ и Ф и в качестве селектора кадровых синхронимпульсов с предварительным усилителем кадровой развертки.

Напряжение питания микросхем $12 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхема К2ГФ451 используется в задающем генераторе строчной развертки. Длительность импульсов 20—24 мкс при частоте следования 9—19 кГц.

Напряжение питания $6 \text{ В} \pm 20\%$.

Микросхема К2ГФ452 предназначена для задающего генератора кадровой развертки с диапазоном регулирования частоты следования импульсов 30—55 Гц.

Напряжение питания $12 \text{ В} \pm 10\%$.

2-4. СЕРИИ МИКРОСХЕМ ДЛЯ МАГНИТОФОНОВ И ЭЛЕКТРОФОНОВ

В промышленных образцах и в любительских конструкциях магнитофонов и электрофонов с успехом могут применяться некоторые из рассмотренных схем и операционные усилители (см. § 2-6). В первую очередь для этих целей предназначены серии К237 и К513.

Серия К237 [2, 13, 16] состоит из 10 микросхем, пять из которых являются специфическими для магнитофонов и электрофонов.

Микросхема К2УС371 (рис. 2-30,а) предназначена для исполь-

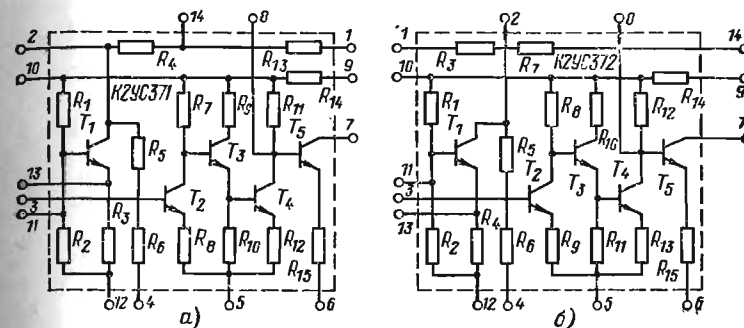


Рис. 2-30. Микросхемы УНЧ серии К237.

зования в качестве предварительного УНЧ в магнитофонах, электрофонах и радиоприемниках.

Усилитель выполнен на транзисторах $T_2—T_5$ с непосредственными связями. Он рассчитан на совместную работу с двухтактным бестрансформаторным усилителем мощности. В этом случае каскад на транзисторе T_1 обеспечивает стабилизацию рабочей точки оконечного усилителя. Кроме того, этот каскад может использоваться как эмиттерный повторитель.

Микросхема работает в диапазоне 60—10 000 Гц (при неравномерности частотной характеристики не более 6 дБ). Входное напряжение 15—30 мВ. На нагрузке 6,5 Ом микросхема с усилителем мощности дает выходное напряжение более 1,8 В и выходную мощность не менее 0,5 Вт при коэффициенте нелинейных искажений не более 0,3%. Максимальное выходное напряжение не менее 2,2 В, а максимальная выходная мощность и менее 0,75 В.

Напряжение питания 5,6—10 В, потребляемая усилителем мощность не более 60 мВт.

Микросхема К2УС372 (рис. 2-30,б), как и микросхема К2УС371, предназначена для создания бестрансформаторных УНЧ магнитофонов, электрофонов, радиоприемников и других устройств. По схеме и принципу действия обе микросхемы близки друг к другу. Диапазон рабочих частот микросхемы К2УС372 50—15 000 Гц (при неравномерности частотной характеристики не более 6 дБ).

Вместе с усилителем мощности микросхема обеспечивает при номинальном напряжении на входе 25—30 мВ выходное напряже-

ние более 3,5 В, а выходную мощность не менее 3 Вт (при сопротивлении нагрузки 3,9 Ом). Коэффициент нелинейных искажений не превышает 1%. Напряжение питания микросхемы 7,2—15 В, потребляемая усилителем мощность не более 135 мВт.

Микросхема К2УС373 (рис. 2-31) представляет собой усилитель записи и воспроизведения для магнитофонов. Усилитель выполнен на шести транзисторах с непосредственными связями. Благодаря имеющимся выводам 1, 2, 3, 11, 12 возможна коррекция частотной характеристики. Значительный запас по усилению позволяет

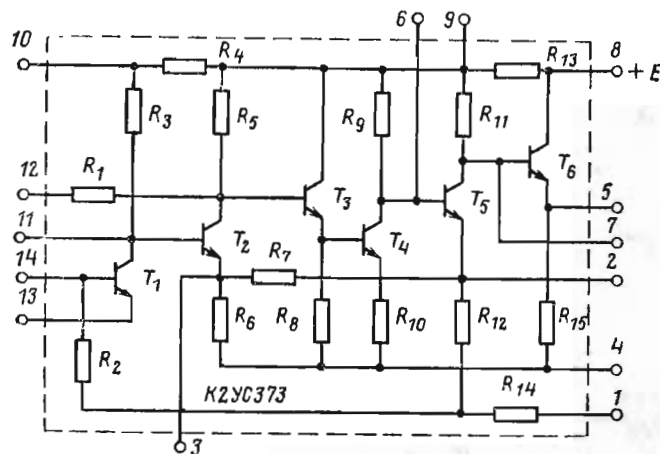


Рис. 2-31. Микросхема К2УС373.

ввести глубокую отрицательную обратную связь с последних каскадов на первые.

Чувствительность усилителя такова, что его можно использовать при записи с микрофонов и звукоснимателей любых типов.

Напряжение АРУ подается на микросхему с тракта промежуточной частоты, например с микросхемы К2УС372.

В режиме записи желательно совместное использование микросхемы К2УС373 с оконечным усилителем записи на микросхеме К2ЖА373, а при воспроизведении записи с УНЧ на рассмотренных далее микросхемах К2УС371 или К2УС372.

Полоса воспроизводимых частот 40—11 000 Гц (при неравномерности характеристики 3 дБ). Коэффициент усиления 1900—2500 при коэффициенте нелинейных искажений не более 0,7%.

В режиме записи микросхема обеспечивает уровень шумов относительно выходного напряжения не более -43 дБ, а в режиме воспроизведения не более -46 дБ.

Напряжение питания микросхемы 5 В $\pm 10\%$, потребляемая мощность не более 20 мВт.

Микросхема К2УС375 (рис. 2-32) предназначена для использования в УНЧ тракта ЧМ. Она выполнена на четырех транзисторах и при входном напряжении 1 мВ на частоте 10,7 МГц обеспечивает усиление 150—210.

Напряжение питания микросхемы 5—10 В, потребляемая мощность не более 50 мВт.

Микросхема К2ЖА371 (рис. 2-33, а) предназначена для создания УВЧ (с регулируемым коэффициентом усиления) и преобразователей радиоприемников.

Усилительная часть микросхемы выполнена на транзисторе T_1 . Он может работать как на резонансную, так и на апериодическую нагрузку. Через внешние компоненты высокочастотные колебания подаются на балансный смеситель.

Гетеродин микросхемы для упрощения коммутации в многодиапазонных устройствах выполнен на транзисторах T_4 и T_5 по схеме с отрицательным сопротивлением. Для стабилизации амплитуды колебаний используется транзистор T_3 . Подключение контура гетеродина показано на рис. 2-35, д. Напряжение гетеродина подается на эмиттеры транзисторов T_2 и T_6 через резисторы R_3 и R_9 . Транзистор T_4 существенно ослабляет влияние смесителя на контур гетеродина, что способствует повышению стабильности частоты гетеродина. Напряжение гетеродина на частоте 15 МГц составляет 300—450 мВ.

Смеситель выполнен по балансной схеме на транзисторах T_2 и T_6 . При хорошей симметрии первичной обмотки выходного трансформатора смеситель обеспечивает надежное подавление напряжения гетеродина на выходе преобразователя.

Микросхема используется в диапазоне рабочих частот 0,15—15 МГц. Коэффициент усиления в режиме преобразования 150—350. На частоте 15 МГц по отношению к нижней границе частотного диапазона коэффициент усиления уменьшается не более чем на 5 дБ. На частоте 150 кГц коэффициент шума не более 6 дБ.

Напряжение питания 3,6—10 В, потребляемая мощность не более 25 мВт.

Микросхема К2ЖА372 (рис. 2-33, б) предназначена для усиления и детектирования сигналов промежуточной частоты в радиоприемных устройствах, не имеющих УКВ диапазона, а также для усиления напряжения АРУ.

Широкополосный УНЧ состоит из регулируемого усилителя на транзисторе T_1 и апериодического усилителя на транзисторах T_4 — T_6 . Усиленный сигнал поступает на детектор АМ сигналов, выполненный на составном транзисторе T_7 — T_8 . Низкочастотный сигнал с резисто-

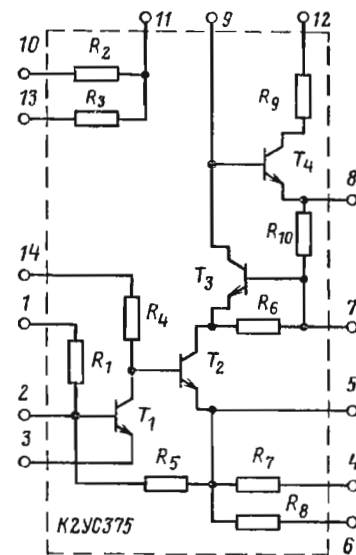
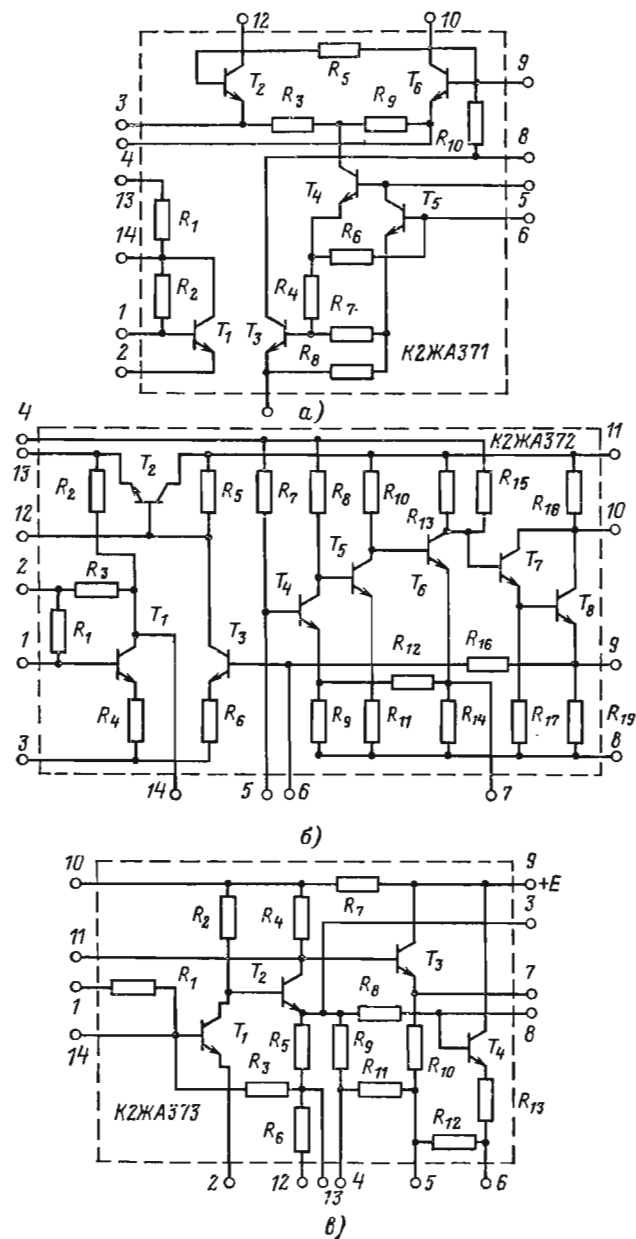


Рис. 2-32. Микросхема К2УС375.



ра R_{19} , включенного в эмиттерную цепь, подается через внешний фильтр на предварительный УНЧ, а также через резистор R_{16} на базу транзистора T_3 , входящего в усилитель АРУ. Усиленное напряжение АРУ снимается с эмиттера транзистора T_2 и через вывод 13 может быть подано на регулируемые каскады. Изменение напряжения на эмиттере транзистора T_2 вызывает изменение напря-

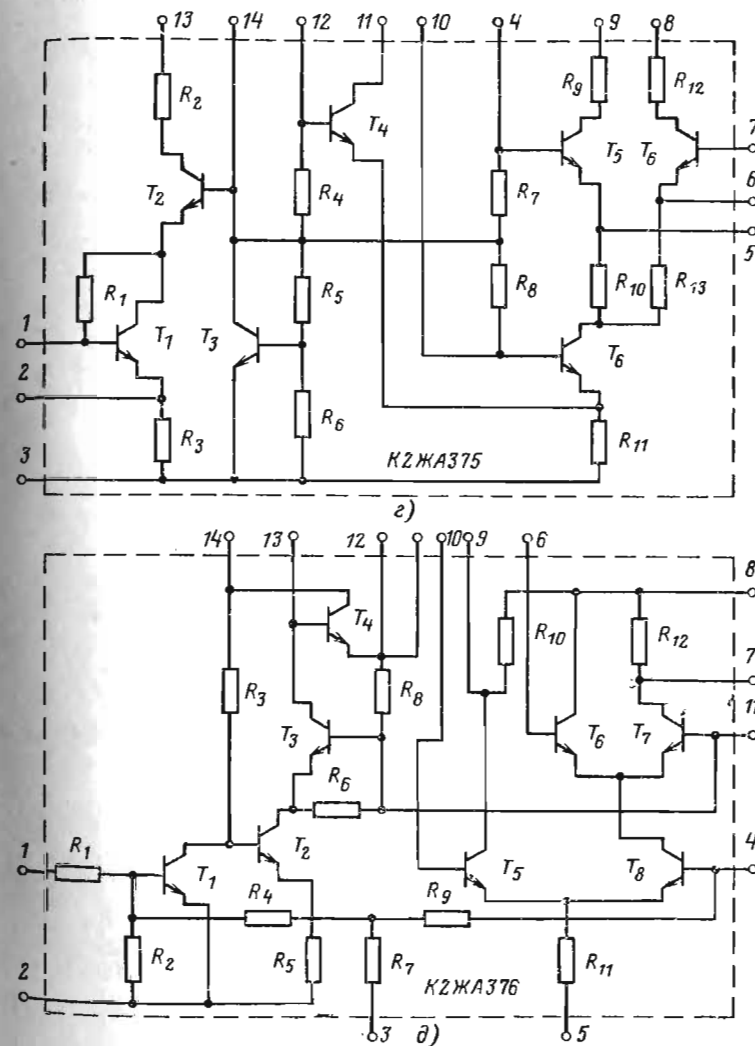


Рис. 2-33. Универсальные микросхемы серии К237.

жения питания транзистора T_1 , а следовательно, и его усиления. На частоте 465 кГц коэффициент усиления УПЧ составляет 1200—2500. При входном напряжении 300 мкВ (при частоте модулирующего сигнала 400 Гц и глубине модуляции 80%) коэффициент нелинейных искажений не превышает 3%. Если входной сигнал изменяется от 0,05 до 3 мВ, изменение выходного напряжения не пре-

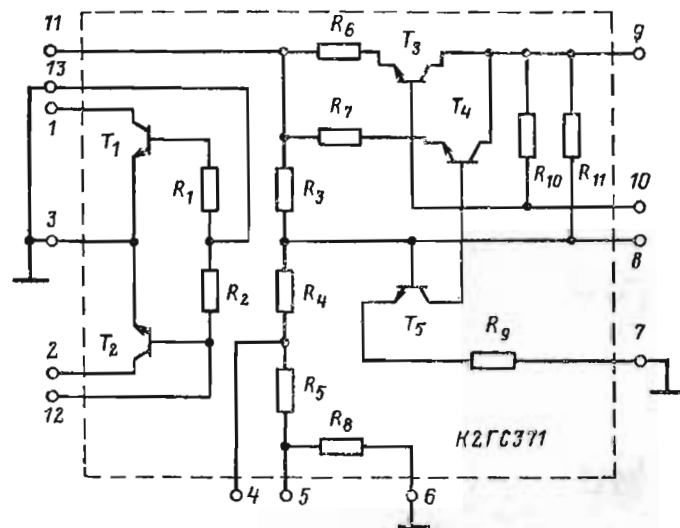


Рис. 2-34. Микросхема К2ГС371.

вышает 6 дБ. Напряжение на выходе системы АРУ при отсутствии входного сигнала 3—4,5 В.

Напряжение питания 3,6—10 В, потребляемая мощность не более 35 мВт.

Микросхема К2ЖА373 (рис. 2-33,в) представляет собой усилитель с выпрямителем для индикатора уровня записи и оконечный усилитель магнитной записи.

Оконечный аperiodический усилитель выполнен на транзисторах T_1 — T_3 . В микросхеме предусмотрена возможность коррекции частотной характеристики с помощью внешних компонентов. Коэффициент нелинейных искажений усилителя не превышает 0,6%.

На транзисторе T_4 выполнен выпрямитель индикатора записи по схеме с разделенной нагрузкой. Для сглаживания пульсаций параллельно индикатору подключают электролитический конденсатор большой емкости.

Напряжение питания микросхемы $5 \text{ В} \pm 10\%$, потребляемая мощность не более 22 мВт.

Микросхемы К2ЖА375 (рис. 2-33,г) и К2ЖА376 (рис. 2-33,д) предназначены для радиоприемника с УКВ диапазоном. Первая

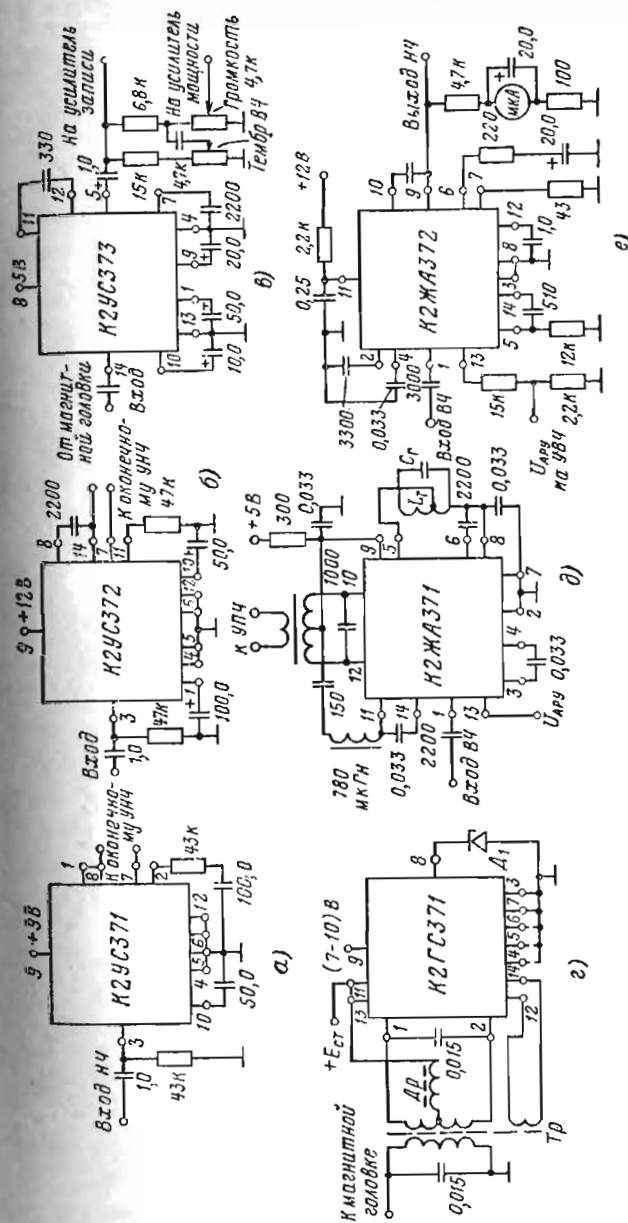


Рис. 2-35. Варианты применения микросхем серии К237.

а — УНЧ; б — предварительный УНЧ; в — усилитель записи и воспроизведения магнитофона; г — генератор тока стирания и подмагничивания к стабилизатору напряжения; д — блок высокой частоты; е — УВЧ, детектор и усилитель АРУ.

из микросхем позволяет создать УВЧ с коэффициентом усиления 10—25 и преобразователь, а вторая — усилитель ЧМ сигналов промежуточной частоты 10,7 МГц и детектор.

Для обеих микросхем напряжение питания 5—10 В, а потребляемая мощность не более 80 мВт.

Микросхема К2ГС371 (рис. 2-34) предназначена для создания генератора тока стирания и подмагничивания и стабилизатора напряжения питания магнитофона.

Генератор тока стирания и подмагничивания выполняется на транзисторах T_1 и T_2 по двухтактной трансформаторной схеме (рис. 2-35,а).

Стабилизатор напряжения построен по компенсационной схеме на транзисторах T_3 — T_5 . Благодаря наличию выводов 4—6 существует возможность регулирования величины стабилизированного напряжения.

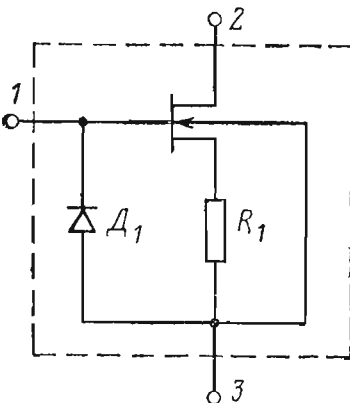


Рис. 2-36. Источковый повторитель серии К513.

При использовании магнитных головок типов УГ-9 и СГ-9 генератор настраивается на частоту 55 кГц. Он обеспечивает ток стирания не менее 80 мА, а ток подмагничивания от 0,7 до 1,5 мА.

Микросхема позволяет получить градиацию стабилизированных напряжений от 4 до 6 В. Максимальный ток стабилизации не менее 25 мА. Напряжение питания 6—10 В, потребляемая мощность не более 320 мВт.

На рис. 2-35 приведены примеры использования отдельных микросхем серии К237.

Серия К513 состоит из трех модификаций истокового повторителя (рис. 2-36).

Он предназначен для работы в аппаратуре магнитной записи в качестве предварительного усилителя при использовании электретных конденсаторных микрофонов. Истоковый повторитель позволяет согласовать высокое выходное сопротивление электретного микрофона с низким входным сопротивлением усилителя.

Диапазон рабочих частот повторителя (20—20 000 Гц) шире, чем у таких отечественных электретных микрофонов, как МКЭ-2, МКЭ-3. Неравномерность частотной характеристики не более 3 дБ. Коэффициент нелинейных искажений менее 1%. Приведенное ко входу напряжение шума в полосе частот 20—20 000 Гц не более 12 мкВ. Выходное сопротивление менее 150 Ом. Модификации А, Б и В микросхемы различаются по крутизне характеристики управления транзистора (более 0,1, 0,2 и 0,25 мА/В).

На частоте 1 кГц коэффициент передачи повторителя в режиме холостого хода не менее 0,12.

2-5. СЕРИИ МИКРОСХЕМ ДЛЯ ЛИНЕЙНО-ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ

Промышленностью освоена широкая номенклатура серий микросхем, предназначенных для создания линейно-импульсных устройств различного назначения.

Это в первую очередь серии К101, К118, К119, К122, К124, К162, К218, К228, К722.

Микросхемы серий К118, К122 и К722 для линейных и пороговых устройств

Серии К118, К122 и К722 одинаковы по составу и различаются лишь по конструктивному оформлению микросхем (см. табл. 2-3). Для рассматриваемых серий характерна универсальность входящих в их состав микросхем. Рассмотрим их схемотехнические особенности и варианты применения на примере серии К722.

Серия К722 состоит из бескорпусных полупроводниковых интегральных микросхем с выводами, относящихся к четырем функциональным подгруппам и предназначенных для использования в линейных и пороговых устройствах различного назначения.

Микросхема К7УБ221 используется в качестве видеоусилителя. Она выпускается в четырех модификациях (А—Г), различающихся величиной питающего напряжения (6,3 В $\pm 10\%$ и 12,6 В $\pm 10\%$), постоянным напряжением на выходе (5,5 и 11 В) и коэффициентом усиления (от 900 до 2000 на частоте 12 кГц).

Принципиальная схема видеоусилителя показана на рис. 2-37,а. Усилитель имеет несимметричные вход и выход. Основная схема усилителя содержит два каскада на транзисторах T_1 и T_2 , непосредственно связанных между собой. Усилитель обеспечивает значительное усиление, несмотря на отрицательную обратную связь между каскадами через резистор R_3 . Транзистор T_3 используется как токостабилизирующий элемент. Меняя смещение на базе этого транзистора (вывод 5), можно в широких пределах регулировать усиление схемы. Транзистор T_4 в диодном включении используется для установки и стабилизации уровня постоянной составляющей эмиттерного напряжения транзистора T_2 . В качестве нагрузки можно использовать резистор R_6 .

Микросхема К7УС221 (рис. 2-37,б) является двухкаскадным усилителем переменного тока. Она выпускается в пяти модификациях, различающихся напряжением питания (6,3 В $\pm 10\%$ и 12,6 В $\pm 10\%$), минимальным коэффициентом усиления (от 250 до 800 на частоте 12 кГц и от 30 до 50 на частоте 5 МГц) и постоянным напряжением на выходе (2,4—3,8 В для модификаций А и Б, 7,0—9,6 В для остальных). Входное сопротивление 2 кОм, выходное сопротивление 1,2—3 кОм.

Каскад на транзисторе T_1 выполнен по схеме ОЭ. Транзистор T_2 может использоваться как в схеме ОЭ, так и в схеме ОК. Через резисторы R_4 и R_5 транзисторы охвачены отрицательной обратной связью, глубину которой можно регулировать с помощью подключаемого к выводу 7 переменного резистора. Для устранения обратной связи по переменному току достаточно подключить конденсатор большой емкости к выводам 7 или 12. Выводы 4 и 12 используются для соединения микросхемы с резистивными или емкостными

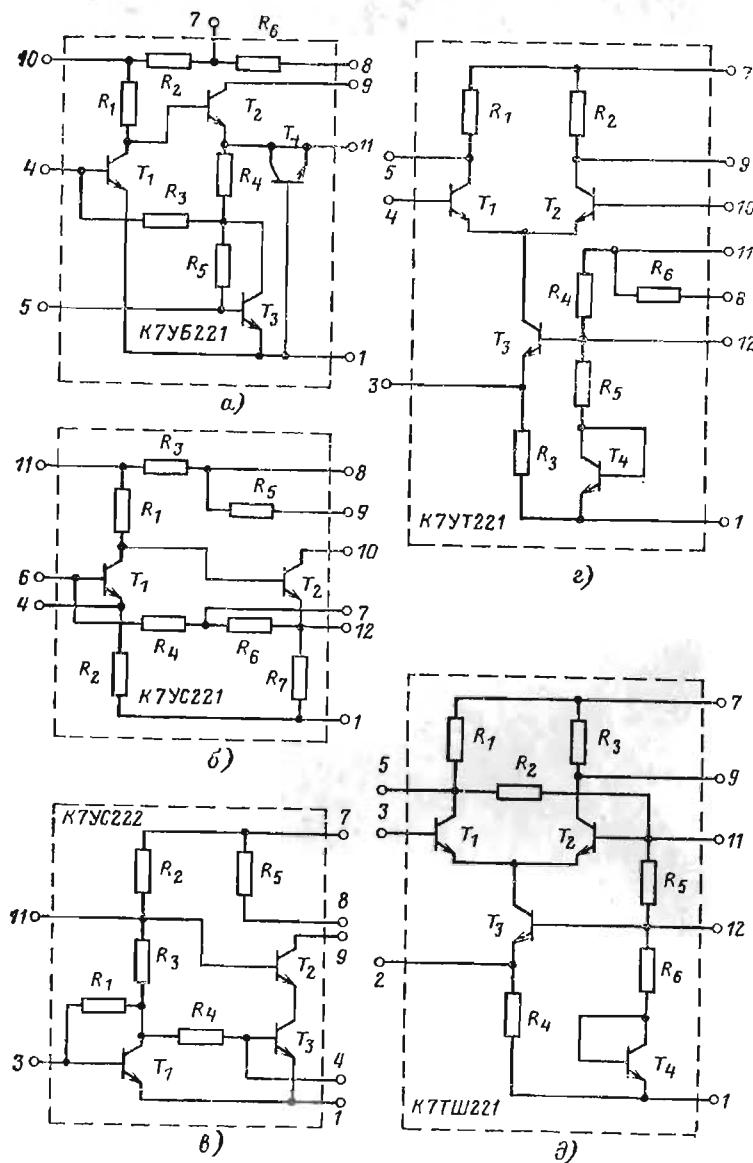


Рис. 2-37. Микросхемы серии К722.

элементами, меняющими или полностью устраняющими последовательную обратную связь в каждом каскаде, реализующими новые цепи обратной связи, позволяющими регулировать режим транзисторов по постоянному току и т. д. Вывод 11, как и в микросхеме К7YB221, предусмотрен для подключения фильтрующих или корректирующих конденсаторов.

В зависимости от схемы включения транзистора T_2 роль нагрузки могут выполнять резисторы R_7 (в схеме ОК) или R_5 (в схеме ОЭ), а также внешние элементы, включаемые между выводами 7 и 9.

Микросхема К7YC222 (рис. 2-37, в) представляет собой трехкаскадный усилитель с каскодным соединением транзисторов T_2 и T_3 . Включенный по схеме ОЭ транзистор T_1 охвачен обратной связью по напряжению через резистор R_1 .

Транзистор T_1 может служить для усиления или для создания необходимого режима работы транзисторов T_2 и T_3 по постоянному току. Вывод 4 можно использовать для подачи сигнала, если усилитель выполняется только на транзисторах T_3 и T_2 , или для подключения цепи АРУ. В последнем случае благодаря наличию в схеме резистора R_4 изменение регулирующего напряжения не окажет заметного влияния на входное сопротивление усилителя и на форму его частотной характеристики. Подключением к выводу 11 конденсатора большой емкости обеспечивается заземление по переменной составляющей базы транзистора T_3 .

Микросхема может использоваться как с внутренней нагрузкой (резистор R_5), так и с различными по характеру внешними нагрузками, включаемыми между выводами 7 и 9.

Выпускаются три модификации (А, Б и В) микросхемы К7YC222 с коэффициентом усиления на частоте 12 кГц не менее 15, 25 и 40 и напряжением питания $4 \text{ В} \pm 10\%$ (А) или $6,3 \text{ В} \pm 10\%$ (Б, В).

Микросхема К7YT221 является однокаскадным дифференциальным усилителем постоянного тока, принципиальная схема которого показана на рис. 2-37, г.

Основу усилителя составляют транзисторы T_1 и T_2 с идентичными параметрами. Совместно с равными по сопротивлению резисторами R_1 и R_2 эти транзисторы образуют сбалансированную мостовую схему. В идеальном случае напряжение на диагонали моста между выводами 5 и 9 при отсутствии входного сигнала должно быть равным нулю.

Одно из важнейших достоинств дифференциальных усилителей заключается в том, что балансировка моста не нарушается и в случае синфазного воздействия на выводы 4 и 10. Обычно появление синфазного сигнала объясняется наличием наводок или других помех. Они вызывают одинаковые по амплитуде и фазе изменения напряжений на входах обоих транзисторов, а следовательно, и идентичные изменения токов через них. В результате напряжение между выводами 5 и 9 не претерпевает изменений, что свидетельствует о подавлении синфазной помехи.

Полезный сигнал обычно подается на дифференциальный вход между базовыми выводами транзисторов T_1 и T_2 . В этом случае входные сигналы обоих транзисторов равны по амплитуде и противоположны по фазе. Изменение тока коллектора одного из транзисторов сопровождается противофазным изменением тока второго транзистора. Как следствие появляется и меняется в соответствии

с сигналом разность напряжений между коллекторами транзисторов дифференциальной пары (выводы 5 и 9).

Кроме работы на симметричный выход микросхема К7УТ221 может использоваться и с несимметричным выходом. В этом случае несколько возрастает емкость обратной связи и ухудшается подавление синфазной помехи.

Важным элементом большинства интегральных дифференциальных усилителей является токостабилизирующий двухполосник (генератор тока), подобный тому, который выполнен в рассматриваемой микросхеме на транзисторе T_3 между эмиттерами транзисторов T_1 и T_2 с одной стороны и выводом 1 с другой стороны. Эта транзисторная схема заменяет высокоомный резистор, создание которого в полупроводниковых микросхемах вызывает ряд затруднений.

При воздействии синфазной помехи протекающие через токостабилизирующий двухполосник токи транзисторов дифференциальной пары вызывают увеличение напряжения обратной связи и уменьшение усиления. При воздействии полезного противофазного сигнала изменение тока одного из транзисторов компенсируется противоположным изменением тока второго транзистора. Напряжение на резисторе в цепи эмиттера остается неизменным, а значит, не меняется усиление сигнала. Чем больше сопротивление токостабилизирующего элемента, тем выше отношение коэффициентов усиления полезного сигнала и помехи.

Режим транзистора токостабилизирующего элемента определяется резистором R_3 и делителем базового смещения, образованного резисторами R_6 , R_4 и R_5 , а также транзистором T_4 . Транзистор используется в диодном включении для стабилизации режима работы генератора тока при изменении температуры. Хорошая температурная компенсация обеспечивается идентичностью параметров транзисторов T_3 и T_4 .

Изменением потенциала на базе транзистора T_3 (для этого можно использовать выводы 8, 11 или 12) достигается изменения динамического диапазона усилителя, а также входного сопротивления.

Микросхема К7УТ221 выпускается в трех модификациях (А, В и В). Они различаются по величине питающего напряжения ($\pm 4 \text{ В} \pm 10\%$ и $\pm 6,3 \text{ В} \pm 10\%$), минимальному коэффициенту усиления (15 и 22), входному сопротивлению (6 и 3 кОм), входному току (10 и 20 мкА) и по другим параметрам.

Микросхема К7ТШ221 выполнена по схеме несимметричного триггера, называемого триггером Шмитта (рис. 2-37, д). Такие триггеры находят применение в импульсных устройствах для формирования прямоугольных импульсов при воздействии синусоидального сигнала или в качестве пороговых устройств, реагирующих на сигналы определенной амплитуды. В частности, триггеры Шмитта широко применяются в компараторах, предназначенных для сравнения уровней входных напряжений (один из которых используется в качестве опорного) и формирования на выходе сигнала в виде перепада напряжения, зависящего от уровней сравниваемых сигналов.

В отличие от симметричного триггера с отдельными входами, где критические уровни имеют разные знаки, в триггере Шмитта критические уровни имеют один и тот же знак, но разную величину. Кроме того, триггеры Шмитта по сравнению с симметричными

триггерами обладают большим входным сопротивлением и большей нагрузочной способностью.

В триггере Шмитта отсутствует традиционная для симметричных триггеров цепь коллектор транзистора T_2 — база транзистора T_1 . Она заменена соединением эмиттер—эмиттер. Благодаря этому нагрузка, подключаемая к выводу 9, практически не оказывает влияния на работу триггера. Существенно улучшается и режим во входной цепи микросхемы.

Через общее сопротивление в цепи эмиттеров транзисторов T_1 и T_2 , зависящее от режима транзистора T_3 и сопротивления резистора R_4 , осуществляется положительная обратная связь между транзисторами дифференциальной пары, а также отрицательная обратная связь по току в первом каскаде. Сопротивление цепи T_3 , R_4 можно регулировать, подключая резистор между выводами 3 и 1 или меняя смещение на базе транзистора T_3 (вывод 12). При этом будет меняться порог срабатывания триггера. Транзистор T_4 используется для термостабилизации.

Для нормальной работы микросхемы в качестве триггера Шмитта параллельно резистору R_2 между выводами 5 и 11 подключается конденсатор, емкость которого выбирается из тех же соображений, что и в симметричных триггерах. Обычно эта ускоряющая емкость составляет 200—500 пФ.

Пять модификаций микросхемы К7ТШ221 различаются по величине питающих напряжений ($\pm 3 \text{ В} \pm 10\%$, $\pm 4 \text{ В} \pm 10\%$, $\pm 6,3 \text{ В} \pm 10\%$), по входному току (20 и 40 мкА), а также по минимальным и максимальным уровням входного и выходного напряжений.

Микросхемы серий К119, К218 и К228 для линейно-импульсных устройств

Комплекс микросхем серии К119 включает в себя: два УНЧ с коэффициентом усиления 2—5 (К1УС191) и 7—13 (К1УС192) на частоте 10 кГц и с верхней граничной частотой 100 кГц; дифференциальный усилитель К1УТ191 с коэффициентом усиления 3—5 и рабочим диапазоном частот 5 Гц—200 кГц; эмиттерный повторитель К1УЭ191, обеспечивающий на частоте 1 кГц коэффициент передачи не менее 0,7; видеосушитель К1УБ191 для усиления импульсов отрицательной полярности с длительностью от 0,3 до 500 мкс, имеющий на частоте 10 кГц коэффициент передачи 4—10; мультивибратор с самовозбуждением К1УВ192, вырабатывающий импульсы с длительностью 7—25 мкс и с амплитудой не менее 1,2 В; регулирующий элемент АРУ К1МА191 с коэффициентом ослабления 2—8; детектор АРУ К1ДА191 с рабочим диапазоном частот 5 Гц—40 кГц и с коэффициентом передачи на частоте 10 кГц не менее 0,6; линейный пропускатель К1СВ191 с коэффициентом передачи не менее 0,65; чувствительный триггер Шмитта К1ТШ191 с порогами срабатывания и отпущения $0 \pm 0,1 \text{ В}$, а также коммутатор К1КП191, активный элемент схемы частотной селекции К1СС191 (две модификации), диодный мост К1ПП191 и элемент блокинг-генератора К1ГФ191.

Для питания микросхем серии используются напряжения ± 3 , $\pm 6,3$, 12 В с допуском $\pm 10\%$.

Микросхемы серий К218 и К228 согласованы по стыковочным параметрам и напряжению питания. Они имеют единое конструктивное оформление.

Серия К218 состоит из трех импульсных усилителей (К2УИ181—К2УИ183), обеспечивающих усиление импульсов любой полярности длительностью 0,3—500 мкс с коэффициентом передачи не менее 3; двух эмиттерных повторителей К2УЭ181 и К2УЭ182 (положительной полярности и биполярного), предназначенных для передачи импульсов длительностью 0,3—1,5 мкс с коэффициентом передачи более 0,8; усилителя промежуточной частоты К2УС181 с частотным диапазоном 22,5—37,5 МГц и с коэффициентом усиления не менее 7; мультивибратора автоколебаний К2ГФ181 с амплитудой выходных импульсов более 3 В при частоте следования от 50 Гц до 0,6 МГц; мультивибратора ждущего К2ГФ182, работающего при амплитуде входных импульсов 2,5—6 В (отрицательной полярности), следующего с частотой менее 250 кГц; детектора радиополучателей К2ДА181 с линейным участком амплитудной характеристики не менее 400 мВ и с коэффициентом передачи на несущей частоте 30 МГц от 0,5 до 1; схемы совпадения импульсов положительной полярности К2ЛБ181 с длительностью 0,3—500 мкс, а также триггера с комбинированным запуском К2ТК181 и трех инверторов положительных (К2ЛН181) и отрицательных (К2ЛН182, К2ЛН183) импульсов. Напряжение питания микросхем серии К218 $6,3 \text{ В} \pm 10\%$.

Серия К228 существенно дополняет серию К218. В состав серии К228 входят: три усилителя (универсальный К2УС281, каскодный К2УС283 и регулируемый К2УС282) с верхней граничной частотой 60 МГц и с крутизной характеристики на этой частоте не хуже 7,5 мА/В (причем регулируемый усилитель обеспечивает возможность изменения крутизны в пределах 40 дБ); балансный усилитель К2УС284 с крутизной вольт-амперной характеристики более 5 мА/В на частоте 5 МГц, обеспечивающий разбаланс на выходе менее 3 дБ; схема сравнения токов К2СА281 с током срабатывания не более 20 мкА; диодный ключ К2КД281, обеспечивающий отношение выходных напряжений в состояниях «открыто» и «закрыто» не менее 100; два диодно-резисторных декодирующих преобразователя К2ПД281 и К2ПД282 с управляющими напряжениями $+1$ и -1 В, а также комбинированная диодно-резистивная матрица К2НК281 и конденсаторная сборка К2НЕ281 из 5 конденсаторов по 12 000 пФ.

Для питания микросхем серии К228 используется напряжение $\pm 6,3 \text{ В} \pm 10\%$.

Микросхемы прерывателей

Серии К101, К124, К162 составлены из микросхем, предназначенных преимущественно для коммутации слабых сигналов постоянного и переменного токов. В качестве прерывателей они применяются в разрядных ключах, преобразователях код—аналог и аналог—код и т. д. [6, 7].

Каждая микросхема представляет собой два идентичных *п-р-п* (К101) или *р-п-р* (К124, К162) транзистора, объединенных в последовательный структурно-компенсированный ключ. Как показано на примере микросхемы К1КТ011 (рис. 2-38, а), коммутируемая цепь подключается к эмиттерным выводам транзисторов (выводы

2 и 4), а управляющий сигнал подается между коллекторами и базами обоих транзисторов (вывод 3 и соединенные между собой выводы 1 и 5).

В большинстве практических случаев необходимо, чтобы транзисторный ключ имел возможно меньшую величину остаточного напряжения. В микросхемах рассматриваемых серий это достигается, во-первых, за счет того, что выполненные в едином технологическом цикле транзисторы обладают идентичными параметрами, а во-вторых, за счет инверсного включения транзисторов. Остаточные напряжения обоих транзисторов направлены встречно, компен-

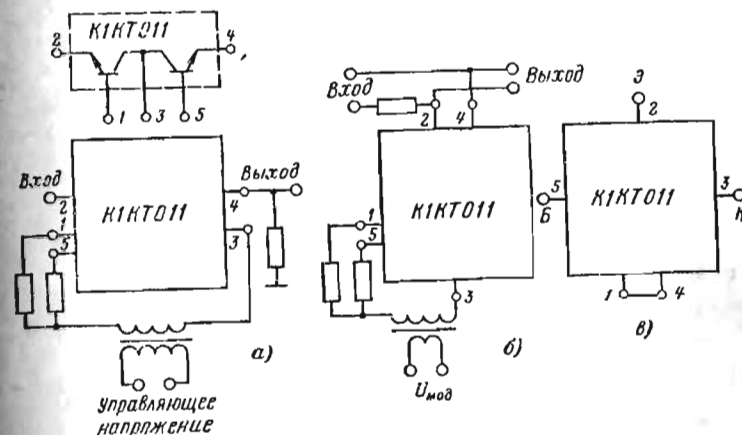


Рис. 2-38. Варианты использования микросхемы К1КТ011.
а — прерыватель; б — модулятор; в — составной транзистор.

сируя влияние друг друга, что и позволяет коммутировать весьма слабые сигналы.

Дополнительная регулировка остаточного напряжения возможна с помощью переменного резистора, включаемого в коллекторную цепь. Такая схема может найти применение даже в высококачествен-

Таблица 2-5

Параметры интегральных прерывателей

Микросхема	$U_{эз.ост}$ мкВ	$I_{эз.ут}$ мА	$R_{эз}$ Ом	$U_{кб.обр}$ В	$U_{эб.обр}$ В	Тип тран- зисторов
К1КТ011А	100	40	120	3,5	6,5	п-р-п
К1КТ011Б	300	40	120	3,5	6,5	п-р-п
К1КТ011В	100	40	120	3,5	3,5	п-р-п
К1КТ011Г	300	40	120	3,5	3,5	п-р-п
К1КТ241	300	50	100			р-п-р
К1КТ621	300	50	100	20	30	р-п-р

венных ключах эталонных напряжений. При этом следует помнить, что чем больше регулировочное сопротивление, тем уже диапазон переключаемых токов, в котором проявляются достоинства схемы.

Микросхемы прерывателей находят применение и в других электронных устройствах (рис. 2-38).

В табл. 2-5 приведены основные параметры микросхем рассматриваемых серий.

2-6. СЕРИИ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Особого внимания среди выпускаемых промышленностью микросхем заслуживают операционные усилители серий К140, К153 и К740. Несмотря на схемотехнические различия, эти микросхемы объединяет то, что на их основе можно создать широкий круг различных по назначению устройств, например УВЧ, УПЧ и УНЧ,

преобразователи, интегрирующие и логарифмические усилители, генераторы, детекторы, источники тока, ограничители, компараторы, активные фильтры и др. Состав серий и основные параметры микросхем приведены в табл. 2-6.

Анализ схемотехнических и функциональных особенностей операционных усилителей проведен на примере микросхем серии К140. Серия состоит из двух микросхем, выполненных по полупроводниковой технологии и оформленных в круглых металлокерамических корпусах с 12 выводами.

Микросхема К1УТ401 представляет собой широкополосный операционный усилитель, принципиальная схема которого показана на рис. 2-39.

Усилитель состоит из входного и промежуточного дифференциальных усилительных каскадов, транслятора уровня и выходного каскада. Он имеет два входа (инвертирующий — вывод 9 и неинвертирующий — вывод 10) и один симметричный выход (вывод 5). Напряжение питания подается на выводы 1 и 7 (соответственно $-E_n$ и $+E_n$). Вывод 4 — общий, а остальные используются для контроля режима или подключения внешних элементов в зависимости от конкретного применения микросхемы.

Входной каскад выполнен на дифференциальной паре транзисторов T_1 и T_2 , в общую эмиттерную цепь которых включен токо-стабилизирующий двухполюсник с большим внутренним сопротивлением на транзисторе T_3 с термокомпенсирующим диодом (транзистор T_6 в диодном включении) в цепи базы. Работа подобной

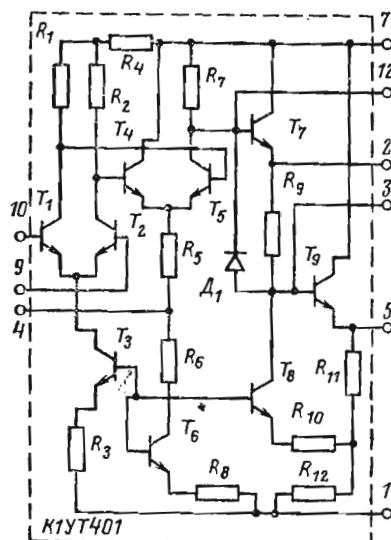


Рис. 2-39. Операционный усилитель.

Таблица 2-6

Параметры операционных усилителей

Параметры	К1УТ401		К1УТ531		К740УД1		К1УТ402		К284УД1*		
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	В
Коэффициент усиления:											
минимальный	400	1300	15 000	10 000	15 000	10 000	20 000	3000	20 000	20 000	20 000
максимальный	4500	12 000	80 000	100 000	80 000	100 000	200 000	35 000	5,6	5,6	5,6
Выходное напряжение не менее, В	$\pm 2,8$	$\pm 5,7$	± 10	$\pm 7,5$	± 10	$\pm 7,5$	± 10	± 3	± 10	± 10	± 10
Напряжение смещения нуля не более, мВ	± 10	± 10	$\pm 7,5$	$\pm 7,5$	$\pm 7,5$	$\pm 7,5$	± 10	± 10	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
Разность входных токов не более, мкА	3	3	0,5	0,6	0,5	0,8	0,5	0,5	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Входной ток не более, мкА	8	12	1,5	2	1,5	2	1,5	1,5	5	5	5
Входное сопротивление не менее, МОм	$4 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	± 9	± 9	± 9
Напряжение питания, В	$\pm 6,5^{**}$	$\pm 12,6^{**}$	± 15	± 15	± 15	± 15	$\pm 12,6^{**}$	$\pm 6,3^{**}$	2,5	2,5	2,5
Ток потребления не более, мА	4,2	8	6	6	4,5	4,5	12	7	2,5	2,5	2,5

* Модификация усилителя К284УД1 различаются по температурному дрейфу напряжения смещения и коэффициенту ослабления синфазного сигнала.

** Допуск $\pm 5\%$, у остальных $\pm 10\%$.

схемы рассмотрена на примере дифференциального усилителя К7УТ221. Основное назначение входного каскада операционного усилителя — большое усиление дифференциального сигнала при максимально возможном подавлении синфазной помехи.

Выходной сигнал первого дифференциального каскада микросхемы снимается с дифференциального выхода (резисторы R_1 и R_2) и подается на второй дифференциальный каскад на транзисторах T_4 и T_5 . Так как требования по подавлению синфазной помехи в этом каскаде ниже, чем в первом, вместо токостабилизирующего элемента в эмиттерной цепи используется резистор. Различие дифференциальных каскадов заключается также в отсутствии резистивной нагрузки в цепи коллектора транзистора T_4 . Этим обеспечивается переход от симметричного входа к несимметричному выходу, в чем и заключается основное назначение второго каскада. Усиление его незначительно. Так как выходное напряжение второго дифференциального каскада снимается с коллектора транзистора T_5 относительно «земли», на его выходе имеется постоянное напряжение. Отсутствие разделительных конденсаторов в схеме операционного усилителя приводит к тому, что без принятия соответствующих мер постоянная составляющая может наблюдаться на выходе усилителя. Чтобы этого не произошло, перед выходным каскадом помещен транзистор уровня на транзисторах T_7 и T_8 . Благодаря включению резистора R_9 между эмиттером транзистора T_7 и коллектором транзистора T_8 снижение потенциала не сопровождается заметным уменьшением усиления. Так как резистор R_9 и сопротивление коллекторного перехода транзистора T_8 образуют делитель с большим сопротивлением нижнего (транзисторного) плеча, сигнал почти без затухания поступает на базу транзистора T_9 выходного каскада. Компенсация температурного дрейфа напряжения эмиттер—база транзистора T_8 обеспечивается транзистором T_6 .

Выходной каскад операционного усилителя на транзисторе T_9 выполнен по схеме эмиттерного повторителя. Он предназначен для усиления по мощности. Повышению усиления способствует положительная обратная связь за счет передачи части выходного напряжения с делителя R_{10} — R_{12} на эмиттер транзистора T_8 . Часть сигнала синфазной помехи, которая просачивается на выход усилителя, по цепи обратной связи воздействует на базу транзистора T_3 , ослабляя действие помехи. Включенный между базами транзисторов T_7 и T_9 диод D_1 предназначен для дополнительного отбора тока при коротком замыкании на выходе усилителя.

Устойчивость работы усилителя обеспечивается подключением корректирующей цепи между выводами 1 и 12. На низких частотах в качестве корректирующей цепи целесообразно подключать к выводу 3 конденсатор емкостью 0,01 мкФ.

Микросхема К1УТ401 выпускается в двух модификациях, различие между которыми очевидно из данных, приведенных в табл. 2-6.

Микросхема К1УТ402 (рис. 2-40) представляет собой более сложный вариант операционного усилителя, чем микросхема К1УТ401.

Входной каскад состоит из двух дифференциально включенных схем Дарлингтона на транзисторах T_1 , T_2 и T_3 , T_4 и токостабилизирующей схемы на транзисторе T_6 . Включение транзисторов по схеме Дарлингтона обеспечивает высокое входное сопротивление,

возможность работы в режиме микротоков, малую разность входных токов, незначительный температурный дрейф токов.

Транзистор T_5 в диодном включении служит для температурной стабилизации напряжений между эмиттером и базой транзисторов T_2 и T_3 . Транзистор T_{13} используется как термостабилизирующий диод в цепи базы транзистора T_6 . Резисторы R_2 и R_3 являются коллекторной нагрузкой основной дифференциальной пары входного каскада.

Второй дифференциальный каскад микросхемы подобно первому состоит из двух схем Дарлингтона на транзисторах T_8 , T_9 и T_{10} ,

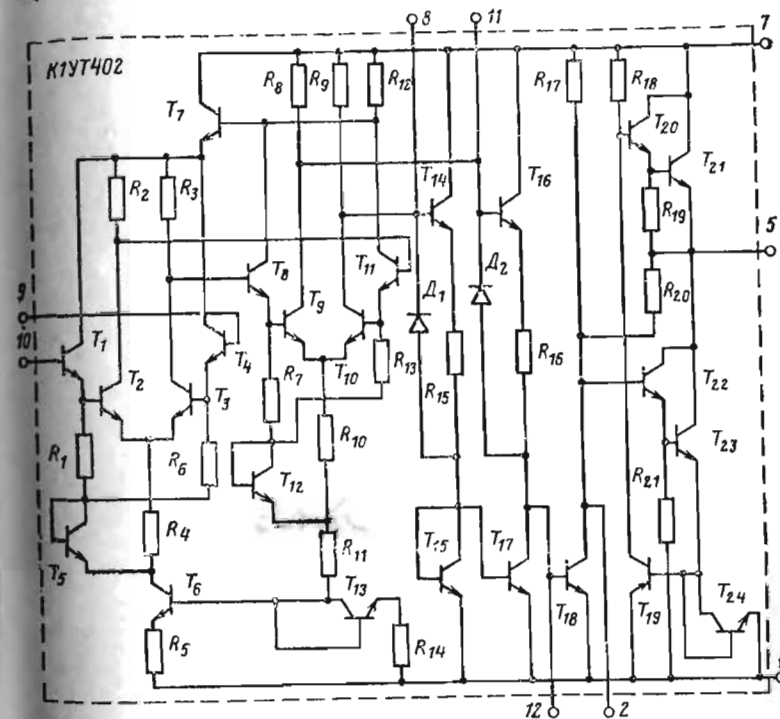


Рис. 2-40. Операционный усилитель К1УТ402.

T_{11} . Такая схема позволяет существенно ослабить влияние второго дифференциального каскада на первый за счет большого входного сопротивления двойного эмиттерного повторителя. По причинам, рассмотренным при анализе микросхемы К1УТ401, во втором каскаде токостабилизирующий элемент заменен резистором. Остальные элементы этого каскада по выполняемым функциям не отличаются от элементов входного каскада.

Третий каскад на транзисторах T_{14} — T_{19} позволяет перейти от каскада с изолированной нагрузкой к заземленному каскаду, сни-

жает уровень постоянного напряжения за счет сопротивлений резисторов R_{13} и R_{16} , а также обеспечивает управление выходным каскадом. Подключенные к базовым выводам транзисторов T_{14} и T_{16} диоды D_1 и D_2 предохраняют эмиттерные переходы этих транзисторов от перегрузок. Транзистор T_{15} используется для термодкомпенсации напряжения эмиттер—база транзистора T_{17} , с которого сигнал поступает на транзистор T_{18} , включенный по схеме ОЭ. С транзисторов T_{18} и T_{19} напряжение подается на двухтактный выходной каскад. Транзистор T_{24} обеспечивает температурную стабилизацию транзистора T_{19} .

Выходной каскад выполнен по двухтактной схеме на двух парах транзисторов (T_{20} , T_{21} и T_{22} , T_{23}). Такая схема обеспечивает высокий коэффициент использования напряжения источников питания. Выходные перепады напряжения операционного усилителя К1УТ402 при одинаковом напряжении питания заметно больше, чем в усилителе К1УТ401 (см. табл. 2-6). Применение двоянных эмиттерных повторителей в выходном каскаде позволило также примерно в 5 раз снизить выходное сопротивление микросхемы.

При применении микросхемы К1УТ402 сложной задачей является коррекция операционного усилителя. Это связано с большим коэффициентом усиления разомкнутого усилителя и с тем, что суммарный фазовый сдвиг всегда больше 2π . Обычно применяются до пяти корректирующих элементов, большинство из которых составляют конденсаторы. Наличие корректирующих цепей с большими постоянными времени ограничивает частотный диапазон усилителя.

Многочисленные примеры применения микросхем операционных усилителей рассмотрены в работах [3, 5, 6, 8, 10, 11].

2-7. ОСОБЕННОСТИ МИКРОСХЕМ, ИМЕЮЩИХ ОБЩЕЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ

При несоответствии функциональных возможностей базовой серии функциональной структуре разрабатываемой аппаратуры возникает задача нахождения дополнительных микросхем определенного вида из других серий. Чтобы помочь читателю в поиске, далее приводится распределение микросхем по функциональным подгруппам.

Генераторы

Генераторные микросхемы входят в состав серий 219, К237, К119, К218, К224, К245.

Микросхемы 2ГС191 и 2ГС192 предназначены для кварцевых генераторов (с внешним кварцевым резонатором). Первая из них используется на частотах 30—70 МГц, а вторая — на частотах до 30 МГц.

На микросхеме 2ГС193 можно выполнить генератор частотно-модулированных колебаний с диапазоном рабочих частот 13—15 МГц.

Микросхема 2ГС371 используется в генераторах тока стирания и подмагничивания.

Для создания различных по назначению и параметрам генераторов сигналов специальной формы предназначены микросхемы: К1ГФ191 (элемент блокинг-генератора), К1ГФ192 (мультивибратор с самовозбуждением), К2ГФ181 (мультивибратор автоколебаний),

К2ГФ182 (мультивибратор ждущий), К2ГФ241 (универсальный мультивибратор), К2ГФ451 (задающий генератор строчной развертки), К2ГФ452 (задающий генератор кадровой развертки).

Детекторы

Подгруппа детекторов включает в себя микросхемы: К1ДА191 (детектор АРУ), К2ДА181 (амплитудный детектор), 2ДС191 (ограничитель-дискриминатор), 2ДА351 и 2ДА352 (детекторы АМ сигналов с АРУ и УПЧ, имеющие одинаковые основные параметры, за исключением нижней границы частотного диапазона), 2ДС351 (частотный детектор с ограничителем), К2ДС241 и К2ДС242 (детекторы отношений, из которых второй выполнен по более совершенной схеме).

Коммутаторы и ключи

Микросхемы коммутаторов и ключей входят в состав серий К101, К119, К124, К162, К224, К228, 235.

Наиболее многочисленную группу образуют микросхемы интегральных прерывателей. Прерыватели серии К101 выполнены на *п-р-п* транзисторах, а прерыватели серий К124 и К162 — на *р-р-р* транзисторах.

Наибольший ток утечки характерен для микросхем К1КТ241 и К1КТ621. Микросхемы серии К101 имеют сопротивление между эмиттерами на 20 Ом больше, чем остальные прерыватели. Наиболее высоковольтным является прерыватель на микросхеме К1КТ621.

Остальные микросхемы данной подгруппы выполнены по более сложным схемам.

Микросхема К2КТ241 используется в телевизорах как электронный ключ блока цветности, микросхемы 2КД351 и 2КД352 предназначены для коммутации в аппаратуре радиосвязи (отличие между ними только по уровню нижней границы частотного диапазона). Преимущественно для линейно-импульсных устройств выпускаются полупроводниковый коммутатор К1КП191 и выполненный по гибридной технологии диодный ключ К2КД281.

Многофункциональные схемы

В сериях К224, К237 и К242 имеются несколько микросхем, которые образуют подгруппу многофункциональных схем. В нее входят микросхемы К2ЖА241 (смеситель, гетеродин), К2ЖА242 (смеситель, гетеродин), К2ЖА243 (амплитудный детектор и усилитель АРУ), К2ЖА244 (усилитель-ограничитель), К2ЖА245 (усилитель АРУ), К2ЖА246 (выходной усилитель-ограничитель), К2ЖА371 (УВЧ и преобразователь), К2ЖА372 (УПЧ с детектором и АРУ), К2ЖА373 (оконечный усилитель магнитной записи и усилитель с выпрямителем для индикатора уровня записи), К2ЖА375 (УВЧ и преобразователь для УКВ диапазона), К2ЖА376 (УПЧ ЧМ сигналов с детектором), К2ЖА421 (УПЧ, детектор, УНЧ).

Модуляторы

Пять типов микросхем, относящихся к трем сериям К119, 219 и 235, образуют группу модуляторов.

В нее входят: микросхема К1МА191 регулирующего элемента АРУ, две микросхемы 2МП351 и 2МП352 кольцевых модуляторов, из которых 2МП352 имеет более широкий частотный диапазон, и две микросхемы подмодуляторов 2МС191 и 2МС192, предназначенных для управления варикапом, входящим в контур генератора ЧМ сигналов. Из подмодуляторов микросхема 2МС192 имеет более сложную схему, обладает лучшей чувствительностью и позволяет получить более высокое выходное напряжение.

Наборы элементов

Большое разнообразие характерно для микросхем, представляющих собой наборы элементов. Такие микросхемы входят в состав серий К129, К142, К198, 219, К224, К228, К260, К504 и К159.

Микросхема К2НЕ281 содержит только конденсаторы (5 шт. по 12000 пФ), микросхема К2НЕ601 представляет собой совокупность 16 резисторов и 13 конденсаторов для малошумящих усилителей.

Пять типов микросхем серии К142 выполнены в виде диодных матриц с различным соединением элементов (в микросхеме К1НД425 диоды изолированы друг от друга).

Остальные микросхемы данной подгруппы представляют собой наборы транзисторов. Бескорпусные микросхемы серии К129 и их аналоги в корпусах серии К159 содержат по паре *n-p-n* транзисторов для дифференциальных и операционных усилителей. Для этих же целей имеются согласованные пары в совокупности с отдельными *n-p-n* транзисторами в микросхемах серий К198 (К1НТ981—К1НТ984). Микросхемы К1НТ985—К1НТ988 содержат по 3—5 *n-p-n* транзисторов, часть из которых образует дифференциальные пары.

Пять *n-p-n* транзисторов (один в диодном включении) входят в состав микросхемы 2НТ191, четыре *n-p-n* транзистора — в состав микросхемы 2НТ192, три несоединенных между собой транзистора содержит микросхема К2НТ241.

Микросхемы К5НТ041—К5НТ044 содержат согласованные пары полевых транзисторов.

Преобразователи

Микросхемы подгруппы преобразователей входят в состав серий К119, 219, К228, 235, К245.

Для преобразователей частоты радиоаппаратуры выпускаются микросхемы 2ПС351, 2ПС352, 2ПС191. Первые две используются при частоте сигнала до 150 МГц, а последняя до 55 МГц. Из преобразователей серии 235 микросхема 2ПС352 имеет более низкую границу по сигнальному входу 50 кГц.

На микросхеме 2ПМ351 выполняется формирователь импульсных сигналов. Декодирующие преобразователи К2ПД281 и К2ПД282 предназначены для работы при разных по полярности питающих напряжениях (соответственно —6,3 и +6,3 В).

К преобразовательным микросхемам относятся также диодный мост К1ПП191, управляемый делитель для системы АРУ 2ПП351, ключевой элемент АРУ К2ПН451 и преобразователь напряжения АРУ К2ПН452. Каждая из этих микросхем имеет специфическое назначение.

Вторичные источники питания

Для стабилизации напряжения в профессиональной и радиолюбительской аппаратуре выпускаются специализированные серии микросхем К181, К275, а также микросхема К2ПП241.

Микросхема серии К181 обеспечивает стабилизированное напряжение 3—15 В. Каждая из микросхем серии К275 стабилизирует одно из напряжений —6,3; +6,3; —12,6 и +12,6 В.

Микросхема К2ПП241 предназначена для стабилизации напряжения 3,3—3,9 В.

Схемы селекции и сравнения

В подгруппу схем селекции и сравнения входят существенно отличающиеся по назначению и основным параметрам микросхемы К2СА281 (схема сравнения токов), К1СВ191 (пропускатель линейный), К2СА241 (амплитудный селектор), К2СА245 (селектор строчных импульсов с АПЧ и Ф), К2СА452 (селектор кадровых импульсов с предварительным усилителем кадровой развертки), а также четыре микросхемы частотных селекторов К1СС191, К1СС192, К2СС841 и К2СС842.

Триггеры *

Разные по назначению и принципу действия триггеры включены в состав серий К118, К119, К122, К218, К224 и К722. Это триггер со счетным запуском К2ТС241, триггер с комбинированным запуском К2ТК181 и четыре триггера Шмитта: К1ТШ191, К1ТШ181, К1ТШ221 и К7ТШ221. Три последних из них имеют одинаковые параметры и различаются лишь по конструктивному оформлению. Триггер К1ТШ191 уступает другим по всем основным параметрам.

Усилители

В сериях аналоговых микросхем наиболее полно представлены усилительные микросхемы.

Для УВЧ радиоаппаратуры выпускают микросхемы 2УС191, К2УС241 и 2УС351. Из них микросхема 2УС351 имеет наиболее широкий диапазон рабочих частот 1—180 МГц. Микросхема К2УС241, имеющая рабочий диапазон частот 0,15—110 МГц, может нормально работать при любом напряжении питания — от 5,4 до 12 В. Микросхема 2УС191 уступает остальным микросхемам УВЧ по основным параметрам.

Для УПЧ выпускают микросхемы серий К218, 219, 235, К237. Микросхемы 2УС353, 2УС357, 2УС359, 2УС3511 выполнены с АРУ. Наибольшая глубина регулирования (не менее 86 дБ) может быть достигнута в микросхемах 2УС353 и 2УС359. Они же позволяют получить наибольший коэффициент усиления среди микросхем УПЧ серии 235. Микросхема 2УС376 предназначена для работы в УПЧ (10,7 МГц) частотно-модулированных сигналов. Рабочий диапазон частот микросхемы 2УС192 0,5—1 МГц. Остальные микросхемы имеют более широкий диапазон частот. Наибольшее вы-

* Подробно различные виды триггеров рассмотрены в гл. 4.

ходное напряжение 2,5 В дают микросхемы 2УС357 и 2УС3511, различающиеся по нижней границе частотного диапазона. Для использования в телевизорах предназначены микросхемы УПЧИ К2УС247 и микросхема регулируемого УПЧИ К2УС246. Первая из них обеспечивает более высокую крутизну прямой передачи, вторая — меньшую неравномерность частотной характеристики. Микросхемы К2УС248 и К2УС2414 используются в УПЧЗ телевизоров. Вторая из этих микросхем более совершенна и обеспечивает большую крутизну характеристики прямой передачи.

Широко представлены в рассматриваемых сериях микросхемы УНЧ. Они входят в серии К119, К123, К167, К173, К174, К224, К226, 235, К237. Практически все микросхемы различаются по одному или нескольким основным параметрам. Наименьшая нижняя граница частотного диапазона 20 Гц у микросхем серии К226, наибольшая верхняя граница 100 кГц характерна для усилителей на микросхемах серий К119, К167 и К226.

Микросхемы К2УС373 и К1УС671 выделяются по усилительным свойствам. Коэффициент усиления составляет соответственно 1900—2500 и 500—1300. Небольшое усиление обеспечивают микросхемы УНЧ серии К119 и отдельные микросхемы серии К226. Усилители на микросхеме К2УС371 работают при коэффициенте нелинейных искажений не более 0,3%. Для остальных микросхем он составляет 0,7—5%.

Из рассматриваемых микросхем УНЧ большую мощность обеспечивают микросхемы серий К173 и К174. Они предназначены для мощных каскадов УНЧ. Микросхемы этих серий различаются по конструктивному оформлению, а внутри серий — по выходной мощности, коэффициенту усиления и ряду других параметров.

Как уже отмечалось в § 2-6, исключительно широкими возможностями обладают интегральные операционные усилители К1УТ401, К1УТ402, К1УТ531, К740УД1 и К284УД1. Из данных, приведенных в табл. 2-6, видно, что максимальное усиление и наибольшую амплитуду выходного напряжения обеспечивают усилители на микросхемах К1УТ402А, К1УТ531Б и К740УД1Б. При наименьших входных токах работают усилители на микросхеме дифференциального операционного усилителя К284УД1. Входное сопротивление усилителя на этой микросхеме превышает 5 МОм, т. е. на порядок и более выше, чем могут обеспечить другие микросхемы.

Лучшие частотные свойства у усилителей на микросхемах серий К153, К740 и К284.

Некоторые из выпускаемых промышленностью микросхем (К1УС981, К2УС242, К2УС243, К2УС249, К2УС281, 2УС356) предназначены для использования в различных по выполняемым функциям узлах. Например, на микросхеме К2УС281 можно выполнить аperiodические и резонансные усилители по схеме ОЭ, ОК или ОБ, смеситель, генератор, умножитель частоты, амплитудный детектор и др. Такие микросхемы обычно называют универсальными усилителями. Наиболее широкий частотный диапазон 0,5—200 МГц у микросхемы 2УС356. На более низких частотах можно использовать микросхемы К1УС981, К2УС242, К2УС281. Наибольшая крутизна вольт-амперной характеристики может быть получена при использовании микросхемы К2УС243 (на частоте 10 МГц крутизна не менее 25 мА/В).

Универсальными свойствами характеризуются микросхемы дифференциальных усилителей К1УТ181, К1УТ221, К7УТ221 и

К1УТ771. Первые три, отличаясь по конструктивному оформлению, имеют одинаковые параметры. Усилитель на микросхеме К1УТ771 по сравнению с ними обладает большим усилением и обеспечивает высокий уровень выходного напряжения. В усилителях постоянного тока используется и микросхема К1УТ191, уступающая рассмотренным дифференциальным усилителям по основным параметрам.

Преимущественно для усилительных трактов линейно-импульсных устройств выпускают микросхемы двухкаскадных усилителей К1УС181, К1УС221 и К7УС221, каскадные усилители К1УС182, К1УС222, К2УС283 и К7УС222. Двухкаскадные усилители имеют более высокий коэффициент усиления и отличаются от каскадных усилителей по уровням выходного напряжения. При этом однотипные микросхемы серий К118, К122 и К722 имеют одинаковые параметры.

В состав пяти серий входят видеоусилители. Трехкаскадный усилитель К2УБ241 и двухкаскадный усилитель К2УБ242 предназначены для телевизионной аппаратуры, причем второй из них позволяет получить большее усиление. Микросхема К1УБ191 и одинаковые по электрическим параметрам микросхемы К1УБ181, К1УБ221, К7УБ221 используются в линейно-импульсных устройствах аппаратуры связи.

Группу микросхем импульсных усилителей образуют усилитель импульсов положительной полярности К2УИ181, усилитель импульсов отрицательной полярности К2УИ182 и биполярный усилитель К2УИ183.

Полярностью передаваемых импульсов различаются и микросхемы эмиттерных повторителей К2УЭ181 и К2УЭ182. Они имеют более высокий коэффициент передачи, чем эмиттерный повторитель на микросхеме К1УЭ191, и отличаются от него входным сопротивлением, амплитудой импульсов на выходе и др.

В группу эмиттерных повторителей входят микросхемы истоковых повторителей серий К284 и К513. Повторитель на полевом транзисторе серии К513 предназначен для работы с электретным микрофоном, микросхема К2УЭ841 имеет более широкие функциональные возможности.

Целому ряду функциональных разновидностей усилителей соответствует по одному типу микросхем. Это микрофонный усилитель 2УС193, усилитель шумов 2УС194, двухтактный усилитель К1УС771, выходной усилитель задержки блока цветности 2УС2410, входной усилитель блока задержки К2УС2412, матрица RGB канала цветности К2УС2411 и ряд других.

Глава третья

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ МИКРОСХЕМ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ

3-1. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛОГОВЫХ УСТРОЙСТВ НА МИКРОСХЕМАХ

Использование выпускаемых промышленностью микросхем широкого применения для создания аналоговых радиоэлектронных устройств требует учета целого ряда особенностей, связанных с реали-

зованными в микросхемах решениями, с номенклатурой микросхем и их параметрами, с конструкторско-технологическим уровнем производства.

Интегральные микросхемы позволяют на более высоком уровне использовать функционально-узловой метод проектирования. Этот метод основан на широком применении при разработке аппаратуры типовых функциональных узлов, в качестве которых могут выступать как отдельные микросхемы, так и несколько микросхем, выполняющих определенное преобразование сигнала. Это позволяет создавать более сложные и надежные устройства.

Как показано в гл. 2, аналоговые микросхемы выпускают как правило, функционально-незавершенными. Это обусловлено большим разнообразием схем аналоговых устройств, необходимостью использования микросхем на различных частотах, с различными видами нагрузки, а также отсутствием в микросхемах конденсаторов и катушек больших номиналов. Для удовлетворения высоких требований по селективности, подавлению различных побочных излучений радио- и телевизионных устройств в УВЧ, УПЧ и преобразователях используются внешние катушки и конденсаторы. Применяются также пьезокерамические и кварцевые фильтры. Перспективными являются методы создания избирательных цепей на основе элементов R и C в сочетании с усилителями (активные RC -фильтры). Опубликованы результаты разработки микросхемы гиратора, позволяющего создавать искусственные индуктивности от 1 мГ до 100 Г с добротностью от 30 до 500.

С другой стороны, при создании единичных образцов аппаратуры на функционально-незавершенных микросхемах радиолюбитель имеет возможность наиболее эффективно использовать микросхемы в конкретном варианте их включения путем тщательного подбора внешних элементов. При построении трактов аналоговых устройств на нескольких микросхемах возникает задача согласования различных микросхем между собой и с другими компонентами (трансформаторами, фильтрами, контурами). Для облегчения решения задачи согласования желательно применять микросхемы одной серии.

Применение микросхем часто вызывает изменение установившихся принципов построения трактов аналоговой аппаратуры. Например, вместо каскадного использования селективных компонентов наиболее часто применяется фильтрация сигнала после нескольких каскадов широкополосного усиления.

Важную роль при создании аппаратуры на микросхемах играют вторичные источники питания. Появление специальных микросхем (см. гл. 2) позволило осуществлять стабилизацию напряжения питания отдельных каскадов. Одновременно такие микросхемы обеспечивают фильтрацию напряжения и развязку каскадов по цепям питания, что обычно проводилось с помощью дросселей, резисторов и конденсаторов большой емкости.

При использовании микросхем более тесно, чем при конструировании аппаратуры на транзисторах, должны решаться схемотехнические и конструкторско-технологические вопросы. Это относится к расположению микросхем и радиокомпонентов на печатной плате, мерам по исключению самовозбуждения, уменьшению паводков, отводу тепла и ряду других вопросов, которые рассмотрены в гл. 6.

Новые возможности для радиолюбителей открывает применение интегральных микросхем операционных усилителей. В сочетании с внешними компонентами операционные усилители позволяют реали-

зовать большое количество функций по преобразованию сигналов, встречающихся в аналоговых устройствах. Это быстро развивающееся и принципиально новое направление создания радиолюбительской аппаратуры.

Применение интегральных микросхем позволяет реализовать ряд принципиально новых, более сложных схемных решений. Например, при использовании амплитудной модуляции в настоящее время нельзя получить отличное качество приема музыкальных передач, особенно в КВ диапазоне. По этой причине в настоящее время получает широкое распространение ЧМ вещание в УКВ диапазоне. Применяя когерентный детектор в сочетании с системами АРУ и автоматической подстройки частоты, можно получить значительно лучшее отношение сигнал/шум, хорошее качество приема при больших замираниях сигнала, лучшую многосигнальную избирательность. Однако внедрение этой системы сдерживается ее сложностью. Применение интегральных микросхем в массовой аппаратуре может существенно повысить качество радиоприема в КВ диапазоне.

Главным преимуществом интегральной технологии является возможность изготовления большого количества идентичных по параметрам транзисторов и резисторов, причем стоимость этих элементов мало зависит от их количества в микросхеме. Поэтому если раньше разработчики старались использовать в устройствах минимальное количество компонентов, особенно активных (ламп, транзисторов), то при конструировании аппаратуры на микросхемах возник совершенно новый подход, который заключается в использовании микросхем с возможно большей степенью интеграции, если даже это приводит к более сложным схемотехническим решениям. При таком подходе существенно повышается надежность аппаратуры, ее эксплуатационные удобства, уменьшаются масса и габариты.

Применение интегральных микросхем с повышенным уровнем интеграции позволяет осуществлять самые сложные технические решения и иметь при этом максимально достижимые параметры радиоаппаратуры в прежних габаритах. Например, разрабатываются четырехканальные радиоприемники, магнитофоны и проигрыватели, которые позволяют передавать глубину объемного звучания.

Другим примером преимуществ применения микросхем является возможность создания любительского переносного радиоприемника с параметрами, которые раньше достигались только в профессиональных радиоприемниках. Такой радиоприемник должен иметь практически все радиовещательные и радиолубительские диапазоны, кроме станций с амплитудной и частотной модуляцией, обеспечивать прием радиостанций, работающих на одной боковой полосе, а также в режиме частотного или амплитудного телеграфирования. Иметь такой малогабаритный радиоприемник — мечта многих радиолубителей.

Некоторые возможности применения отечественных микросхем для создания радиоприемников, магнитофонов и телевизоров показаны далее. Ознакомление с приведенными примерами поможет радиолубителям учесть опыт других разработчиков при создании собственных конструкций.

3-2. РАДИОПРИЕМНАЯ АППАРАТУРА

Построение прямоусилительных трактов

В трактах и узлах прямоусилительной аппаратуры используются несколько принципов построения усилителей: в узлах, выполненных на гибридных микросхемах, широко применяются простейшие варианты схем на одном транзисторе, в полупроводниковых микросхемах — более сложные каскодные и балансные схемы; часто используются комбинации различных типов схем.

Рассмотрим примеры построения трактов промежуточной частоты на микросхемах. Типичными примерами трактов, построенных на простейших схемах усилителей, являются УПЧ, выполненные на микросхемах серий К224 и К237.

Усилитель промежуточной частоты радиоприемника с амплитудным детектором и системой АРУ может быть выполнен на четырех микросхемах серии К224. Принципиальная схема тракта приведена на рис. 3-1. Сигнал усиливается тремя каскадами на транзисторах $1T_1$ — $3T_1$ (микросхемы К2УС242). Все транзисторы микросхем включены по схеме ОЭ. Первые два каскада усилителя аperiodические, нагрузкой третьего каскада является контур C_1L_1 , настроенный на промежуточную частоту 465 кГц. Для расширения полосы пропускания контур шунтирован резистором R_5 .

Амплитудные детекторы сигнала и АРУ, а также усилитель постоянного тока системы АРУ выполнены на микросхеме К2ЖА243. Элементы фильтров микросхемы используются для развязки коллекторных и базовых цепей транзисторов через источник питания. С помощью системы АРУ изменяется коэффициент усиления первого каскада. Для этого напряжение АРУ с вывода 8 микросхемы К2ЖА243 подается через резистор R_2 и вывод 2 и резистор $1R_1$ на базу транзистора первого каскада. Начальный ток этого транзистора (при отсутствии сигнала) устанавливается подбором сопротивления резистора R_2 . Цепи баз остальных транзисторов питаются от стабилизатора, выполненного на стабилитронах D_1 и D_2 типа 7ГЕ2АС. От одного из стабилизаторов осуществляется питание коллекторной цепи усилителя постоянного тока системы АРУ (транзистор $4T_2$ микросхемы К2ЖА243). Напряжение АРУ может регулироваться подбором сопротивления резистора R_6 .

Основные электрические параметры тракта следующие: общий коэффициент усиления 1000, выходное напряжение не менее 10 мВ при коэффициенте нелинейных искажений не более 2%. При изменении напряжения сигнала на входе от 100 до 10 000 мкВ выходное напряжение в результате действия системы АРУ изменяется не более чем на 1 дБ. Тракт может работать при уровне входного сигнала до 100 мВ. Потребляемый ток при напряжении питания 6 В составляет 5 мА. Напряжение питания может быть повышено до 9 В и снижено до 3,6 В, причем коэффициент усиления тракта остается практически неизменным, что обуславливает постоянную громкость звучания радиоприемника с таким трактом при значительных изменениях входного сигнала и напряжения источника питания.

Усилитель промежуточной частоты, аналогичный по параметрам, принципу построения и назначению, может быть выполнен на одной микросхеме серий К237. Этот усилитель рассмотрен в § 2-4.

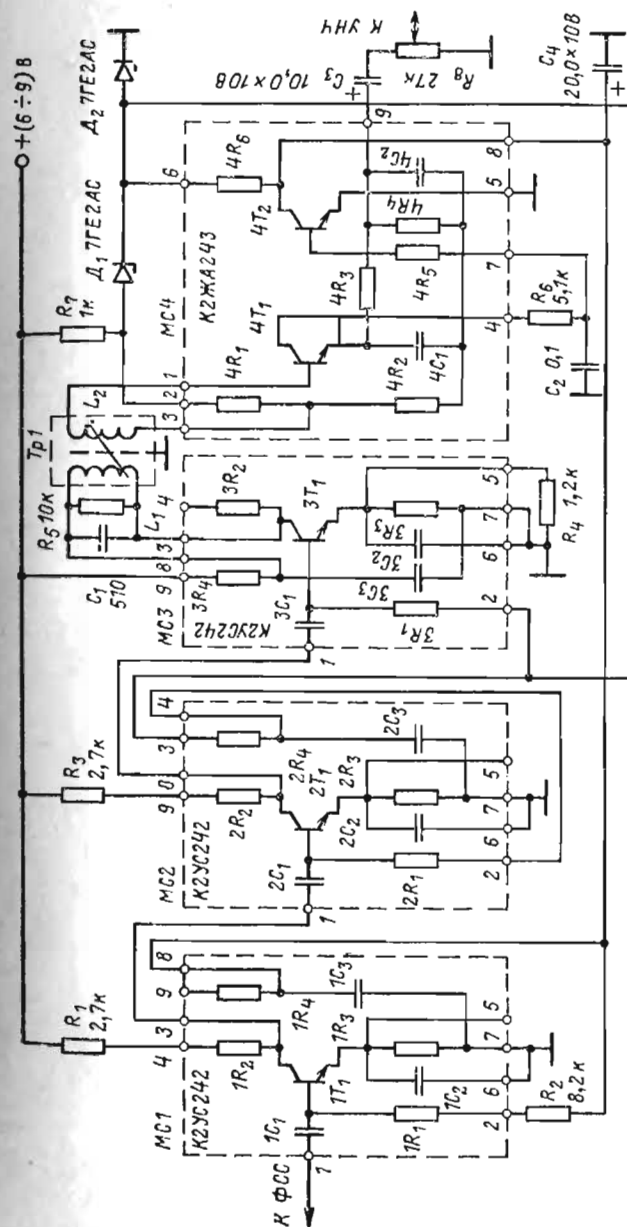


Рис. 3-1. Принципиальная схема УПЧ на микросхемах серии К224.

Каскодная схема, хорошо знакомая радиолюбителям по многим устройствам на дискретных компонентах, выполняется и в микросхемных вариантах. Например, микросхема К1УС222 имеет в своем составе три транзистора, два из которых образуют каскодный усилитель типа ОЭ—ОБ. Третий транзистор служит для создания необходимого режима работы транзисторов по постоянному току.

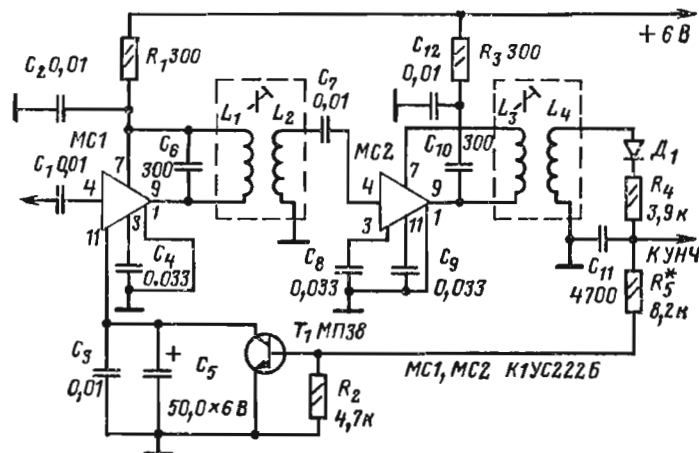


Рис. 3-2. Принципиальная схема УПЧ на двух микросхемах К1УС222Б.

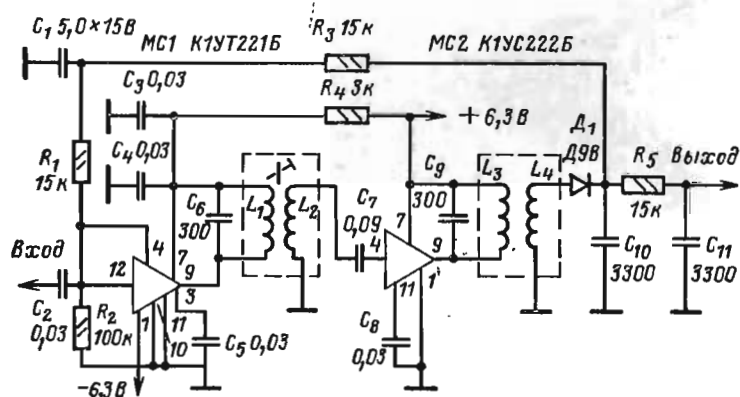


Рис. 3-3. Принципиальная схема УПЧ на микросхемах серии К122.

Принципиальная схема тракта промежуточной частоты радиовещательного приемника приведена на рис. 3-2. Усилитель промежуточной частоты 465 кГц выполнен на двух интегральных микросхемах К1УС222Б, усилитель системы АРУ — на биполярном транзисторе МП38. Для хорошей избирательности тракта в нагрузки УПЧ

введены избирательные контуры, а для увеличения коэффициента передачи выбрана индуктивная связь, что обеспечивает оптимальное согласование входных и выходных сопротивлений каскадов. Амплитудный детектор выполнен на диоде Д1 по схеме с разделенной нагрузкой.

Тракт имеет следующие электрические параметры: чувствительность 10 мкВ (при отношении сигнал/шум 20 дБ); полоса пропускания на уровне 6 дБ 15 кГц; система АРУ обеспечивает изменение выходного сигнала не более 6 дБ при изменении входного сигнала на 46 дБ.

Каскодная схема с токовым разветвителем может быть построена на основе балансного усилителя, нашедшего широкое распространение в интегральных микросхемах. Такой усилитель может быть выполнен, например, на микросхеме 1УТ221.

Принципиальная схема УПЧ на микросхемах К1УТ221Б и К1УС222Б приведена на рис. 3-3. При использовании микросхемы К1УТ221 в качестве каскодного усилителя с токовым разветвителем начальный режим по постоянному току транзисторов дифференциального усилителя выбирается таким, чтобы один из транзисторов находился в режиме отсечки, а второй — в активной области. Входной сигнал подают на базу токостабилизирующего транзистора через вывод 12 микросхемы. Нагрузка включается в коллекторную цепь транзистора (вывод 9 микросхемы). Второй каскад усилителя выполнен по обычной каскодной схеме на микросхеме К1УС222Б. Обычно используется резонансная нагрузка в каскадах, связь между каскадами усилителя, а также с амплитудным детектором — индуктивная.

Система АРУ работает следующим образом. Постоянная составляющая тока детектора через резисторы R3 и R1 подается на базу закрытого транзистора дифференциального каскада. По мере роста входного сигнала возрастает постоянная составляющая тока детектора и транзистор постепенно открывается. Это приводит к перераспределению постоянной и переменной составляющих тока между транзисторами дифференциального каскада. Соответственно изменяется коэффициент передачи первого каскада УПЧ.

Тракт имеет чувствительность 15 мкВ (при отношении сигнал/шум 20 дБ), полосу пропускания на уровне 3 дБ 15 кГц. Система АРУ обеспечивает изменение выходного сигнала на 6 дБ при изменении входного на 60 дБ.

Конструктивные данные и налаживание усилителя на микросхемах К2УС242 приведены в [9], на микросхемах серии К122 — в [25].

Микросхемы в переносных радиоприемниках

Радиоприемник III класса «Урал-301» рассчитан на прием радиовещательных станций с амплитудной модуляцией в диапазонах ДВ, СВ, КВ и станций с частотной модуляцией в диапазоне УКВ. Прием ведется на внутреннюю магнитную антенну, а в диапазонах КВ и УКВ — на телескопическую. Реальная чувствительность при выходной мощности 500 мВт в диапазоне ДВ — 2,5 мВ/м; в диапазоне СВ — 1,5 мВ/м; в диапазонах КВ — 0,5 мВ и в диапазоне УКВ — 0,1 мВ. Максимальная выходная мощность 0,5 Вт. Полоса пропускания тракта АМ сигналов 315—3550 Гц, тракта ЧМ сигнала

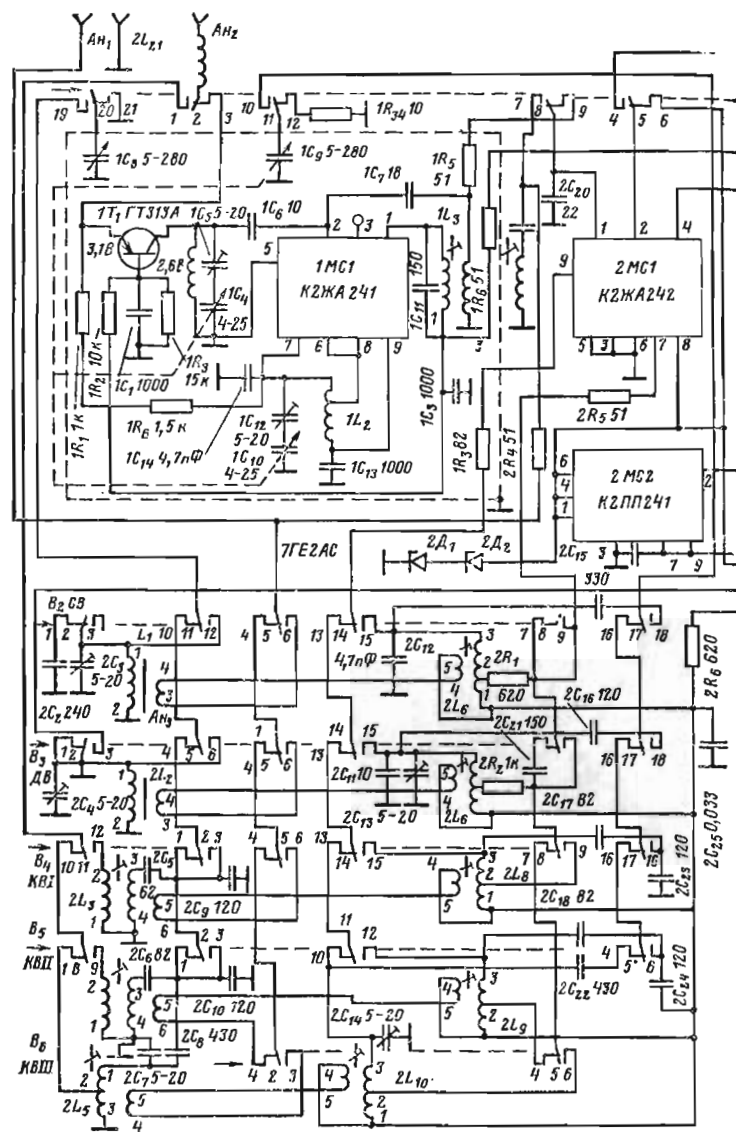
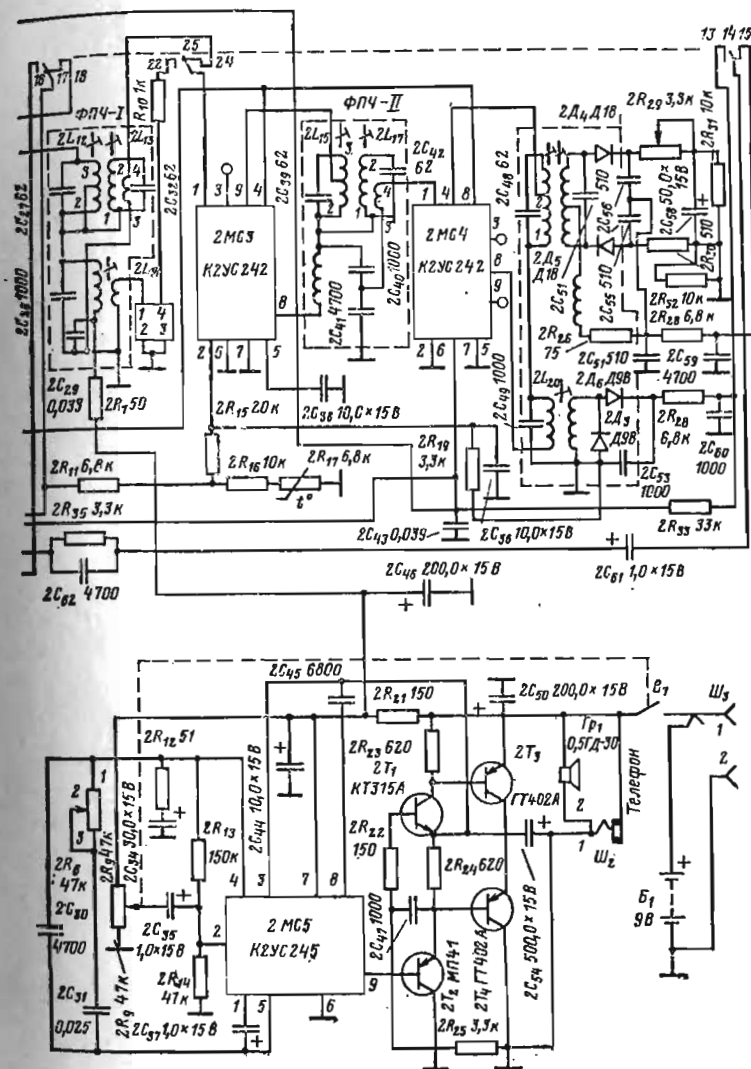


Рис. 3-4. Принципиальная схема радиоприемника



«Урал-301» на микросхемах серии К224.

лов 315—7000 Гц при неравномерности частотной характеристики 14 дБ. Питается приемник от шести элементов 343 или двух батарей 3336Л. Работоспособность приемника сохраняется при снижении напряжения питания до 4 В. Габариты радиоприемника 220×210×66 мм, масса 2 кг.

Принципиальная схема радиоприемника «Урал-301» приведена на рис. 3-4. Радиоприемник выполнен на микросхемах серии К224 и состоит из двух блоков: УКВ и КСДВ—ПЧ—УНЧ. УКВ блок представляет собой самостоятельный узел. На транзисторе 1Т₁ выполнен УВЧ, на микросхеме 1МС1 — преобразователь частоты. Для уменьшения ухода частоты при изменениях входного сигнала преобразователь частоты собран по схеме с отдельным гетеродином. Напряжение гетеродина поступает на смеситель с витка связи, выполненного печатным способом на монтажной плате УКВ блока. Все каскады блока питаются от электронного стабилизатора напряжения, собранного на микросхеме 2МС1.

Блок КСДВ — ПЧ — УНЧ состоит из высокочастотной части тракта АМ сигналов с клавишным переключателем диапазонов, контурными катушками и другими элементами схемы, УПЧ, детекторов АМ и ЧМ сигналов, стабилизатора напряжения и УНЧ. Высокочастотная часть приемника выполнена на микросхеме 2МС1. Первый транзистор микросхемы используется в тракте АМ сигналов как смеситель, а в тракте ЧМ сигналов как УПЧ. Таким образом, тракт АМ сигналов не имеет УВЧ. Второй транзистор микросхемы работает в схеме гетеродина тракта АМ сигналов. Напряжение гетеродина подается на базу первого транзистора микросхемы (смесителя) через катушки связи входных контуров.

Усилитель промежуточной частоты выполнен на микросхемах 2МС3 и 2МС4. При приеме ЧМ сигналов используются двухконтурные полосовые фильтры с индуктивной связью, а при приеме АМ сигналов — пьезокерамический фильтр ПФП-2 и одиночные контуры, причем для АМ и ЧМ сигналов используются одни и те же микросхемы. ЧМ сигнал детектируется симметричным дробным детектором, выполненным на диодах 2Д₄ и 2Д₅, а АМ сигнал — одним детектором, работающим по схеме удвоения напряжения на диодах 2Д₃, 2Д₆ типа Д9В.

При работе в диапазонах ДВ, СВ и КВ используется АРУ, причем она осуществляется изменением напряжения смещения на базе смесителя (первый транзистор микросхемы 2МС1). Напряжение смещения подается с эмиттера транзистора микросхемы 2МС3 (первый каскад УПЧ тракта АМ сигналов), который в свою очередь управляется постоянной составляющей напряжения детектора, подаваемой с фильтра 2R₁₉, 2C₃₆ на базу этого транзистора.

Для повышения стабильности работы приемника используется стабилизатор напряжения (микросхема 2МС2). С вывода 9 микросхемы стабилизированное напряжение — 3,5 В в режиме ЧМ подается на блок УКВ (через контакты 17, 18 клавишного переключателя), а также через резисторы 2R₁₁, 2R₁₅ в базовую цепь транзистора второго каскада УПЧ ЧМ (2МС3). Для поддержания постоянства этого напряжения при изменении температуры окружающей среды служит терморезистор 2R₁₇. С помощью стабилитронов 2Д₁ и 2Д₂ стабилизируется напряжение смещения базовых цепей первого каскада УПЧ ЧМ (первый транзистор микросхемы 2МС1) и третьего каскада УПЧ АМ (2МС4). В режиме АМ аналогичным способом стабилизируются напряжения питания гетеродина (второй транзистор микро-

схемы 2МС1), цепи базы транзисторов первого каскада (2МС3) и второго каскада УПЧ АМ (2МС4).

Предварительное усиление низкой частоты осуществляется микросхемой 2МС5, содержащей пять транзисторов, включенных по схеме с непосредственной связью. Первый каскад усилителя собран по схеме эмиттерного повторителя, обеспечивающей высокое входное сопротивление. С выхода микросхемы сигнал поступает на фазоинверторный каскад, выполненный на транзисторах 2Т₁ и 2Т₂. Выходной каскад собран по двухтактной схеме на транзисторах 2Т₃ и 2Т₄.

Усилитель нагружен на динамический громкоговоритель типа 0,5 ГД-30 с полным сопротивлением звуковой катушки 10 Ом. Усилитель охвачен обратной связью по постоянному и переменному токам. Напряжение отрицательной обратной связи снимается с выходного каскада и подается на выводы 3 и 8 микросхемы 2МС5.

Переменный резистор 2R₉ изменяет громкость звучания радиоприемника, резистор 2R₈ — полосу воспроизводимых частот.

Конструктивные особенности радиоприемника, а также точные данные контурных катушек приведены в [24].

Спортивный радиоприемник для «охоты на лис»

Радиоприемник для «охоты на лис» должен иметь высокую чувствительность и избирательность, большой динамический диапазон, хорошую точность пеленгации, высокую надежность в условиях тряски и толчков, быть экономичным в питании, удобным в обращении, иметь малые габариты и массу. Кроме того, обычно радиоприемник оснащается рядом дополнительных устройств, позволяющих оценивать расстояние и повышающих точность пеленгации «лисы» в ближней зоне.

Радиоприемник состоит из антенны направленного действия, УВЧ, смесителя, первого и второго гетеродинов, УПЧ, детектора, УНЧ и дополнительных устройств: обострителя, порогового индикатора, тон-генератора, используемых при поиске «лисы» в ближней зоне и тон-генератора с управляемой частотой.

Принципиальная схема радиоприемника приведена на рис. 3-5. В приемнике используется рамочная антенна, витки которой помещены в алюминиевую трубку. Контур антенны с помощью конденсатора С₂ настраивается на среднюю частоту диапазона 3,55 МГц. Для получения диаграммы направленности антенны в виде «кардиоиды» к контуру рамочной антенны с помощью переключателя П₁ подключается штыревая антенна. Входной сигнал снимается с катушки связи и подается на УВЧ.

Усилитель высокой частоты собран на микросхеме МС1, которая нагружается на двухконтурный полосовой фильтр. Фильтр имеет полосу пропускания 300 кГц, которая достигается расстройкой контуров L₄C₅ и L₅C₇ относительно средней частоты диапазона, а также их шунтированием резисторами R₃, R₄. Усиленный сигнал высокой частоты снимается с катушки L₆ и подается на смеситель.

Смеситель собран на микросхеме МС2. Нагрузкой смесителя является резонансный контур L₇C₈. Сюда же поступает напряжение с первого гетеродина, снимаемое с катушки L₁₅.

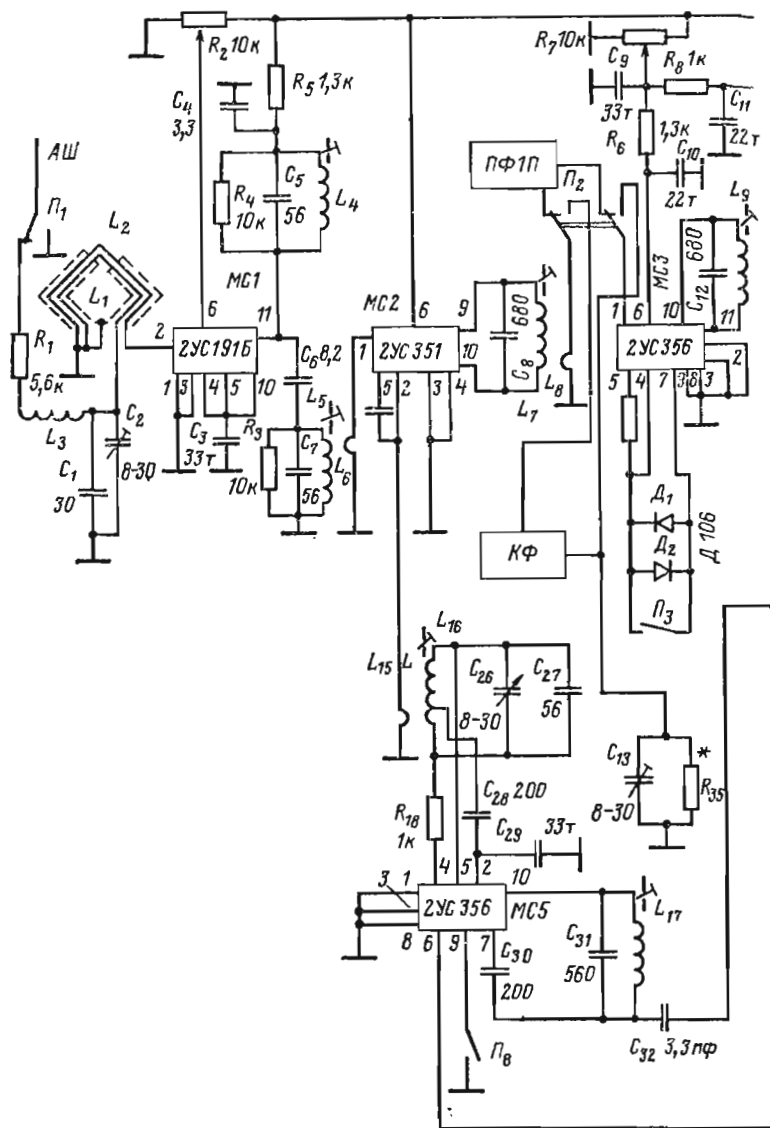
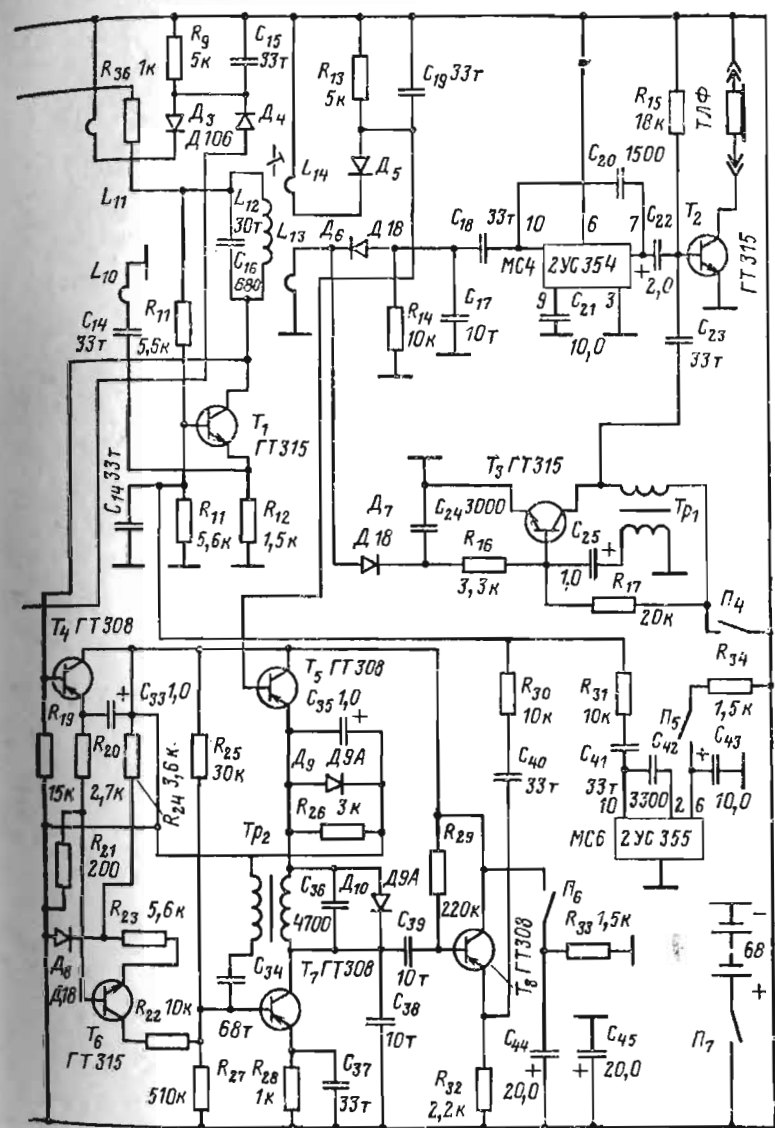


Рис. 3-5. Принципиальная схема спортивного радиоприемника на



3,5 МГц на интегральных микросхемах.

Первый гетеродин приемника выполнен на микросхеме $MC5$ по схеме с индуктивной обратной связью. Контур гетеродина $L_{16} C_{26} C_{27}$ перестраивается в заданном диапазоне с помощью переменного конденсатора C_{26} . На втором транзисторе этой же микросхемы собран второй гетеродин радиоприемника по схеме с емкостной обратной связью. Контур второго гетеродина $L_{17} C_{31}$ настроен на частоту 466 кГц. Напряжение второго гетеродина подается на последний каскад УПЧ и далее на амплитудный детектор. При приеме радиотелеграфных посылок передатчика на нагрузке детектора выделяются посылки частотой 1 кГц, которые усиливаются УНЧ и прослушиваются в телефонах.

При работе приемника с другими генераторами второй гетеродин отключается переключателем $П_8$.

Усилитель промежуточной частоты выполнен на микросхеме $MC3$. Приемник имеет две полосы пропускания: 7,5 кГц при подключении пьезокерамического фильтра ПФП и 1,5 кГц при подключении кварцевого фильтра КФ. Усиленный сигнал промежуточной частоты снимается с катушки связи L_{10} и поступает на оконечный каскад УПЧ, собранный на транзисторе T_1 по схеме ОБ. Нагрузкой оконечного каскада УПЧ служит контур $L_{12} C_{16}$. Напряжение, усиленное оконечным каскадом УПЧ, снимается с катушки связи и поступает на амплитудный детектор, собранный на диоде D_6 по обычной схеме.

Предварительный каскад УНЧ собран на микросхеме $MC4$, оконечный — на транзисторе T_2 . Нагрузкой усилителя являются низкоомные телефоны. Усиление тракта УПЧ регулируется переменным резистором R_7 путем изменения напряжения питания на микросхеме $MC3$. При поиске «лисы» в ближней зоне переключателем $П_3$ включается обостритель диаграммы направленности, собранный на диодах D_1, D_2 .

Генератор тональной частоты выполнен на микросхеме $MC6$ и предназначен для тональной модуляции амплитудно-манипулированного сигнала при ближнем поиске, когда пеленгация «лисы» с помощью второго гетеродина затруднена. Детектор на диоде D_7 служит для подачи управляющего напряжения смещения на специальный генератор, являющийся пороговым индикатором уровня сигнала. При напряжении 0,3 В генератор начинает генерировать импульсы с частотой 5–20 Гц, поступающие на базу транзистора оконечного каскада УНЧ и прослушиваемые оператором. Проградуировав положение ручек усиления радиоприемника в определенном масштабе, можно с помощью индикатора оценить уровни приходящего сигнала и примерную дальность до «лисы».

Тон-модулятор с изменяемой частотой выполняет несколько функций: дает возможность хорошо различать на слух уровни сигнала «лисы» при пеленговании, может «обострять» максимумы и минимумы диаграммы направленности антенны за счет изменения частоты модуляции, расширяет динамический диапазон приемника.

При отсутствии сигнала напряжение на базах транзисторов T_4, T_5 равно нулю, на транзистор T_7 подано только напряжение +1,4 В. Каскад работает как блокинг-генератор. Появление слабой несущей будет отмечено как свист. При увеличении амплитуды сигнала на диоде D_5 более 0,5 В диод открывается, на коллектор T_7 подается растущее напряжение, что приводит к увеличению амплитуды и снижению частоты повторения импульсов. В этом режиме наиболее заметны изменения входного напряжения сигнала, что позволяет использовать его для «обострения» диаграммы направленности. При

увеличении входного напряжения свыше 5 В открывается диод D_3 и через транзистор T_4 начинает закрываться транзистор T_6 . При этом возрастает постоянная времени разряда конденсатора C_{34} в цепи базы транзистора T_7 и частота следования импульсов уменьшается. В результате этого расширяется динамический диапазон приемника.

Основные электрические параметры радиоприемника следующие: диапазон частот 3,4–3,7 МГц, чувствительность 3–4 мкВ/м, промежуточная частота 465 кГц, динамический диапазон не менее 60 дБ, глубина регулировки усиления не менее 100 дБ, напряжение питания 6 В, потребляемый ток 18 мА, масса приемника 0,75 кг.

Применение микросхем позволило значительно повысить надежность работы приемника. При равных габаритных размерах с приемниками подобного класса на дискретных транзисторах в схему данного приемника удалось ввести три дополнительных устройства, существенно облегчающих поиск «лисы» в сложных условиях.

Радиоприемник разработан мастерами спорта СССР В. П. Михайловым и А. А. Мельниковым.

3.3. МИКРОСХЕМЫ В ПОРТАТИВНЫХ МАГНИТОФОНАХ

Магнитофоны обычно имеют в своем составе усилители записи и воспроизведения, усилитель низкой частоты, генератор тока стирания и подмагничивания, стабилизатор напряжения и другие устройства. Основные тракты магнитофона могут выполняться на специально разработанных для этой цели микросхемах серии К237. Их можно выполнить также на операционных усилителях.

Рассмотрим принцип построения тракта предварительного усилителя воспроизведения на операционных усилителях К1УТ401. Уси-

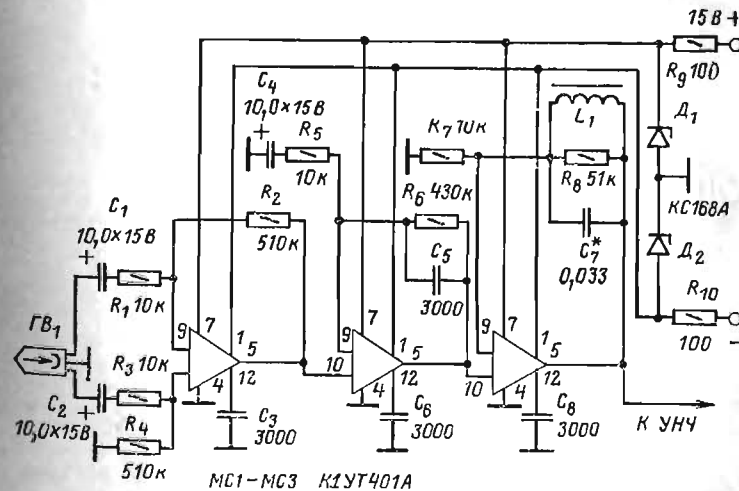


Рис. 3-6. Принципиальная схема предварительного усилителя воспроизведения магнитофона на операционных усилителях К1УТ401.

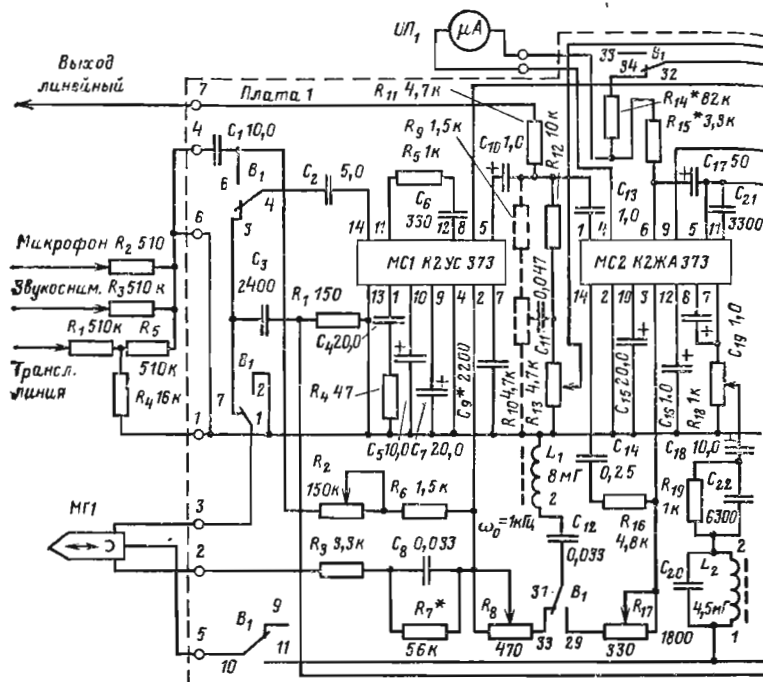
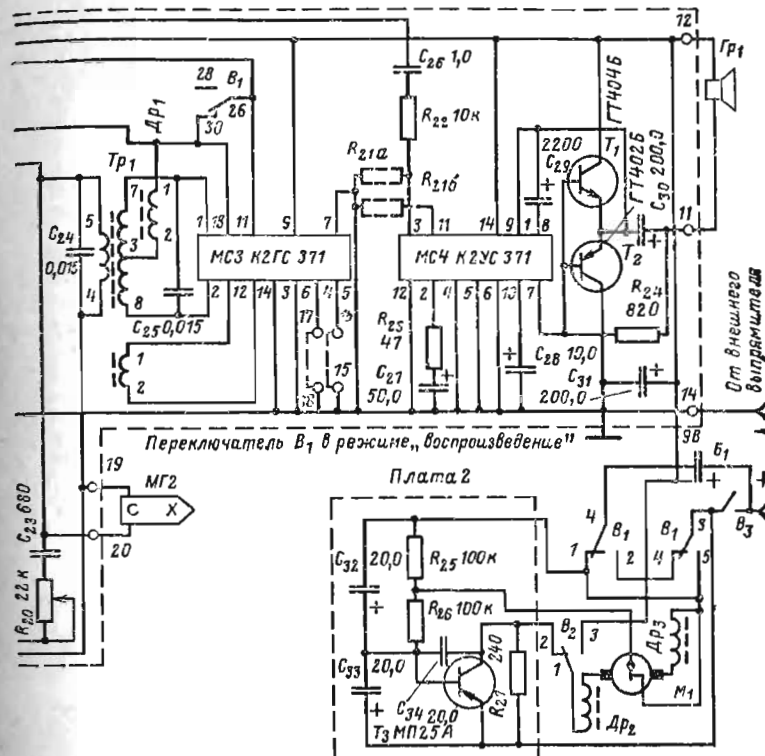


Рис. 3-7. Принципиальная схема магнитофона

литель выполнен на трех микросхемах и рассчитан на магнитофон с раздельными каналами записи-воспроизведения.

Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 3-6. Первый каскад представляет собой дифференциальный усилитель, определяющий основное усиление тракта. Второй каскад корректирует частотную характеристику усилителя в области низших звуковых частот. Подъем характеристики в этой области определяется элементами C_6 , R_5 , R_6 . Номиналы элементов, указанные на схеме, позволяют получить стандартную частотную характеристику на скорости 19,06 см/с; чтобы характеристика была такой же на скорости 9,53 см/с, емкость конденсатора C_6 должна быть равна 5100 пФ, сопротивление резистора $R_6 = 560$ кОм, а на скорости 4,76 см/с — $C_6 = 8200$ пФ, $R_6 = 560$ кОм. Коэффициент усиления этого каскада по постоянному току выбирается равным единице. Третий каскад усилителя корректирует частотную характеристику в области низших звуковых частот. На скорости 19,06 см/с частотная характеристика имеет подъем на частоте 12,8 кГц, на скорости 9,53 см/с — на



на микросхемах серии К237.

частоте 10 кГц и на скорости 4,76 см/с — на частоте 5 кГц. Подъем определяется отношением сопротивлений резисторов R_5/R_7 , а частота — контуром L_1C_1 . Конденсатор C_8 предотвращает самовозбуждение каскада на микросхеме MC3 в области ультразвуковых частот.

Усилитель может питаться от выпрямителя на напряжение 15—20 В. Поскольку средняя точка стабилитронов D_1 , D_2 заземлена, выпрямитель и обмотка силового трансформатора не должны иметь соединения с корпусом.

Диапазон рабочих частот усилителя 20—25 000 Гц, коэффициент усиления при использовании низкоомной головки от магнитофона «Романтик-3» 100—150, коэффициент нелинейных искажений 0,2%, подавление синфазных помех 70 дБ.

Конструкция, изготовление и наладка тракта приведены в [17]. Возможности применения микросхем в магнитофонах проиллюстрируем на примере портативного кассетного магнитофона. Он рассчитан на запись и воспроизведение речевых и музыкальных программ. Предусмотрена запись с микрофона, от звукоснимателя или

с трансляционной линии. Скорость движения ленты 4,76 см/с, коэффициент детонации не более 0,6%. Запись производится по двум дорожкам на кассеты типа С-60 (ширина ленты 3,81 мм, толщина 18 мкм, длина 90 м). Длительность звучания 2×30 мин. Частотный диапазон канала запись-воспроизведение 60—6300 Гц при неравномерности частотной характеристики не более 6 дБ, относительный уровень шума не хуже —42 дБ. Выходная мощность 0,3 В·А при коэффициенте нелинейных искажений 5%. В магнитофоне есть линейный выход, на котором обеспечивается напряжение 300 мВ при коэффициенте нелинейных искажений 0,7%. Питается магнитофон от шести элементов 343 или от сети через стабилизированный выпрямитель напряжением 9 В.

Принципиальная схема магнитофона представлена на рис. 3-7. Она состоит из универсального усилителя записи и воспроизведения на $MC1$, оконечного усилителя записи и выпрямителя для индикатора на $MC2$, генератора тока стирания и подмагничивания и стабилизатора напряжения на $MC3$. УНЧ — на $MC4$ и двух транзисторах T_1 и T_2 . Работа основных трактов подробно рассмотрена в § 2-4.

В режиме «Воспроизведение» сигнал снимается с универсальной головки $MG1$ и через переключатель B_1 и конденсатор C_2 подается на вход 14 микросхемы $MC1$, усиливается шестикаскадным усилителем и с выхода 5 через конденсатор C_{10} , резисторы R_{12} , R_{13} и цепочку $C_{26}R_{22}$ попадает на вход 3 микросхемы $MC4$ предварительно-го УНЧ, а затем — на оконечный каскад на транзисторах T_1 и T_2 .

Оптимальная амплитудно-частотная характеристика усилителя воспроизведения задается цепочками R_5C_5 , R_4C_4 , $R_3R_7C_8R_8$, $C_{12}L_1$. При этом подъем низких частот достигает 22 дБ, верхних — 15 дБ. Подъем высоких частот устанавливается резистором R_8 , регулировка тембра звучания — переменным резистором R_{10} . Регулировка громкости воспроизведения осуществляется переменным резистором R_{13} . Коррекция частотной характеристики УНЧ осуществляется цепочками $C_{25}R_{22}$, $C_{27}R_{23}$.

В режиме «Запись» сигнал поступает через один из входов магнитофона и далее через конденсатор C_1 , переключатель B_1 , конденсатор C_2 на вывод 14 микросхемы $MC1$, на которой выполнен предварительный усилитель записи. Затем сигнал через конденсаторы C_{10} и C_{13} подается на оконечный усилитель записи на $MC2$. Усиленный сигнал с выхода 7 микросхемы поступает через цепочку $R_{18}C_{18}$, $R_{16}C_{22}$, L_2C_{20} на записывающую головку $MG1$. Одновременно на эту же головку подается ток подмагничивания с выводов 4 и 5 трансформатора Tr_1 генератора подмагничивания и стирания. (Магнитная головка стирания $MG2$ подключена параллельно к этим же выводам трансформатора). Установка тока записи производится переменным резистором R_{18} , уровня записи — резистором R_2 . Ток подмагничивания регулируется резистором R_{20} . Подъем уровня низких частот осуществляется цепочкой $C_{14}R_{16}$ и может изменяться на 6 дБ переменным резистором R_{17} , подъем уровня высоких частот — цепочкой L_1C_{12} .

Стабилизатор скорости вращения двигателя представляет собой ключ на транзисторе T_3 , регулирующий ток, протекающий через обмотки электродвигателя M_1 , в зависимости от положения контактов центробежного регулятора. Для уменьшения уровня помех от двигателя использованы дроссели Dr_2 , Dr_3 и конденсаторы C_{32} , C_{33} и C_{34} . Индикатор $ИП_1$ в режиме записи показывает уровень сигнала, в режиме воспроизведения — напряжение питания.

3-4. ТЕЛЕВИЗОРЫ

Тракты цветных телевизоров

На интегральных микросхемах могут быть выполнены все тракты черно-белых и цветных телевизоров. Рассмотрим основные из них.

Тракт изображения цветного телевизора может быть выполнен на трех микросхемах серии К224 и пяти транзисторах. Он содержит УПЧИ, видеодетектор, детектор разностной частоты звука, АРУ и яркостный канал (без оконечного мощного каскада).

Принципиальная схема тракта приведена на рис. 3-8. На входе УПЧИ включен фильтр сосредоточенной селекции, формирующий амплитудно-частотную и фазовую характеристики, а также создающий необходимую селективность по соседним каналам. УПЧИ содержит три каскада: первый выполнен на транзисторе T_1 и обеспечивает регулирование коэффициента усиления тракта; второй и третий каскады выполнены на микросхемах по схемам каскодных усилителей. Напряжение, снимаемое с делителя R_2 , R_5 , R_6 на базу транзистора T_1 , подбирается таким, чтобы ток эмиттера этого транзистора был равен 3—4 мА. При этом усиление УПЧИ максимально. Если сигнал на входе телевизора по какой-то причине превышает некоторый уровень, то из-за действия АРУ напряжение между базой и эмиттером транзистора T_1 увеличится. Это повлечет за собой возрастание тока эмиттера транзистора и как следствие уменьшение усиления УПЧИ. Нагрузкой последнего каскада УПЧИ является полосовой фильтр L_3C_{20} , L_8C_{28} . УПЧИ работает на два детектора. Первый, выполненный на диоде D_3 , выделяет сигнал разностной частоты 6,5 МГц звукового сопровождения, а второй, на диоде D_4 — сигналы яркости и цветности. Для подавления сигнала несущей частоты звука 31,5 МГц параллельно входу видеосигнала подключен режекторный контур $C_{26}L_9C_{27}$.

Предварительный видеосушитель яркостного канала выполнен на микросхеме $MC3$ и транзисторах T_4 , T_5 . С микросхемы видеосигнал поступает на блок цветности и на систему АРУ. Нагрузкой микросхемы служит линия задержки $L3$ на 0,7 мкс. До и после линии задержки включены режекторные контуры $C_{35}L_{11}$ и $C_{38}L_{12}$, настроенные соответственно на частоты 4,7 и 4,0 МГц. Они ослабляют сигналы цветности поднесущих частот, которые для яркостного канала являются помехами. Такая режекция приводит к потере четкости изображения, поэтому предусмотрена возможность автоматического выключения режекторных контуров при приеме черно-белого изображения. Это осуществляется при помощи ключевого каскада на транзисторе T_4 . На его базу поступает открывающее или закрывающее напряжение с блока цветности. В результате при открытом транзисторе режекторные контуры оказываются подключенными к $L3$ через малое сопротивление насыщенного транзистора и ослабляют сигналы соответствующих частот. Если же транзистор закрыт, то контуры отключены и ослабления сигналов не происходит.

Задержанный видеосигнал через эмиттерный повторитель на транзисторе T_5 и регулятор контрастности поступает на блок формирования сигналов красного, синего и зеленого цветов. В цепь базы этого транзистора включен режекторный фильтр $L_{10}C_{37}$, настроенный на резонансную частоту звука 6,5 МГц.

Система АРУ состоит из ключевого каскада на транзисторе T_3 и усилителя постоянного тока на транзисторе T_2 . Видеосигнал отрица-

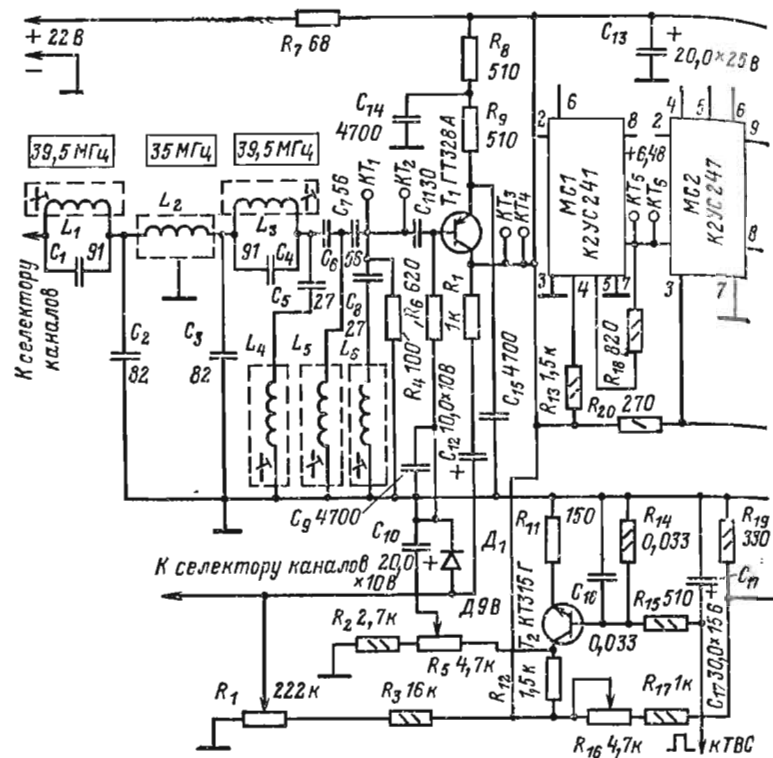
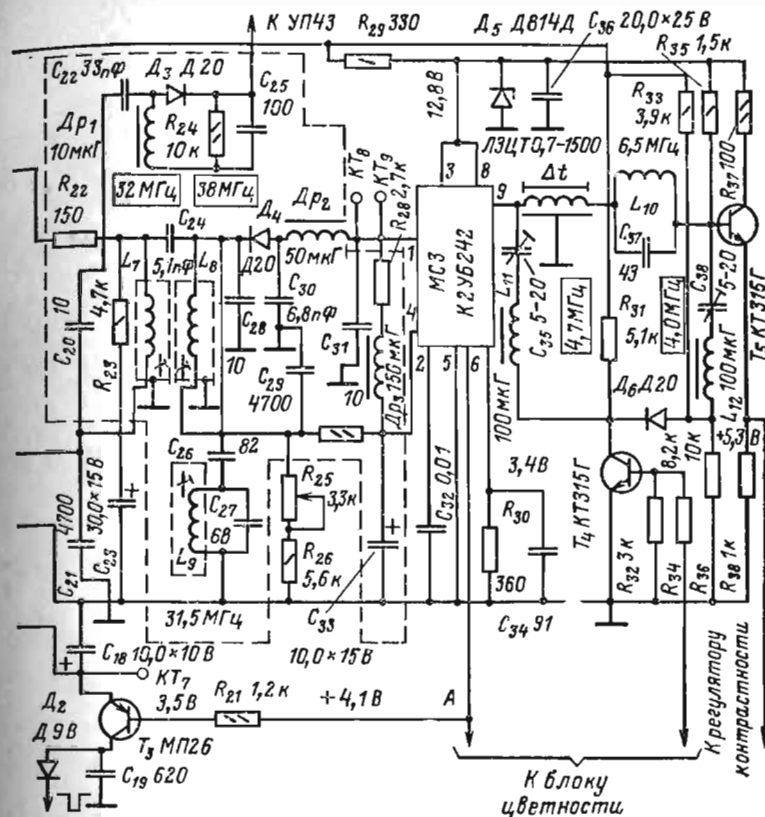


Рис. 3-8. Принципиальная схема тракта изображения

тельной полярности через резистор R_{21} поступает на базу транзистора T_3 , а на его эмиттер подается запирающее напряжение с делителя R_{16} , R_{17} , R_{18} , которое определяет исходный режим работы ключевого каскада. Переменный резистор R_{16} позволяет изменять порог срабатывания АРУ.

С обмотки выходного трансформатора строчной развертки на коллектор этого транзистора и конденсатор C_{17} поступают импульсы напряжения обратного хода луча размахом около 35 В отрицательной полярности. Так как эти импульсы по времени совпадают с синхронимпульсами строк видеосигнала, то при напряжении видеосигнала, превышающем порог срабатывания ключевого каскада, транзистор T_3 открывается. Импульсы коллекторного тока транзистора заряжают конденсатор C_{17} и на нем создается положительное напряжение, которое через резистор R_{15} подводится к базе транзистора T_2 . Регулирующее напряжение с выхода системы АРУ подается на первый каскад УПЧИ и через цепочку дополнительной задержки



цветного телевизора на микросхемах серии К224.

$D_1 R_1$ на УВЧ селектора каналов. Цепочка дополнительной задержки работает так, что усиление в селекторе каналов начинает уменьшаться после того, как сигнал на его входе превысит напряжение 1 мВ. Это позволяет получить лучшее отношение сигнал/шум на выходе телевизора при относительно малых входных сигналах. Задержку регулировки усиления в селекторе каналов можно изменять переменным резистором R_1 . Начальное напряжение, подаваемое на первый каскад УПЧИ, в режиме максимального напряжения устанавливается подстроечным резистором R_5 .

Тракт изображения имеет следующие параметры: чувствительность не хуже 600 мкВ, избирательность на участках 30, 31,5 и 41 МГц не менее 40 дБ, а на частоте 39,5 МГц — 36 дБ. Диапазон регулировки АРУ не менее 40 дБ. Полоса пропускания усилителя 5,5 МГц при неравномерности частотной характеристики в полосе пропускания (33,2—36,5 МГц) не более 1,5 дБ. Уровень неискаженного видеосигнала на нагрузке видеодетектора 2 В. Предваритель-

ный видеоусилитель яркостного канала усиливает сигнал не менее чем в 1,5 раза. Подавление сигналов цветности на частотах 4,0 и 4,7 МГц составляет 12 дБ, а сигнала разностной частоты звука 6,5 МГц — 16 дБ.

Конструкция тракта и его налаживание описаны в [20].

Тракт цветности содержит каналы прямого и задержанного сигналов, электронный коммутатор с симметричным триггером, каналы «синего» и «красного» сигналов цветовой синхронизации и устройство опознавания (рис. 3-9). На блок цветности поступает сигнал из тракта изображения. Фильтр 1 на входе блока обеспечивает коррекцию высокочастотных предскажений, введенных на телецентре. В канале прямого сигнала происходит усиление сигнала изображения в предварительном усилителе 2 и ограничение в усилителе-ограничителе 3. Далее прямой сигнал подается на электронный коммутатор 7, в канал задержанного сигнала и на селектор сигналов цветовой синхронизации. Согласующий каскад 4 обеспечивает согласование сопротивлений прямого канала и линии задержки 5, которая задерживает сигнал на время, равное длительности строки (63,8 мкс). Задержанный сигнал через усилитель 6 подается на электронный коммутатор, работой которого управляет симметричный триггер 17, переключаемый импульсами, поступающими из блока строчной развертки.

Электронный коммутатор разделяет частотно-модулированные «синий» и «красный» цветоразностные сигналы. Первый из них через усилитель-ограничитель 8 и усилитель 9 подается на частотный дискриминатор 10, а второй — через аналогичные каскады 11, 12 на дискриминатор 13. Оба выделенных на выходе дискриминаторов цветоразностных сигнала поступают в формирователи цветовых сигналов.

В предварительном усилителе-ограничителе 14 происходит ограничение поступающего сигнала. Из последнего в селекторе 15 выделяются радиоимпульсы цветовой синхронизации. Так как они передаются во время кадрового гасящего импульса, селектор открывається только на этот промежуток времени импульсами, поступающими с триггера кадровых импульсов 19.

Радиоимпульсы детектируются в амплитудном детекторе 16, и на его выходе появляются импульсы цветовой синхронизации. Эти импульсы подаются на симметричный триггер коммутатора и корректируют его работу, так чтобы «синий» и «красный» цветоразностные сигналы поступали в свои каналы, а не наоборот. Кроме того, импульсы цветовой синхронизации поступают на каскад опознавания сигналов цветности 18, изменяя его состояние. При этом на усилители цветоразностных сигналов 9 и 12 подается открывающее напряжение. Оно также подается на ключевой каскад предварительного видеоусилителя в тракте изображения, который подключает резекторные контуры, ослабляющие сигналы цветности в яркостном канале. Это улучшает качество цветного изображения.

Тракт выполнен на десяти микросхемах серии К224. Принципиальная схема показана на рис. 3-10. Сигнал с видеодетектора яркостного канала тракта изображения снимается на фильтр коррекции предскажений L_1C_3 с колоколообразной амплитудно-частотной характеристикой. Он настроен на частоту 4,28 МГц и имеет полосу пропускания 250 ± 50 кГц. Далее сигнал попадает на вывод 5 микросхемы МС1. На транзисторе T_4 этой микросхемы собран предварительный усилитель, а на транзисторах T_1 и T_2 усилитель-ограничитель

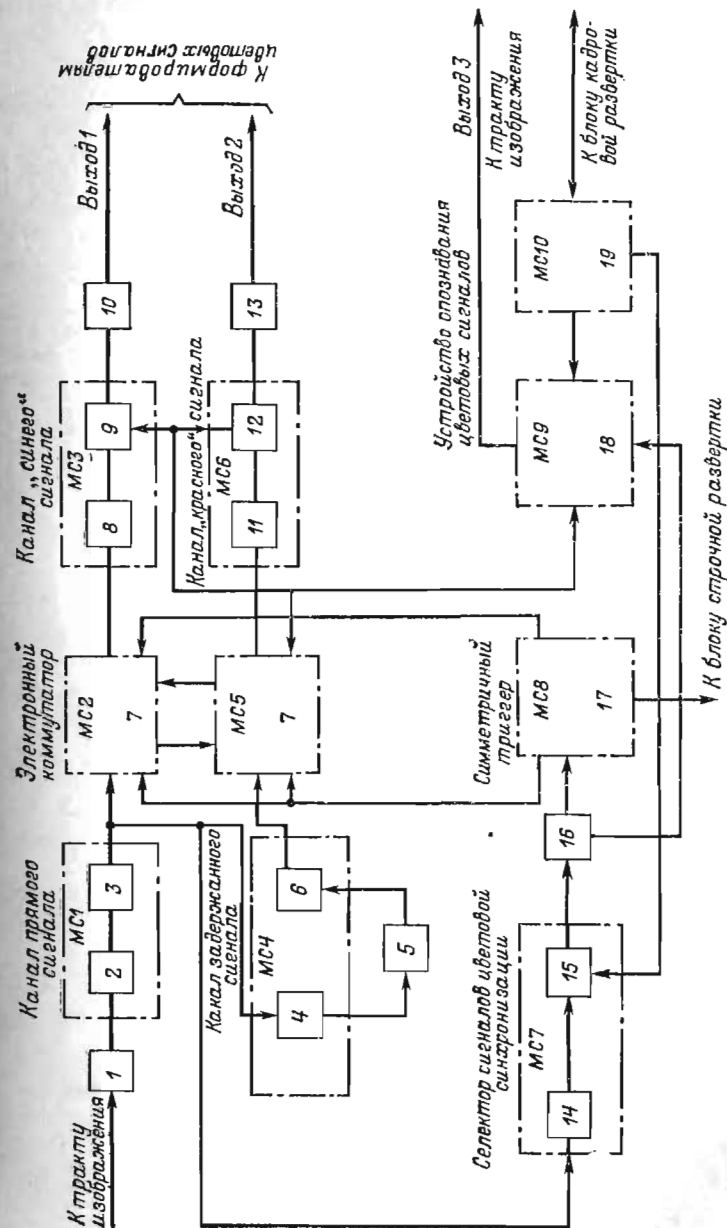


Рис. 3-9. Структурная схема тракта цветности.

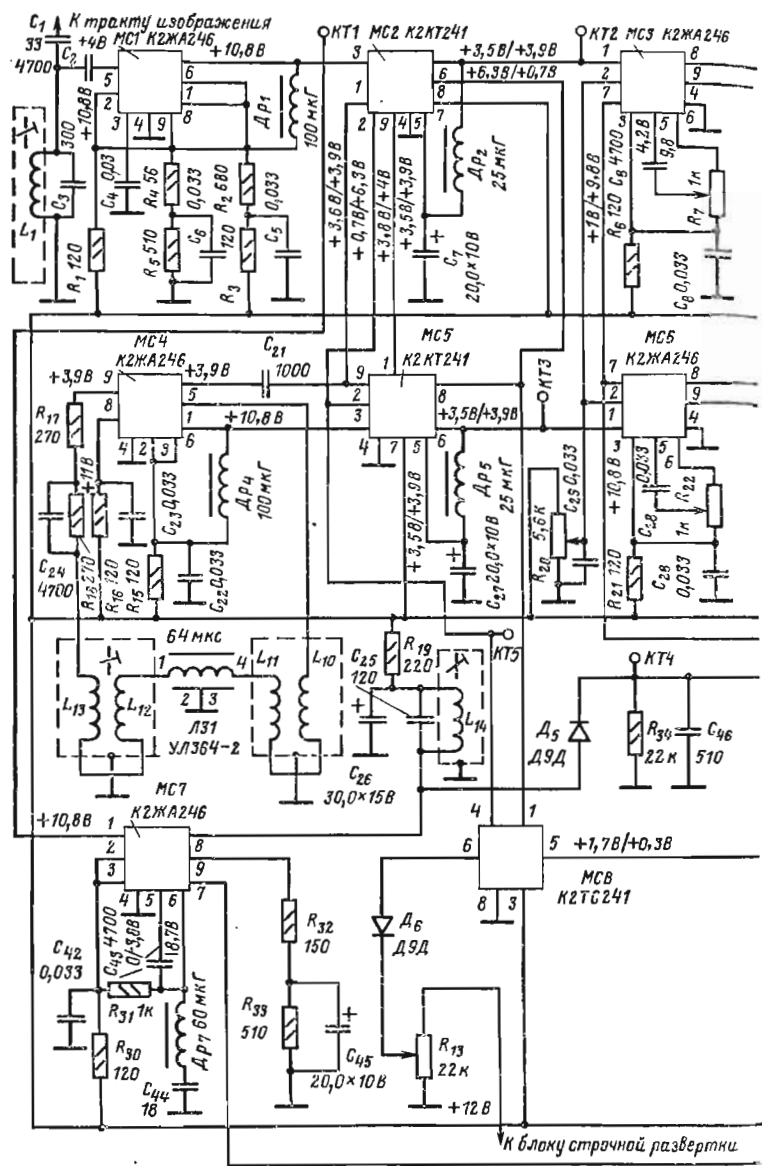
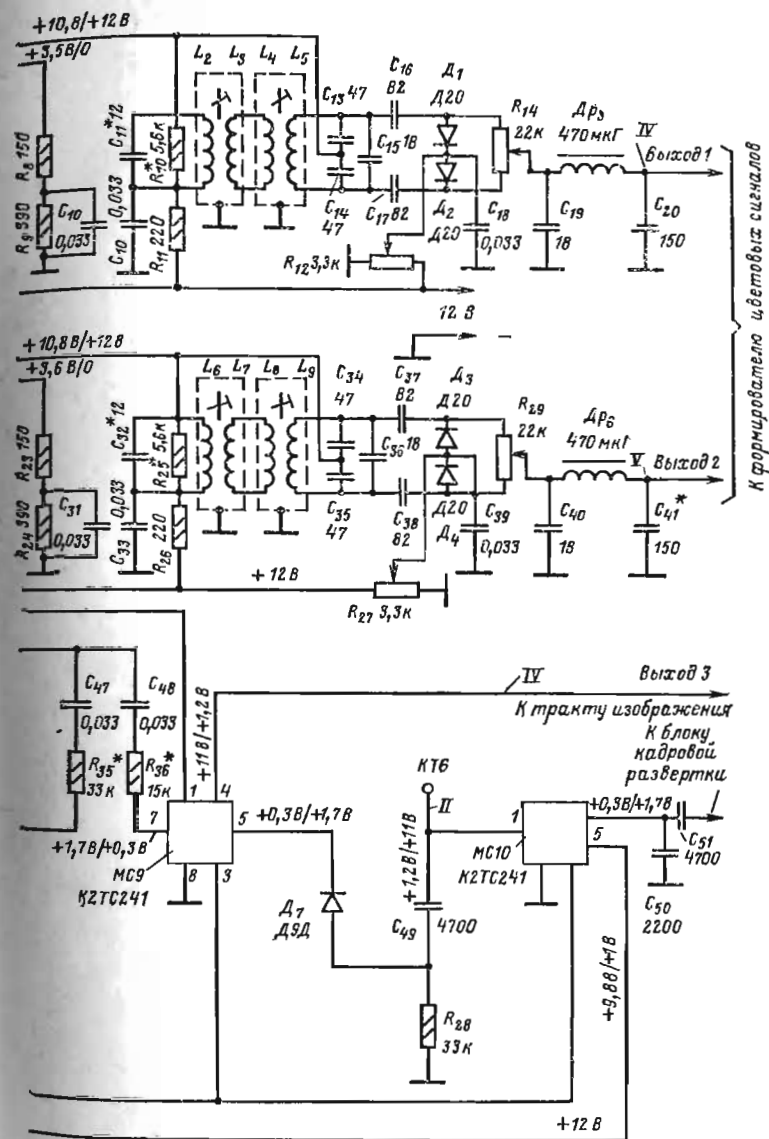


Рис. 3-10. Принципиальная схема тракта цветности



на микросхемах серии К224.

прямого сигнала. Нагрузкой усилителя является дроссель Dr_1 .

Канал задержанного сигнала выполнен на микросхеме MC_4 . Он состоит из эмиттерного повторителя на транзисторе T_4 и усилителя-ограничителя на транзисторах T_1 и T_2 , нагрузкой которого является дроссель Dr_4 . Трансформаторы L_{12} , L_{13} и L_{10} , L_{11} — согласующие.

Далее прямой и задержанный сигналы поступают на электронный коммутатор, выполненный на микросхемах MC_2 и MC_5 . На выходах коммутатора в качестве нагрузок включены дроссели Dr_2 и Dr_5 . Электронный коммутатор на микросхемах обладает рядом преимуществ по сравнению с диодным, применявшимся ранее. Перекрестные помехи между каналами цветоразностных сигналов в нем удается подавить болсе чем на 46 дБ. Кроме того, входное сопротивление и динамический диапазон этого коммутатора значительно больше, чем у диодного, что позволяет обойтись без согласующих каскадов.

Электронный коммутатор переключается импульсами, поступающими на входы 2 и 8 микросхем MC_2 и MC_5 с симметричного триггера, выполненного на микросхеме MC_8 . Триггеры управляются отрицательными импульсами обратного хода строчной развертки, амплитуду которых можно регулировать резистором R_{13} . На выходах электронного коммутатора цветоразностные сигналы оказываются распределенными в свои каналы. Канал «синего» цветоразностного сигнала собран на микросхеме MC_3 . На транзисторах T_1 и T_2 выполнен усилитель-ограничитель частотно-модулированного сигнала. Он устраняет неравномерность амплитуды прямого и задержанного сигналов на выходе электронного коммутатора, что необходимо для нормальной работы частотного дискриминатора. На транзисторе T_4 микросхемы собран усилитель «синего» сигнала. Нагрузкой каскада служит частотный дискриминатор. Для коррекции формы цветоразностного видеосигнала включен фильтр $Dr_3C_{19}C_{20}$. Канал «красного» сигнала построен на микросхеме MC_6 аналогично «синему» каналу. Резистором R_{20} регулируется насыщенность изображения, а резисторами R_7 и R_{22} — динамический баланс белого. Чтобы цветоразностные сигналы попадали в соответствующие им каналы, фаза переключения симметричного триггера, а вместе с ним и электронного коммутатора корректируется сигналами цветовой синхронизации. Они выделяются в селекторе этих сигналов, собранном на микросхеме MC_7 . С триггера кадровых импульсов, выполненного на микросхеме MC_{10} , снимаются отрицательные импульсы для открывания селектора сигналов цветовой синхронизации. На триггер из блока кадровой развертки поступают управляющие положительные импульсы, соответствующие обратному ходу развертки.

Селектор представляет собой усилитель, нагруженный контуром $L_{14}C_{25}$. На базу транзистора T_4 микросхемы MC_7 подается полный видеосигнал после предварительного усиления и ограничения транзисторами T_1 и T_2 . Ограничение обеспечивает стабильность амплитуды выделенных сигналов цветовой синхронизации, что необходимо для устойчивой работы блока цветности. Контур $L_{14}C_{25}$ настроен на частоту 3,9 МГц, т. е. на частоту «синей» поднесущей сигнала опознавания.

Амплитудный детектор, выполненный на диоде D_5 , выделяет пять видеопульсов, которые и используются для коррекции фазы переключения электронного коммутатора. С целью повышения надежности коррекции фазы на выходе усилителя-ограничителя вклю-

чен режекторный фильтр Dr_7C_{44} , настроенный на частоту «красной» поднесущей сигнала опознавания — 4,75 МГц.

Для автоматического открывания тракта цветности используется устройство опознавания цветовых сигналов на микросхеме MC_9 . Оно представляет собой триггер, аналогичный триггеру кадровых импульсов на микросхеме MC_{10} . Импульсами кадровой частоты через дифференцирующую цепочку $C_{49}R_{28}$ и диод D_7 устройство опознавания устанавливается в такое устойчивое состояние, при котором напряжение 9,8 В с вывода 1 микросхемы MC_9 подается на базы транзисторов T_3 микросхем MC_3 и MC_6 . Эти транзисторы, открывшись, замыкают накоротко базы транзисторов T_4 микросхем на общий провод, тем самым закрывая каналы цветности.

При приеме цветного изображения сигналы цветовой синхронизации после амплитудного детектора поступают также на выход 7 микросхемы MC_9 устройства опознавания. Они устанавливают устройство во второе устойчивое состояние, в результате чего на базе транзисторов T_3 микросхем MC_3 и MC_6 создается напряжение, при котором блок цветности открыт. При приеме черно-белого изображения сигналы цветовой синхронизации отсутствуют, поэтому блок цветности закрыт.

С конструкцией тракта цветности, схемой соединения деталей на печатной плате, моточными данными катушек, а также с отладкой тракта можно ознакомиться в [18].

Тракт формирования цветowych сигналов трех основных цветов в выпускаемых в настоящее время цветных телевизорах осуществляется в кинескопе, для чего на модуляторы из блока цветности поступают цветоразностные «синий», «зеленый» и «красный» сигналы, а на катоды — яркостный сигнал. При этом возникают трудности при регулировке яркости и контрастности изображения. Кроме того, невозможно осуществить объективный контроль за правильностью матрицирования (получения основных цветов). Правильность матрицирования проверяют визуально, по изображению, получаемому на экране телевизора, что приводит к субъективным ошибкам.

В описываемом тракте формирования цветowych сигналов три основных сигнала получают до подачи на кинескоп, что дает возможность проводить объективный контроль за правильностью их формирования. Величина сигналов, подаваемых в этом случае на кинескоп, на 20% меньше, чем при матрицировании в кинескопе. Кроме того, регулировку яркости можно проводить отдельно от регулировки контрастности, изменяя потенциалы на модуляторах кинескопа.

Структурная схема тракта формирования цветowych сигналов, выполненного на четырех одинаковых матрицах MC_1 — MC_4 , пред-

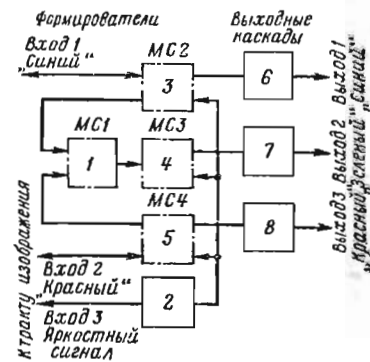


Рис. 3-11. Структурная схема тракта формирования цветowych сигналов.

ставлена на рис. 3-11. В тракт из блока цветности поступают цветоразностный «синий», «красный» и яркостный сигналы. Матрица *MC1* служит для получения третьего цветоразностного «зеленого» сигнала, а матрицы *MC2—MC4* — для формирования основных цветных сигналов, для чего, кроме цветоразностных сигналов, на них через эмиттерный повторитель 2 подается яркостный сигнал. Полученные в матрицах цветные сигналы усиливаются выходными видеоусилителями 6—8 и поступают на катоды кинескопа.

На рис. 3-12 приведена принципиальная схема тракта формирования. Он выполнен на четырех микросхемах. На микросхемы *MC2* и *MC4* из блока цветности (вход 1 и вход 2) поступают цветоразностные «синий» и «красный» сигналы. Далее эти сигналы с выходов эмиттерных повторителей на транзисторах *T1* микросхем *MC2* и *MC4* (выводы 4) подаются на входы 1 матрицы (транзисторы *T2—T3*) микросхем, а также на матрицу микросхемы *MC1* (выводы 1 и 6). В этой матрице цветоразностный «синий» и «красный» сигналы складываются в определенной пропорции и образуют цветоразностный «зеленый» сигнал. Необходимую для этого амплитуду «синего» сигнала получают переменным резистором *R1*. Показанное на схеме включение этого резистора обеспечивает стабильность режима матрицы микросхемы *MC1* по постоянному току при регулировке амплитуды сигнала. С выхода матрицы микросхемы *MC1* снимается цветоразностный «зеленый» сигнал, амплитуду которого можно изменять переменным резистором *R11*, служащим нагрузкой матрицы. Этот сигнал поступает на микросхему *MC3*.

Таким образом, на матрицы микросхем *MC2—MC4* подаются цветоразностные сигналы и яркостный сигнал, которые складываются и образуют основные цветные сигналы. Для согласования входов матриц с выходом предварительного видеоусилителя яркостного канала тракта цветности служит эмиттерный повторитель, собранный на транзисторе *T1*. Такое построение формирования цветных сигналов позволяет получить наименьшие перекрестные помехи между каналами, которые неизбежны при использовании матриц на резисторах. Кроме того, так как микросхемы усиливают сигналы, выходные видеоусилители работают в более благоприятном режиме, обеспечивая при этом необходимую равномерность амплитудно-частотных характеристик цветных каналов.

Выходные видеоусилители цветных сигналов построены по одинаковой схеме, поэтому рассмотрим, например, канал «синего» сигнала, собранного на транзисторе *T2*. Для формирования необходимой амплитудно-частотной характеристики в нагрузку усилителя включены дроссели *Др1* и *Др2*, а для получения равномерного усиления на низших и высших частотах спектра видеосигнала в эмиттерную цепь транзистора *T2* введен транзистор *T3*. Подбирая резистор *R4*, можно установить наиболее благоприятный режим работы усилителя на транзисторе *T2*. Для защиты микросхем и транзисторов от пробоя статическими зарядами, на выходе видеосигнала включена защитная цепочка из диодов *Д1* и *Д2*.

Конструкция блока, осциллограммы напряжений в различных точках, налаживание тракта приводятся в [22].

Тракт звука может быть выполнен на трех микросхемах серии К224 и применим как в черно-белых, так и в цветных телевизорах. Принципиальная схема тракта приведена на рис. 3-13. Тракт состоит из усилителя промежуточной частоты звука (УПЧЗ), выполненного на микросхеме К2УС248, детектора отношений на К2ДС242

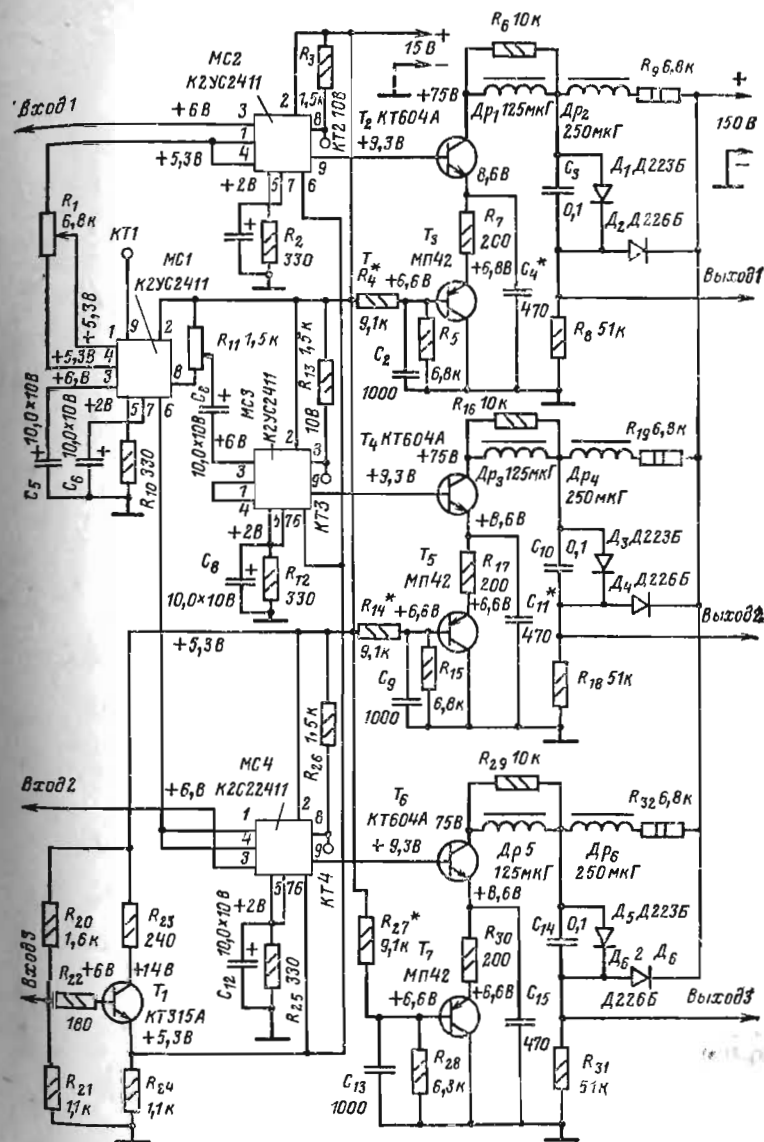


Рис. 3-12. Принципиальная схема тракта формирования цветных сигналов на микросхемах серии К224.

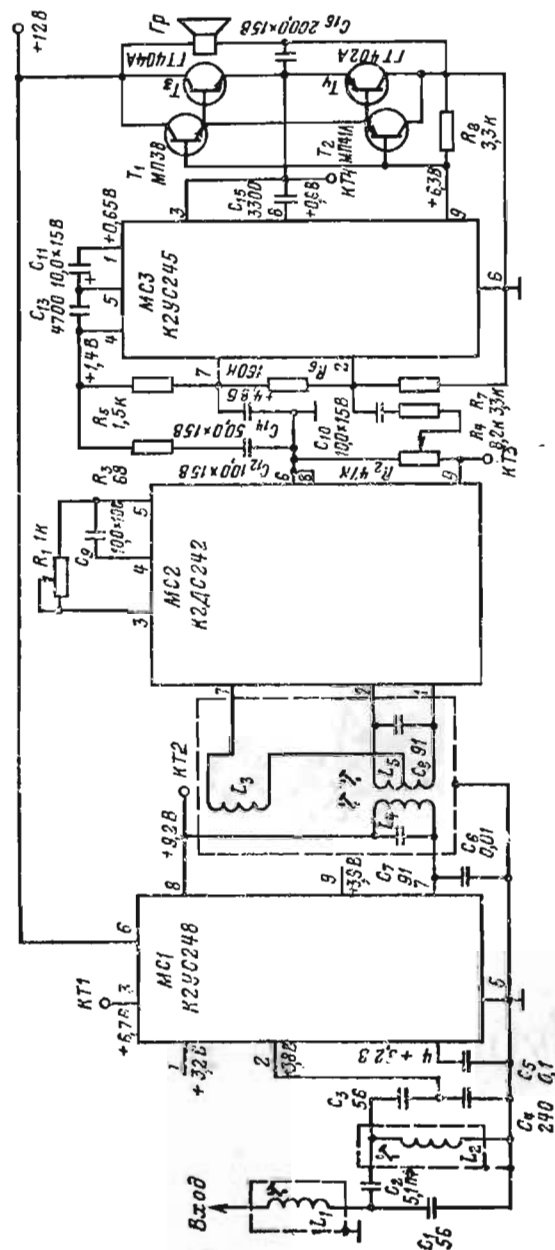


Рис. 3-13. Принципиальная схема тракта звука на микросхемах серии К224.

и усилителя низкой частоты, собранного на микросхеме К2УС245 и четырех дискретных транзисторах.

Сигнал разностной частоты 6,5 МГц выделяется полосовым фильтром $L_1C_1C_2L_2C_3C_4$ и подается на микросхему МС1, которая усиливает и ограничивает сигнал. Нагрузкой микросхем является фазовращающий трансформатор, образованный катушками L_3-L_5 , который с микросхемой МС2 образует детектор отношений. Симметрирование ветвей нагрузки, необходимой для улучшения подавления паразитной амплитудной модуляции, производится резистором R_1 .

С выхода детектора отношений сигнал звуковой частоты через регулятор громкости R_2 поступает на вход УНЧ. Предварительный пятикаскадный усилитель выполнен на микросхеме МС3. Глубокие отрицательные связи по постоянному току и переменным токам обеспечивают высокие показатели усилителя. С выхода 9 микросхемы сигнал поступает на фазоинверторный каскад на транзисторах T_1 и T_2 . Выходной каскад УНЧ собран по двухтактной бестрансформаторной схеме на транзисторах T_3 и T_4 и нагружен на динамическую головку $Гр$.

Электрические параметры тракта: чувствительность не хуже 2 мВ, полоса пропускания УПЧ не менее 250 кГц, уровень выходного сигнала на нагрузке детектора не менее 250 мВ (при девиации частоты ± 5 кГц), максимальная выходная мощность при сопротивлении нагрузки 8 Ом и нелинейных искажениях 2% — 1 Вт; полоса воспроизводимых частот УНЧ 100—15 000 Гц, потребляемый током в режиме молчания (при напряжении питания 12 В) не более 16 мА.

Конструкция тракта и порядок отладки описаны в [19].

Любительский портативный телевизор «Микрон-2с»

Телевизор рассчитан на прием сигналов станций, работающих на любом из 12 телевизионных каналов метрового диапазона волн, и выполнен на 6 микросхемах серии К224 и 22 транзисторах. Чувствительность его не хуже 50 мкВ. Размер изображения 45×35 мм, четкость 350 линий, число градаций не менее 5. Выходная мощность УНЧ 50 мВт. Мощность, потребляемая от аккумулятора, 2,8 Вт, а при питании от сети — 6 В·А.

Телевизор выполнен в виде двух блоков, соединенных между собой гибким кабелем. В блок высокой частоты (ВЧ) входят селектор каналов, УПЧИ и 3, видеодетектор и предварительный каскад видеосушителя, детектор отношений и предварительные каскады УНЧ АРУ, а также телескопическая антенна и источник питания. Блок видеоконтрольного устройства (ВКУ) содержит выходные каскады УНЧ и видеосушителя, громкоговоритель и кинескоп, узел синхронизации, блоки кадровой и строчной разверток с выпрямителями напряжений питания кинескопа, блок видеосушителя и цепи подстройки частоты гетеродина селектора каналов. Разделение на указанные блоки позволило уменьшить габариты и массу (до 450 г) видеоконтрольного устройства, которое при перемещениях находится в руке. Блок ВЧ можно носить в кармане или подвесить на ремне через плечо. Его масса 700 г. Блоки связаны между собой многожильным кабелем длиной 0,8 м.

Структурная схема телевизора представлена на рис. 3-14. Сигнал с телескопической антенны A_n поступает на селектор кана-

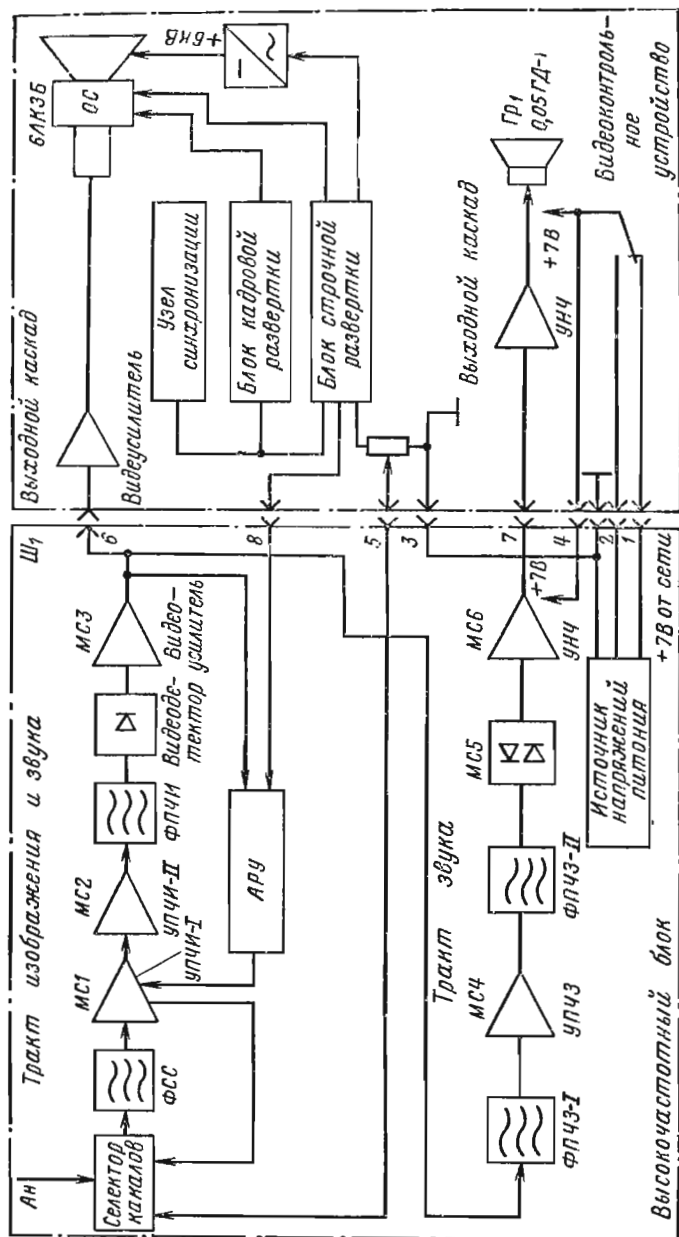


Рис. 3-14. Структурная схема любительского телевизора «Микрон-2».

лов блока ВЧ, который содержит УВЧ, смеситель и гетеродин. Нагрузкой селектора каналов служит фильтр сосредоточенной селекции ФСС, в котором формируется необходимая частотная характеристика тракта сигналов изображения телевизора. После ФСС сигнал усиливается в каскадах УПЧИ и выделяется полосовым фильтром ФПЧИ. В видеодетекторе, являющемся нагрузкой фильтра, телевизионный сигнал детектируется и далее видеосигнал и сигнал звукового сопровождения усиливаются в предварительном каскаде видеоусилителя блока ВЧ. Эти сигналы с нагрузки каскада поступают в узел АРУ, управляющее напряжение с которого подается на первый каскад УПЧИ-I, а затем на селектор каналов.

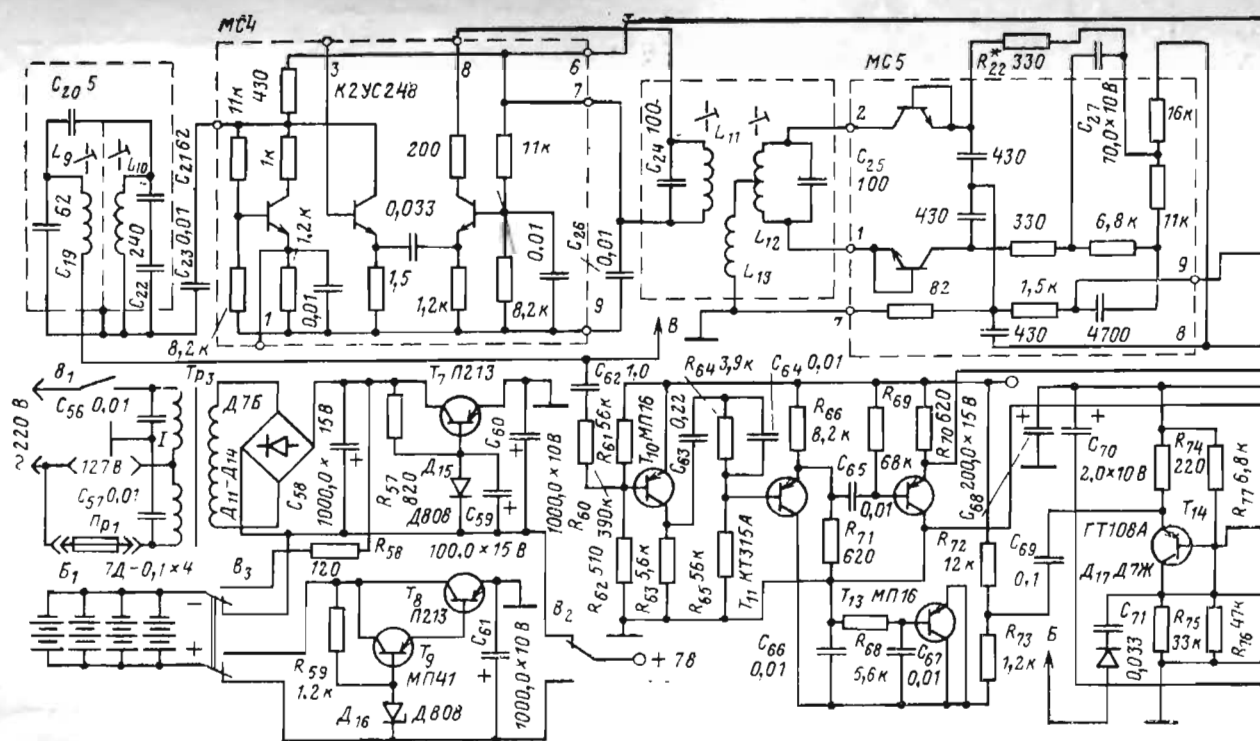
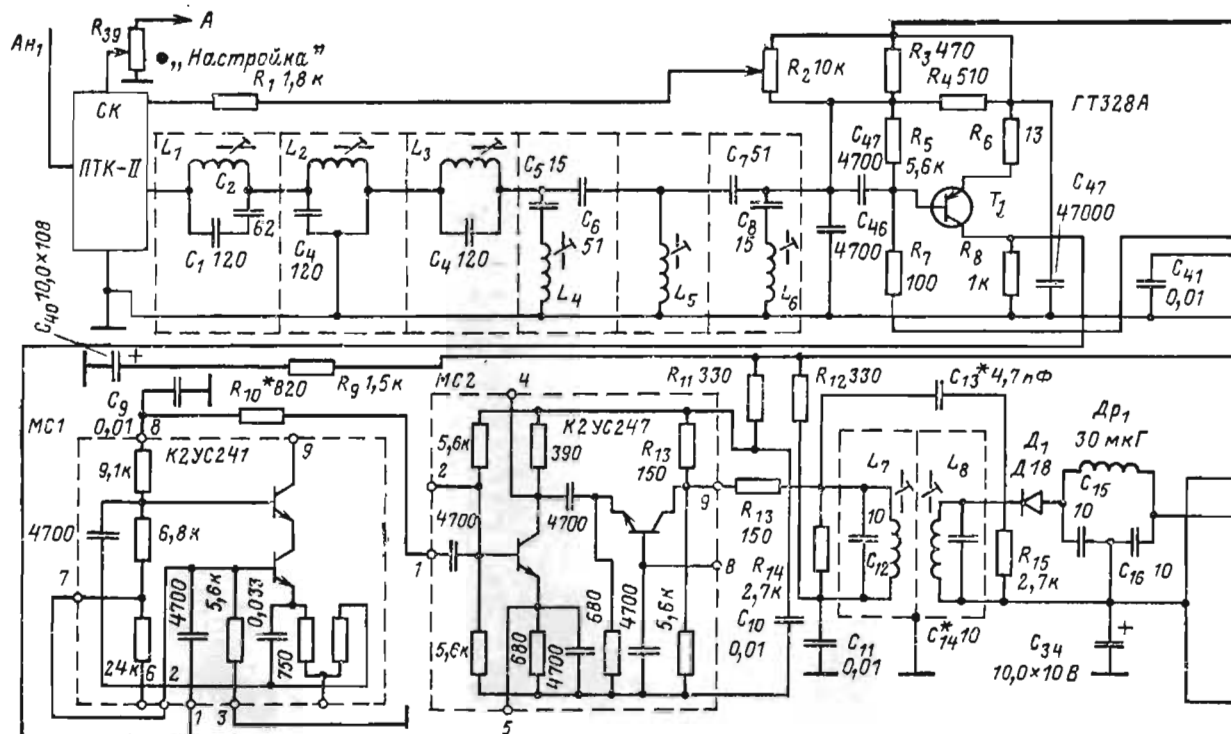
Сигнал звукового сопровождения на выходе видеоусилителя отделяется от видеосигнала фильтром ФПЧЗ-I и поступает на УПЧЗ, а затем декодируется дробным детектором (ФПЧЗ-II и микросхема МС5). Далее сигналы звукового сопровождения усиливаются предварительным УНЧ.

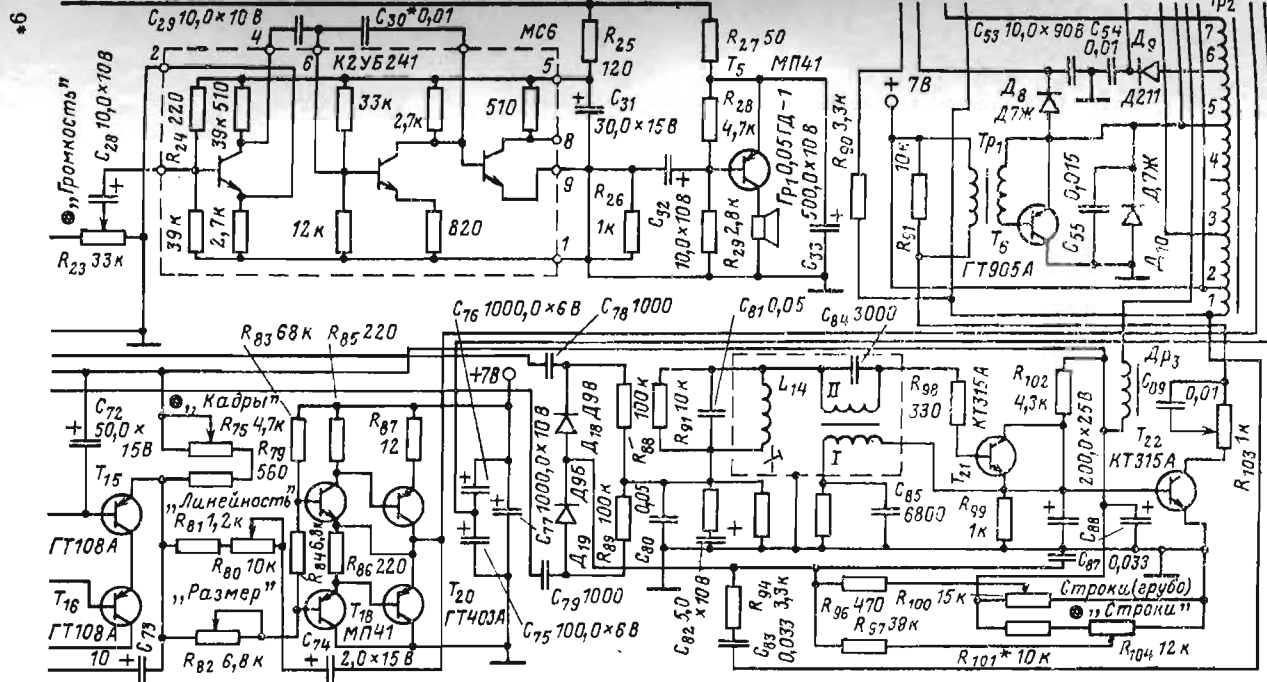
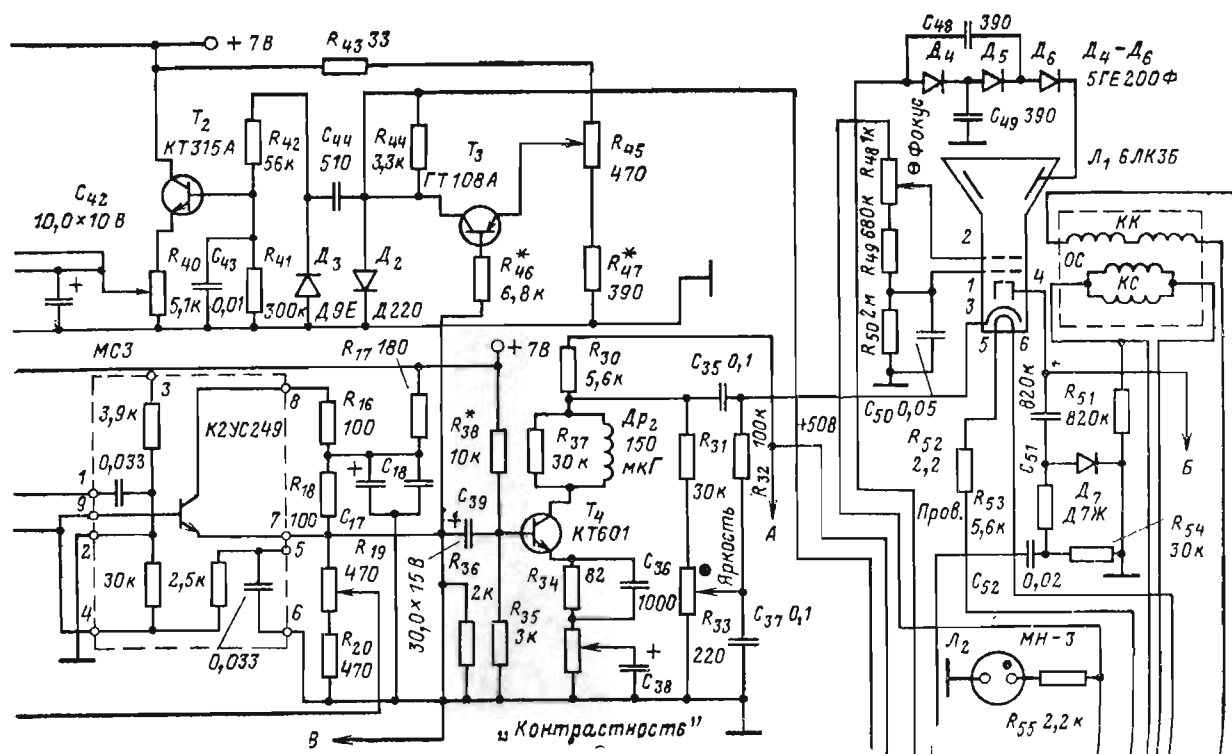
Видеосигнал и сигнал звукового сопровождения поступает по кабелю, соединяющему через разъем Ш₁ блок ВЧ с ВКУ, на выходные каскады усилителей этих сигналов. В блоке ВЧ размещен также источник питания, с помощью которого получают либо от сети, либо от аккумуляторов напряжение +7 В. Выбор источника питания осуществляется переключателем.

В ВКУ усиленные в выходных каскадах видеосигнал и сигнал звукового сопровождения поступают соответственно на кинескоп и на динамическую головку. В узле синхронизации происходит отделение синхросмесей от видеосигнала и разделение синхронимпульсов кадровой и строчной разверток. В блоках кадровой и строчной разверток формируются импульсы необходимой формы и амплитуды питания кадровой и строчной катушек отклоняющей системы кинескопа. Импульсы напряжения, возникающие в выходном трансформаторе блока строчной развертки, используются в выпрямителях, создающих напряжения для питания кинескопа и напряжение для питания выходного каскада видеоусилителя и цепи подстройки частоты гетеродина селектора сигналов.

Из ВКУ в блок ВЧ по кабелю поступают импульсы строчной развертки для работы узла АРУ и напряжение с резистора «Настройка» для подстройки частоты гетеродина селектора каналов.

Принципиальная схема телевизора изображена на рис. 3-15. В телевизоре применен серийно выпускаемый селектор каналов ПТК-II. Для электронной подстройки частоты гетеродина к его контуру подключается варикап, подбираемый экспериментально. Смещение +50 В на варикап подается с переменного резистора R₃₀, расположенного в блоке ВКУ. Сместитель селектора каналов нагружен на ФСС (L₁—L₆, C₁—C₈). Первый каскад УПЧИ собран на транзисторе Т₁ ГТ328А. В этом каскаде осуществляется АРУ. Далее сигналы усиливаются каскадами УПЧИ, собранными на микросхемах МС1 и МС2. Нагрузкой последнего каскада служит полосовой фильтр L₇ L₈ C₁₂ C₁₃ C₁₄, сигналы которого поступают на видеодетектор (диод Д₁ типа Д18). Видеосигнал с детектора через фильтр нижних частот Др₁, C₁₅, C₁₆ поступает на микросхему МС3, а затем в кабель, соединяющий блоки ВЧ и ВКУ. Одновременно видеосигнал с микросхемы МС3 поступает на транзисторах Т₃ и Т₂. Напряжение АРУ на селектор каналов снимается с эмиттерной нагрузки первого (регулируемого)





каскада УПЧН, чем достигается необходимая последовательность работы системы АРУ и задержка появления напряжения АРУ в секторе каналов.

Сигнал звукового сопровождения выделяется последовательным контуром L_9C_{19} и через конденсатор C_{20} и контур L_{10}, C_{21}, C_{22} поступает на вход первого каскада УПЧЗ (микросхема МС4). В микросхеме происходит основное усиление сигнала, выделяемого затем полосовым фильтром $L_{11}-L_{13}, C_{24}C_{25}$. Этот фильтр совместно с микросхемой МС5 образует детектор отношений. Сигнал низкой частоты после детектора усиливается тремя каскадами предварительного усилителя, выполненного на микросхеме МС6. Выходной каскад УНЧ выполнен на бестрансформатной схеме на одном транзисторе T_5 . Воспроизведение звука осуществляется громкоговорителем $Гр_1, 0,05 ГД-1$.

Видеосигнал, поступающий в блок ВКУ, усиливается по мощности в выходном каскаде видеоусилителя, собранном на транзисторе T_4 по схеме ОЭ. В нем осуществляется высокочастотная коррекция дросселем $Др_2$. Кадровая развертка собрана по бестрансформаторной схеме на транзисторах $T_{14}-T_{20}$. Строчная развертка состоит из задающего блокинг-генератора строк и предварительно каскада усиления на транзисторах T_{21} и T_{22} и выходного каскада на транзисторе T_6 . В выходном каскаде используются два трансформатора — согласующий $Тр_1$ и выходной $Тр_2$. На диодах $Д_4-Д_6, Д_8, Д_9$ собраны выпрямители питающих напряжений кинескопа, выходного каскада видеоусилителя и цепи подстройки частоты гетеродина селектора каналов.

Телевизор может работать от сети, от аккумуляторов 7Д-01, а также от двух последовательно соединенных батарей 3336Л.

Телевизор «Микрон-2с» разработал известный радиолюбитель-конструктор К. И. Самойликов. Конструкция и устройство телевизора описаны в [26].

Глава четвертая

ЦИФРОВЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

4-1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ

Цифровые микросхемы предназначены для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной, например двоичной, функции. Они применяются для построения цифровых вычислительных машин, а также цифровых узлов измерительных приборов, аппаратуры автоматического управления, связи и т. д.

По функциональному назначению цифровые микросхемы подразделяются на подгруппы: логические микросхемы, триггеры, элементы арифметических и дискретных устройств и др. Внутри каждой подгруппы по функциональному признаку микросхемы подразделяют на виды. Сведения о подгруппе и виде микросхемы содержатся в ее условном обозначении (см. приложение 1).

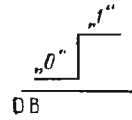
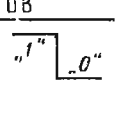
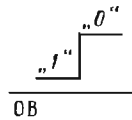
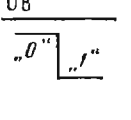
Цифровые микросхемы выпускаются сериями. В состав каждой серии входят микросхемы, имеющие единое конструктивно-

технологическое исполнение, но относящиеся к различным подгруппам и видам. В серии может быть несколько микросхем одного вида, различающихся, например, числом входов или нагрузочной способностью. Чем шире функциональный состав серии, тем в большей степени она удовлетворит требованиям к микроэлектронной аппаратуре в отношении компактности, надежности и экономичности, поскольку применение микросхем одной серии исключает необходимость в дополнительных, например согласующих, устройствах.

Большинство цифровых микросхем относится к потенциальным микросхемам: сигнал на их входе и выходе представляется высоким и низким уровнями напряжений. Этим двум состояниям сигнала ставятся в соответствие логические значения 1 и 0. В зависимости от кодирования состояний сигнала различают положительную и отрицательную логику (табл. 4-1). Логические операции, вы-

Таблица 4-1

Кодирование состояний двоичного сигнала

Вид логики	Полярность напряжения питания	
	положительная	отрицательная
Положительная		
Отрицательная		

Примечание. Состояния сигнала показаны относительно уровня нулевого потенциала.

полняемые микросхемами, обычно указываются для положительной логики. Длительность потенциального сигнала определяется сменой информации; например, длительность сигнала на выходе микросхемы определяется временным интервалом между двумя входными сигналами. Иногда применительно к потенциальным микросхемам говорят, что они управляются положительными или отрицательными импульсами. В таких случаях речь идет о том, что для изменения состояния микросхемы необходимо на заданное время изменить уровень входного сигнала с 1 на 0 (отрицательный импульс) либо с 0 на 1 (положительный импульс).

Кратко рассмотрим основные подгруппы и некоторые виды цифровых микросхем: логических, триггеров и др.

1. *Логические микросхемы* выполняют операции конъюнкции (И), дизъюнкции (ИЛИ), инверсии (НЕ), более сложные логические операции: И-НЕ, ИЛИ-НЕ, И-ИЛИ-НЕ и др. Логическая микросхема как функциональный узел может состоять

Таблица 4-2

из нескольких логических элементов, каждый из которых выполняет одну-две или более перечисленных логических операций и является функционально-автономной, т. е. может использоваться независимо от других логических элементов микросхемы. Конструктивно логические элементы объединены единой подложкой и корпусом и, как правило, имеют общие выводы для подключения источника питания.

В табл. 4-2 приведены условные обозначения и таблицы истинности некоторых логических элементов. Таблицы истинности показывают, каким будет сигнал на выходе (нулевым или единичным) при той или другой комбинации сигналов на входе. В табл. 4-2 приведены логические элементы с двумя входами. Количество входов может быть и большим. При создании какого-либо устройства могут понадобиться логические элементы с разным количеством входов. Поэтому в состав серий, как уже отмечалось, нередко включаются микросхемы, которые содержат логические элементы на 2, 3, 4, 6, 8 входов. Поскольку микросхемы выпускаются в корпусах с ограниченным количеством выводов, например корпус 30П14-1 имеет 14 выводов, то и логических элементов, размещаемых в таком корпусе, будет тем меньше, чем больше входов у каждого из них. Например, серия К155, микросхемы которой выпускаются в подобном корпусе, включает следующий ряд логических микросхем: К15551 — два четырехходовых логических элемента, К15552 — один восьмивходовый логический элемент, К15553 — четыре двухходовых логических элемента, К15554 — три трехходовых логических элемента.

Разработка каждой серии цифровых микросхем начинается с базового логического элемента. Так называют элемент, который лежит в основе всех микросхем серии: и логических, и триггеров, и счетчиков и т. д. Как правило, базовые логические элементы выполняют операции И-НЕ либо ИЛИ-НЕ. Принцип построения базового элемента, способ управления его работой, выполняемая им логическая операция, напряжение питания и другие параметры являются определяющими для всех микросхем серии. Например, логический элемент на рис. 4-4 является базовым для микросхем серий К113, К114, К115.

По принципу построения базовых логических элементов цифровые микросхемы подразделяют на следующие типы [6, 30]: транзисторной логики с резистивными связями (РТЛ); диодно-транзисторной логики (ДТЛ); транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ); транзисторной логики на переключателях тока (ПТТЛ), или, иначе, транзисторной логики со связанными эмиттерами; транзисторной логики на МДП-транзисторах (МДПТЛ).

Разнообразие типов базовых элементов объясняется тем, что каждый из них имеет свои достоинства и свою область применения. Некоторые из перечисленных типов логических элементов: РТЛ, ДТЛ, ПТТЛ — перешли в цифровую микроэлектронику, сохранившись практически в том же виде, какими они были в цифровых устройствах на навесных компонентах. Логические элементы ТТЛ, МДПТЛ появились сравнительно недавно и сразу в микроэлектронном исполнении. В настоящее время наблюдается интенсивное развитие серий микросхем, построенных на принципах ТТЛ, МДПТЛ, ПТТЛ, и вытеснение ими микросхем РТЛ и ДТЛ.

2. Триггеры — это функциональные узлы, которые обладают двумя устойчивыми состояниями равновесия. В микроэлектронном

Логическая операция	Обозначение логического элемента	Таблица истинности				
И		x_1	x_2	Y		
		1	1	1		
		0	1	0		
		1	0	0		
		0	0	0		
ИЛИ		x_1	x_2	Y		
		1	1	1		
		0	1	1		
		1	0	1		
		0	0	0		
НЕ		x		Y		
		1		0		
		0		1		
И—НЕ		x_1	x_2	Y		
		1	1	0		
		0	1	1		
		1	0	1		
		0	0	1		
ИЛИ—НЕ		x_1	x_2	Y		
		1	1	0		
		0	1	0		
		1	0	0		
		0	0	1		
И—ИЛИ—НЕ		x_1	x_2	x_3	x_4	Y
		1		1		0
		0		1		0
		1		0		0
		0		0		1

исполнении выпускаются триггеры, различающиеся по сложности построения, по своим функциональным возможностям, по способу управления работой.

В соответствии с принятой классификацией триггеры подразделяют на следующие виды [28—30]:

RS-триггер имеет два информационных входа S и R , сигналы на которых управляют состоянием триггера. Различают асинхронные и синхронные триггеры. Особенностью асинхронных триггеров является то, что установка их состояния, т. е. запись информации, осуществляется непосредственно с поступлением сигналов на входы. В синхронных триггерах наряду с информационными входами есть вход для синхронизирующего (тактового) сигнала. Запись информации в них производится только с поступлением синхронизирующего сигнала. *RS-триггер* способен хранить записанную информацию, т. е. сохранять установленное входными сигналами состояние, до тех пор, пока не изменятся сигналы на входах. Поэтому такой триггер применяется в основном как элемент памяти в запоминающих устройствах, регистрах. Выполнять функции счетчика *RS-триггер* не может.

D-триггер имеет один информационный вход D и вход для синхронизирующего сигнала. Основное назначение триггера заключается в задержке информационного сигнала на один такт: поступивший на D -вход сигнал появится на выходе в следующем такте. Различают одно- и двухступенчатые *D-триггеры*. Первые состоят из одного *RS-триггера* и дополнительных логических элементов на его входе. Одноступенчатые *D-триггеры* отличаются от *RS-триггеров* лишь тем, что управление их работой осуществляется по одному входу. Двухступенчатые *D-триггеры* состоят из двух *RS-триггеров* и обладают большими функциональными возможностями, например: при соединении выхода со входом получается триггер со счетным входом.

T-триггер (триггер со счетным входом) имеет один вход T . Его называют счетным, тем самым указывая на основное назначение триггера считать поступающие на вход сигналы. Коэффициент пересчета равен 2: двум входным сигналам соответствует один сигнал на выходе. Такой триггер составляет основу счетчиков. В микросхемном исполнении *T-триггер* специально не изготавливается. При необходимости он получается, например, из двухступенчатого *D-триггера* или более универсального *JK-триггера*.

JK-триггер имеет два информационных входа J и K и вход для синхронизирующего сигнала. Обладает свойствами синхронного *RS-триггера* и триггера со счетным входом, включен в состав многих серий благодаря своей универсальности.

Следует указать на то, что все триггеры обычно имеют дополнительные входы для сигналов установки исходного состояния. Такие сигналы имеют определенную длительность, т. е. являются импульсами. Триггеры с установочными входами называются комбинационными, например *DRS-триггер* — это *D-триггер* с S и R установочными входами (см. § 4-8).

3. *Элементы арифметических и дискретных устройств* предназначены для выполнения операций над кодовыми комбинациями 0 и 1: хранения (регистры хранения или параллельные регистры), преобразования из последовательной формы в параллельную и обратно (регистры сдвига или последовательные регистры), подсчета числа импульсов и хранения результата (счетчики), получения еди-

ничного сигнала, соответствующего определенной кодовой комбинации (дешифраторы), сложения по правилам алгебры логики двух кодовых комбинаций (сумматоры и их составные элементы — полусумматоры) и т. д.

В некоторых сериях цифровых и аналоговых микросхем имеются микросхемы, которые могут выполнять различные функции. Такие микросхемы получили название многофункциональных схем. Цифровые многофункциональные схемы выполняют, как правило, логические функции. Такие микросхемы имеют различную структуру. Одни состоят из многих логических элементов, из которых путем высшей коммутации выводов можно получить требуемое устройство: логическое, триггер, несколько разрядов регистра и т. д. Другие многофункциональные схемы представляют собой сложное логическое устройство, которое можно настраивать с помощью внешних сигналов на выполнение требуемой логической операции.

4-2. ПАРАМЕТРЫ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ

Для удобства рассмотрения разделим параметры цифровых микросхем на статические и динамические*.

Статические параметры характеризуют микросхему в статическом режиме. К ним относятся:

напряжение источника питания $U_{н.п.}$;

входное $U_{вх}^0$ и выходное $U_{вых}^0$ напряжения логического нуля;

входное $U_{вх}^1$ и выходное $U_{вых}^1$ напряжения логической единицы;

входной $I_{вх}^0$, $I_{вх}^1$ и выходной $I_{вых}^0$, $I_{вых}^1$ токи логического нуля и логической единицы;

коэффициент разветвления по выходу $K_{раз}$, определяющий число входов микросхем — нагрузок, которые можно одновременно подключить к выходу данной микросхемы; в этом смысле часто употребляют термин «нагрузочная способность» микросхемы;

коэффициент объединения по входу $K_{об}$, определяющий число входов микросхемы, по которым реализуется логическая функция, допустимое напряжение статической помехи U_n ;

средняя потребляемая мощность $P_{пот.ср.}$.

Последние два параметра нуждаются в кратком пояснении.

Допустимое напряжение статической помехи характеризует статическую помехоустойчивость микросхемы, т. е. ее способность противостоять воздействию мешающего сигнала, длительность которого значительно превосходит время переключения микросхемы. Такая помеха и названа статической. Напряжение допустимой статической помехи обычно определяется как разность выходного и входного напряжений соответствующих уровню логической единицы либо уровню логического нуля (в расчет принимается наименьшая величина U_n): $U_n^1 = U_{вых}^1 - U_{вх}^1$; $U_n^0 = U_{вх}^0 - U_{вых}^0$.

Средняя потребляемая мощность определяется выражением

$$P_{пот.ср.} = (P_{пот}^0 + P_{пот}^1) \cdot 2,$$

где $P_{пот}^0$, $P_{пот}^1$ — потребляемая микросхемой мощность в состоянии логического 0 и 1 на выходе.

* Обозначения даны по ГОСТ 19480-74.

Общепринятое усреднение потребляемой мощности оправдано тем, что обычно во время работы в составе цифрового устройства логические микросхемы половину времени находятся в открытом состоянии, а другую половину времени — в закрытом.

Потребляемая мощность тесно связана с быстродействием микросхемы (ее временем переключения или рабочей частотой переключения): чем больше потребляемая мощность, тем с большей частотой может переключаться микросхема. Учитывая это, следует при расчетах реального энергопотребления цифрового устройства ори-

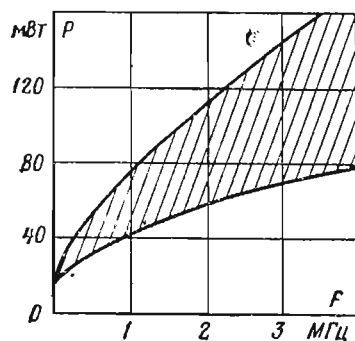


Рис. 4-1. Зависимость потребляемой мощности от частоты переключения для логических микросхем различных типов.

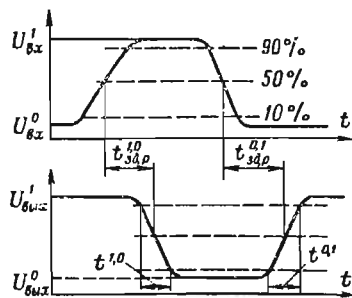


Рис. 4-2. Временные диаграммы напряжений на входе и выходе логической микросхемы.

ентироваться на мощность, потребляемую микросхемами в режиме переключения с заданной частотой.

Для многих типов микросхем, особенно ДТЛ и ТТЛ, характерно заметное увеличение потребляемой мощности с ростом частоты переключения (рис. 4-1).

Динамические параметры характеризуют свойства микросхемы в режиме переключения. В основном это временные параметры микросхемы:

- время перехода из состояния логического 0 в состояние логического 1 $t_{0,1}^0$;
- время задержки распространения сигнала при выключении микросхемы $t_{зд,р}^{0,1}$;
- время перехода из состояния логической 1 в состояние логического 0 $t_{1,0}^1$;
- время задержки распространения сигнала при включении микросхемы $t_{зд,р}^{1,0}$;
- среднее время задержки распространения сигнала $t_{зд,р,ср}$.

Динамические параметры определяются сравнением сигналов на входе и выходе логического элемента. На рис. 4-2 приведены временные диаграммы входного и выходного сигналов и показаны уровни отсчета, относительно которых определяются динамические параметры.

Среднее время задержки служит усредненным параметром быстрого действия и определяется как полусумма задержек $t_{зд,р}^{0,1}$ и $t_{зд,р}^{1,0}$. Этот параметр часто является основным при расчете рабочей частоты сложных логических устройств (см. §5-2).

Среднее время задержки зависит от многих факторов: принципа построения логических элементов, наличия или отсутствия режима насыщения у входящих в схему транзисторов, величины переключающих токов и т. д. Кроме того, на среднее время задержки оказывают существенное влияние и условия работы микросхемы: температура окружающей среды, изменения питающих напряжений, емкость нагрузки и т. д. Стремление повысить надежность аппаратуры заставляет принимать в расчет те значения параметров логических элементов, в том числе и среднего времени задержки, которые соответствуют наихудшим условиям их работы. При использовании в расчетах справочных данных их работы, и при необходимости пересчитать параметры с учетом реальных условий работы микросхем. Например, расчеты, уточняющие среднее время задержки, можно провести с помощью коэффициентов, отражающих влияние на среднее время задержки температуры (α_θ) и емкости нагрузки (K_c):

$$t_{зд,р,ср} \big|_{\text{при } T_2^0} = t_{зд,р,ср} \big|_{\text{при } T_1^0} + \alpha_\theta (T_2^0 - T_1^0);$$

$$t_{зд,р,ср} \big|_{\text{при } C_{н2}} = t_{зд,р,ср} \big|_{\text{при } C_{н1}} + K_c (C_{н2} - C_{н1});$$

При этом предполагается линейная зависимость среднего времени задержки от указанных факторов.

К числу динамических параметров следует отнести также динамическую помехоустойчивость, характеризующую способность микросхемы противостоять воздействию импульсной помехи, длительность которой соизмерима со средним временем задержки передачи сигнала через микросхему.

Количественно динамическая помехоустойчивость определяется амплитудой и длительностью импульса помехи, но чаще с помощью характеристики (рис. 4-3), отражающей зависимость допустимой амплитуды импульса помехи от длительности этого импульса. Из рисунка видно, что по мере увеличения длительности импульса помехи допустимая амплитуда помехи снижается до уровня максимально допустимого напряжения статической помехи. Заметим, что указанные параметры широко используются для характеристики как микросхемы в целом, так и отдельных ее элементов: логических элементов, триггеров и др.

Эксплуатационные параметры характеризуют работоспособность интегральных микросхем в условиях воздействий окружаю-

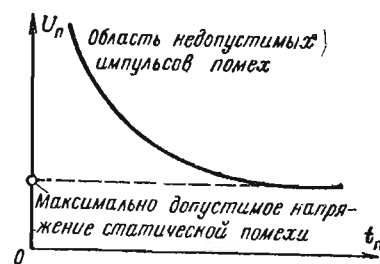


Рис. 4-3. Характеристика динамической помехоустойчивости логической микросхемы.

щей среды. К ним относятся: диапазон рабочих температур, допустимые механические нагрузки (вибрация, удары, линейные ускорения), границы допустимого изменения атмосферного давления, наибольшая влажность и некоторые другие.

4.3. СЕРИИ МИКРОСХЕМ ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ С РЕЗИСТИВНЫМИ СВЯЗЯМИ

К числу микросхем типа РТЛ относятся серии К113, К114, К115 и др. На рис. 4-4 представлен базовый логический элемент указанных серий* [2]. Элемент РТЛ выполняет логическую операцию ИЛИ-НЕ**. Управление его работой осуществляется подачей сигналов в базовые цепи транзисторов: присутствие сигнала логической 1 хотя бы на одном входе приводит к отпиранию соответствующего транзистора и благодаря этому обеспечивается состояние логического 0 на выходе элемента.

К выходу логического элемента можно

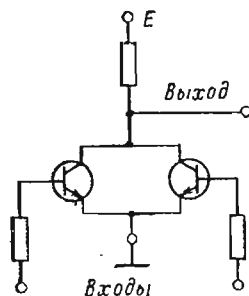


Рис. 4-4. Базовый логический элемент РТЛ.

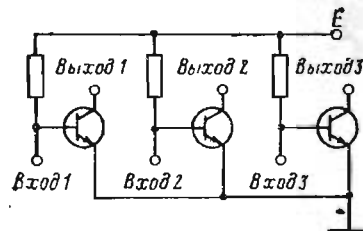


Рис. 4-5. Логический элемент с непосредственными связями.

подключить несколько входов таких же элементов. Для выравнивания входных токов элементов — нагрузок в базовые цепи транзисторов включены резисторы. В ряду логических элементов рассматриваемого типа есть такие, которые не содержат резисторов во входных сигнальных цепях. Их обычно называют логическими элементами с непосредственными связями. Примером может служить одна из микросхем серии К201, представленная на рис. 4-5.

Для характеристики серий и сравнительной оценки их возможностей составлена табл. 4-3, где приведены параметры базовых логических элементов и виды микросхем, входящих в состав серий. Приведенные данные следует принимать как ориентировочные, а для получения точных сведений надо обратиться к справочнику.

Серии К113 и К115, микросхемы которых полностью совместимы по питанию, уровням напряжений логической 0 и логической 1, конструктивному оформлению, представляют собой единый комплекс микросхем, позволяющий оптимизировать устройства в отношении их экономичности; для более быстродействующих узлов выбирать микросхемы серии К115, для менее быстродействующих — микросхемы серии К113.

* На этом и последующих рисунках общий вывод логических элементов для наглядности подключен к корпусу, поскольку показано подключение к напряжению питания.

** Графические обозначения приведены в приложении 2.

Серии микросхем РТЛ

Таблица 4-3

Параметры и виды микросхем	К113	К114	К115	К201
$U_{п.п.}$, В	4	4	4	4
$U_{вых}^0$, В, не более	0,22	0,2	0,22	0,3
$U_{вых}^1$, В, не менее	0,78	0,78	0,78	0,7—1,3
$U_{п.п.}$, В	0,15	0,15	0,15	0,3
$K_{раз}$	4	4	4	10
$t_{ад.р.ср.}$, нс	500	650	150	270
$P_{пот.ср.}$, мВт	0,8	0,55	3	4**
Тип корпуса*	101МС14	Тропа	101МС14	Тропа
ИЛИ-НЕ	+	+	+	+
ИЛИ-НЕТ	+	+	+	+
НЕ-НЕТ	+	+	+	+
И-ИЛИ	+	+	+	+
Расширитель по ИЛИ	+	+	+	+
RS-триггер	+	+	+	+
Регистр	+	+	+	+
Полусумматор	+	+	+	+

* Сведения о корпусах приведены в приложении 3.
** В расчете на один инвертор.

Серия К113 состоит из 8 типов полупроводниковых микросхем: шести логических, RS-триггера и полусумматора. Микросхемы К1ЛБ133 и К1ЛБ134 содержат логические элементы с повышенной нагрузочной способностью (коэффициент разветвления по выходу равен 50, помехоустойчивость 0,8 В), что достигается усложнением их принципиальной схемы и увеличением потребляемой ими мощности до 7,2 мВт. Входной ток одного элемента 82—150 мкА.

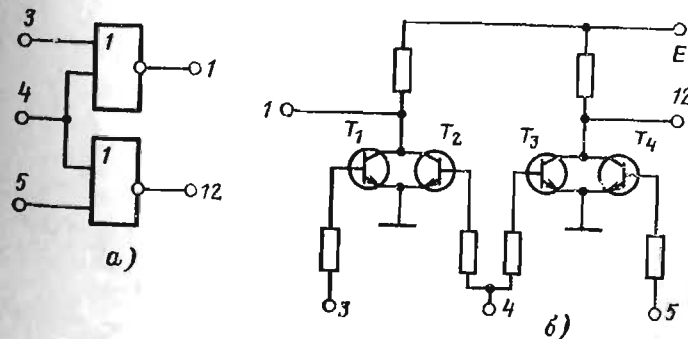


Рис. 4-6. Логический элемент 2НЕ-НЕТ.
а — структурная схема; б — принципиальная схема.

Серия K114 состоит из 11 типов полупроводниковых микросхем: каждая из которых выпускается в двух модификациях, различающихся средним временем задержки и потребляемой мощностью. В серии много микросхем, выполняющих логическую операцию НЕТ (запрет). Для примера на рис. 4-6 показан элемент, составляющий часть микросхемы K11П141. При наличии на входе 4 сигнала с уровнем логической 1 операция инверсии (НЕ) с сигналами на входах 3 и 5 выполнена не будет. Запрет осуществляется благодаря тому, что транзисторы T_2 и T_3 открыты и обеспечивают уровень логического 0 на выходах независимо от состояния транзисторов T_1 и T_4 . Разряд регистра сдвига КИР141 представляет собой два последовательно соединенных одноступенчатых D-триггера, управляемых двумя последовательностями сдвинутых по времени синхронизирующих импульсов. Такие устройства рассматриваются в следующей главе.

Входной ток одного логического элемента 6—17 мкА (группа А) и 6—24 мкА (группа Б), выходной ток 70—110 мкА (группа А) и 100—180 мкА (группа Б).

Серия K201 в отличие от рассмотренных серий выполнена по гибридно-пленочной технологии. Серия имеет сравнительно ограниченный функциональный состав: 11 типов микросхем, среди них 7 микросхем содержат логические элементы НЕ, И-НЕ, одна микросхема И-ИЛИ и 3 микросхемы являются транзисторными сборками.

4.4. СЕРИИ МИКРОСХЕМ ДИОДНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ

К числу серий микросхем типа ДТЛ относятся серии K104, K109, K121, 156, K194, K202, K215, K217 и др. [2].

Базовые элементы ДТЛ строятся на основе диодной логической схемы и транзисторного инвертора. В целом элемент такого вида выполняет операцию И-НЕ: для перевода элемента в состояние логического 0 на выходе необходимы сигналы логической 1 на всех входах.

Число различных вариантов построения элементов ДТЛ велико. Мы ограничимся рассмотрением тех из них, которые получили наиболее широкое распространение. Элемент, схема которого представлена на рис. 4-7, а, является базовым для микросхем серии K217. Он содержит несколько входных диодов, которые вместе с резистором R_1 служат для выполнения логической операции И, и выходной инвертор. Два диода D_0 в цепи базы транзистора, часто называемых смещающими, предназначены для увеличения порога срабатывания элемента. Нередко предусматривается возможность подключения ко входу дополнительной диодной сборки для расширения логических возможностей элемента по выполнению операции И.

Работает элемент следующим образом. При наличии хотя бы на одном входе сигнала логического 0 соответствующий диод открывается и ток от источника E_1 через резистор R_1 и открытый диод D_1 поступает в выходную цепь предыдущего элемента. При этом транзистор оказывается закрытым и на выходе элемента напряжение имеет высокий уровень, т. е. уровень логической 1.

Если на все входы поданы сигналы с уровнем логической 1, то входные диоды закрываются и ток от источника E_1 поступает в базу транзистора. Он открывается и входит в режим насыщения, при этом выходное напряжение уменьшается до уровня логического 0.

Выключение транзистора осуществляется обратным током базы, протекающим через диоды D_0 , представляющие собой некоторое время малое сопротивление обратному току, диод D_1 и выход открытого транзистора предыдущего элемента. Время восстановления диодов D_0 должно быть больше времени рассасывания накопленного в транзисторе заряда, в противном случае диоды D_0 закроются и процесс выключения транзистора существенно замедлится.

В базовом элементе для микросхем серий 109, 121, 152, 156 и др. (рис. 4-7, б) вместо одного из смещающих диодов используется транзистор T_2 , который обеспечивает усиление тока, включающего выходной транзистор T_1 . В результате использования дополнительного транзистора удается уменьшить напряжение E_1 до 5 В.

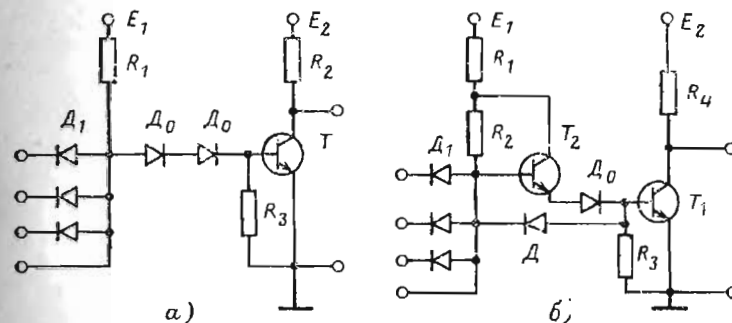


Рис. 4-7. Базовые логические элементы ДТЛ.

и снизить требования к усилению выходного транзистора, что способствует увеличению выхода годных схем при их изготовлении. Другой особенностью этого элемента является наличие диода между базой выходного транзистора и входными диодами. Этот диод, называемый ускоряющим, постоянно закрыт и играет роль конденсатора. Емкостью конденсатора является емкость электронно-дырочного перехода. Благодаря ей ускоряется включение выходного транзистора и его выключение, так как на этапе включения емкость способствует более быстрому пропусканию тока в базу транзистора, а на этапе выключения создает дополнительный выключающий ток за счет накопленного ею заряда.

Существенный недостаток рассмотренных элементов заключается в том, что они имеют большое выходное сопротивление в закрытом состоянии, поскольку сопротивление резистора в цепи коллектора выходного транзистора составляет обычно тысячи ом. Это уменьшает отдаваемый в нагрузку ток и как следствие увеличивает время заряда емкости на выходе элемента.

Указанный недостаток устранен в элементах с мощным выходным каскадом, часто называемым сложным инвертором. На рис. 4-8 представлен один из таких элементов, входящих в серию K217. Выходные транзисторы сложного инвертора работают так, что когда один из них открыт, другой закрыт. Например, когда закрыт нижний транзистор и на выходе элемента устанавливается высокий уро-

весь напряжения, ток в нагрузку протекает через открытый верхний транзистор. Выходное сопротивление элемента благодаря этому мало. Так, для элементов высокого быстродействия со сложным инвертором выходное сопротивление составляет 100—200 Ом, что примерно на порядок меньше, чем для элементов с простым инвертором. Когда рассматриваемый элемент переходит в состояние логического 0 на выходе, нижний транзистор открывается, а верхний — закрывается. Выходное сопротивление элемента равно сопротивле-

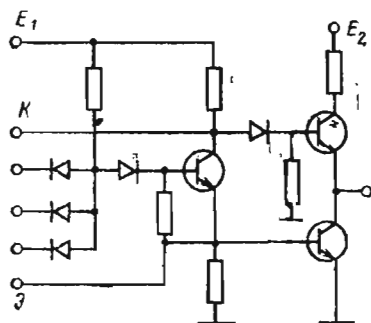


Рис. 4-8. Мощный логический элемент ДТЛ с возможностью расширения по ИЛИ.

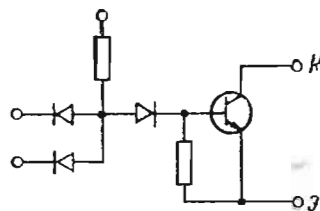


Рис. 4-9. Расширитель по ИЛИ для логических элементов ДТЛ.

нию между коллектором и эмиттером насыщенного транзистора и составляет несколько десятков ом.

Таким образом, обеспечивается низкоомное выходное сопротивление элемента как в открытом состоянии, так и в закрытом. Это позволяет увеличить ток, отдаваемый в нагрузку, т. е. повысить нагрузочную способность, а также ускорить процессы заряда и разряда подключаемой к выходу емкости нагрузки. Благодаря этим свойствам сложный инвертор применяется во многих современных цифровых элементах.

Вместе с тем надо иметь в виду, что увеличение числа транзисторов в элементах со сложным инвертором повышает потребляемую мощность. Поэтому они используются обычно тогда, когда требуется обеспечить работу на повышенную нагрузку, в частности на большую емкость или на соединительную линию большой протяженности. Часто в таких элементах предусматривается подключение вспомогательных схем (расширителей) к выводам К и Э (рис. 4-8) для расширения возможностей элемента по выполнению логических операций. Пример схемы расширителя приведен на рис. 4-9. С помощью этой схемы на основе элемента И-НЕ со сложным инвертором можно построить элемент, выполняющий более сложную логическую операцию И-ИЛИ-НЕ. Пример такого элемента серии К217 представлен на рис. 4-10. Операция ИЛИ осуществляется в месте объединения транзисторов T_1 и T'_1 .

Для сравнения серий микросхем типа ДТЛ представлена табл. 4-4, в которой приведены параметры базовых логических элементов и виды микросхем. Из сопоставления табл. 4-3 и 4-4 видно,

Таблица 4-4

Серии микросхем ДТЛ

Параметры и виды микросхем	К104	К121	156	К194	К202	К215	К217
$U_{к.н.}$, В	6,3 3 —2,4	5	5	5	±4	±4	6
$U_{вых}^0$, В	0,5	3	3	0,4	—0,25	—0,25	3
$U_{вых}^1$, В	2,6	0,35	0,3	2,7	—0,33	—0,33	0,3
U_n , В	0,5	2,5	2,5	0,5	—1,35	—1,4	2,6
$K_{раз}$	5	0,35	0,4	0,5	0,3	0,4	0,5
$t_{зд.р.р.}$, нс	150	5	6	8	5	5	6
$P_{потер.}$, мВт	20	60	45	50	200	25	25
Тип корпуса	101СТ14	401МС12	101СТ14	301Пл14	Тропа	Тропа	20
И	+	+	+	+	+	+	Посол
И-НЕ	+	+	+	+	+	+	+
И-ИЛИ-НЕ	+	+	+	+	+	+	+
И-ИЛИ	+	+	+	+	+	+	+
Расширитель	+	+	+	+	+	+	+
RS-триггер	+	+	+	+	+	+	+
JK-триггер	+	+	+	+	+	+	+
Преобразователь	+	+	+	+	+	+	+
Формирователь	+	+	+	+	+	+	+
Полусумматор	+	+	+	+	+	+	+
Дешифратор	+	+	+	+	+	+	+

что микросхемы типа ДТЛ значительно превосходят микросхемы типа РТЛ по быстродействию и помехоустойчивости, однако и потребляемая ими мощность значительно больше.

Серия К104 состоит из 13 полупроводниковых микросхем. В составе серии пять микросхем с логическими элементами И, четыре микросхемы с элементами И-НЕ, допускающие расширения по И и ИЛИ, и четыре микросхемы, представляющие собой диодные сборки на два — четыре входа — расширители по И.

Серия К121 включает две логические микросхемы и расширитель. Микросхемы имеют по четыре модификации, различающиеся

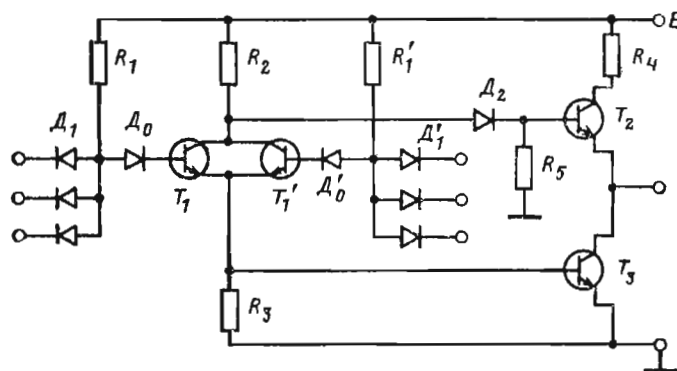


Рис. 4-10. Логический элемент И-ИЛИ-НЕ.

нагрузочной способностью. Зависимость средней задержки от температуры характеризуется коэффициентом $0,04 \text{ нс/}^{\circ}\text{C}$, а от емкости нагрузки — коэффициентом $0,09 \text{ нс/пФ}$.

Серия К109 по функциональному составу и параметрам микросхем близка к серии К121. Основным отличием является конструктивное оформление: микросхемы серии К109 выпускаются в корпусе 101СТ14-1.

Серия 156 состоит из логических микросхем различных модификаций: с числом входов от 3 до 6, коэффициентом разветвления от 2 до 6 и 16 у микросхемы с повышенной нагрузочной способностью, с нагрузкой в цепи коллектора выходного транзистора и без нее (схемы с «открытым» коллекторным выходом), RS-триггер с частотой переключения до 3 МГц, формирователь временных интервалов, полусумматор, дешифратор. Таким образом, серия имеет сравнительно развитый функциональный состав.

Серия К194 состоит из 15 микросхем, из них: 12 микросхем с логическими элементами И-НЕ, одна микросхема с элементами И, а также микросхема JK-триггер с частотой переключения до 5 МГц. По уровням выходного напряжения, питания, разводке выводов корпуса микросхемы серии совместимы с микросхемами серии К155 (ТТЛ).

Серия К202 включает 13 типов гибридных микросхем. Микросхемы состоят из логических элементов И-ИЛИ, НЕ, мощного эле-

мента с $K_{\text{раз}} = 15$ и диодных сборок. По уровням напряжения микросхемы этой серии совместимы лишь с микросхемами серии К215.

Серия К215 включает 6 типов гибридных микросхем. В состав входят усилитель мощности, инверторы, логические элементы И-ИЛИ, преобразователи напряжения отрицательной полярности в напряжение положительной полярности. Наличие такой схемы позволяет использовать серию К215 совместно с серией К201.

Серия К217 состоит из 13 типов гибридных микросхем. Достоинством серии является ее развитый функциональный состав, включающий наряду с логическими микросхемами одноступенчатый RS-триггер и JK-триггер, рассчитанный на частоту переключения до 5 МГц.

4-5. СЕРИИ МИКРОСХЕМ ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ

К числу серий микросхем типа ТТЛ относятся серии К106, К130, К131, К133, К134, К136, К155, К158, К199, К243 [2].

Базовые элементы ТТЛ строятся по тому же принципу, что и элементы ДТЛ, но вместо диодной сборки применяется многоэмиттерный транзистор, называемый так потому, что у него в базе сформировано несколько (обычно от двух до восьми) эмиттерных областей. Обычно элементы ТТЛ имеют сложный инвертор. Один из типичных вариантов построения элементов ТТЛ приведен на рис. 4-11, где показан элемент с возможностью расширения по ИЛИ. Эта возможность реализуется при подключении расширителя (рис. 4-12). На рис. 4-13 представлен элемент, предназначенный для выполнения логической операции И-ИЛИ-НЕ. Работают элементы ТТЛ аналогично элементам ДТЛ.

Например, элемент на рис. 4-11 работает следующим образом. Когда на все входы многоэмиттерного транзистора T_1 поданы сигналы с высоким уровнем напряжения, все эмиттерные переходы входного транзистора закрыты и ток от источника через резистор R_1 и открытый коллекторный переход транзистора T_1 поступает в базу транзистора T_2 и открывает его до насыщения. Благодаря падению напряжения на резисторе R_2 открывается до насыщения транзистор T_4 , обеспечивая низкий уровень выходного напряжения. Транзистор T_3 в это время закрыт, поскольку напряжение на коллекторе открытого транзистора T_2 мало. Диод D служит для повышения порога отпирания транзистора T_3 .

При наличии хотя бы на одном входе сигнала с низким уровнем напряжения открывается соответствующий эмиттерный переход входного транзистора и ток от источника через резистор R_1 и от-

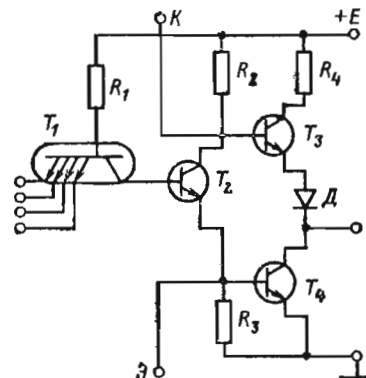


Рис. 4-11. Логический элемент ТТЛ с возможностью расширения по ИЛИ.

крытый эмиттерный переход поступает в выходную цепь источника сигнала, т. е. выходит из рассматриваемого элемента. Транзисторы T_2 и T_4 закрываются, а транзистор T_3 открывается. Так, на выходе обеспечивается высокий уровень напряжения. Для ограничения тока через открытый транзистор T_3 в случае короткого замыкания выхода элемента включен резистор R_4 с сопротивлением 100—200 Ом. Таким образом, рассмотренный элемент ТТЛ выполняет логическую операцию И-НЕ.

В состав некоторых серий цифровых микросхем ТТЛ входят логические элементы без коллек-

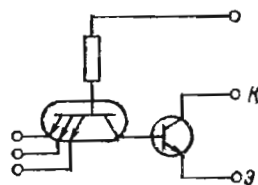


Рис. 4-12. Расширитель по ИЛИ для элементов ТТЛ.

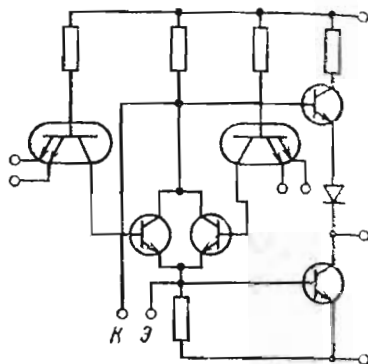


Рис. 4-13. Логический элемент И-ИЛИ-НЕ с возможностью расширения по ИЛИ.

торной нагрузки выходного транзистора — элементы с «открытым» коллектором (рис. 4-14). Они предназначены для работы с внешней нагрузкой в виде индикаторных приборов, реле и т. д.

В табл. 4-5 представлены параметры базовых логических элементов ТТЛ некоторых серий и функции, выполняемые микросхемами, входящими в состав этих серий. Из таблицы видно, что микросхемы типа ТТЛ имеют широкий диапазон по быстродействию и энергопотреблению, совместимы по уровням напряжения, характеризуются сравнительно высокой помехоустойчивостью и нагрузочной способностью. Эти свойства микросхем типа ТТЛ вместе с другими положительными качествами технологического характера обеспечили их широкую известность и сделали их наиболее перспективным классом микросхем.

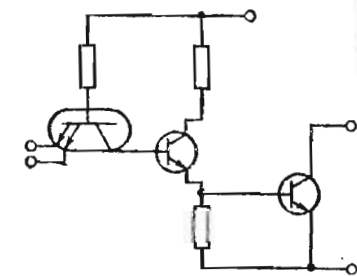


Рис. 4-14. Логический элемент ТТЛ с открытым коллектором.

Серии К130, К133, К136 составляют единый комплекс, микросхемы которого имеют одно напряжение питания, один тип корпуса, одинаковые уровни напряжений логического 0 и логической 1 и поэтому могут использоваться совместно на одной печатной плате без дополнительных мер по согласованию питания, входных и выходных уровней напряжения. Другими слова-

Таблица 4-5

Серии микросхем ТТЛ

Параметры и виды микросхем	К130*	К133*	К136*	К106	К134	199	К243
$U_{п.в}$	5	5	5	5	5	5	3
$U_{вых}^0$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,25
$U_{вых}^1$	2,4	2,4	2,4	2,1	2,1	2,4	2,3
$U_{п.в}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,25
$K_{раз}$	10	10	10	10	10	10	6
$t_{зд.р.ср.}$, нс	10	18	45	50**	200	15	10
$P_{дот.ср.}$, мВт	50	25	5	120	2	65	19
Тип корпуса	101, МС14 301П14	101, МС14 301П14	101, МС14 301П14	101, МС14	101, МС14	101, МС14	Тропа
И-НЕ	+	+	+	+	+	+	+
И-ИЛИ-НЕ	+	+	+	+	+	+	+
Расширитель	+	+	+	+	+	+	+
RS-триггер	+	+	+	+	+	+	+
D-триггер	+	+	+	+	+	+	+
JK-триггер	+	+	+	+	+	+	+

* Серия-аналог, микросхемы которых выпускаются в различных корпусах.
** В серии К106 две группы микросхем с разным быстродействием и энергопотреблением.

ми, микросхемы этого комплекса полностью совместимы по питанию, электрическим параметрам и конструкции.

Различаются серии быстродействием микросхем и потребляемой ими мощностью. Серия К130 рассчитана на применение в устройствах высокого быстродействия (до 20 МГц), серия К133 — в устройствах среднего (до 10 МГц) быстродействия, серия К136 — в устройствах низкого (до 3 МГц) быстродействия.

В состав серий входят микросхемы с логическими элементами И-НЕ (см. рис. 4-11), И-ИЛИ-НЕ (см. рис. 4-13), расширители по ИЛИ (см. рис. 4-12), JK -триггеры с входной логикой и установочными входами. Управление работой триггера по всем входам осуществляется положительными импульсами, а установка состояния выходов — отрицательными импульсами (см. § 4-8).

В состав серии К133, кроме того, входят микросхемы с элементами, имеющими открытый коллекторный выход (рис. 4-14), их называют элементами индикации и контроля, и микросхема, содержащая два D -триггера. По нагрузочной способности каждая серия подразделяется на две группы микросхем: с коэффициентом разветвления 10 и 5. Мощные логические элементы имеют коэффициент разветвления 20 (К1ЛБ306) и 30 (К1ЛБ336). В серии К136 элементов с повышенной нагрузочной способностью нет.

Серии К121, К155, К158 также составляют единый комплекс серий микросхем, совместимых по питанию, уровням напряжений, конструкции и отличающихся быстродействием и энергопотреблением. Этот комплекс серий является аналогом рассмотренного. Основное отличие состоит в конструктивном оформлении: микросхемы указанных серий выпускаются в пластмассовом корпусе и поэтому характеризуются меньшей устойчивостью к воздействию окружающей среды, в частности меньшим диапазоном рабочих температур. В состав серий входят логические микросхемы, элементы которых выполняют операции И-НЕ и И-ИЛИ-НЕ, JK -триггеры. В серию К155, кроме того, входят микросхемы с элементами контроля и индикации, а также микросхема с двумя D -триггерами.

Микросхемы указанных серий рассчитаны на применение в устройствах с частотой до 20 МГц (К131), 10 МГц (К155) и 3 МГц (К158).

Серия К106 состоит из 30 типов полупроводниковых микросхем, которые подразделяются на две группы, различающиеся средним временем задержки и потребляемой мощностью. Серия включает микросхемы с логическими элементами И-НЕ и И-ИЛИ-НЕ, допускающими подключение расширителей по ИЛИ, триггеры RS -типа, рассчитанные на применение в устройствах с частотой переключения до 3 МГц, сумматор и восьмиразрядный регистр.

Серия К134 включает четыре типа микросхем с логическими элементами И-НЕ и И-ИЛИ-НЕ, две микросхемы с JK -триггерами с входной логикой и двумя входами для асинхронной установки состояния, микросхему с двумя функционально-самостоятельными JK -триггерами, имеющими по одному входу J и K и один установочный вход, и микросхему с четырьмя логическими элементами многоцелевого назначения.

Серия относится к числу маломощных и предназначена для применения в устройствах с частотой переключения до 1 МГц. Микросхемы этой серии совместимы с микросхемами серии К106. При совместном использовании с серией К133 надо иметь в виду

различие в разводке выводов питания и земли у микросхем серий К134 и К133.

Серия 199 включает три типа микросхем с логическими элементами И-ИЛИ, И-ИЛИ-НЕ с возможностью расширения по ИЛИ, отличается от других серий ТТЛ наличием у логических элементов двух выходов — прямого и инверсного, что позволяет реализовать две указанные логические функции с помощью одного элемента, относится к числу серий высокого быстродействия; по электрическим параметрам и питанию совместима с другими сериями ТТЛ. Применение серии позволяет получить выигрыш в количестве микросхем, поскольку большинство цифровых устройств нуждается в элементах И-ИЛИ, И-ИЛИ-НЕ в значительно большей степени, чем в элементах И-НЕ и других типов.

Серия К243 включает 11 типов гибридных микросхем: логические микросхемы, выполняющие операции И-НЕ и НЕ, магистральный усилитель, предназначенный для работы на линии большой протяженности, элементы памяти.

4-6. СЕРИИ МИКРОСХЕМ НА ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯХ ТОКА

К числу серий микросхем типа ПТТЛ относятся серии К137, К138, К187, К223 и др. Их базовые логические элементы построены на основе транзисторного переключателя тока. На рис. 4-15 приведены схема переключателя тока и временные диаграммы, иллюстрирующие его работу.

Переключатель тока состоит из двух транзисторов, эмиттеры которых объединены и подключены к генератору тока. На базу одно-

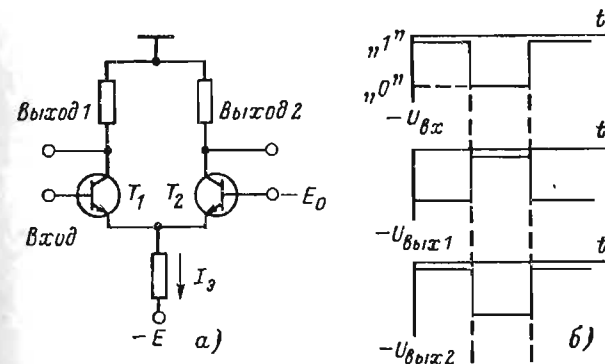


Рис. 4-15. Транзисторный переключатель тока.

а — принципиальная схема; б — временные диаграммы.

го из транзисторов T_1 подается напряжение входного сигнала, а на базу другого T_2 — отрицательное опорное напряжение, уровень которого выбирается между уровнями логического 0 и логической 1. Поэтому при наличии на входе элемента уровня логической 1 транзистор T_1 открыт, а транзистор T_2 закрыт. Ток I_3 протекает через открытый транзистор и создает на его коллекторном сопро-

тивлении отрицательное падение напряжения, т. е. уровень логического 0. При этом на коллекторе закрытого транзистора напряжение практически отсутствует, что соответствует уровню логической 1. При изменении уровня входного напряжения транзистор T_1 переходит в закрытое состояние, а транзистор T_2 — в открытое. Таким образом, осуществляется переключение цепи для тока I_3 . При этом изменяются и уровни напряжения на выходах.

На рис. 4-16 приведена типичная схема логического элемента на переключателе тока. Элемент выполняет одновременно две логические операции: ИЛИ-НЕ по выходу 1 и ИЛИ по выходу 2.

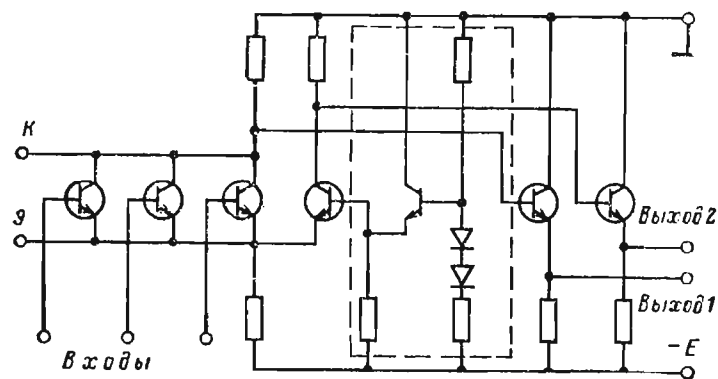


Рис. 4-16. Базовый логический элемент ПТТЛ.

Эмиттерные повторители обеспечивают совместимость элементов по входным и выходным уровням напряжения, а также уменьшение выходного сопротивления элемента в целях повышения его быстродействия и нагрузочной способности. Элемент допускает увеличение числа входов путем подключения параллельно транзисторам расширителя. Обычно в состав логических элементов входит и источник опорного напряжения (на схеме обведен пунктирной линией).

Параметры базовых логических элементов серий микросхем ПТТЛ и выполняемые микросхемами функции приведены в табл. 4-6 [2].

Серия К137 включает 18 типов микросхем: 11 — логических ИЛИ-НЕ/ИЛИ, расширитель, два RS-триггера, D-триггер, два полусумматора. Приблизительно половина микросхем серии содержит логические элементы без нагрузки в цепях эмиттеров выходных транзисторов. Такие элементы можно объединить по выходам для выполнения дополнительной логической операции ИЛИ, а также использовать для работы на согласованную нагрузку, например линию с волновым сопротивлением 50 Ом. В микросхемах с повышенной нагрузочной способностью, которые имеют коэффициент разветвления 100 и могут работать на соединительную линию с волновым сопротивлением 50 Ом, обычно предусматривается использование отдельных земляных шин для выходной цепи эмит-

Таблица 4-6

Серии микросхем ПТТЛ

Параметры и виды микросхем	К137	К138	К187	К223
$U_{п.п.}, В$	-5	-5	-5	-4
$U_{вых}^0, В$	-1,45	-1,6	-1,45	-1,45
$U_{вых}^1, В$	-0,95	-0,96	-0,95	-0,85
$U_{п.}, В$	0,16	0,1	0,07	0,15
$K_{раз}$	15	10	15	10
$t_{зд.р.ср.}, нс$	6	3,5	10	15
$P_{пот.ср.}, мВт$	175/75*	55*	75/45*	32
Тип корпуса	301Пл14	301Пл14	301Пл14	2МС18
ИЛИ-НЕ/ИЛИ	+	+	+	+
Расширитель	+	+	+	+
RS-триггер	+	+	+	+
D-триггер	+	+	+	+
JK-триггер	+	+	+	+
Полусумматор	+	+	+	+
Дешифратор	+	+	+	+
Разряд счетчика	+	+	+	+

* Без резисторов нагрузки.

терных повторителей и переключателей тока. В некоторых микросхемах есть возможность изменять величину опорного напряжения, с этой целью предусмотрен дополнительный вывод. Зависимость средней задержки от емкости нагрузки характеризуется коэффициентом 0,5 нс/пФ.

Серия К138 состоит из 11 типов микросхем — логических, RS и D-триггеров, сумматора по модулю 2, схем для приема сигналов с линии. Существенной особенностью микросхем этой серии является отсутствие нагрузки в эмиттерных повторителях. Другая особенность заключается в том, что ряд логических микросхем и триггеры построены на базе двухуровневой схемы переключения тока. На примере логического элемента И-ИЛИ-НЕ, приведенного на рис. 4-17, рассмотрим принцип двухуровневого переключения тока и его использование для реализации логических операций. При $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0$ (наибольший уровень отрицательного напряжения) открыты только транзисторы T_1 и T_4 и для тока создается путь через резистор R_1 и транзистор T_4 . В результате на выходе транзистора T_4 формируется уровень логического 0, а на выходе транзистора T_3 — логической 1. Если открыт хотя бы один из транзисторов T_2 и T_3 и одновременно один из транзисторов T_6 и T_7 , для тока создается путь через резистор R_2 и состояние выходов изменяется на противоположное. Это значит, что при x_1 или $x_2 = 1$ и x_3 или $x_4 = 1$ (наименьший уровень отрицательного напряжения) получим $Y_1 = 1, Y_2 = 0$.

При всех остальных сочетаниях входных сигналов для тока I_3 имеется только один путь — через резистор R_1 и транзистор T_4 .

а следовательно, $Y_1=0$ и $Y_2=1$. Таким образом, в рассмотренном элементе выполняется логическая операция И-ИЛИ на выходе транзистора T_8 и операция И-ИЛИ-НЕ на выходе транзистора T_9 .

Серия содержит микросхему К1ЛП381, специально предназначенную для приема сигналов, передаваемых по соединительной линии. Необходимость в такой микросхеме обусловлена низкой помехоустойчивостью элементов ПТТЛ. Приемник сигналов с линии, а их в микросхеме четыре, представляет собой дифференциальный усилитель с эмиттерным повторителем на выходе. Сигнал подводится к обоим входам усилителя в противофазе, например, по паре скрученных проводников. Помеха наводит мешающий сигнал одновременно на обоих проводах, и он, как всякий синфазный сигнал, подавляется (см. § 2-5).

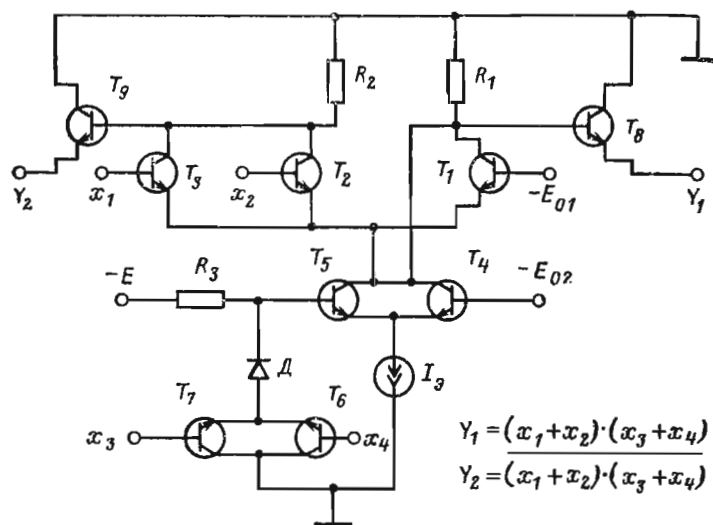


Рис. 4-17. Элемент ПТТЛ, построенный по двухуровневой схеме переключения тока.

Серия К187 состоит из 10 типов микросхем, 9 из которых являются логическими и одна представляет собой D-триггер, построенный на основе двухуровневой схемы переключения тока. Все микросхемы имеют нагрузку на выходе и построены по тем же схемотехническим принципам, что и микросхемы серии К137. К этому следует еще добавить, что по питанию, конструктивному оформлению и разводке выводов микросхемы серий К187 и К137 полностью совместимы. Микросхемы серии К187 обладают меньшими быстродействием и энергопотреблением.

Серия К223 состоит из 8 типов гибридных микросхем, оформленных в металлокерамический корпус с 18 штырьковыми выводами. Серия характеризуется сравнительно развитым функциональным составом, включающим наряду с логическими микросхемами эле-

менты арифметических и дискретных устройств, в частности разряд счетчика (регистра) с частотой переключения 50 МГц и др. (см. табл. 4-6). По напряжению питания и конструкции микросхемы этой серии несовместимы с микросхемами других рассмотренных серий.

Наряду с указанными выпускается еще ряд серий микросхем ПТТЛ.

4-7. СЕРИИ МИКРОСХЕМ НА МДП-ТРАНЗИСТОРАХ

К числу серий микросхем типа МДПТЛ относятся серии К107, К120, К147, К172, К176, К178 и др. Элементы МДПТЛ строятся обычно на основе ключевых схем на МДП-транзисторах с индуцированным каналом. Вариант логического элемента такого вида представлен на рис. 4-18, а. Он состоит из трех параллельно включенных транзисторов, на затворы которых подаются входные сигналы, и одного транзистора, выполняющего роль нагрузки. Затвор этого транзистора подключается или к стоку, как в данном случае,

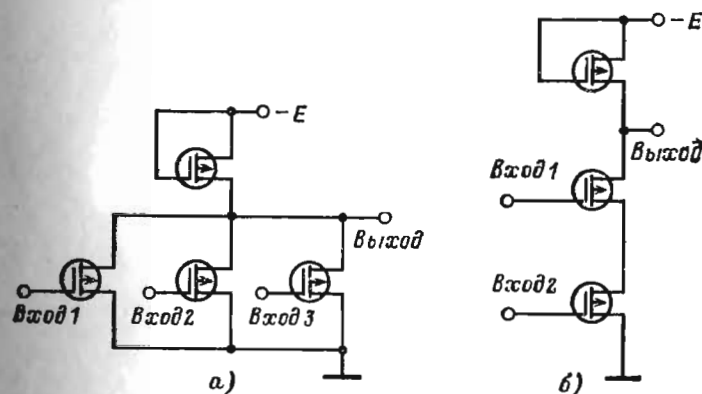


Рис. 4-18. Логические элементы на МДП-транзисторах.

а — ИЛИ-НЕ; б — И-НЕ.

или к отдельному источнику напряжения, называемому часто смещающим напряжением. Благодаря этому транзистор постоянно открыт и выполняет функции резистора. В большинстве случаев используются МДП-транзисторы с каналом типа p. Поэтому на затвор и сток таких транзисторов следует подавать отрицательное напряжение. При подаче отрицательного напряжения высокого уровня¹ (логической 1) хотя бы на один вход соответствующий транзистор открывается и на выходе устанавливается отрицательное напряжение низкого уровня (логический 0). Таким образом, рассматриваемый логический элемент выполняет операцию ИЛИ-НЕ.

¹ Для большинства микросхем типа МДПТЛ принята отрицательная логика.

Другой вариант логического элемента на МДП-транзисторах представлен на рис. 4-18, б. Здесь транзисторы соединены последовательно, благодаря чему элемент выполняет логическую операцию И-НЕ: для того чтобы открыть элемент, надо подать уровень логической 1 на оба входа.

На рис. 4-19 показан логический элемент, выполняющий операцию ИЛИ, что достигается путем последовательного включения элемента ИЛИ-НЕ и инвертора. Так, объединяя в разном сочетани

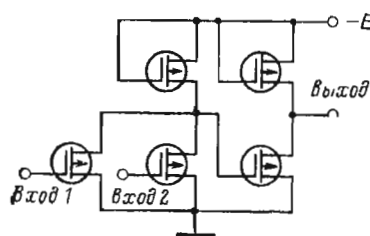


Рис. 4-19. Логический элемент ИЛИ на МДП-транзисторах.

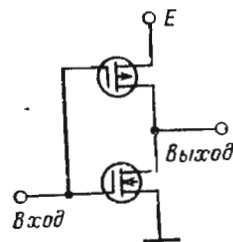


Рис. 4-20. Инвертор на МДП-транзисторах с каналами p - и n -проводимости.

нии простейшие логические элементы, можно получить ряд элементов, способных выполнять более сложные логические операции.

Другое, весьма перспективное направление разработок микросхем типа МДПТЛ с малым энергопотреблением базируется на применении МДП-транзисторов с каналами разного типа проводимости. Два таких транзистора, соединенных последовательно (см. рис. 4-20), образуют ключевой элемент, который в стационарном состоянии потребляет ничтожно малый ток, поскольку в любом положении ключа один из транзисторов закрыт. На основе рассмотренного принципа построены микросхемы серии К176, которые характеризуются уровнем потребляемой мощности 0,5 мВт в расчете на один логический элемент при частоте переключения 100 кГц, т. е. они более чем на порядок экономичнее микросхем типа МДПТЛ других серий.

Параметры базовых элементов и виды некоторых серий микросхем типа МДПТЛ приведены в табл. 4-7. Из этих данных можно сделать вывод о том, что микросхемы типа МДПТЛ отличаются высокими уровнями напряжений, низким быстродействием и высокой помехоустойчивостью [2].

Серия К107 включает две микросхемы: логическую и сдвигающий регистр на восемь разрядов с последовательно-параллельной системой записи и считывания информации. Наибольшая частота работы регистра равна 100 кГц.

Серия К108 состоит из четырех типов микросхем: логической, комбинированного DRS-триггера, многофункциональной схемы и шестиканального коммутатора, позволяющего коммутировать как отрицательное, так и положительное напряжение с амплитудой до 10 В. Наибольшая рабочая частота триггера 100 кГц.

Таблица 4-7

Серии микросхем типа МДПТЛ

Параметры и виды микросхем	К107	К108	К120	К147	К172	К176	К178
$U_{н.п.}, В$	-15 -27 -3	-27	-12,6 -27 -3	-12,6 -27 -2	-27 -2,3 -7,5	9 0,1 8,9	-27 -2,3 -7,5
$U_{вых}^0, В$						1,7 50 0,1	1 15 1,0
$U_{вых}^1, В$						0,5 30 ПЛ14	40 101СТ14
$U_{п.в.}, В$							
$K_{раз}$							
$I_{зд.р.ср.}, мкс$							
$P_{пот.ср.}, мВт$							
Тип корпуса							
Или ИЛИ							
ИЛИ-НЕ							
И-ИЛИ-НЕ							
И-НЕ							
RS-триггер							
D-триггер							
Регистр							
Счетчик							
Преобразователь кода							
Полусумматор							
Дешифратор							
Коммутатор							
Многофункциональная схема							

Серия К120 включает 20 типов микросхем. В состав серии входят логические микросхемы, счетчики, регистры, шифраторы, дешифраторы. Серия отличается полнотой функционального состава и широкими возможностями для реализации цифровых устройств низкого (до 200 кГц) быстродействия.

Микросхемы можно соединять в любых сочетаниях и использовать совместно со схемами на биполярных транзисторах с помощью микросхем К1УЭ201.

Серия К147 включает четыре типа микросхем: логические и двухступенчатый RS-триггер с частотой переключения до 300 кГц. Такой триггер путем внешней коммутации можно превратить в триггер со счетным входом.

Серии К172 и К178 состоят из пяти типов микросхем: логических и двухступенчатого RS-триггера, рассчитанного на частоту переключения до 200 кГц. Серии аналогичны, но выпускаются в различных корпусах.

Серия К176 существенно отличается от рассмотренных: положительная полярность напряжения питания, значительно меньшее энергопотребление при сравнительно высоком быстродействии, повышенная нагрузочная способность. Микросхемы серии К176 и других серий несовместимы. Особенности микросхем этой серии объясняются применением для их построения взаимно дополняющих по типу проводимости канала МДП-транзисторов. Микросхемы рассчитаны на работу с частотой переключения до 1 МГц. Для расширения функциональных возможностей серии предполагается дополнить ее новыми микросхемами, уже с более высокой степенью интеграции.

4-8. ТРИГГЕРЫ

Триггеры представляют собой устройства с двумя устойчивыми состояниями. Они составляют основу регистров, счетчиков и других последовательных цифровых устройств. Классификация триггеров приведена в § 4-1. Здесь будут рассмотрены основные типы триггеров, входящих в состав рассмотренных серий микросхем [5, 10, 22, 29, 30].

RS-триггер имеет два информационных входа: вход S (set — установка) и вход R (reset — возврат) и два выхода, обычно обозначаемых Q и $\bar{Q}$. Сигналы на входах устанавливают триггер в то или другое устойчивое состояние. В одном состоянии на выходе Q устанавливается уровень логической 1 ($Q=1$), а на выходе $\bar{Q}$ — уровень логического 0 ($\bar{Q}=0$); в другом состоянии $Q=0$, $\bar{Q}=1$. RS-триггер строится на основе логических элементов ИЛИ-НЕ, либо И-НЕ, либо И-ИЛИ-НЕ.

На рис. 4-21 приведены структурная схема асинхронного RS-триггера на элементах ИЛИ-НЕ и в качестве примера реализации две принципиальные схемы на элементах РТЛ и МДПТЛ. Работает триггер следующим образом. При $S=1$, $R=0$ транзистор T_1 открыт и на выходе $\bar{Q}$ устанавливается уровень логического 0. Транзисторы T_3 и T_4 из-за низкого уровня напряжения на их входах закрыты и на выходе Q устанавливается уровень логической 1. Изменив уровни входных сигналов так, что $S=0$, $R=1$. Тогда произойдет изменение состояний выходов: $Q=0$, $\bar{Q}=1$. При $S=R=0$ состояние триггера сохранится прежним. Если $S=R=1$, то состояние

триггера становится неопределенным. Эту неопределенность надо понимать так: при $S=R=1$ получаем $Q=\bar{Q}=0$, в дальнейшем, когда комбинация входных сигналов изменится так, что $S=R=0$, один из выходов триггера установится в состояние логического 0, другой — логической 1, но сказать определенно, какой выход — в какое состояние, нельзя. Поэтому комбинации $S=R=1$ является запрещенной.

Аналогично работает и триггер на МДП-транзисторах. Только надо иметь в виду, что за уровень логической 1 для таких элементов принято наибольшее отрицательное напряжение.

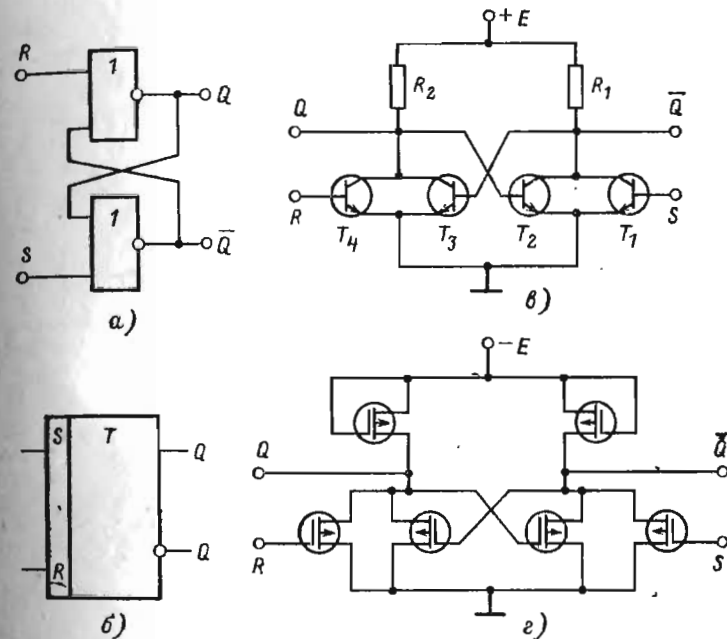


Рис. 4-21. RS-триггер на элементах ИЛИ-НЕ.

а — структурная схема; б — условное графическое обозначение; в — принципиальная схема на элементах РТЛ; г — принципиальная схема на элементах МДПТЛ.

На рис. 4-22 представлены структурная схема RS-триггера и пример ее реализации на элементах И-НЕ типа ДТЛ. В отличие от рассмотренного триггера здесь управление состоянием выходов осуществляется сигналом с уровнем логического нуля, подаваемым на один из входов, обозначенных на рисунке $\bar{S}$ и $\bar{R}$. При $\bar{S}=0$, $\bar{R}=1$ диод D_1 открывается и ток от источника E_1 через резистор R_1 и диод D_1 поступает в цепь источника входного сигнала. В базу транзистора T_1 ток практически не протекает и транзистор находится в закрытом состоянии, так что $Q=1$. В это время транзистор T_2

открыт благодаря поступающему в базу току от источника E_1 через резистор R_2 и диоды D_7 и D_8 , так что $\bar{Q}=0$. При $\bar{S}=1, \bar{R}=0$ состояние выходов изменяется на противоположное. Если $\bar{S}=\bar{R}=1$, то состояние выходов сохраняется. Комбинация $\bar{S}=\bar{R}=0$ является запрещенной, поскольку в этом случае оба транзистора закрыты ($Q=\bar{Q}=1$) и при изменении входных сигналов на единичные, т.е.

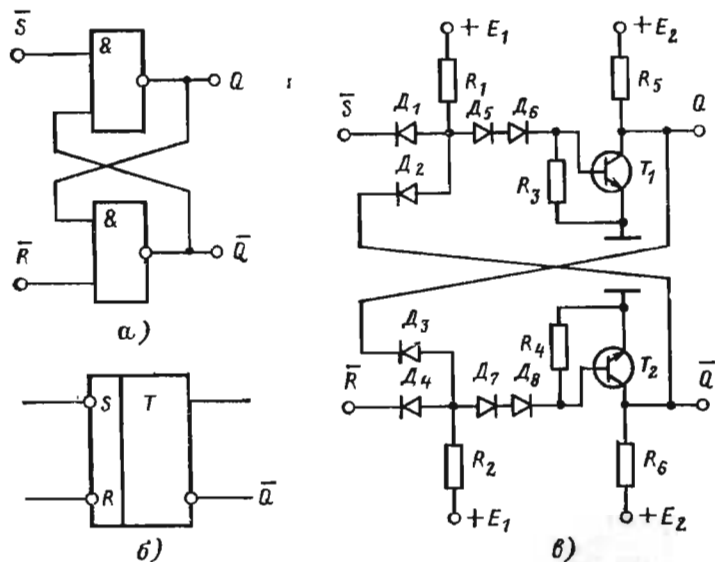


Рис. 4-22. RS-триггер на элементах И-НЕ.

а — структурная схема; б — условное графическое обозначение; в — принципиальная схема на элементах ДТЛ.

$\bar{S}=\bar{R}=1$, появляется неопределенность в состоянии выходов: не известно, на каком из них будет уровень логического 0, а на каком — уровень логической 1.

На условном графическом изображении такого триггера входы $\bar{S}$ и $\bar{R}$ обозначаются как инверсные. Таким образом показывается, что для управления состоянием выходов триггера необходимы отрицательные входные импульсы.

Синхронный RS-триггер имеет дополнительный вход для синхронизирующего (тактового) импульса (С-вход). На рис. 4-23 представлены структурные схемы одноступенчатых синхронных триггеров на основе различных логических элементов.

Работу триггера рассмотрим на примере схемы рис. 4-23, а, выполненной на элементах И-НЕ. Если сигнал на входе С имеет уровень логической 1 ($C=1$), то работа триггера ничем не будет отличаться от работы асинхронного триггера. При $C=0$ оба входных логических элемента закрыты (на их выходах — логические 1) и

сигналы на входах S и R перестают оказывать влияние на состояние триггера.

На рис. 4-24 представлен синхронный двухступенчатый RS-триггер. Он состоит из двух одноступенчатых RS-триггеров — основного и вспомогательного. Основная ступень служит для записи входного сигнала, а вспомогательная — для его хранения. Выходы вспомога-

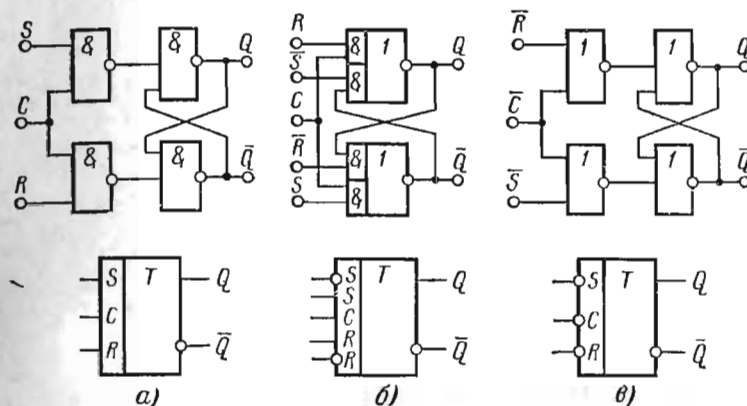


Рис. 4-23. Структурные схемы и обозначения синхронного RS-триггера.

а — на элементах И-НЕ; б — на элементах И-ИЛИ-НЕ; в — на элементах ИЛИ-НЕ.

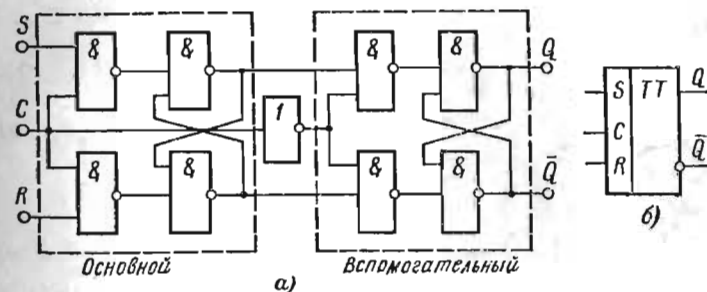


Рис. 4-24. Двухступенчатый RS-триггер.

а — структурная схема; б — условное графическое обозначение.

тельной ступени являются выходами триггера. Работают ступени поочередно, что обеспечивается инвертором, через который тактовый сигнал поступает на вход вспомогательной ступени. При поступлении на С-вход тактового положительного импульса ($C=1$) информация на входах S и R записывается в первый триггер. В это время второй триггер закрыт, так как на его С-входе имеется уровень ло-

гического 0, блокирующий оба информационных входа второй ступени и тем самым препятствующий перезаписи информации. Только после окончания тактового импульса откроется второй триггер и информация появится на его выходе. Таким образом, для двухступенчатых триггеров характерно то, что сигнал на их выходах появляется после окончания тактового импульса.

Обычно при описании работы триггеров широко используют таблицы состояний, в которых отражается состояние триггера до тактового импульса и после его снятия. В таблицах состояний приняты следующие обозначения: S^n , R^n , Q^n — уровни сигнала на входах S и R и выходе Q в момент времени t_n (до тактового импульса); Q^{n+1} — уровень сигнала на выходе триггера в момент времени t_{n+1} (после тактового импульса); x — неопределенное состояние триггера.

Приведенное описание работы RS-триггера иллюстрирует табл. 4-8.

Таблица состояний RS-триггера

Таблица 4-8

Q^n	R^n	S^n	Q^{n+1}	Q^n	R^n	S^n	Q^{n+1}
0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	1	1	0	1	1
0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	1	X	1	1	1	X

Часто вместо подробной таблицы состояний пользуются сокращенной (минимизированной) таблицей (табл. 4-9). Из нее следует, что при $S^n=R^n=0$ состояние триггера после тактового импульса сохранится прежним, т.е. $Q^{n+1}=Q^n$. При $S^n=1$, $R^n=0$ получим $Q^{n+1}=1$ независимо от прежнего состояния триггера.

Таблица 4-9

Минимизированная таблица состояний RS-триггера

R^n	S^n	Q^{n+1}	R^n	S^n	Q^{n+1}
0	0	Q^n	1	0	0
0	1	1	1	1	X

Существует еще ряд вариантов построения двухступенчатых триггеров. На рис. 4-25 показан вариант с запрещающими связями между основной и вспомогательной ступенью.

В триггере с запрещающими связями во время действия тактового импульса информация записывается в основную ступень. Одновременно с выходов первых логических элементов на вход

вспомогательной ступени поступает запрещающий сигнал, блокирующий перезапись информации из основной ступени во вспомогательную. После прекращения тактового импульса эта блокировка снимается и информация появляется на выходе второй ступени.

D-триггер (delay — задержка) имеет один информационный вход (D -вход) и вход для синхронизирующего сигнала. Основное назначение D -триггера — задержка сигнала, поданного на D -вход. Как

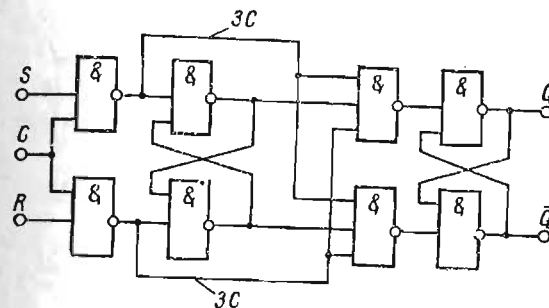


Рис. 4-25. Двухступенчатый RS-триггер с запрещающими связями (ЗС).

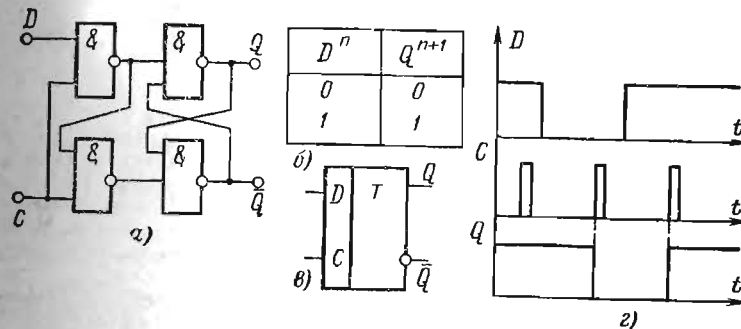


Рис. 4-26. D-триггер.

а — структурная схема; б — таблица состояний; в — условное обозначение; г — временные диаграммы.

и RS-триггер, он может быть построен на различных логических элементах. На рис. 4-26 приведены структурная схема одноступенчатого D-триггера на элементах И-НЕ, таблица состояний и иллюстрирующие ее временные диаграммы. Из таблицы видно, что при $C=0$ изменение входного сигнала не сказывается на состоянии триггера и только при $C=1$ триггер принимает состояние, определяемое входным сигналом.

Разновидностью D-триггера является DV-триггер (рис. 4-27), который дополнительно к D-входу имеет управляющий V-вход. При

наличии на входе V сигнала с уровнем логической 1 ($V=1$) триггер работает аналогично D -триггеру, а при $V=0$ сохраняет исходное состояние независимо от изменения сигнала на D -входе.

Двухступенчатые D -триггеры строятся в основном по схеме двух триггеров (рис. 4-28, а) или трех триггеров (рис. 4-28, б). Работа последнего иллюстрируется временными диаграммами на рис. 4-28, в. На диаграммах пунктиром и стрелками показана последовательность переключения логических элементов. Что касается первого варианта, то он работает так же, как RS -триггер на рис. 4-24, с тем, однако, отличием, что информационный сигнал подается на один вход.

Обычно двухступенчатые триггеры всех типов имеют входы для раздельной установки состояний логического 0 и логической 1. В этом случае триггер является комбинированным, например DRS -

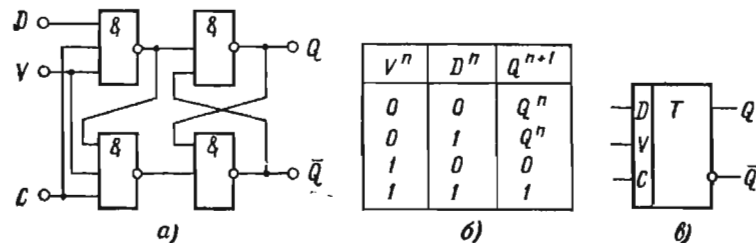


Рис. 4-27. DV -триггер.

а — структурная схема; б — таблица состояний; в — условное обозначение.

триггер. Именно таким и является триггер на рис. 4-28, б.

T -триггер (триггер со счетным входом) имеет один T -вход (асинхронный триггер) либо два входа: T -вход и V -вход (синхронный T -триггер, его нередко называют TV -триггером). T -триггер строится обычно на основе двухступенчатых RS - или D -триггеров путем соединения выходов со входами перекрестными связями, как это показано на рис. 4-29. Работа асинхронного T -триггера иллюстрируется временными диаграммами на рис. 4-29, в.

Синхронный T -триггер (TV -триггер) переключается под воздействием сигнала на T -входе, но при наличии разрешающего сигнала на управляющем V -входе.

JK -триггер имеет два информационных входа — J и K . В синхронных JK -триггерах, получивших наибольшее распространение, имеется один (однотактная система синхронизации) или два (двухтактная система синхронизации) входа для импульсов синхронизации, а также установочные входы.

Существенное достоинство JK -триггера заключается в том, что он, во-первых, не имеет запрещенных входных комбинаций, как RS -триггер, и, во-вторых, является универсальным триггерным устройством, поскольку может выполнять функции триггера любого другого типа.

Существует несколько разновидностей JK -триггеров, отличающихся принципом построения и способом управления. Рассмотрим некоторые из них.

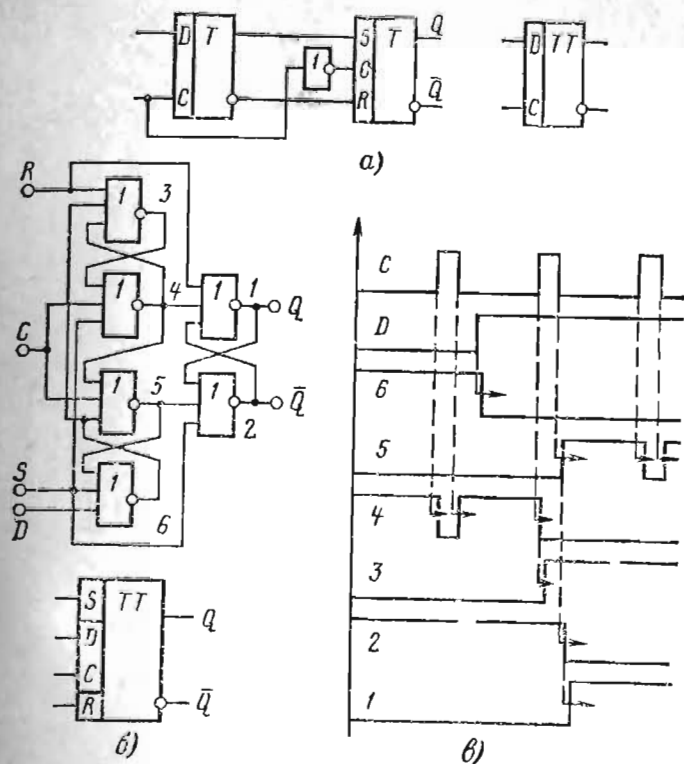


Рис. 4-28. Двухступенчатый D -триггер.

а — на двух триггерах; б — на трех триггерах; в — временные диаграммы.

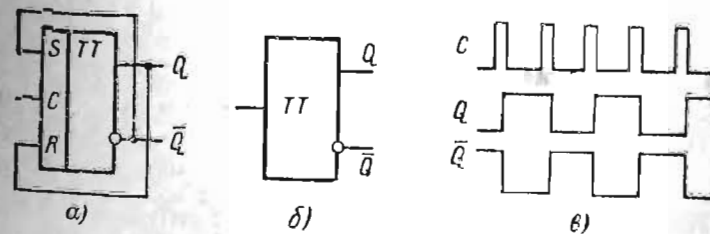


Рис. 4-29. T -триггер.

а — структурная схема; б — условное обозначение; в — временные диаграммы.

На рис. 4-30, а представлен JK -триггер, основу которого составляет двухступенчатый RS -триггер, охваченный перекрестной обратной связью $S=Q$, $R=\bar{Q}$. Как видно из таблицы состояния (рис. 4-30, б), при $J=K=1$ триггер переключается в состояние, обратное предыдущему, а в остальном JK -триггер аналогичен RS -триггеру, в котором функции входов S и R выполняют входы J и K соответственно.

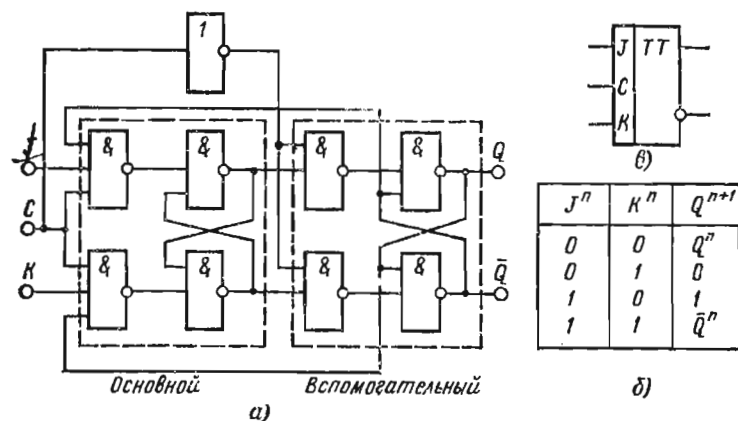


Рис. 4-30. JK -триггер.

а — структурная схема; б — таблица состояний; в — условное обозначение.

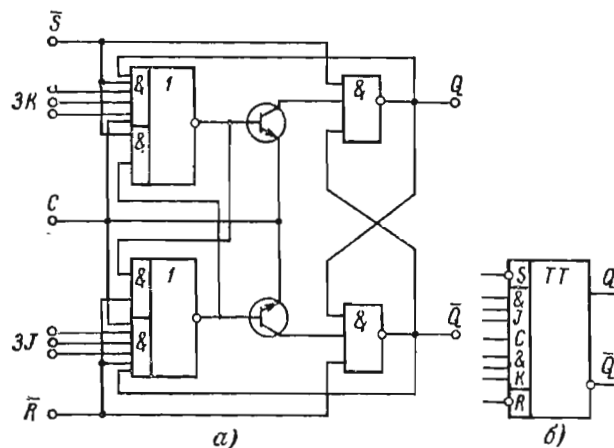


Рис. 4-31. JK -триггер с коммутаторными транзисторами и входной логикой.

а — структурная схема; б — условное обозначение.

Нередко JK -триггер имеет несколько входов J и несколько входов K , причем в пределах каждой группы входы связаны так, как в логическом элементе И либо ИЛИ.

Пример такого триггера показан на рис. 4-31. Этот триггер, как и рассмотренный ранее, состоит из двух ступеней. Основная ступень построена на элементах И-ИЛИ-НЕ, вспомогательная — на элементах И-НЕ. Связаны они с помощью двух транзисторов, которые называют коммутаторными. Транзисторы блокируют вспомогательную ступень при записи информации в основную. Обеспечивается это закрытием транзисторов высоким уровнем положительного напряжения, поступающим на их эмиттеры при $C=1$. При этом разрывается цепь между ступенями триггера и информация, записанная в первую ступень, не может перейти во вторую.

При снятии импульса синхронизации через C -вход на эмиттеры коммутаторных транзисторов поступает уровень логического 0. Тот из транзисторов, на базе которого присутствует уровень логической 1, открывается, и коммутируется сигнал логического 0 с C -входа на вход соответствующего элемента второй ступени. В это время другой транзистор, имея на базе уровень логического 0, остается закрытым.

Элемент второй ступени, на вход которого поступил логический 0, формирует на выходе уровень логической 1, а второй элемент — уровень логического 0. Так, информация с основной ступени передается во вспомогательную и появляется на выходе JK -триггера.

Установка начального состояния триггера осуществляется с помощью отрицательных импульсов, подаваемых на вход $\bar{S}$ либо $\bar{R}$, причем установка проводится независимо от наличия или отсутствия синхронизирующего импульса. Поэтому такую установку состояния триггера принято называть асинхронной.

Были рассмотрены JK -триггеры, имеющие двухступенчатую структуру. Совсем иначе устроен JK -триггер серии К217. Его отличие состоит прежде всего в том, что он имеет одноступенчатую структуру. Принципиальная схема представлена на рис. 4-32. Триггер имеет C -вход, входы J и K , установочные входы $\bar{S}$, $\bar{R}$. Счетный

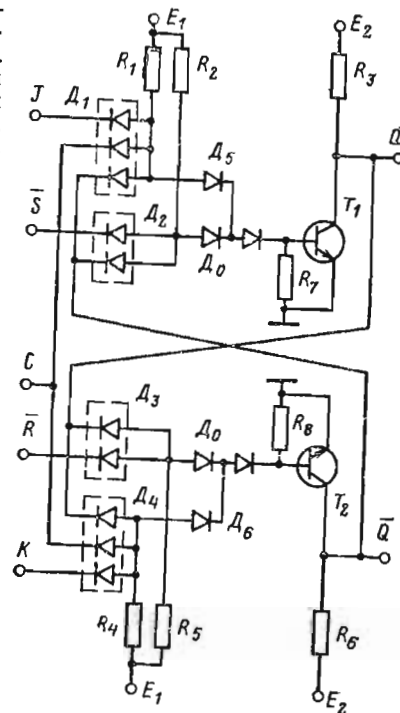


Рис. 4-32. JK -триггер серии К217.

режим работы обеспечивается двумя диодами D_5 и D_6 , которые обладают определенной инерционностью процесса выключения и выполняют роль внутренних элементов задержки. Рассмотрим работу триггера в счетном режиме.

Пусть для определенности в исходном состоянии триггера транзистор T_1 открыт, а транзистор T_2 закрыт. Сигналы на входах: $C=0$, $J=K=1$, $\bar{S}=\bar{R}=1$.

При подаче на C -вход уровня логической 1 в базу уже насыщенного транзистора T_1 потечет дополнительный ток от источника E_1 через резистор R_1 и инерционный диод D_5 . Состояние триггера не изменится, но диод D_5 накапливает в базе заряд.

При снятии счетного импульса ток от источника E_1 через R_1 переключается из базовой цепи транзистора T_1 в цепь источника

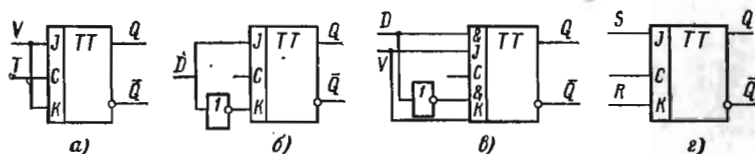


Рис. 4-33. Использование JK -триггера в качестве триггеров других типов.

а — типа TV и T (при $V=1$); б — типа D ; в — типа DV ; г — типа RS .

входного сигнала. Ток через резистор R_2 , протекавший ранее в базу транзистора T_1 , также переключится в цепь источника входного сигнала через диод D_5 благодаря низкому сопротивлению этого диода обратному току в течение времени рассасывания накопленного заряда.

Разряд диода D_5 вызовет также обратный базовый ток транзистора T_1 . В итоге транзистор закроется, а транзистор T_2 откроется, т. е. произойдет изменение состояния триггера. Переключение триггера из единичного состояния в нулевое происходит аналогично описанному с тем отличием, что при $C=1$ заряд накапливается в диоде D_6 .

На основе JK -триггера, как уже указывалось, можно с помощью внешних соединений его выводов (рис. 4-33) получить триггеры других видов.

4-9. ЦИФРОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ

Большинство микросхем повышенной степени интеграции представляют собой типовые функциональные узлы цифровой аппаратуры: многоразрядные счетчики, регистры, шифраторы и дешифраторы, многоразрядные сумматоры, преобразователи кодов, наборы отдельных логических элементов и триггеров и т. д.

К гибридным микросхемам повышенной степени интеграции относятся микросхемы серий К229, К230, К234, К240, к полупроводниковым — микросхемы серий К120, К144, К145, К501, К502 и др. В табл. 4-10 приведены параметры и виды микросхем некоторых из указанных серий.

Таблица 4-10

Серии микросхем повышенной степени интеграции

Параметры и виды микросхем	К229	К230	К234	К240	К120	К144	К501
Тип логики	ПТТЛ	ТТЛ	ПТТЛ	ДТЛ	МДПТЛ	МДПТЛ	МДПТЛ
$U_{н.п.}$, В	—5	5	—5	5 3	—12,6 —27	—12,6 —27	—12,6 —27
$F_{мкс.}$, МГц	100	8	110	3	0,2	1	0,2
$P_{пот.}$, Вт	1,4	1,2—1,7	1,5	0,45	0,07	0,2	0,2
$U_{п.}$, В	0,16	0,4	0,16	0,4	1	1	1
Регистр		+		+	+	+	+
Счетчик		+	+	+	+	+	+
Сумматор					+		
Дешифратор	+	+	+	+	+		
Преобразователь							
Многофункциональная схема							
Набор логических элементов	+			+			+
Набор триггеров	+			+			+

Серия К229 состоит из четырех типов микросхем. Принципиальная схема базового логического элемента приведена на рис 4-16. Микросхема К2ТК291 состоит из четырех не связанных между собой комбинированных DRS-триггеров, построенных по схеме, приведенной на рис. 4-28, б. На базе одной микросхемы К2ТК291 можно строить такие устройства, как десятичные и двоичные счетчики, делители, сдвигающие регистры, работающие с тактовыми частотами до 100 МГц. Импульсная помехоустойчивость триггеров по счетному входу характеризуется допустимой амплитудой импульса помехи 350 мВ при длительности 30 нс, по выводам питания и земли не менее 400 мВ при синусоидальной форме помехи.

Микросхема К2ИЛ291 содержит четыре полусумматора и два элемента ИЛИ-НЕ и позволяет путем коммутации выводов получить два однопорядковых сумматора или двухразрядный комбинационный сумматор.

Микросхема К2ИД291 — двухступенчатый дешифратор на четыре входа, предназначена для дешифрирования четырехразрядного двоичного кода, подаваемого на входы только своими прямыми значениями. Предусмотрена возможность управления выходами дешифратора с помощью сигнала, разрешающего (с уровнем логического 0) или запрещающего (с уровнем логической 1) считывание результата дешифрирования.

Микросхема К2ЖЛ291 содержит 16 типов логических элементов ИЛИ-НЕ/ИЛИ и позволяет получить достаточно сложные логические устройства, триггеры, регистры и т. д.

Допускается работа микросхем при положительном напряжении питания $+5 \text{ В} \pm 5\%$. При этом выходные уровни сигналов составят 3,3—3,55 В для логического 0 и 4,1—4,3 В для логической 1. Выпускаются микросхемы в керамическом корпусе К421 с 48 планарными выводами. По величинам входных и выходных уровней микросхемы серии К229 совместимы с микросхемами ПТТЛ серий К137 и К138.

Серия К234 включает три типа микросхем, каждая из которых является счетчиком с переменным коэффициентом счета. В качестве базового элемента каждой микросхемы выбран элемент ПТТЛ, примененный в серии К229. Микросхемы отличаются быстродействием и энергопотреблением. Все микросхемы серии имеют идентичные входные и выходные уровни напряжения, единое напряжение питания и один тип корпуса, характеризуются статической помехоустойчивостью 160 мВ. Серия предназначена для создания управляемых декад устройств цифровой автоматики, измерительной техники и аппаратуры связи, работающих в диапазоне температур от -60 до $+70^\circ\text{C}$ с тактовыми частотами от десятков герц до 110 МГц (см. гл. 5).

Серия К230 построена с применением бескорпусных полупроводниковых микросхем типа ТТЛ. В состав серии входят семь типов микросхем: статические регистры на четыре разряда, асинхронный и синхронный счетчики, реверсивный счетчик, преобразователь двоичного кода в десятичный — устройство управления цифровой неоновой лампой. Регистры и счетчики выпускают в двух модификациях, различающихся рабочей частотой: 5 и 10 МГц.

Микросхемы серии К230 выпускают в плоском керамическом корпусе К421 с 50 планарными выводами. Одна микросхема включает до 40 логических элементов, смонтированных и соединенных в определенное устройство на единой диэлектрической подложке. Микросхемы серии К230 по питанию, уровням входного и выходного

напряжений совместимы с микросхемами типа ТТЛ малой степени интеграции рассмотренных ранее серий. Это обеспечивает возможность их совместного использования в цифровых устройствах.

Основная область применения серии — цифровые узлы измерительных приборов и аналого-цифровых преобразователей.

Серия К240 построена с применением бескорпусных полупроводниковых микросхем типа ДТЛ. В состав серии входит большое количество микросхем, представляющих собой набор логических элементов И-НЕ. Путем внешней коммутации этих элементов можно построить более сложные цифровые узлы, триггеры, регистры, счетчики, полусумматоры и т. д. Такая структура микросхем позволяет использовать их в самых различных по сложности устройствах. Серия включает также регистры на 3, 4 и 8 разрядов, двухразрядный счетчик, сумматор, формирователь временных интервалов 50 нс — 1,5 с. Выпускают микросхемы в корпусе 254БМС36-1 с 36 штырьковыми выводами.

Серии полупроводниковых микросхем повышенной степени интеграции характеризуются низким быстродействием, малым энергопотреблением, высокой помехоустойчивостью, так как их микросхемы на МДП-транзисторах.

Серия К120 состоит из 20 типов микросхем, девять из которых имеют третью степень интеграции. Среди них: регистры на 4, 8, 12 и 16 разрядов, преобразователи кода, счетчики, дешифраторы, шифратор, сумматор. Микросхемы серии являются потенциальными, построены они по принципу, который иллюстрируется рис. 4-18, 4-19. Выпускают микросхемы в корпусе 101СТ14-1.

Серия К144 содержит две микросхемы: набор регистров из 1, 4 и 16 разрядов — одна микросхема, регистр на 90 разрядов — другая. Выпускаются микросхемы в корпусе 401МС12-1. Основная область применения — импульсные линии задержки, оперативные запоминающие устройства.

Серия К145 включает 4 микросхемы: устройство памяти и синхронизации, арифметическое устройство, устройство ввода команд, устройство управления. Напряжение питания 27 В. Рабочая частота до 100 кГц. Потребляемая мощность до 50 мВт. Микросхемы предназначены для применения в малогабаритных клавишных вычислительных машинах.

Особенностью микросхем серий К144 и К145 является то, что построены они на основе использования входных емкостей МДП-транзисторов в качестве запоминающих элементов. Выполнению емкостями этой функции способствует высокое входное сопротивление МДП-транзисторов.

Управление работой таких устройств осуществляется с помощью двухтактной (для К144) или четырехтактной (для К145) системы импульсов. Преимуществами такого принципа построения цифровых микросхем является меньшая потребляемая мощность, поскольку ток отбирается от источника только в моменты переключения элементов. Подробное описание микросхем указанного типа можно найти в [30].

Серия К501 состоит из 11 типов микросхем: многофункциональные логические схемы, которые можно настраивать на выполнение заданной функции подачей логических сигналов на управляющие входы, мультиплексоры (кодовые ключи), JK-триггер, 4-разрядный счетчик-регистр, постоянное запоминающее и арифметическое устрой-

ства. Серия предназначена для построения цифровых узлов аппаратуры различных классов, работающих с частотой в сотни килогерц.

Серия 502 состоит из трех типов микросхем, позволяющих строить решающие блоки цифровых дифференциальных анализаторов и вычислителей на их основе. Рабочая частота до 0,5 МГц и малая потребляемая мощность (до 45 мВт).

Наряду с рассмотренными выпускаются также серии, содержащие микросхемы с разной степенью интеграции. Например, серии ТТЛ — микросхем К133, К155 и др., хорошо зарекомендовавшие себя при разработках микроэлектронной аппаратуры, в настоящее время пополняются новыми микросхемами с повышенной функциональной сложностью и более высокой степенью интеграции: регистры, счетчики, дешифраторы и т. д.

4-10. СРАВНЕНИЕ СЕРИЙ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ

При проектировании цифровых устройств одной из важных задач является выбор серий микросхем, наиболее полно отвечающих предъявляемым требованиям к их быстродействию, энергопотреблению, помехоустойчивости, нагрузочной способности. Помимо этих показателей в расчет принимаются также функциональный состав серий, конструктивное оформление микросхем, устойчивость микросхем к внешним воздействиям и их надежность.

Один из способов выбора серий заключается в сравнении их по наиболее важным функциональным параметрам. Приведенные в этой главе данные о сериях микросхем различных типов позволяют сделать такое сравнение и дать некоторые рекомендации относительно области их применения.

Таблица 4-11

Классификация серий по быстродействию

Тип логики	Группа микросхем по быстродействию, $t_{зд}$, п. ср, нс			
	Сверхвысокое — 5	Высокое — 5—15	Среднее — 15—50	Низкое — более 50
РТЛ	—	—	—	К113, К114, К115, К201
ДТЛ	—	—	156, К194, К215, К217	К104, К121, К202, К240
ТТЛ	—	К130, К131, К243, 199	К106, К133, К155, К230	К106, К136, К158, К134
ПТТЛ	К138, К229, К234	К137, К187, К223	—	—
МДПТЛ	—	—	—	К107, К108, К120, К147, К172, К178, К176, К144, К145, К501, К502

Таблица 4-12

Классификация серий по помехоустойчивости

Тип логики	Максимально допустимое напряжение помехи, В		
	0,2	0,2—0,4	более 0,4
РТЛ	К113, К114, К115	К201	—
ДТЛ	—	К121, 156, 202, 215, 240	К104, К194, К217
ТТЛ	—	К133, К155, К136, К243, К230, 199, К106, К130, К131, К158	К134
ПТТЛ	К137, К138, К229, К234	—	—
МДПТЛ	—	—	К107, К108, К120, К172, К176, К178, К144, К145, К147, К501, К502

Для удобства сравнения различных серий составлены табл. 4-11 и 4-12, в которых серии классифицированы по быстродействию и помехоустойчивости входящих в их состав микросхем.

На основе сведений, приведенных в предыдущих параграфах, и данных табл. 4-11 и 4-12, можно сделать следующие выводы и рекомендации по выбору серий.

Микросхемы ПТТЛ являются наиболее быстродействующими: некоторые из них способны обеспечить работу цифровых устройств с частотой переключения более 100 МГц. Однако такие микросхемы потребляют от источника питания значительную мощность и характеризуются низкой помехоустойчивостью. Указанные особенности микросхем ПТТЛ необходимо учитывать при их применении. Например, малая длительность фронтов формируемых сигналов обуславливает необходимость использования для их неискаженной передачи согласованных соединительных линий типа микрополосковой или коаксиальной. Низкая помехоустойчивость микросхем заставляет принимать специальные меры по их защите от воздействия наводок от сигналов в соседних соединениях. Неслучайно в состав некоторых серий введены приемники сигналов с линии, обладающие повышенной помехоустойчивостью.

Микросхемы ПТТЛ несовместимы по питанию и уровням сигналов с микросхемами других типов. Однако возможность согласования имеется. С этой целью можно использовать микросхемы серий К187, которые согласовывают уровни микросхем ПТТЛ и ТТЛ.

Основной областью применения являются цифровые устройства, работающие с частотой выше 30 МГц, которые не могут быть построены на основе микросхем других типов. В дальнейшем по мере повышения быстродействия ТТЛ микросхем область применения ПТТЛ микросхем будет смещаться в сторону устройств сверхвысокого быстродействия.

Микросхемы ТТЛ характеризуются временными параметрами, лежащими в широком диапазоне значений. Это позволяет применять микросхемы ТТЛ в устройствах различного быстродействия: высокого, среднего и низкого. Серии ТТЛ микросхем выпускают комплексами, например серии К130, К133, К136, что обуславливает возможность оптимизации цифровых устройств по энергопотреблению. Микросхемы ТТЛ характеризуются сравнительно высокой помехоустойчивостью, что делает устройства на их основе более устойчивыми к воздействию помех. Принимая во внимание свойства и возможности существующих ТТЛ микросхем, целесообразно рекомендовать их для широкого применения в устройствах, работающих с частотой переключения до 20 МГц. Следует отметить реальную перспективу повышения быстродействия ТТЛ микросхем путем применения в них приборов Шоттки, ограничивающих насыщение транзисторов и ускоряющих тем самым их переключение.

Микросхемы ДТЛ характеризуются средним и низким быстродействием. По помехоустойчивости они практически не отличаются от ТТЛ микросхем, и как правило, совместимы с ТТЛ микросхемами по уровням сигналов. Применяются ДТЛ микросхемы в цифровых устройствах невысокого (сотни килогерц, единицы мегагерц) быстродействия.

Микросхемы РТЛ характеризуются низким быстродействием, малой потребляемой мощностью и низкой помехоустойчивостью. По уровням сигналов и напряжению питания микросхемы РТЛ несовместимы с микросхемами других типов, перспективны для применения в цифровых устройствах низкого быстродействия (сотни килогерц) с жестко ограниченным энергопотреблением.

Микросхемы МДПТЛ характеризуются низким быстродействием, небольшим энергопотреблением и повышенной помехоустойчивостью. Существенные особенности микросхем МДПТЛ: необходимость в относительно высоковольтных (до 27 В) источниках питания, высокие уровни сигналов, несовместимость с микросхемами всех рассмотренных типов. В настоящее время уже достигнут высокий уровень развития этого направления цифровой микроэлектроники по степени интеграции, электрическим параметрам и функциональным возможностям микросхем (см. § 4-7, 4-9). Область применения — цифровые устройства невысокого (до 1 МГц) быстродействия, в частности миниатюрные вычислительные устройства (см. гл. 5).

Глава пятая

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ЦИФРОВЫХ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

5-1. ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ КОМБИНАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

К комбинационным относятся устройства, у которых отсутствующим элементом памяти и выходные сигналы определяются только комбинацией входных сигналов в данный момент времени. Примерами комбинационных устройств являются логические схемы, дешифраторы, сумматоры, схемы сравнения чисел, преобразователи кодов и т. п.

Рассмотрим особенности построения функциональных схем комбинационных устройств. Как правило, условия их работы приводятся к логическим функциям, содержащим три основные логические операции: И, ИЛИ, НЕ. Интегральные микросхемы обычно не содержат таких наборов элементов, а выполняют более сложные функции, в частности И-НЕ (элементы ДТЛ, ТТЛ) и ИЛИ-НЕ

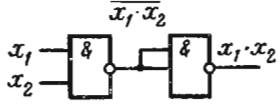
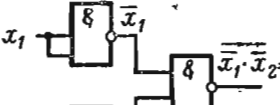
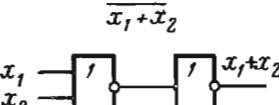
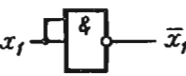
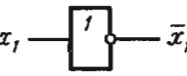
Функция	Реализация	
	И - НЕ	ИЛИ - НЕ
И		
ИЛИ		
НЕ		

Рис. 5-1. Реализация функций И, ИЛИ, НЕ на элементах И-НЕ и ИЛИ-НЕ.

(элементы РТЛ, ПТТЛ, МДПТЛ). Способы реализации основных логических функций на элементах И-НЕ и ИЛИ-НЕ показаны на рис. 5-1. Схемы реализации даны для случая, когда число входных переменных m не превышает максимальное число входов в ячейку K_{06} . Если $m > K_{06}$, то для реализации функций И и ИЛИ чаще всего используются расширители. Пример включения расширителя по И приведен на рис. 5-2, а. При отсутствии в серии расширителей или в случаях, когда их использование приводит к увеличению общего

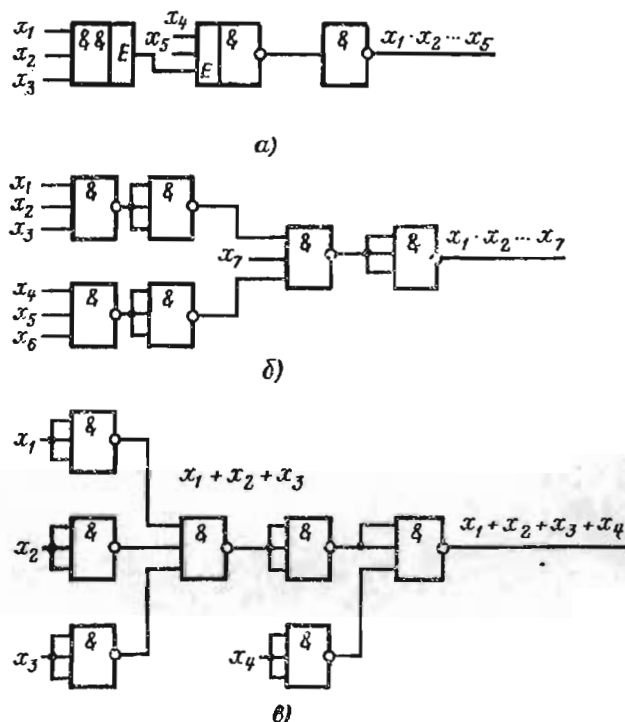


Рис 5-2. Реализация функций И и ИЛИ на элементах И-НЕ.

а — с использованием расширителя; б, в — без расширителя.

числа микросхем, целесообразно строить пирамидальные схемы из элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Примеры реализации функций И и ИЛИ на логических элементах с тремя входами показаны на рис. 5-2, б, в.

Следует иметь в виду, что наличие в составе серий элементов, выполняющих функцию И-ИЛИ-НЕ, часто позволяет уменьшить количество микросхем и число внешних соединений, необходимых для реализации заданной функции. Например, для построения функции $f = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$ требуются четыре элемента И-НЕ (рис. 5-3, а) и только один элемент И-ИЛИ-НЕ (рис. 5-3, б). Количество внешних

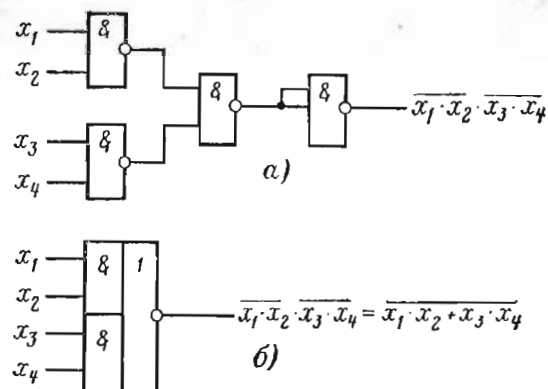


Рис. 5-3. Варианты реализации схемы на элементах И-НЕ и И-ИЛИ-НЕ.

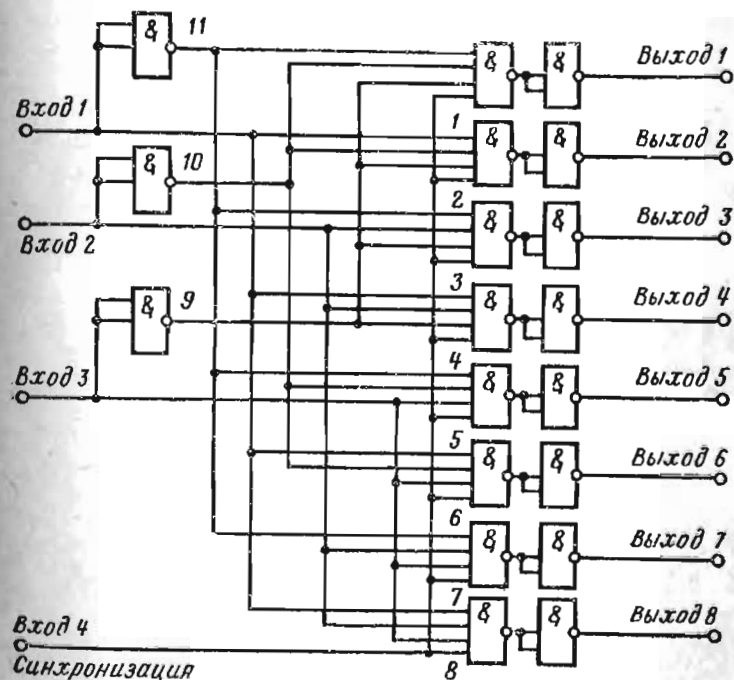


Рис. 5-4. Дешифратор на восемь выходов на элементах И-НЕ.

соединений в последней схеме уменьшилось. В подобных случаях рассматривается несколько возможных вариантов и выбирается лучший из них.

Приведенные особенности реализации функций на элементах И-НЕ, ИЛИ-НЕ, И-ИЛИ-НЕ справедливы как для логических схем, так и для типовых узлов дискретной аппаратуры, например дешифраторов, сумматоров, устройств сравнения чисел, преобразователей кодов и т. п.

Покажем некоторые варианты построения этих узлов.

Дешифраторы представляют собой устройства, в которых при любой комбинации входных двоичных сигналов появляется сигнал 1 только на одном из выходов. Принципиальная схема дешифратора с синхронизацией на восемь выходов, реализованного на элементах И-НЕ, представлена на рис. 5-4. Сигналы подаются на входы $1-3$. На выходах элементов $9-11$ образуются инверсии этих сигналов. Выходная информация снимается с выходов $1-8$. На выходе дешифратора положительный сигнал появляется при одновременном наличии определенной комбинации сигналов на входах элементов $1-8$ и импульса синхронизации на входе 4 . Его длительность определяется шириной выходных импульсов дешифратора.

Сумматоры предназначены для осуществления операции сложения чисел в двоичном коде. Сложение двух двоичных чисел производится в соответствии с таблицей истинности (табл. 5-1), где A_i и

Таблица состояний сумматора

Входы			Выходы	
A_i	B_i	P_{i-1}	P_i	S_i
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

B_i — значения складываемых двоичных чисел в данном разряде, S_i — результат суммирования в данном разряде, P_i, P_{i-1} — значения сигналов переноса соответственно в данном и предыдущем разряде. Пример схемы одноразрядного сумматора, построенного на элементах И-ИЛИ-НЕ, показан на рис. 5-5. Схемы сравнения двух чисел служат для поразрядного сравнения двух чисел и выдачи результатов этого сравнения. Для каждой пары сравниваемых разрядов $a[n]$ и $b[n]$ вычисляется сумма по модулю 2. Эта логическая операция $(a \oplus b)$ определяется таблицей состояний (табл. 5-2). Если значения соответствующих разрядов совпадают, то на выходе устройства появляется высокий потенциал.

Схема устройства сравнения двух четырехразрядных чисел на элементах И-ИЛИ-НЕ, И-НЕ приведена на рис. 5-6. На входы схем И элементов 1 и 2 подаются попарно прямой и инверсный сигналы

Таблица 5-2

Таблица состояний сумматора по модулю 2

a	b	$a \oplus b$	a	b	$a \oplus b$
0	0	0	1	0	1
0	1	1	1	1	0

сравниваемых разрядов (например, для первого разряда $a[1]$ и $b[1]$). Если эти сигналы не совпадают, т. е. сравниваемые коды равны, то на выходах схем И сигналы будут равны нулю и это приведет к тому, что на выходах элементов 1 и 2 появится единичный сигнал. На выходе устройства сравнения S_p также будет единичный сигнал.

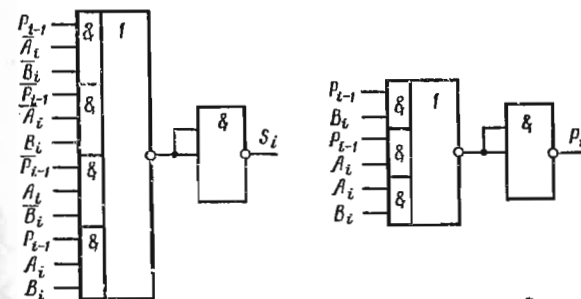


Рис. 5-5. Одноразрядный комбинационный сумматор на элементах И-ИЛИ-НЕ и И-НЕ.

Таблица 5-3

Таблица состояний для преобразователя двоичного кода в код Грея

Количество счетных импульсов	Двоичный код (входы)			Код Грея (выходы)		
	$C(2^3)$	$B(2^2)$	$A(2^1)$	P_1	P_2	P_3
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1
2	0	1	0	0	1	1
3	0	1	1	0	1	0
4	1	0	0	1	1	0
5	1	0	1	1	1	1
6	1	1	0	1	0	1
7	1	1	1	1	0	0

Если хотя бы в одном разряде входные сигналы совпадут, т. е. коды не будут равны, сигнал Cp будет равен нулю.

Преобразователи кодов предназначены для перехода от одного кода к другому. В качестве примера покажем схему преобразователя из двоичного кода в код Грея (при этом коде в процессе счета с приходом каждого следующего импульса меняется сигнал только на одном выходе).

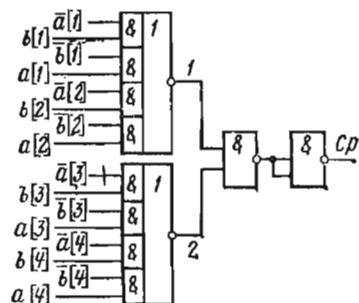


Рис. 5-6. Схема сравнения двух-четырёхразрядных чисел на элементах И-ИЛИ-НЕ и И-НЕ.

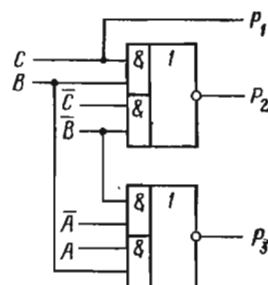


Рис. 5-7. Преобразователь двоичного кода в код Грея на элементах И-ИЛИ-НЕ.

Для указанного преобразователя кодов приведена таблица состояний (табл. 5-3).

В соответствии с этой таблицей связи между входными (ABC) и выходными сигналами (P_1, P_2, P_3) можно представить в виде логических уравнений:

$$P_1 = C; \quad P_2 = \overline{B \cdot C} + \overline{B \cdot \overline{C}}; \quad P_3 = \overline{A \cdot B} + A \cdot B;$$

Реализация рассмотренного преобразователя кодов на элементах И-ИЛИ-НЕ приведена на рис. 5-7.

5-2. ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТНЫХ УСТРОЙСТВ

К последовательным устройствам относятся узлы, в которых имеются элементы памяти, а выходные сигналы определяются не только комбинацией входных сигналов в данный момент, но и предыдущим состоянием схемы. Примерами последовательных устройств являются триггеры, регистры, счетчики, распределители.

Элементная база последовательных устройств

Основными элементами, которые используются для построения регистров, счетчиков, распределителей и других последовательных устройств, являются одноступенчатые и двухступенчатые триггеры.

При построении регистров и счетчиков необходимо согласование выходных и входных сигналов триггеров, входящих в состав этих устройств, по полярности и во времени. В частности, для счетчиков необходимо, чтобы сигнал на выходе предыдущего разряда появлялся только после окончания тактового импульса. Это обеспечивает правильную последовательность работы всех разрядов.

При построении последовательных устройств широко используются триггеры, входящие в состав серий (см. гл. 4). При отсутствии по каким-либо причинам готовых триггеров их можно построить

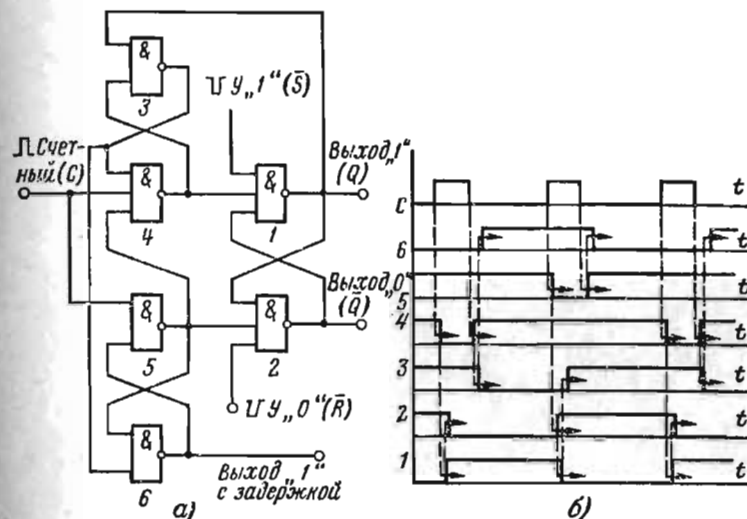


Рис. 5-8. D-триггер на элементах И-НЕ.
а — схема триггера; б — временная диаграмма.

из отдельных логических элементов с учетом структуры устройств, где они будут применяться.

В качестве примера приведем схему D-триггера (рис. 5-8, а) на элементах И-НЕ. В основу построения этого устройства положена схема трех триггеров, в которой запись производится в основной триггер (элементы 1, 2), а хранение информации в паузе между импульсами осуществляется на элементах 3, 6.

За единичное плечо триггера условно принимается верхнее Q , за нулевое — нижнее $\bar{Q}$. Полярность импульсов, поступающих на счетный вход C , положительная, на установочные входы $Y \ll 0 \gg$, $Y \ll 1 \gg$ — отрицательная.

Временные диаграммы, поясняющие работу триггера, приведены на рис. 5-8, б. На диаграммах пунктиром и стрелками показана последовательность срабатывания элементов.

Рассмотренная схема триггера может быть базовой для построения других узлов дискретной аппаратуры.

Максимальная тактовая частота триггера определяется общей за-

ся N тактовых импульсов. Время записи числа при этом будет $t_3 = N/f_{т.и.}$, где $f_{т.и.}$ — частота тактовых импульсов.

Сдвигающий регистр может использоваться как преобразователь параллельного кода в последовательный. В этом случае триггеры в исходном состоянии устанавливаются в положение, соответствующее параллельному коду. Последовательным выводом числа из регистра

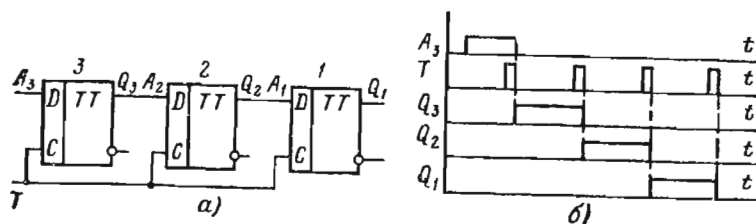


Рис. 5-11. Сдвигающие регистры.

а — одноканальный регистр на D-триггерах; б — временная диаграмма.

получают последовательный код. Обратное преобразование возможно путем снятия параллельного кода с выходов триггеров после ввода в регистр последовательного кода.

Как будет показано ниже, регистры широко применяются для построения счетчиков и распределителей.

Счетчики

Счетчики импульсов — устройства, предназначенные для подсчета количества импульсов, поданных на вход. В дискретной аппаратуре применяются суммирующие, вычитающие и реверсивные счетчики (последние позволяют производить как сложение, так и вычитание). По виду связи между разрядами различают счетчики с непосредственными связями, с переносом и комбинированными связями. По коэффициенту счета счетчики можно разделить на двоичные и с произвольным коэффициентом счета.

Счетчики с непосредственными связями характеризуются тем, что управляющими сигналами для старших разрядов являются сигналы, снимаемые с информационных выходов младших разрядов.

Схема двоичного счетчика с однопроводной последовательной связью на T-триггерах показана на рис. 5-12, а. В исходном состоянии все разряды устанавливаются в 0 (цепи сброса не показаны). При поступлении импульса счета (рис. 5-12, б) первый разряд подготавливается к переключению и после окончания импульса перейдет в состояние $Q_1=1$. Сигнал 1 подается на вход второго разряда. После окончания второго счетного импульса второй разряд перейдет в состояние $Q_2=1$, когда на выходе Q_1 исчезнет сигнал 1. Сигнал $Q_2=1$ подготавливает срабатывание третьего разряда. При поступлении семи импульсов $Q_1=Q_2=Q_3=1$ восьмой импульс переключит все разряды в состояние 0.

Подобные счетчики являются простейшими по схемной реализации, но имеют невысокое быстродействие. Быстродействие счетчиков

обычно характеризуется временем установки и максимальной частотой поступления счетных импульсов.

Максимальное время установки определяется временем перехода N -разрядного счетчика из кода 111...1, соответствующего заполненному счетчику, в код 000...0, соответствующий исходному состоянию. При этом должны последовательно сработать N триггеров и время установки будет равно $t_{уст} = Nt_T$.

Максимальная частота поступления счетных импульсов определяется из выражения

$$f_{сч} = \frac{1}{t_{имп} + Nt_T},$$

где $t_{имп}$ — длительность счетного импульса.

При работе последовательного счетчика в режиме делителя, т. е. когда информация снимается только с выхода старшего разряда,

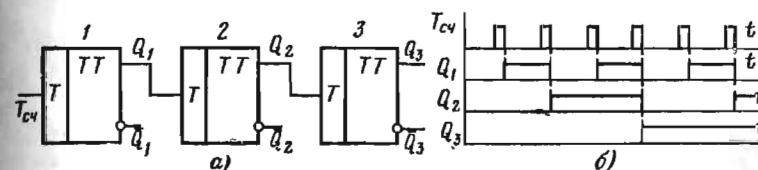


Рис. 5-12. Двоичный счетчик с однопроводной последовательной связью на T-триггерах.

а — структурная схема; б — временная диаграмма.

максимальная частота его работы будет определяться максимальной частотой переключения счетного триггера младшего разряда, т. е. $f_{сч} = f_{т.и.}$

В счетчиках с переносом для запуска старших разрядов используются специальные импульсы переноса, сформированные в младших разрядах. В зависимости от способа организации переноса различают счетчики с последовательным, параллельным и параллельно-последовательным переносом. Наибольшая простота этих счетчиков достигается в случаях, когда используются такие схемы триггеров, внутри которых формируется импульс переноса.

Структурная схема счетчика с последовательным переносом показана на рис. 5-13, а. Реализация этой структурной схемы на D-триггерах, построенных на элементах И-НЕ (см. рис. 5-8, а), показана на рис. 5-13, б. Счетные импульсы поступают на вход 1 первого разряда, а для управления вторым и последующими разрядами формируются импульсы переноса (на выходе элемента 5 каждого разряда). На последующий разряд эти импульсы подаются через инвертор 7, который служит для согласования полярности сигналов между разрядами. Результат счета фиксируется на выходах 1, 2 в виде кода, являющегося двоичным представлением количества поданных на счетчик импульсов. Входы 2, 3 служат для поразрядной установки параллельного кода, вход 4 — для приведения счетчика в нулевое состояние. На временной диаграмме (рис. 5-13, в) показаны импульсы на информационном выходе и сигналы переноса каждого разряда. Последовательность работы элементов внутри каждого раз-

ряда была рассмотрена ранее (см. рис. 5-8, б). Из временной диаграммы работы счетчика следует, что импульс переноса одинаков для всех разрядов и равен по длительности счетному импульсу.

Максимальная частота счетных импульсов равна:

$$f_{сч} = \frac{1}{t_{имп} + (N-1)t_{зд,п}},$$

где $t_{зд,п}$ — задержка импульса переноса, равная в рассматриваемой схеме $2t_{зд,г,ор}$ (задержка на элементах 7, 4 или 7, 5).

В счетчиках с последовательным переносом быстродействие несколько выше, чем в счетчиках с непосредственными связями, за счет

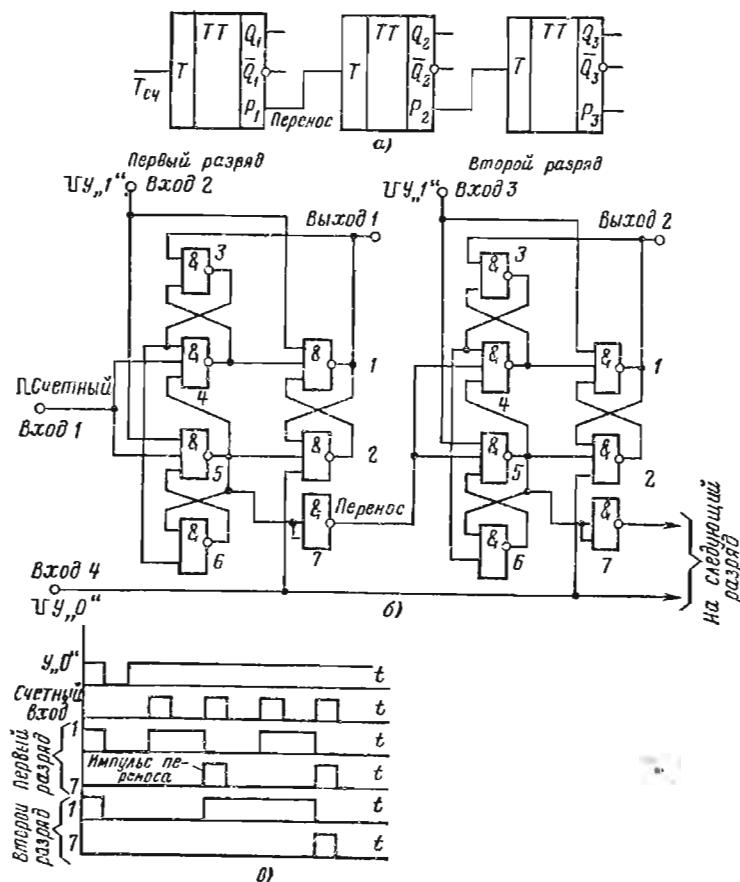


Рис. 5-13. Двоничные счетчики с последовательным переносом.

а — структурная схема счетчика на Т-триггерах; б — схема счетчика на элементах И-НЕ; в — временная диаграмма.

того, что обычно $t_{зд,п} < t_{т}$, но все же они применяются не на очень высоких частотах.

В счетчиках с параллельным переносом счетные импульсы подаются на все разряды одновременно и изменение состояния данного разряда происходит только при определенном состоянии всех предыдущих разрядов. Структурная схема счетчика с параллельным переносом показана на рис. 5-14, а. Пусть в исходном состоянии в счетчике записан код 000. После первого счетного импульса сигнал Q_1 станет равным 1, при этом подготовится к срабатыванию схема совпадения 1. Второй счетный импульс вернет Q_1 в исходное состояние и через схему совпадения 1 пройдет на триггер второго разряда. Схема совпадения 2 закрыта, так как $Q_1=0$. Таким образом, после второго счетного импульса $Q_1=0$, $Q_2=1$, $Q_3=0$. После третьего счетного импульса в счетчике будет зафиксирован код 011. Теперь в состоянии, открытом для прохождения счетных импульсов, будут находиться обе схемы совпадения. В результате четвертый импульс поступит на все три разряда и установит счетчик в состояние 100.

Схемы совпадения могут быть выполнены внутри триггера, если у него имеется входная логика. Пример построения счетчика с параллельным переносом на J-K-триггерах показан на рис. 5-14, б. Здесь используется схема совпадения на три входных сигнала 1.

Другой пример построения счетчика с параллельным переносом без использования дополнительных схем совпадения показан на рис. 5-14, в. Счетчик построен на D-триггерах (см. рис. 5-8, а). Функции схем совпадения выполняют элементы 4, 5. Предположим, что исходное состояние всех разрядов нулевое, т. е. на выходах 1—3 низкие уровни напряжения.

Первый счетный импульс формируется на выходе элемента 4 первого разряда и устанавливает данный разряд в единичное состояние. Импульс на выходах элементов 4 следующих разрядов не выделяется, так как его прохождение запрещается низким уровнем, подаваемым с выхода элемента 6 первого разряда. Поэтому триггеры второго и третьего разрядов состояния не изменяют. Второй счетный импульс выделяется на элементе 5 первого разряда и элементе 4 второго разряда, устанавливая триггеры этих разрядов соответственно в нулевое и единичное состояние. На элементе 4 третьего разряда выделяется четвертый импульс, устанавливая разряд в единичное состояние, и т. д. После седьмого счетного импульса на единичных выходах триггеров всех разрядов счетчика будут 1, а после восьмого — 0.

Максимальная частота тактовых импульсов для счетчиков с параллельным переносом составляет:

$$f_{сч} = \frac{1}{t_{н} + t_{зд,п} + t_{т}},$$

где $t_{зд,п}$ — задержка схемы совпадения.

В случаях, когда дополнительных схем И нет (рис. 5-14, б, в), $f_{сч} = 1/(t_{имп} + t_{т})$.

Очевидно, что быстродействие рассматриваемых счетчиков значительно выше, чем у последовательных, и их применяют на высокой частоте.

Недостатком счетчиков с параллельным переносом является использование схем И с различным числом входов, что при большом количестве разрядов может привести к необходимости использования расширителей по И. Для устранения этого недостатка применяют

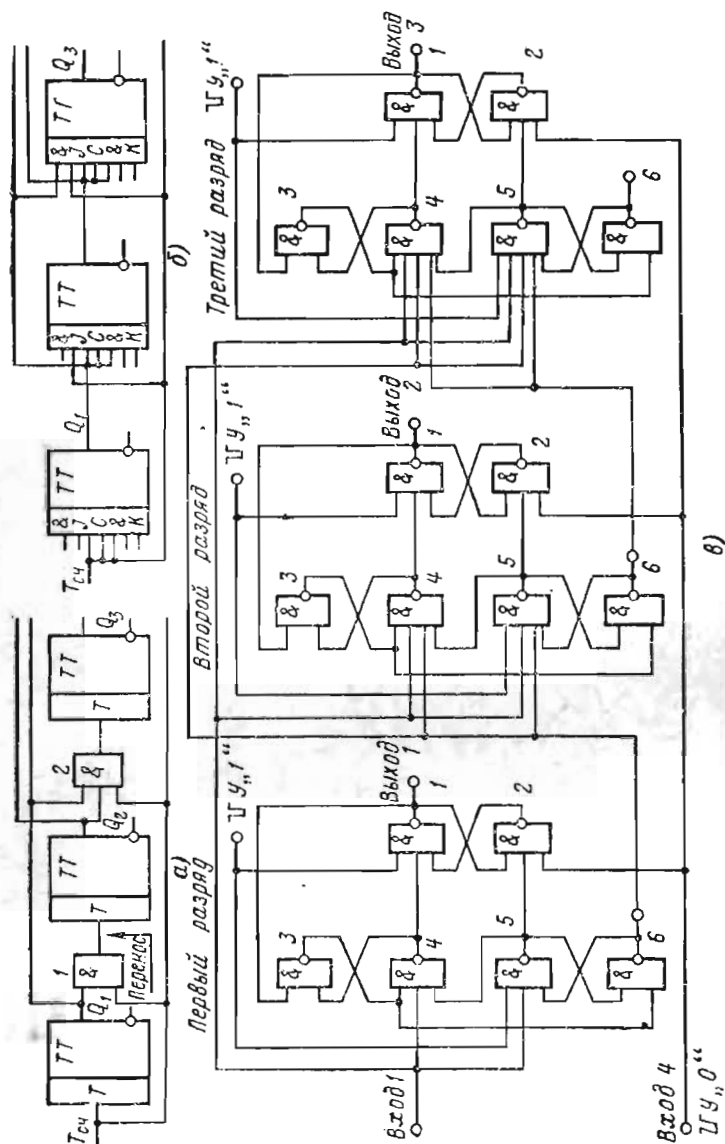


Рис. 5-14. Двоичные счетчики с параллельным переносом.
а — структурная схема счетчика на Т-триггерах; б — структурная схема счетчика на ИК-триггерах; в — схема счетчика на Д-триггерах.

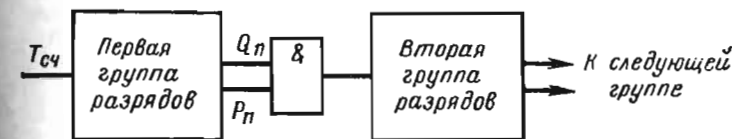


Рис. 5-15. Двоичный счетчик с параллельно-последовательным переносом.

ницу. Схема реверсивного счетчика с последовательным переносом на Т-триггерах показана на рис. 5-16. В этой схеме управление режимом работы счетчика производится с помощью сигналов, поступающих на шины $У_c$ (сложение) и $У_v$ (вычитание). Связь между разрядами осуществляется через схему И-ИЛИ, выполненную на элементах И-НЕ. В режиме сложения сигнал на вход второго разряда подается при условии $У_c=1$ и $Q_1=1$, т. е. счетчик будет увеличивать показания на единицу с приходом каждого счетного импульса.

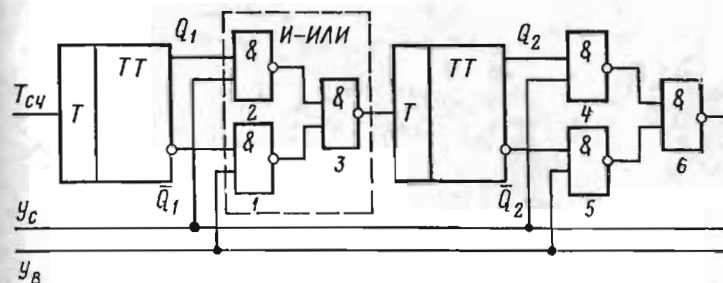


Рис. 5-16. Структурная схема двоичного реверсивного счетчика на Т-триггерах.

Рассмотрим работу схемы в режиме вычитания ($У_v=1$). Пусть состояние триггеров соответствует 11. После первого счетного импульса $Q_1=0$ (код 10) и сигнал $Q_1=1$ подготовит к срабатыванию триггер второго разряда по цепи из элементов 1, 3. Второй импульс

пересбросит первый разряд в 1, а второй — в 0 (код 01). При этом на вход третьего разряда будет подана 1 через цепь элементов 5, 6. После третьего импульса на счетчике будет записан код 00. Таким образом с приходом каждого счетного импульса показания счетчика уменьшаются на единицу.

Счетчики с произвольным коэффициентом счета позволяют получить коэффициент счета, т. е. количество устойчивых состояний, $K_{сч}$, отличный от 2^N . Принцип построения таких счетчиков заключает-

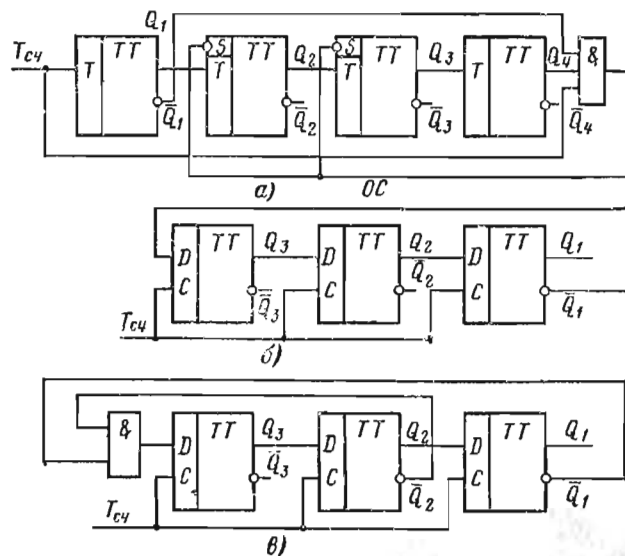


Рис. 5-17. Счетчики с произвольным коэффициентом счета.

а — структурная схема десятичного счетчика на T -триггерах; б — структурная схема счетчика на шесть на регистре сдвига с перекрестными связями; в — структурная схема счетчика на пять на регистре сдвига с перекрестными связями.

ся в исключении «лишних» устойчивых состояний. Это может быть достигнуто применением логических схем, запрещающих некоторые состояния, использованием обратных связей, а также начальной установкой счетчика в определенное состояние и т. д.

Пример счетчика на 10, построенного на T -триггерах, показан на рис. 5-17, а. Отличие данной схемы от двоичного счетчика заключается в наличии двух цепей обратной связи, осуществляющих принудительную установку второго и третьего разрядов в состояние 1. Во время первых восьми импульсов схема работает как обычный двоичный суммирующий счетчик. При подаче девятого импульса на выходе схемы совпадения появится 1 ($Q_1=1$ и $Q_4=1$), которая подается на установочные входы второго и третьего разрядов и пере-

водит их в состояние 1. Этим в счетчик добавляется шесть единиц, что соответствует исключению такого же количества «лишних» состояний. После окончания девятого импульса в счетчике будет записан код 1111. Десятый импульс приведет счетчик в исходное состояние. В общем случае при использовании одной обратной связи, охватывающей i триггеров, можно уменьшить коэффициент счета на 2^{N-i} .

Счетчики с произвольным коэффициентом счета часто строят на базе сдвигающих регистров. Такой счетчик на двухступенчатых D -триггерах показан на рис. 5-17, б. Перекрестная связь выхода первого разряда с входом последнего обеспечивает инверсную перезапись информации с первого на последний разряд регистра при прямой перезаписи во всех остальных разрядах. В процессе работы счетчик сначала заполняется единицами (при подаче первых трех импульсов), а потом нулями. Таблица состояний счетчика на шесть приведена в табл. 5-4. Изменяя количество разрядов в рассмотренной

Таблица 5-4

Таблица состояний счетчика на шесть

Количество импульсов	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}
0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0
2	1	1	0	1	1	1
3	1	1	1	0	1	1
4	0	1	1	0	0	1
5	0	0	1	0	0	0

структуре, можно получать схемы, имеющие четный коэффициент счета $K_{сч}=2N$.

Для построения счетчиков с нечетным коэффициентом счета необходимо ввести в состав схемы дополнительный вентиль, позволяющий исключить одно «лишнее» состояние. Пример счетчика на пять показан на рис. 5-17, в. Таблица состояний такого счетчика приведена в табл. 5-5. Широкое распространение получили счетчики на кольцевых сдвигающих регистрах, в которых только один триггер нахо-

Таблица 5-5

Таблица состояний счетчика на пять

Количество импульсов	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}
0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0
2	1	1	0	0	1	1
3	0	1	1	0	0	1
4	0	0	1	0	0	0

дится в состоянии 1. Эта единица перемещается по регистру счетными импульсами. Количество разрядов регистра в таком счетчике равно коэффициенту счета. Рассмотренный вид счетчиков требует большего, чем у других видов, количества триггеров, но он прост и не требует дешифратора при индикации результата счета.

Распределители

Распределители предназначены для формирования разнесенных во времени сигналов, которые управляют другими устройствами дискретной аппаратуры. По виду формируемых сигналов распределители подразделяют на распределители импульсов, потенциалов и комбинированные. В первом случае длительность сигнала равна длительности тактовых импульсов, во втором — их периоду. Распределители обычно строятся на базе регистров и счетчиков, которые дополняются дешифраторами.

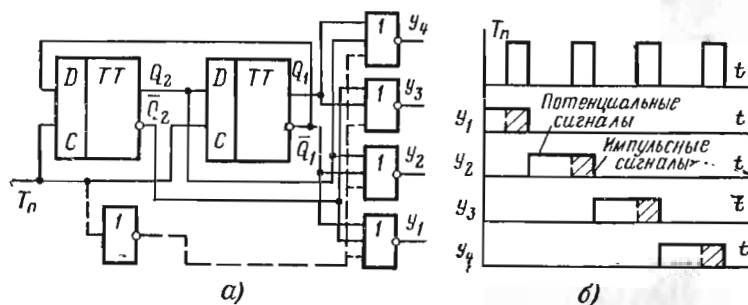


Рис. 5-18. Распределитель.

а — структурная схема распределителя на четыре выхода на D-триггерах; б — временная диаграмма.

Распределитель с четырьмя выходами на сдвигающем регистре с перекрестными связями показан на рис. 5-18, а. При подаче тактовых импульсов распределитель последовательно принимает четыре устойчивых состояния. Каждое из состояний формируется после окончания тактового импульса (рис. 5-18, б). При любой комбинации сигналов регистра появляется высокий уровень потенциала на одном из выходов распределителя в соответствии с логическими уравнениями: $y_1 = Q_1 Q_2$, $y_2 = Q_1 \bar{Q}_2$, $y_3 = \bar{Q}_1 Q_2$, $y_4 = \bar{Q}_1 \bar{Q}_2$.

Дешифратор реализован на элементах ИЛИ-НЕ, поэтому на вход входов подводятся инверсные сигналы, например $y_1 = Q_1 Q_2 = \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2$. Для получения на выходе распределителя импульсов на вход схем совпадения подается инверсный сигнал T_n , который обеспечивает выдачу сигнала со схемы ИЛИ-НЕ только во время действия тактового импульса. Цепь создания импульсных сигналов показана пунктиром на рис. 5-18, а.

Широкое применение находят распределители на двоичных счетчиках. Поскольку такие счетчики являются устройствами с 2^N устой-

чивыми состояниями, то для построения распределителей необходимо к выходам счетчика подключить дешифратор на 2^N выходов. Для построения распределителей с малым числом выходов используются кольцевые счетчики. Такие распределители не требуют дешифратора.

Формирователи и генераторы импульсов

Формирователи предназначены для получения импульсов определенной формы и длительности.

Формирователи типа триггера Шмитта, которые обеспечивают получение прямоугольных импульсов, могут выполняться как на готовых микросхемах, содержащихся в некоторых сериях (см. § 2-5),

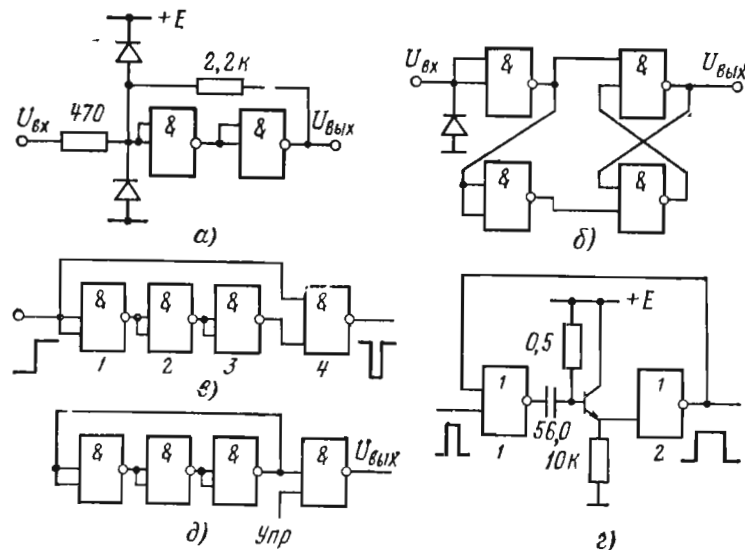


Рис. 5-19. Формирователи и генераторы импульсов на основе микросхем.

а, б — формирователи прямоугольных импульсов; в — формирователь коротких импульсов; г — формирователь длинных импульсов; д — генератор импульсов.

так и на базе элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ с использованием навесных элементов. На рис. 5-19, а приведен пример подобного устройства, преобразующего синусоидальный сигнал в прямоугольные импульсы. Положительная обратная связь, создающая крутые фронты выходных импульсов, вводится включением резистора между выходом второго и входом первого инвертора. Входное напряжение в этом формирователе подается через дополнительный резистор сопротивлением 470 Ом. Диоды, подключенные ко входу первого инвертора, ограничивают величину приложенного напряжения.

Вариант построения триггера Шмитта без дополнительных резисторов показан на рис. 5-19, б. Устройство содержит предварительный усилитель (левые инверторы) и RS-триггер (правые инверторы). Предварительный усилитель улучшает фронты формируемого напряжения и управляет триггером, с выхода которого снимаются прямоугольные импульсы.

Формирователь коротких импульсов на элементах И-НЕ приведен на рис. 5-19, а. На входы элемента 4 поданы взаимно-инверсные сигналы со входа и выхода цепи инверторов. Сигнал 0 на выходе элемента 4 появляется только в том случае, когда сигнал на входе элемента 1 переходит из 0 в 1. При этом, пока происходит переключение элементов 1—3, на оба входа элемента 4 будут поданы единичные сигналы. Длительность выходного импульса формирователя можно изменять количеством последовательно включенных инверторов (их число должно обязательно быть нечетным).

Формирователь длинных импульсов на элементах ИЛИ-НЕ показан на рис. 5-19, г. В исходном положении сигнал на выходе элемента 2 равен 0, так как на его вход через открытый транзистор эмиттерного повторителя подается положительный потенциал. При подаче на вход элемента 1 кратковременного положительного импульса отрицательный скачок напряжения передается через конденсатор на эмиттерный повторитель и далее на вход элемента 2. На его выходе установится сигнал 1, который по цепи обратной связи будет удерживать элемент 1 в состоянии 0, даже если входной импульс закончится. Схема будет в таком состоянии до тех пор, пока не зарядится конденсатор. После этого выходной сигнал элемента 1 станет равным 1, а сигнал элемента 2—0. Рассмотренная схема позволяет получить длительность выходного импульса более 10 с.

Генераторы импульсов могут быть построены с использованием кольца, содержащего нечетное количество логических микросхем, в котором возникает режим автоколебаний (рис. 5-19, д). Частоту на выходе этого устройства можно понизить, если использовать шунтирование выходов элементов конденсаторами.

Различные варианты формирователей и генераторов импульсов на микросхемах приведены в [6].

Устройства индикации цифровой аппаратуры

Для визуального определения состояния логических схем, счетчиков, распределителей и других узлов широко используется световая индикация. Она может производиться с помощью миниатюрных ламп накаливания (например, НСМ-6,3—20), которые могут включаться на выход цифровых микросхем через эмиттерный повторитель. Пример включения лампы накаливания на выход микросхемы 2ЛБ172 показан на рис. 5-20, а. В некоторых сериях имеются специальные схемы, предусматривающие подключение устройств индикации. Пример включения лампы накаливания на выход микросхемы 1ЛБ337 с открытым коллектором показан на рис. 5-20, б.

Индикация может осуществляться с помощью светодиодов, которые начинают светиться при подаче напряжения 3—5 В. Такие низкие напряжения позволяют легко согласовывать светодиоды с выходными сигналами цифровых микросхем.

Маломощные светодиоды можно включать вместо нагрузки инверторов микросхем. Более мощные светодиоды включаются через

простейшие усилители, которые питаются от того же источника, что и сами микросхемы. Для считывания информации со счетчиков применяются цифросинтезирующие индикаторы на светодиодах. Они содержат набор светодиодов, зажигающихся в комбинациях, обеспечивающих высвечивание цифр. Устройства для индикации счетчиков широко используют газоразрядные цифровые индикаторные лампы

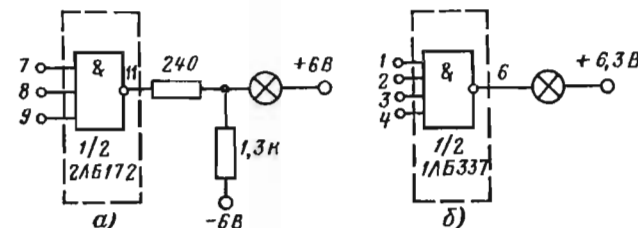


Рис. 5-20. Включение устройств индикации состояния микросхем.

а — включение через делитель напряжения для схемы серии 217; б — непосредственное включение для серии К133.

(ИН-1, ИН-2, ИН-4, ИН-8, ИН-12), которые имеют один или два анода и десять катодов, выполненных в виде цифр от 0 до 9. При подаче на анод и соответствующий катод напряжения последний начинает светиться. Для управления цифровыми индикаторами требуется дешифратор и согласующее устройство по напряжению. (Оно необходимо, поскольку рабочее напряжение индикаторов около 200 В).

Пример счетчика с устройством индикации на двуханодной цифровой индикаторной лампе ИН-4 показан на рис. 5-21. Устройство включает в свой состав двоично-десятичный счетчик на триггерах 2ТК171, дешифратор на микросхемах 1ЛБ551 и 1ЛБ553, устройство согласования высоковольтного цифрового индикатора с низковольтными микросхемами, выполненное на транзисторных сборках-микросхемах (К166). Питание цифрового индикатора осуществляется от схемы удвоения напряжения, что исключает превышение предельно допустимых напряжений транзисторов (300 В) и в то же время обеспечивает нормальную работу ИН-4.

В исходном состоянии один из транзисторов T_1 , T_2 закрыт, а другой — открыт (в зависимости от состояния триггера). Через открытый транзистор, резистор R_2 и диод заряжается конденсатор C . В момент поступления на управляющий вход отрицательного импульса открытый транзистор закрывается и к одному из двух анодов индикатора через резистор R_1 прикладывается сумма напряжения питания и напряжения, накопленного на конденсаторе.

При любой комбинации состояний триггеров (2—4) только на одном выходе дешифратора будет потенциал, равный нулю, что обеспечивает подачу через один из транзисторов T_3 — T_7 нулевого потенциала на два катода. Однако светиться будет только тот из них, который связан с анодом, находящимся под напряжением (в зависимости от состояния $T_{\text{Г1}}$). Таким образом, на индикаторе высвечивается цифра, соответствующая числу импульсов, записанному в счетчик.

Время свечения индикатора определяется емкостью конденсато-

ра С и при указанных на схеме параметрах элементов составляет 10 мс. Для устранения мелькания цифры частота управляющих импульсов берется равной 50 Гц или выше. Сопротивления резисторов R_1 и R_2 выбираются таким образом, чтобы ток через транзисторы не превышал допустимого. Резисторы R_3 устраняют подсветку неработающей группы катодов, обеспечивая совместно с конденсатором неработающего анода снижение потенциала этого анода во время поступления высокого напряжения на другой анод.

Более подробно функциональные схемы узлов дискретной аппаратуры освещены в [5, 30, 31].

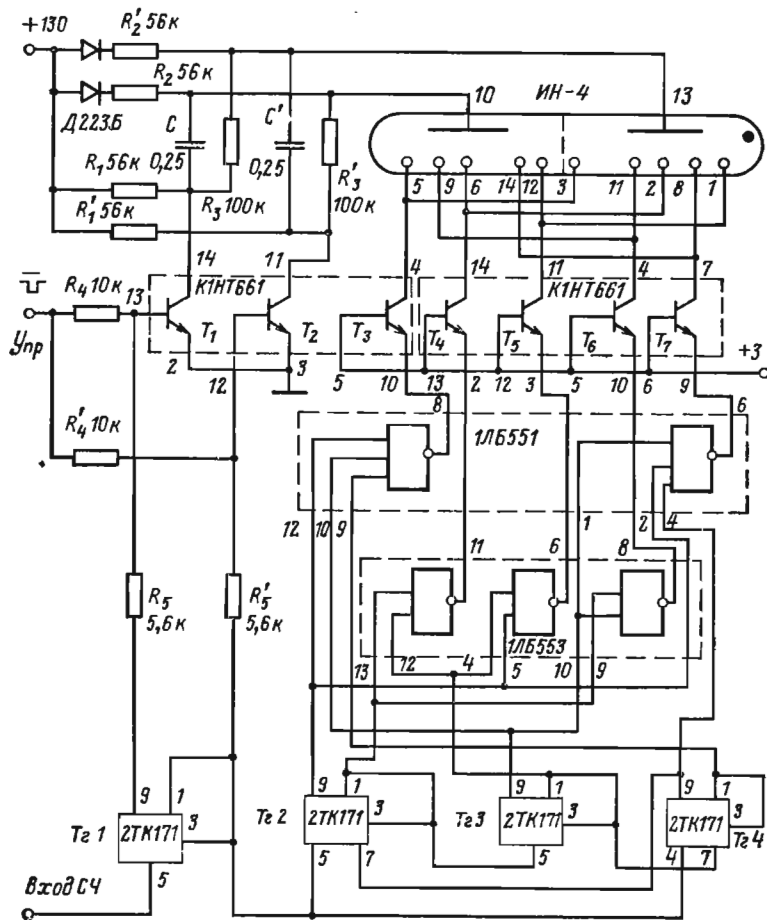


Рис. 5-21. Устройство индикации состояния счетчика на цифровой индикаторной лампе.

5-3. ПРИМЕРЫ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ НА МИКРОСХЕМАХ

Цифровые устройства проще, чем аналоговые, реализуются на микросхемах. Так, если в аппаратуре радиосвязи на микросхемах в настоящее время может быть построено в среднем 50—60% узлов, то в цифровых устройствах — более 90—95%. Практически в этой аппаратуре пока нельзя построить в микроэлектронном варианте только датчики, исполнительные органы, устройства ввода и вывода информации и электромеханические узлы. Микросхемы начинают использоваться во всех устройствах, в которых ведется обработка дискретной информации. Особенно широко микросхемы применяют в цифровых вычислительных машинах. Так, на базе микросхем серий К155 и К187 создана единая система электронных вычислительных машин (ЕС ЭВМ), предназначенная для научных и инженерных расчетов, автоматизации производства, для работы в автоматизированных системах управления.

В состав ЕС ЭВМ входят 10 типов вычислительных машин с одинаковой структурой, принципами программирования, которые допускают комплексное использование с периферийными устройствами. Эти машины различаются своим быстродействием, которое составляет от 5—7 тыс. до 1,5 млн. операций в 1 с. Подробнее о возможностях и конструктивных особенностях ЕС ЭВМ можно ознакомиться в [32].

В последние годы широкое распространение начинают получать небольшие настольные вычислительные машины (микрокалькуляторы), предназначенные для выполнения простейших операций: сложения, вычитания, умножения, деления и вычисления ряда функций. Такие микрокалькуляторы предназначены для инженерных, технико-экономических и научных расчетов.

В качестве примера рассмотрим микрокалькулятор ЭКВМ, внешний вид которого показан на рис. 5-22. Это устройство выполнено на четырех специализированных микросхемах третьей степени интеграции серии К145. В состав микрокалькулятора также входят электро-механические элементы, предназначенные для управления ЭКВМ, устройства питания, элементы согласования между узлами и цифровые индикаторы. Последние служат для считывания результатов операции и контроля вводимой информации. В качестве индикаторов применены сегментные люминесцентные лампы. Микрокалькулятор позволяет оперировать с восьмизначными десятичными числами, его быстродействие составляет: при сложении и вычитании 50 мс, при умножении и делении 350 мс.

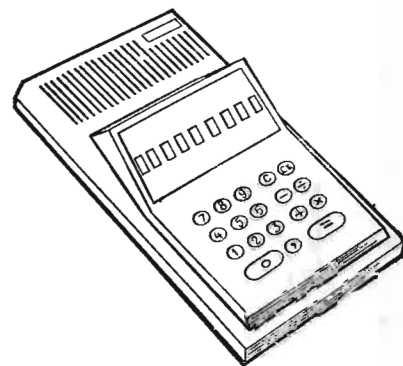


Рис. 5-22. Внешний вид микрокалькулятора ЭКВМ.

Ввод чисел производится с клавиатуры (десять клавиш цифр и клавиша запятой). Габариты ЭКВМ 150×250×60 мм при массе в 1 кг.

Дальнейшей модификацией рассмотренного устройства является микрокалькулятор МЭКВМ. В нем все вычислительные функции выполняются с помощью одной микросхемы четвертой степени интеграции, содержащей 2220 МДП-транзисторов. Кристалл этой большой интегральной микросхемы оформлен в корпусе с 48 выводами, мощность, потребляемая микросхемой, составляет 50 мВт при напряжении $27 \text{ В} \pm 5\%$.

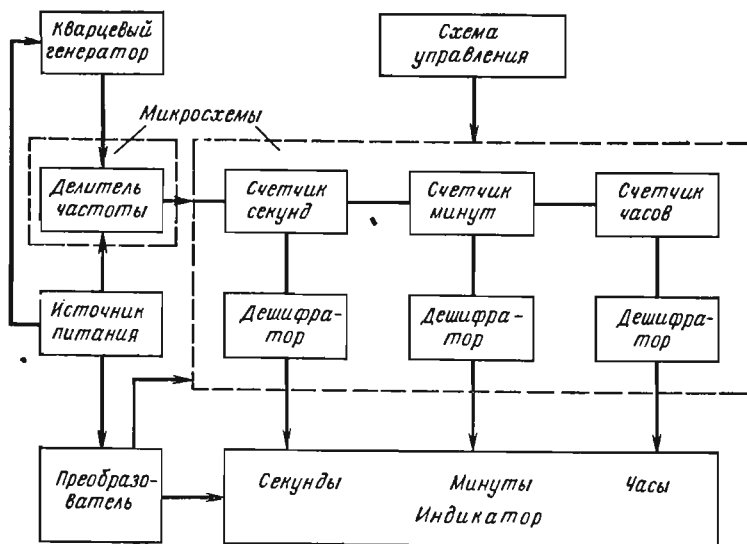


Рис. 5-23. Структурная схема электронных часов на микросхемах.

Имеется еще ряд микрокалькуляторов, выпускаемых отечественной промышленностью серийно: «Электроника 24-71», «Электроника 70», «Электроника БЗ-18А» и др. Описание микрокалькуляторов приведено в [61, 62, 64].

Цифровые интегральные микросхемы начинают находить применение в электронных часах. Подобные устройства, структурная схема которых показана на рис. 5-23, включают в свой состав миниатюрный кварцевый генератор, вырабатывающий 2^{13} — 2^{15} импульсов в 1 с, делитель частоты в виде микросхемы, счетчик времени с дешифраторами, также выполненный в виде одной микросхемы повышенной степени интеграции (более 1000 транзисторов на подложке). В качестве индикаторов в часах используются жидкие кристаллы, находящиеся между двумя электродами в виде сегментов. Эти кристаллы начинают светиться при подаче с дешифратора напряжения на сегменты, причем комбинация таких светящихся сегментов составляет ту или иную цифру.

В электронных часах применяют интегральные микросхемы, в которых в одном кристалле сочетаются комбинации p и n -канальных МДП-транзисторов с низким пороговым напряжением. Такие схемы потребляют мало электроэнергии, так что одной батарейки хватает более чем на год.

Применение микросхем в цифровых измерительных приборах позволяет создавать сравнительно простые и высоконадежные приборы с улучшенными эксплуатационными и техническими характеристиками. Примером может служить малогабаритный цифровой вольтметр постоянного тока Ф4832. Основные технические характе-

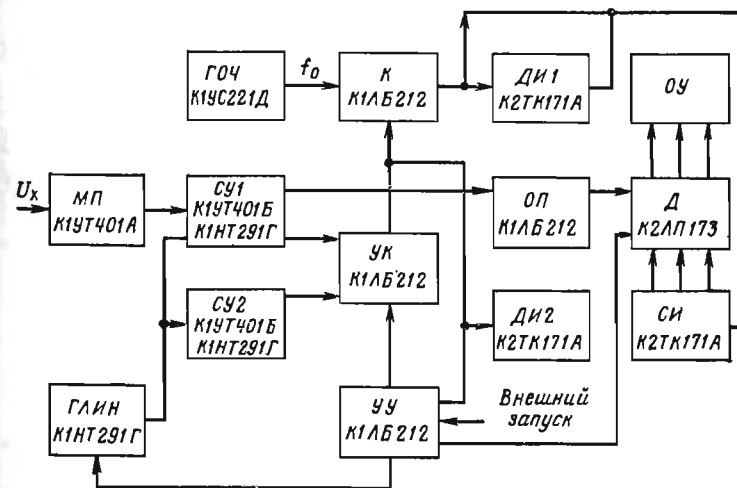


Рис. 5-24. Структурная схема малогабаритного цифрового вольтметра Ф4832.

ристики: диапазон измеряемых напряжений 0,5 мВ — 100 В; входное сопротивление на напряжениях 1 и 20 В — не менее 5 МОм, на 100 В — не менее 1 МОм; быстродействие прибора в режиме одиночных измерений — 50 измерений в 1 с; в режиме усреднения — 1—3 измерения в 1 с; потребляемая мощность от сети переменного тока не более 10 В·А. Прибор выпускается в настольно-переносном и настольно-стоечном исполнении, габариты и масса соответственно равны: 200×185×72 мм, 3 кг и 480×240×90 мм, 6 кг.

В приборе использован метод время-импульсного преобразования. Структурная схема прибора приведена на рис. 5-24. Она состоит из масштабного преобразования МП, двух сравнивающих устройств СУ1 и СУ2, генератора линейно-изменяющегося напряжения ГЛИН, схемы управления ключом УК, двух делителей импульсов ДИ1 и ДИ2, генератора опорной частоты ГОЧ, ключа К, счетчика импульсов СИ, дешифратора Д, отсчетного устройства ОУ, определителя полярности ОП и устройства управления УУ. Масштабный преобразователь состоит из делителя напряжения и входного повторителя. Входной делитель собран на микропроволочных резисторах. Для уве-

ления входного сопротивления *МП* применен входной повторитель с низкоомным делителем на выходе. В его схеме использован операционный усилитель К1УТ401А, в котором для получения высокой точности и динамического диапазона использована схема следящего питания.

Одним из главных узлов, определяющих точность прибора, является генератор линейного напряжения. В качестве усилительных и термокомпенсирующих элементов генератора использованы две микросхемы К1НТ291Г. Требования, предъявляемые к сравнивающим устройствам, обеспечиваются использованием в них операционного усилителя К1УТ401Б и микросхемы К1НТ291Г. Генератор опорной частоты выполнен на двухкаскадном усилителе К1УС221Д с кварцевым резонатором в микромодульном исполнении, включенным в цепь обратной связи. Логическая часть схемы прибора (УУ, УК, К, ОП) построена на полупроводниковых микросхемах К1ЛБ212, а счетная часть (СИ, ДИ1, ДИ2) — на гибридных микросхемах К2ТК171А. Дешифратор реализован на микросхемах К2ЛП173, а в качестве ключей для управления катодами индикаторных ламп типа ИИ-12 использованы высоковольтные транзисторы в интегральном исполнении К1НТ661.

Микросхемы широко применяют также в измерителях частот. Например, на их базе построен частотомер ЧЗ-32, предназначенный для измерения частоты в диапазоне до 3 МГц.

Глава шестая

РАЗРАБОТКА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА МИКРОСХЕМАХ

6-1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Разработка радиоэлектронной аппаратуры на микросхемах представляет собой процесс создания новых образцов устройств, приборов и аппаратов, удовлетворяющих заданным требованиям. Этот процесс связан с решением схемотехнических, конструкторских, технологических задач.

При создании сравнительно простых устройств, содержащих до нескольких десятков микросхем, в радиолюбительской практике можно в целом придерживаться приемов, которые являются общепринятыми для построения миниатюрной аппаратуры на транзисторах, диодах, резисторах и т. п. Однако при этом необходимо учитывать ряд особенностей, которые связаны с использованием микросхем, чтобы полностью реализовать их потенциальные преимущества. Что касается построения более сложной аппаратуры, то эти особенности настолько существенны, что традиционная методика проектирования претерпевает существенные изменения.

Рассмотрим основные из этих особенностей.

При построении устройств на микросхемах применяется функционально-узловой метод. Он предусматривает выделение из готовой функциональной схемы проектируемого устройства частей, выполняющих законченные операции, и реализацию их, как правило, в виде типовых конструктивно законченных узлов.

При синтезе структуры устройства указанным методом его функциональная схема строится из функциональных частей, реализуемых типовыми узлами. Примером таких узлов являются интегральные микросхемы. Микросхемы в аппаратуре объединяются в более крупный узел — субблок. Последний представляет собой конструктивно законченную сборочную единицу, состоящую из одной или нескольких печатных плат с микросхемами и не имеющую лицевой панели. Как правило, субблоки легкоусъемны. С точностью до субблока часто определяется место неисправности и при ремонте он заменяется новым, в этих случаях субблоки называют типовыми элементами замены (ТЭЗ).

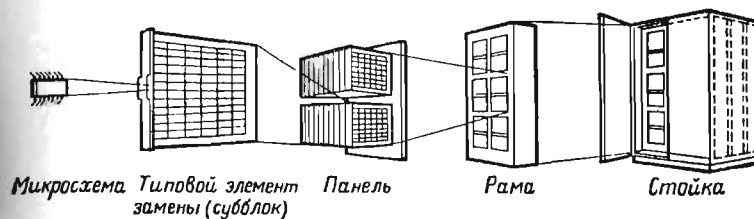


Рис. 6-1. Конструктивные уровни ЕС ЭВМ.

Несколько субблоков объединяются в блок, который имеет лицевую панель, но он, как и субблок, не имеет, как правило, самостоятельного применения.

В свою очередь блоки объединяются в секции, стойки, шкафы и т. п., имеющие уже самостоятельное применение. К последнему виду конструктивных единиц относятся также устройства в виде одного блока, который можно использовать самостоятельно, например микроэлектронный цифровой вольтметр.

Рассмотренные уровни сборочных единиц характерны для аппаратуры средней сложности, к которой можно отнести устройства, содержащие от 100 до 1000 интегральных микросхем первой и второй степеней интеграции (например, цифровые частотомеры, вольтметры, синтезаторы частот и т. п.). Для устройств большой сложности, содержащих более 1000 микросхем, например ЭВМ, могут вводиться дополнительные промежуточные уровни. Для примера на рис. 6-1 показаны конструктивные уровни ЕС ЭВМ. В таких устройствах блоки попарно объединяются в панели, а последние в более крупную сборочную единицу — раму. Панели используются также в пультах и других устройствах, входящих наряду со стойками в состав ЭВМ.

По мере прогресса электроники и повышения степени интеграции микросхем количество конструктивных уровней аппаратуры будет уменьшаться. Например, одна сложная микросхема четвертой степени интеграции может реализовать функции, выполняемые целым блоком аппаратуры, построенной на простых микросхемах. Это приводит к упрощению конструкции, уменьшению ее габаритов и массы.

Другая особенность проектирования аппаратуры на микросхемах проявляется в большой сложности правильного выбора элементной базы и конструктивно-технических решений. Это связано с неоднозначностью выбора вариантов построения устройства из-за широкой номенклатуры микросхем, различных степеней их интеграции и технологии изготовления.

Возрастает сложность выбора конструкции проектируемого устройства при реализации преимуществ интегральной микроэлектроники главным образом в отношении объемно-весовых показателей. Резко усиливается взаимосвязь этапов проектирования по разработке схмотехники, конструкции и технологии. Появляются новые возможности совершенствования характеристик аппаратуры на микросхемах и перехода к новым принципам ее построения, обусловленные в первую очередь широким использованием избыточности элементов. Указанные особенности приводят к качественному изменению традиционных и к появлению новых этапов построения аппаратуры на микросхемах.

В практике промышленного проектирования микроэлектронной аппаратуры сложилась определенная последовательность принятия решений, направленных на создание устройств с заданными функциональными и эксплуатационными характеристиками при минимальной стоимости.

Радиолюбители не могут полностью заимствовать этот опыт, поскольку в их распоряжении нет тех средств и методов, которыми располагают разработчики аппаратуры. Тем не менее ознакомление с порядком и особенностями промышленного проектирования аппаратуры на микросхемах полезно, поскольку оно поможет определить рациональную последовательность собственных действий радиолюбителя при разработке микроэлектронных устройств и узлов применительно к собственным силам и возможностям.

Порядок создания радиоэлектронной аппаратуры в общих чертах указан в ГОСТ 2.103-68 и включает составление технического задания, разработку технического предложения, эскизного и технического проектов, а также рабочей документации.

Покажем более подробно последовательность разработки РЭА на микросхемах на основании имеющегося в настоящее время опыта проектирования. При этом содержание основных этапов раскроем на примере цифровых устройств, для которых процесс проектирования отработан сейчас в большей степени. Некоторые особенности проектирования аналоговых устройств будут указаны далее. Последовательность основных этапов проектирования РЭА на микросхемах может быть представлена в виде, показанном на рис. 6-2.

Первый этап — разработка требований к проектируемому устройству, т. е. составление технического задания. Это задание устанавливает назначение и область применения создаваемой аппаратуры, а также ее основные функциональные параметры. К таким параметрам у цифровых устройств относятся: быстродействие, точность, потребляемая мощность, надежность и т. п. В техническом задании указываются условия эксплуатации проектируемой аппаратуры, в частности пределы изменения температуры, влажности, давления, механических воздействий и др. Задание может содержать некоторые требуемые конструктивные показатели (максимальную массу и габариты, допустимые тепловые режимы, необходимость герметизации и т. п.). В техническом задании, как правило, приво-

дятся технико-экономические показатели (допустимая стоимость, степени унификации и стандартизации, экономическая эффективность).

Техническое задание должно составляться с учетом фактических возможностей реализации проектируемой аппаратуры.

Второй этап — разработка структурной схемы и определение основных технических характеристик. На рассматриваемом этапе изучаются существующие устройства, подобные проектируемому,

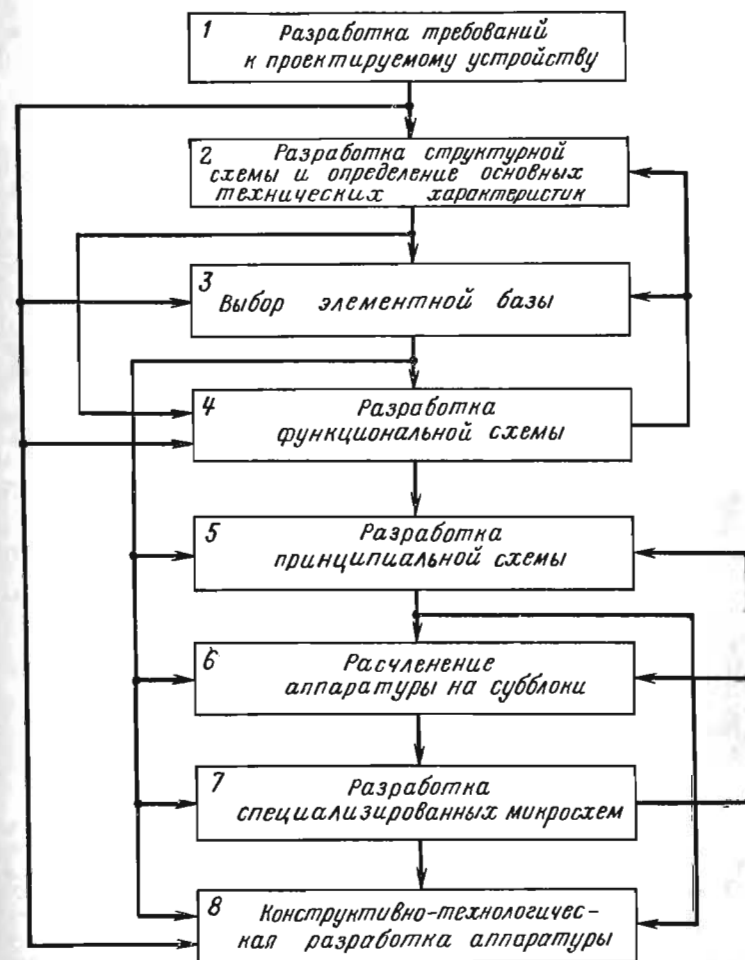


Рис. 6-2. Основные этапы проектирования аппаратуры на микросхемах.

и соответствующие патентные материалы. Затем проводится анализ возможных принципов построения, причем каждый вариант прорабатывается до глубины, достаточной для его сравнения с другими по наиболее существенным показателям: надежности, стоимости, перспективности и т. п. По результатам этого сравнения выбирается лучший вариант. Для него составляется структурная схема, устанавливаются общие технические характеристики ее основных частей и их взаимосвязи.

Отметим, что структурные схемы микросистемных устройств, особенно реализуемых на микросхемах повышенной степени интеграции, часто отражают не только принципы работы, но и содержат информацию о каналах для параллельной обработки сигналов с целью повышения быстродействия, об устройствах встроенного контроля, поканальном резервировании и т. п. Таким образом результатом второго этапа является разработка технического предложения для последующих стадий проектирования.

Третий этап — выбор элементной базы. Для дискретных устройств сначала выбирается тип логики (РТЛ, ДТЛ, ТТЛ, ПТТЛ, МДПТЛ). Этот выбор производится, исходя из основных требований на аппаратуру (выполняемая функция, быстродействие, потребляемая мощность и т. п.).

При выборе типа логики принимается во внимание структурная схема проектируемого устройства. Так, при параллельной обработке информации задержки сигналов сокращаются (можно выбрать элементную базу с меньшим быстродействием), но вместе с тем увеличивается коэффициент разветвления элементов по выходу. (Некоторые конкретные рекомендации по выбору элементной базы приведены в гл. 4.)

При построении сравнительно простых устройств, содержащих менее 100 микросхем, обычно рассматриваются две-три серии в выбранном типе логики. В этом случае ориентировочно оцениваются только основные характеристики проектируемого устройства при реализации с помощью выбранных серий. Например, рассчитывается максимальная задержка сигналов в цепи с наибольшим числом последовательно срабатывающих элементов, общая мощность потребления, стоимость и т. д. Чаще всего такую оценку можно сделать уже из функциональной схемы (см. четвертый этап). По результатам оценки выбирается лучший вариант реализации и для него разрабатывается полная принципиальная схема, а также выполняются все последующие этапы проектирования (см. рис. 6-2).

При построении сложных устройств очень важно до выбора конкретной серии определить оптимальную степень интеграции микросхем, ибо от этого будет существенно зависеть надежность, стоимость, габариты и другие характеристики. Выбор оптимальной степени интеграции возможен при наличии ряда серий, имеющих общий базовый логический элемент и различающихся степенью интеграции. Таким примером могут быть серия микросхем второй степени интеграции К133 и построенная на ее основе серия микросхем третьей степени интеграции К230.

Существует несколько критериев для определения оптимальной степени интеграции, например минимальная удельная стоимость элементарной логической схемы — вентиля, максимальная универсальность логических элементов. Используется также метод, основанный на обеспечении требуемой надежности контактных соединений.

Наиболее обоснованно степень интеграции выбирается по технико-экономической эффективности, определяемой соотношением $\mathcal{E} = T_p N_m / 3$, где T_p — ресурс аппаратуры; 3 — затраты на ее изготовление и эксплуатацию; N_m — исходная сложность проектируемого устройства, оцениваемая количеством простейших логических элементов, при уменьшении которого уже нельзя обеспечить функционирование устройства (определяется ориентировочно из статистики по предыдущим разработкам подобной аппаратуры).

При использовании последнего критерия оптимальная степень интеграции определяется в зависимости от вида технологии, типа конструкции блоков и ряда других факторов. Для иллюстрации на рис. 6-3 приведены зависимости относительной технико-экономической эффективности от количества J вентилей в микросхеме для двух различных вариантов технологии. Эти кривые получены при проектировании одной из вычислительных машин [33]. Из рис. 6-3 следует, что для данной разработки оптимальной является степень интеграции, соответствующая 48 элементам при использовании толсто пленочной технологии.

Выбор оптимальной степени интеграции с учетом различных факторов предусматривает рассмотрение большого количества вариантов. При этом разработка каждого из них до принципиальной схемы практически невозможна, поэтому в данном случае используют ориентировочные оценки, исходя из основных данных аппаратуры.

Расчет эффективности проводится с использованием главным образом эмпирических формул, полученных при обработке статистических данных по различным типам уже разработанных аппаратуры. Проектируемое устройство представляется как аппаратура, построенная на однотипных по конструкции и степени интеграции микросхемах.

Задаваясь различными степенями интеграции, видами конструкции аппаратуры и другими параметрами, оценивают эффективность различных вариантов и определяют из них оптимальный. После предварительной оценки вариантов выбирают микросхемы, уровень интеграции и другие параметры которых наиболее близки к найденным в результате расчетов.

Таким образом, при использовании рассматриваемого критерия на данном этапе проектирования не только выбирают элементную базу, но и в общих чертах разрабатывают конструкцию. Она позволяет судить о типе и количестве субблоков и блоков, габаритах всего устройства, ориентировочной стоимости и ряде других показателей, т. е. фактически создается эскизный проект. Этот проект является основанием для последующих этапов технического проектирования.

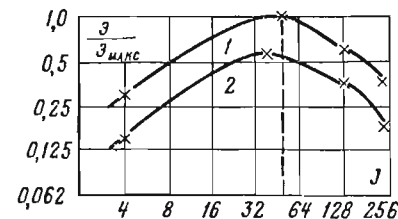


Рис. 6-3. Зависимость относительной технико-экономической эффективности от уровня интеграции микросхем.

1 — толсто пленочные гибридные микросхемы; 2 — тонко пленочные гибридные микросхемы.

Четвертый этап — разработка в выбранном логическом базисе функциональной схемы, которая полностью отражает характер, а также последовательность работы устройства.

Методы синтеза функциональных схем дискретных устройств разработаны достаточно хорошо. Синтез может проводиться в логическом базисе элементов И, ИЛИ, НЕ с последующим переходом к реализации в базисе выбранной серии (И-НЕ, И-ИЛИ-НЕ, ИЛИ-НЕ и т. д.) или непосредственно в заданном базисе.

Основным критерием синтеза функциональных схем аппаратуры на интегральных микросхемах является минимизация количества микросхем и числа их внешних соединений. Сложность каждой микросхемы в данном случае не является лимитирующим фактором.

Другим критерием является функциональная однородность, т. е. максимальное использование элементов с одинаковыми функциями. Это обуславливает унификацию схемы, что в свою очередь ведет к снижению ее стоимости.

В дискретной аппаратуре обычно можно выделить типовые функциональные структуры (дешифраторы, триггеры, счетчики, распределители, регистры, устройства памяти и др.), которые заранее синтезированы в базисе выбранных микросхем. (Примеры реализации перечисленных структур приведены в гл. 5.)

При использовании микросхем повышенной степени интеграции необходимость в синтезе указанных типовых структур иногда отпадает, поскольку они могут входить в состав серий.

Пятый этап — разработка принципиальной схемы. На данном этапе осуществляется электрический расчет всех элементов, которые нельзя было реализовать с помощью выбранных серий общего применения. Здесь же производится окончательное разделение схемы на части: а) реализуемые с помощью выбранных серий общего применения; б) реализуемые с помощью новых специализированных микросхем; в) реализуемые на основе дискретных компонентов (блоки питания, фильтры, устройства сопряжения с исполнительными элементами и т. д.).

Дискретные компоненты используются в первую очередь в тех случаях, когда интегральные микросхемы в силу технологических или других ограничений не могут обеспечить требуемых параметров. В табл. 6-1 приведены области применения дискретных резисторов и конденсаторов в микроэлектронной аппаратуре на гибридных (в числителе) и полупроводниковых (в знаменателе) микросхемах. Катушки обычно используются в виде дискретных компонентов при любых номинальных значениях. Исключение составляют лишь случаи использования пленочных катушек индуктивностью до 20 мкГ в гибридных микросхемах.

Одним из критериев синтеза является функциональная однородность, которая может обеспечиваться применением универсальных элементов, например, ИК-триггеров. Однако в некоторых случаях становится более выгодным спроектировать схему специализированного применения, чем собирать данный узел из универсальных микросхем.

Например, пусть имеется ИК-триггер с 10 выводами. Счетчик с коэффициентом деления на 16 может быть выполнен на четырех таких триггерах, при этом количество выводов будет равно 40. Для микросхемы с той же функцией, но в виде специализированной схемы требуется только семь выводов (один счетный вход, два выхода, питание, земля, два установочных входа). Для выбора оптимально-

Таблица 6-1

Ориентировочная область применения компонентов в аппаратуре на микросхемах

Параметры	Резисторы	Конденсаторы
Номинальные значения, более	$\frac{1000}{20}$ кОм	$\frac{5000}{500}$ пФ
Допуски, %, мснее	$\frac{5}{20}$	$\frac{5}{20}$
Температурный коэффициент, $1/град \times 10^6$, менее	$\frac{50}{100}$	$\frac{50}{500}$
Частота, МГц, более	$\frac{1000}{100}$	$\frac{500}{—}$

го варианта в подобных случаях следует сравнить их по технико-экономической эффективности или другим показателям.

В результате рассмотренного этапа получают принципиальную схему и технические требования на разработку микросхем специализированного применения. На принципиальной схеме микроэлектронного устройства показывают все интегральные микросхемы с обозначением выводов, а также соединения и навесные элементы. Пример принципиальной схемы дискретного устройства приведен в § 5-2.

Шестой этап — расчленение элементов принципиальной схемы на субблоки. Основным критерием при расчленении является минимальное количество внешних выводов субблока при его максимальной сложности и функциональной законченности. Это обусловлено тем, что интенсивность отказов подвижных контактов примерно на порядок превышает величину интенсивности отказов для пайки на печатной плате и на два порядка — аналогичную величину для соединения внутри микросхемы.

Зависимость количества внешних связей ($N_{вн}$) от числа микросхем (N_m) в субблоке (кривая 1), полученная в результате обобщения фактических данных, показана на рис. 6-4. На этом же графике приведены кривые 2 и 3, характеризующие соответственно суммарное количество выводов микросхем и число внешних связей, приходящихся на одну микросхему. Из графиков следует, что с точки зрения уменьшения количества внешних контактных соединений следует стремиться к увеличению числа микросхем в субблоках. Однако увеличение количества интегральных микросхем в субблоках снижает их универсальность и повторяемость, что бывает очень существенно в ЭВМ. Поэтому приходится принимать компромиссное решение.

При расчленении схемы на субблоки и определении их размеров принимаются также во внимание технологические возможности изготовления субблоков с двусторонним расположением контактов. Малая длина разъемов не позволяет иметь достаточное количество контактов, что исключает возможность получения функционально законченных узлов. Чрезмерно большое количество контактов приводит к усложнению конструкции разъема.

Если на плате можно расположить несколько функциональных узлов, то схему расчленяют так, чтобы узлы, связанные большим числом соединений, оказались в одном субблоке.

Одним из способов уменьшения числа внешних соединений является введение избыточности в субблоки. Пример, который поясняет этот способ, приведен на рис. 6-5, а, где показана схема, содержащая устройство памяти и счетчик, расположенные в разных субблоках. Для соединения рассматриваемых узлов требуется восемь контактов. При введении дополнительных инверторов в субблок памяти (рис. 6-5, б) число внешних контактов уменьшается в 2 раза.

Другим критерием расчленения является максимальная повторяемость функций внутри субблока. Это обеспечивает простоту, максимальную плотность и минимальную площадь монтажных соединений, а также удобство эксплуатации. Кроме того, при расчленении устройства на субблоки учитывается необходимость иметь минимальное время для диагностики и локализации неисправностей.

Количество микросхем в субблоках должно быть примерно одинаковым, оно определяется размерами субблоков, микросхем и шагом их установки.

Как показывает опыт проектирования с учетом всех перечисленных факторов, количество микросхем размещаемых на печатной плате, обычно не превышает 100.

Седьмой этап — разработка специализированных микросхем (если есть потребность). При этом осуществляется выбор технологии, размеров подложек, схемы соединений. Чаще всего специализированные микросхемы выполняются по гибридной технологии с широким использованием бескорпусных микросхем, транзисторов, диодов, навесных конденсаторов.

Восьмой этап — конструктивно-технологическая разработка аппаратуры.

Задачей данного этапа является создание конструкции, которая имела бы минимальный объем, обеспечивала бы необходимый тепловой режим, кратчайшую длину соединений и малые паразитные взаимные связи между элементами, удобство эксплуатации и ремонта. При этом должны максимально использоваться унифицированные и стандартные элементы конструкции, а также типовые

технологические процессы. Конструирование аппаратуры как на аналоговых, так и на цифровых микросхемах включает следующие основные вопросы: разработку топологии печатных плат, размещение на них микросхем, конструирование субблоков и блоков, обеспечение связей между ними. Значение этапа конструирования при построении аппаратуры на микросхемах очень велико, потому что именно такие элементы конструкции, как платы, элементы крепления и теплоотвода, штепсельные разъемы, кабели и т. п., в значительной мере определяют объем и массу аппаратуры. Так, для устройств

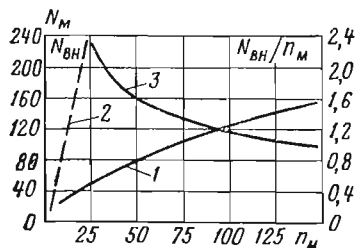


Рис. 6-4. Зависимость количества внешних выводов от сложности субблока.

1 — количество выводов субблока; 2 — общее количество выводов микросхемы; 3 — количество выводов, приходящихся на одну микросхему.

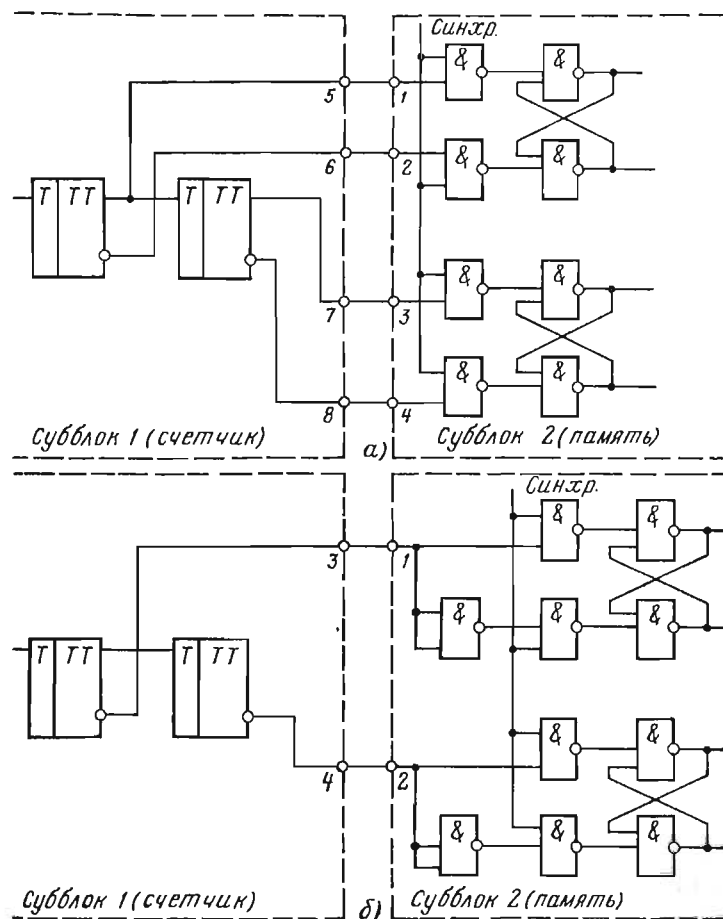


Рис. 6-5. Использование избыточности для сокращения числа внешних соединений

типа ЭВМ за счет конструктивных деталей количество элементов и компонентов в единице объема аппаратуры уменьшается в 100 раз и более по сравнению с плотностью размещения элементов и компонентов в микросхеме.

Вопросам конструирования микроэлектронных устройств, которое значительно отличается от конструирования аппаратуры на дискретных компонентах, посвящен следующий параграф.

Процесс проектирования завершается созданием комплекта рабочей конструктивно-технологической документации, на базе которой изготавливается опытный образец аппаратуры.

Приведем несколько замечаний к основным этапам проектирования аппаратуры на микросхемах.

Этапы построения, указанные на рис. 6-2, соответствуют в основном созданию аппаратуры средней и большой сложности. Для простых устройств последовательность проектирования может быть упрощена, например могут не выполняться этапы 7 и 8.

Показанный процесс проектирования рассмотрен в виде последовательного проведения этапов. Однако следует иметь в виду наличие многочисленных обратных связей между этапами (рис. 6-2), так что фактически аппаратура проектируется путем последовательных уточнений. Например, принципиальная схема, разработанная на пятом этапе, может корректироваться после разработки специализированных микросхем. Введение избыточности, в частности поканального резервирования, на четвертом этапе может вызвать изменение структурной схемы аппаратуры (второй этап). После разработки функциональной схемы может также измениться и серия для реализации устройства. Таким образом, процесс проектирования электронной аппаратуры на микросхемах достаточно сложен и связан с оценкой и сравнением многочисленных вариантов. Особенно трудоемки этапы выбора элементной базы с учетом конструктивно-технологических факторов, разработки функциональной схемы, проектирования микросхем специализированного применения, конструктивно-технологической разработки аппаратуры.

Сложность и трудоемкость процесса проектирования микроэлектронных устройств привели к необходимости перехода от общепринятых эмпирических приемов конструирования, зачастую опирающихся на субъективные оценки и интуитивные соображения разработчиков, к более рациональным методам, основанным на использовании ЭВМ.

В табл. 6-2 показаны операции, выполняемые в настоящее время с помощью ЭВМ.

Полностью автоматизировать процесс проектирования аппаратуры пока не представляется возможным, однако для наиболее трудоемких этапов (5, 6, 8) существуют системы комплексной автоматизации, начиная от построения принципиальной схемы до представления топологии печатных плат и всех соединений в виде геометрических чертежей, а также соответствующего кода на носителях информации (перфоленты, перфокарты) для последующего автоматического изготовления фотошаблонов, которые используются для металлизации и диффузии.

Применение ЭВМ дает большой выигрыш во времени и в качестве проектирования. Например, даже при построении сравнительно простой печатной платы с 32 микросхемами получен выигрыш во времени в 40 раз, а в длине проводников, что существенно для быстродействия, в 2 раза.

Таблица 6-2

Применение ЭВМ при проектировании аппаратуры на микросхемах

№ этапа	Содержание этапа	Операции, выполняемые с помощью ЭВМ
1	Разработка требований к проектируемой аппаратуре	—
2	Разработка структурной схемы	Моделирование при проверке структурной схемы
3	Выбор элементной базы	Частные задачи, например выбор серии и степени интеграции, в том числе и с учетом конструктивно-технологических факторов для устройств типа ЭВМ
4	Разработка функциональной схемы	Синтез функциональных схем на заданных логических элементах
5	Построение принципиальных схем	Переход от функциональной к принципиальной схеме. Моделирование схем
6	Расчленение аппаратуры на субблоки	Выбор геометрических размеров субблоков и блоков. Распределение микросхем по печатным платам с учетом минимальной длины соединений
7	Разработка специализированных микросхем	Разработка логической и принципиальной схем, расчет параметров элементов, проектирование топологии, разработка тестов для проверки, создание конструкторской документации
8	Конструкторско-технологическая разработка аппаратуры	Проектирование печатных плат, трассировка соединений, разработка тестов для проверки, создание конструкторской документации

6-2. ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА МИКРОСХЕМАХ

Проектирование аналоговой аппаратуры имеет ряд особенностей, основными из которых являются следующие. При построении аналоговой аппаратуры используется более широкая номенклатура микросхем, чем в дискретных устройствах. Это обусловлено в первую очередь большим многообразием функций, выполняемых аналоговой аппаратурой и ее узлами. Указанная особенность определяет необходимость широкого использования микросхем специализированного применения и микросборок, разработанных с учетом специфики проектируемых устройств.

Аналоговые микросхемы в отличие от цифровых характеризуются большим числом параметров. В справочных данных, как правило, приводится ограниченное количество параметров, соответствующих главным образом одному из частных вариантов использования микросхем. Поэтому при проектировании новой аппаратуры нередко требуется дополнительная информация о параметрах микросхем. Например, для использования преобразователя частоты 2ПЧ351 серии 235 в приемных устройствах, кроме приведенных в справочниках данных, необходимо знать следующие параметры: крутизну преобразования на различных частотах, коэффициент подавления напряжения гетеродина, коэффициенты шума и нелинейных искажений, напряжения запитки и блокировки, динамический диапазон и т. п.

Информация, недостающая для проектирования, может быть получена экспериментальным или расчетным путем.

Недостаток информации о параметрах аналоговых микросхем часто создает затруднения при решении вопросов выбора элементной базы, а также согласования микросхем между собой и с другими элементами схемы. Эти затруднения наиболее заметны при использовании микросхем различных серий. Поэтому для решения вопросов согласования и выбора режима работы микросхем широко используется макетирование отдельных узлов аналоговой аппаратуры.

К стабильности и разбросу параметров аналоговых микросхем предъявляются более жесткие требования, чем к цифровым микросхемам. Указанную особенность необходимо учитывать на этапе выбора серии микросхем для реализации проектируемого устройства.

В аналоговой аппаратуре шире, чем в цифровой, применяются навесные дискретные компоненты. Причинами этого являются ограниченные возможности изготовления конденсаторов и катушек в интегральном исполнении, а также необходимость использования микросхем на различных частотах, с разными видами нагрузки и напряжения питания. В последнем случае обеспечение указанных режимов достигается применением дискретных компонентов с требуемыми номиналами.

Особенно широко используются дискретные компоненты с универсальными микросхемами.

Применение микросхем часто вызывает изменение установившихся принципов построения узлов аналоговой аппаратуры.

Преимущества цифровых микросхем, возможность увеличения степени их интеграции, отработанность методов построения дискретных устройств вызывают в некоторых случаях переход от аналоговых к цифровым методам обработки информации. Например, в последние годы широко разрабатываются цифровые синтезаторы частот, фильтры и т. п.

Рассмотрим теперь более подробно те элементы конструкции и процессы создания аппаратуры, которые являются специфичными для микросхемных устройств, в частности многослойные печатные платы, а также вопросы компоновки узлов, субблоков, блоков и обеспечения необходимого теплового режима.

Печатные платы для установки микросхем

Печатные платы служат основанием для монтажа микросхем и обеспечивают коммутацию всех элементов в соответствии с принципиальной схемой. Применение печатных плат позволяет на один-два порядка повысить плотность компоновки по сравнению с объемным монтажом и на порядок снизить массу.

В устройствах малой сложности и в аппаратуре, к которой не предъявляются очень высокие требования к плотности монтажа, применяют однослойные и двухслойные платы. В аппаратуре средней и большой сложности часто используются многослойные печатные платы.

Однослойные и двухслойные платы (рис. 6-6, а) состоят из основания, на которое с одной или двух сторон наносятся печатные

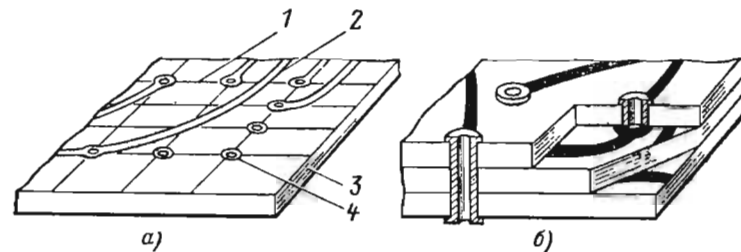


Рис. 6-6. Печатные платы.

а — однослойная плата; 1 — координатная сетка; 2 — печатные проводники; 3 — основание; 4 — металлизированные отверстия; б — трехслойная печатная плата.

проводники. Основания плат должны обладать достаточной механической прочностью, малыми диэлектрическими потерями, высокой нагревостойкостью и хорошей адгезией (сцепляемостью) материалов платы и печатных проводников. При изготовлении печатных плат широко используют стеклотекстолит, стеклоткань, керамику, фторопласт-4 и некоторые другие диэлектрики. Толщина плат 0,06—2 мм, а их габариты 70×110, 110×140, 110×170, 220×240 мм. Печатные проводники выполняются чаще всего из меди, алюминия, никеля или золота толщиной 35—70 мкм.

При выборе сечения, конфигурации и расстояния между проводниками исходят из допустимой плотности тока, рабочего напряжения, условий теплоотвода и прочности сцепления проводников с основанием. Ширина проводников печатных плат обычно составляет

ет 1,5—2,5 мм, а расстояние между ними 0,3—1 мм. Для плат с повышенной плотностью монтажа ширину проводников и зазоры между ними уменьшают до 0,25—0,4 мм. Во избежание короткого замыкания припоем во время пайки минимальное расстояние между проводниками у мест соединения берется равным 1,5 мм.

Для установки микросхем и навесных деталей на плате просверливают и металлизуют отверстия, которые располагаются в узлах координатной сетки (рис. 6-6, а). В большинстве случаев шаг сетки равен 2,5 мм, но иногда он может быть уменьшен до 0,5 мм. При шаге в 2,5 мм допуск на точность размещения отверстий составляет 0,13 мм, что сравнительно легко достигается с помощью современной технологии. Если сделать шаг меньше, точность размещения отверстий возрастает, но увеличивается стоимость плат. Например, при шаге 1,25 мм цена платы увеличивается вдвое.

Диаметр отверстия исходя из условий пайки должен быть больше диаметра вывода микросхемы на 0,15—0,25 мм и в 3 раза меньше толщины платы. Вокруг монтажного отверстия создается контактная площадка на 0,6—1,5 мм больше диаметра отверстия.

Конфигурация проводников выбирается такой, чтобы исключить отслаивания от основания, в частности не допускается образование прямых или острых углов, радиус закругления проводников не должен быть меньше 2 мм.

Изображения проводников схемы наносят на плату следующими способами:

фотографическим, т. е. контактным копированием, при котором плата предварительно покрывается светочувствительной эмульсией; получаемое при этом изображение имеет точность $\pm 0,15$ мм; *способом сеткографии*, т. е. продавливанием через сетчатый трафарет кислотоустойчивой краски; точность изображения $\pm 0,3$ мм;

способом офсетной печати, при котором кислотоустойчивая краска переносится с цинкографического клише на резиновый валик, а с него на плату; точность изображения $\pm 0,2$ мм.

В бытовой аппаратуре (радиоприемники, телевизоры, магнитофоны и т. п.) обычно используется второй способ.

Наиболее распространенными методами нанесения металлических проводников являются: *электрохимический*, предусматривающий получение проводников путем гальванического осаждения металла, *химический*, предусматривающий избирательное удаление металла с предварительно фольгированной платы, *комбинированный*, представляющий собой комбинацию технологических приемов травления фольгированного диэлектрика с последующей металлизацией монтажных отверстий.

В аппаратуре, построенной на микросхемах первой и второй степени интеграции, наибольшее распространение получили платы с расположением печатных проводников с двух сторон основания.

Многослойные печатные платы (МПП) представляют собой единый монтажно-коммутационный узел, состоящий из чередующихся слоев токопроводящего и изоляционного материала. Пример трехслойной печатной платы показан на рис. 6-6, б. В пределах каждого слоя МПП подобны односторонним платам.

Многослойные платы характеризуются повышенной плотностью монтажа, большой устойчивостью к внешним воздействиям. Они сокращают длину межсоединений, а следовательно, и задержку прохождения сигналов. Этот фактор имеет большое значение, так

как при длине соединений в 10—15 см время задержки сигнала в печатной плате составляет примерно 1 нс, что соизмеримо со временем задержки быстродействующих микросхем. Многослойные печатные платы отличаются от односторонних и двухсторонних плат наличием межслойных соединений между большим числом слоев, повышенными требованиями к точности технологических операций, электрическим параметрам. Процесс изготовления таких плат более сложен.

Межсоединения в МПП осуществляются с помощью механических деталей (пистонов, штифтов, лепестков), печатных проводни-

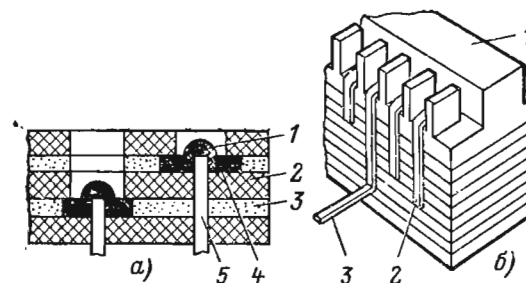


Рис. 6-7. Использование печатных проводников для создания межсоединений.

а — соединения с помощью контактных площадок; 1 — пайка; 2 — основание; 3 — связующий слой; 4 — печатные проводники; 5 — вывод; б — соединения пайкой выступающих выводов; 1 — соединительная колодка; 2 — контактные площадки, образованные из выступающих выводов; 3 — выступающий вывод.

ков и металлизации. Первый способ из-за трудоемкости и невысокого качества соединений не нашел широкого применения.

Для получения межслойных соединений по второму способу используются открытые контактные площадки в различных слоях, к которым припаиваются выводы микросхем, навесных элементов или соединительные проводники (рис. 6-7, а). Разновидностью этого способа является изготовление соединений при помощи пайки выступающих выводов печатных проводников на коммутирующей колодке (рис. 6-7, б).

При использовании печатных проводников можно достигнуть высокого качества соединений между 10—12 слоями. Недостатком этого способа является трудность автоматизации производства.

Наиболее распространенным является третий способ, при котором межсоединения создаются путем металлизации (попарное прессование, послойное наращивание, металлизация сквозных отверстий). Попарное прессование характеризуется тем, что межслойные соединения выполняются на двухсторонних платах путем металлизации отверстий. Платы склеиваются прессованием, после чего между наружными слоями создаются соединения путем металлизации. Этапы изготовления четырехслойной печатной платы приведе-

ны на рис. 6-8, а. Непосредственного соединения между внутренними слоями нет, они осуществляются через наружные. Способ попарного прессования сравнительно прост, он позволяет получать надежные соединения и используется при малом числе слоев.

При послойном наращивании соединения осуществляются с помощью столбиков меди, которые создаются между последовательно наращиваемыми слоями МПП. Этапы изготовления МПП путем послойного наращивания показаны на рис. 6-8, б. Этот способ также дает высокое качество соединений, но требует значительных затрат времени из-за невозможности параллельного проведения технологических операций.

Изготовление межсоединений путем металлизации сквозных отверстий заключается в следующем. Пакет из заготовок с выпол-

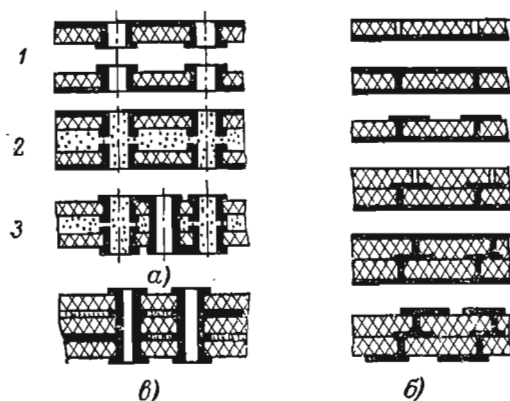


Рис. 6-8. Межсоединения с помощью металлизации.

а — этапы изготовления четырехслойной печатной платы методом попарного прессования; 1 — исходные двусторонние печатные платы; 2 — спрессованная плата; 3 — готовая плата с металлизированным отверстием; б — этапы послойного наращивания печатной платы; в — соединения путем металлизации сквозных отверстий.

ненными проводниками склеивается прессованием. Затем просверливаются и металлизуются сквозные отверстия, с помощью которых осуществляются межслойные соединения схем, расположенных на различных внутренних слоях (рис. 6-8, в). Для увеличения контактирующей поверхности между металлом проводников и металлизацией используется подравливание диэлектрика во внутренних слоях. Изготовление межсоединений путем металлизации сквозных отверстий является наиболее распространенным способом из-за простоты, хорошего качества соединений и высокой технологичности.

На практике иногда совмещают попарное прессование с металлизацией сквозных отверстий.

Количество слоев МПП выбирается в зависимости от сложности принципиальной схемы, степени интеграции микросхем и требо-

ваний к плотности монтажа. Наиболее часто используются платы с четырьмя — восемью слоями, однако число слоев может быть и большим.

Каждую функциональную цепь стремятся располагать на отдельном слое, например слой питания, слой нулевого потенциала (земли), слой соединений логических элементов. Иногда слой питания и земли выполняют в виде сплошной или сетчатой поверхности, которая одновременно выполняет функцию экрана.

Внутри многослойной печатной платы возможно создание тонкого слоя резистивного материала, расположенного между подложкой и слоем фольги. На базе резистивного слоя можно затем формировать необходимые резисторы. Такой метод позволяет уменьшить размеры устройства. В связи с тем, что печатные проводники и отверстия в МПП располагают очень плотно и они имеют малые размеры, необходимо учитывать паразитную емкость и сопротивление проводников. Емкость между соседними проводниками, расположенными параллельно в соседних слоях, может достигать 3 пФ/см. Для ее уменьшения проводники располагают взаимно перпендикулярно. Для этой же цели иногда увеличивают расстояние между слоями путем использования нескольких слоев склеивающей стеклоткани. Сопротивление печатных проводников составляет 2,4 мОм/см, а сопротивление сквозного металлизированного отверстия не превышает 10 мОм/см.

Существуют определенные ограничения плотности размещения входных контактов на многослойных платах. При использовании штыревых контактов, расположенных в несколько рядов, расстояние между штырями должно быть не менее 2,5 мм, а диаметр штыря не должен превышать 0,7 мм. При планарных выводах контакты располагают в один ряд с шагом 1,25 мм.

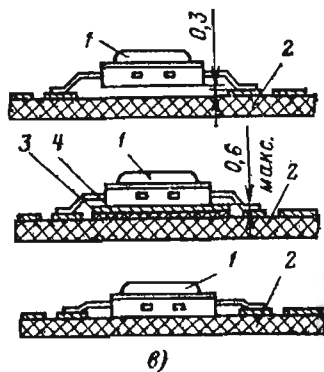
С увеличением количества микросхем на печатной плате усложняется ее топология и повышается трудность ее разработки. При создании плат стремятся уменьшить число слоев и минимизировать длину соединительных проводников. Для сложных схем поиск оптимальной топологии вручную очень затруднителен, поэтому для расчета все шире применяют ЭВМ.

Большая сложность МПП затрудняет контроль качества плат. Наиболее часто используются методы автоматической проверки на целостность проводников и отсутствие коротких замыканий между ними. Для проверки МПП кладут на рабочий стол контрольной установки, снизу к монтажным отверстиям платы прижимают пружинящие контакты, подключающие участки рисунка плат к контрольной схеме [34, 36, 37].

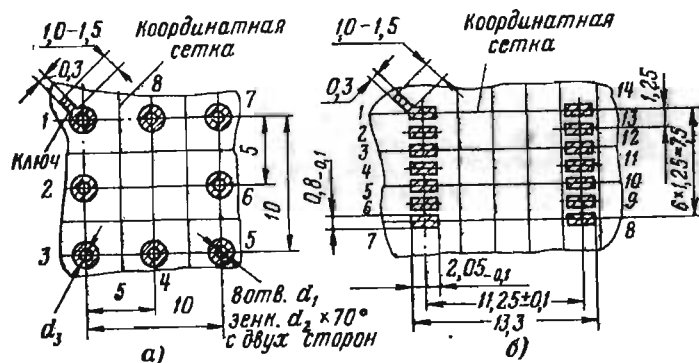
Размещение микросхем, компоновка узлов, субблоков и блоков

Интегральные микросхемы на печатных платах, как правило, располагают рядами, хотя допускается их расположение в шахматном порядке. Установку и крепление схем на плате проводят, учитывая легкость доступа к любой из них и возможность замены.

Микросхемы со штыревыми выводами при расстоянии между выводами, кратном 2,5 мм, располагают на печатной плате таким образом, чтобы их выводы совпадали с узлами координатной сетки (рис. 6-1, а). Если расстояние между выводами не кратно 2,5 мм,



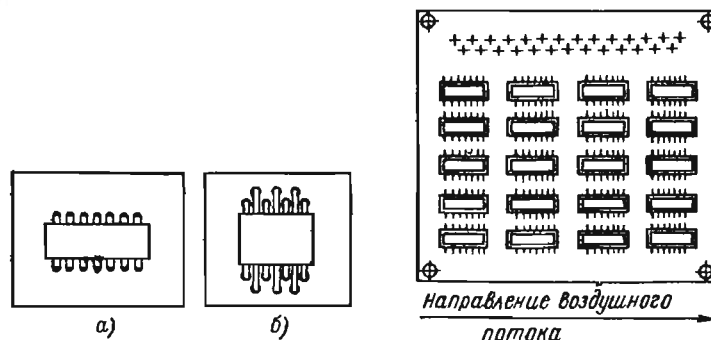
а, б — микросхемы со штырьковыми выводами; в — микросхемы с планарными выводами; 1 — микросхема; 2 — основание; 3 — теплоотводящая шина; 4 — прокладка.



а — для штырьковых выводов; б — для планарных выводов.

Микросхемы с планарными выводами припаивают к металлизированным контактным площадкам печатной платы. Варианты их крепления приведены на рис. 6-9, е. Такие микросхемы могут устанавливаться как с одной стороны, так и с двух сторон печатной платы.

При установке микросхем первый ее вывод должен быть совмещен с ключом, нанесенным на плату (рис. 6-10, а, б). Выводы



a — в один ряд; *б* — в шахматном порядке.

Рис. 6-12. Установка микросхем с учетом направления воздушного потока.

Шаг установки микросхем на печатной плате определяется конструктивными параметрами корпуса, сложностью принципиальной схемы, требуемой плотностью компоновки, температурным режимом блока. Он, как правило, кратен 2,5 мм и достигает 22,5 мм. Для схем повышенного уровня интеграции, имеющих большие размеры корпуса, шаг увеличивается в 2—3 раза.

Навесные детали устанавливают на печатных платах с использованием посадочных мест микросхем. При одностороннем монтаже эти детали крепят со стороны расположения микросхем, а при двустороннем — со стороны размещения разъемов.

В качестве навесных элементов применяются малогабаритные керамические конденсаторы (КЛГ, КМ, К10-9, К10-17, К10-22), электролитические конденсаторы (К53-10, К53-15), дроссели ДМ, трансформаторы ММТИ-35, катушки индуктивности на карбонильных тороидальных сердечниках марки Р-100 либо пленочного типа на подложках малых размеров.

Крупногабаритные радиодетали и узлы группируются, как правило, в отдельные субблоки. При совместной компоновке микросхем

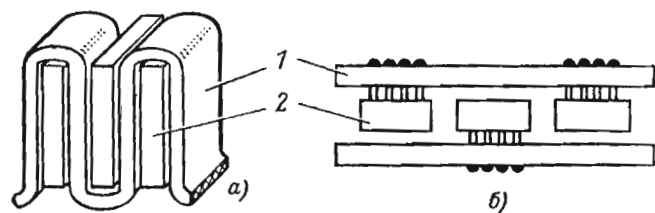


Рис. 6-13. Варианты установки микросхем на платы.
а — гибкие платы; б — жесткие платы; 1 — плата; 2 — микросхема.

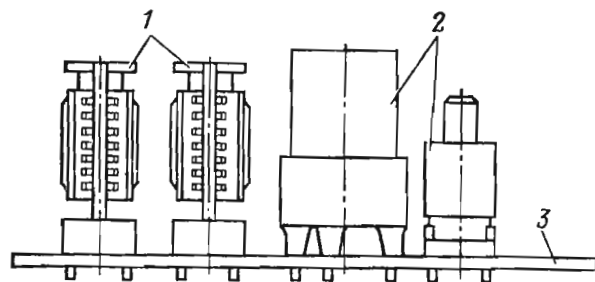


Рис. 6-14. Компоновка узлов на микросхемах совместно с навесными деталями.

1 — узлы с микросхемами; 2 — дискретные компоненты; 3 — печатная плата.

и крупногабаритных дискретных компонентов рекомендуется группировать микросхемы в узлы, соизмеримые по высоте с дискретными компонентами, т. е. применять объемно-плоскостной метод компоновки (рис. 6-14).

Объемно-плоскостной монтаж применяется и в случае использования готовых узлов пакетной конструкции на микросхемах. Пакеты набирают из корпусированных микросхем планарного типа, располагаемых одна на другой, и заливают компаундом. Монтаж соединений производится на боковых гранях пакета, куда выходят выводы, с помощью напыленных проводников. Такая конструкция позволяет сравнительно простым путем увеличить плотность компоновки микросхем.

Применяются также готовые узлы на микросхемах этажерочной конструкции. Пример такого узла показан на рис. 6-15. В нем

на пяти основаниях расположено десять микросхем, которые объединены в единую схему проводниками, соединяющими соответствующие контактные площадки по краям оснований. Подобный узел может содержать до 2000 логических элементов.

Субблоки чаще всего содержат одну плату. Однако допускаются двух- и многоплатные конструкции. Количество печатных плат определяется требованием функциональной завершенности субблоков, их повторяемостью, а также габаритами плат и субблоков.

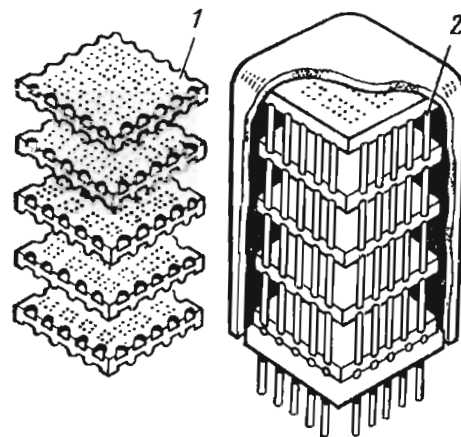


Рис. 6-15. Узел этажерочной конструкции.

1 — пластины с микросхемами; 2 — межсоединения.

Конструктивно субблоки могут быть выполнены в бескаркасных и каркасных вариантах. Роль несущего элемента в бескаркасном одноплатном варианте выполняет печатная плата. Такие субблоки применяются в слабонагруженной аппаратуре. Использование бескаркасных конструкций в сильно нагруженной аппаратуре допускается при наличии в блоках дополнительных элементов конструкций, обеспечивающих необходимую механическую прочность субблоков. Примеры бескаркасных субблоков показаны на рис. 6-16, а, б.

В каркасных конструкциях роль несущего элемента выполняет рамка или металлическое основание субблока. Каркасные конструкции субблоков применяются в аппаратуре с высокими механическими требованиями, при двух- и многоплатных конструкциях субблоков, а также при использовании схем повышенной степени интеграции.

Блоки аппаратуры на микросхемах чаще всего имеют разъемную или книжную конструкцию.

Электрические соединения между узлами, субблоками и блоками осуществляются гибким печатным или плоским кабелем либо монтажными проводниками.

Плоский кабель — это совокупность объемных проводов, расположенных параллельно друг другу в одной плоскости и скрепленных нитями и оплеткой или опрессовкой полимерными материалами. Максимальная ширина кабеля достигает 65 мм, длина не менее 40 мм. Кабель устанавливается с одной стороны печатной платы (рис. 6-17, а).

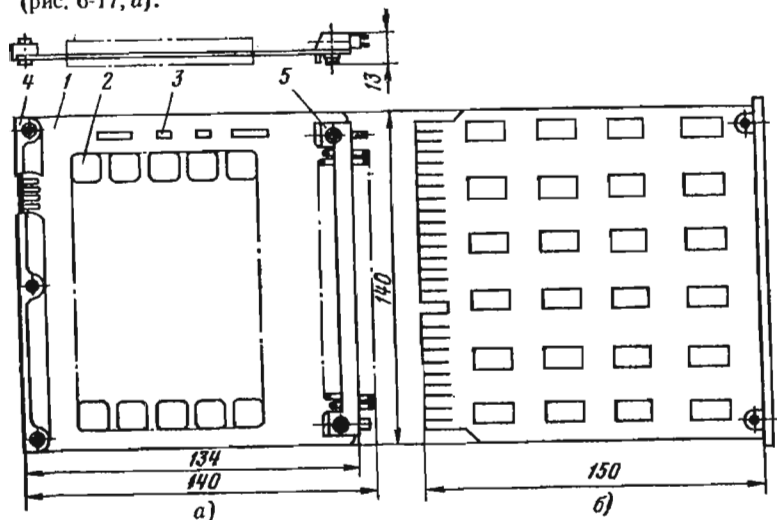


Рис. 6-16. Конструкция субблоков.

а — бескаркасный субблок с микросхемами и дискретными элементами (штыревой разъем); 1 — печатная плата; 2 — микросхемы; 3 — дискретные компоненты; 4 — колодка для контроля; 5 — вилка разъема; б — бескаркасный субблок с микросхемами (печатный разъем).

Гибкий печатный кабель (рис. 6-17, б) представляет собой совокупность печатных проводников, расположенных параллельно друг другу в одной плоскости на электроизоляционном основании. Максимальная ширина печатного кабеля может быть 150 мм, длина — не более 350 мм.

Электрические соединения между платами одного субблока выполняются обычно гибким печатным кабелем, между субблоками в блоке — гибким печатным или плоским кабелем. Применяется иногда объемный монтаж, однако он занимает до 35% объема и очень трудоемок.

Электрические соединения между субблоками могут осуществляться с помощью коммутационной печатной платы, на которой распиваются кабели субблоков. Соединения между блоками чаще всего осуществляются с помощью монтажных проводов.

При выборе соединений учитывается емкость, которую они вносят. Из-за этой емкости возникает связь между проводниками, что может вызвать наведение сигнала в соседних соединительных линиях между элементами и как следствие этого ложное срабатывание микросхем. Кроме того, с увеличением емкости на выходе мик-

росхемы снижается ее быстродействие. Удельная емкость межсоединений составляет при двустороннем печатном монтаже (толщина диэлектрика 1,5 мм и относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon=3,6$) 50—100 пФ/м; при многослойном монтаже (на той же плате) 100—250 пФ/м; если проводник расположен вплотную к печатной плате — 30—50 пФ/м; для проводника при навесном монтаже 30—40 пФ/м; для проводника в объемном жгуте (плотность 10—40 проводов на 1 см² сечения) 40—70 пФ/м.

По удельной и допустимой емкостям нагрузки на микросхему определяется максимальная длина соединительных проводников, связанных с выходом схемы.

Блоки, а иногда и субблоки часто соединяются проводниками, длина которых превышает некоторую величину, называемую критической: $l_{кр} = t_0/4\tau$, где τ — время распространения сигнала по линии единичной длины; для многих видов соединительных линий это время может быть принято равным 5 нс/м; t_0 — фронт передаваемого импульса.

В этом случае в соединениях наряду с помехами типа перекрестных наводок могут возникнуть помехи, вызванные отражениями от несогласованных концов линий. Помехи этого типа могут вызывать задержку в переключении присмычных элементов или их повторное переключение, а также появление на входах микросхем недопустимых уровней напряжения.

Основными путями повышения помехоустойчивости аппаратуры являются снижение емкости между проводниками за счет уменьшения длины соединительных линий, использование микросхем с мощным выходным элементом, экранирование, применение соединений в виде скрутки сигнального и земляного провода (при объемном монтаже). В подобном соединении уменьшается внешнее электромагнитное поле, поскольку токи в проводниках протекают в противоположных направлениях. Благодаря этому удается снизить наводки в соседних линиях.

При объединении микросхем в субблоки и затем в блоки происходит увеличение габаритов и массы конструкции за счет тех ее элементов, которые предназначены для крепления субблоков, установки разъемов, внутриблочного монтажа и т. п. Усредненные объемно-массовые характеристики некоторых конструкций аппаратуры на микросхемах первой и второй степеней интеграции приведены в табл. 6-3.

Плотность упаковки микросхем в блоках обычно не превышает 1—1,5 в см³.

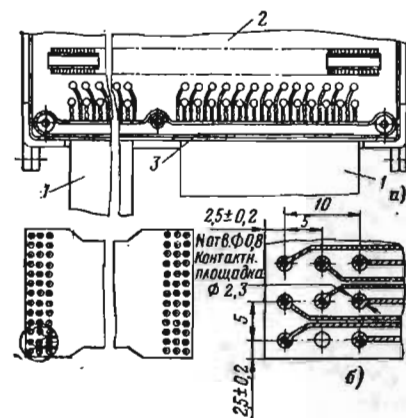


Рис. 6-17. Соединительные кабели.

а — плоский тканый кабель; 1 — кабель; 2 — плата; 3 — скоба для крепления кабеля; б — гибкий печатный кабель.

Таблица 6-3

Объемно-массовые характеристики некоторых конструкций микроэлектронной аппаратуры

Тип микросхем	Масса на один элемент, г/эл			Плотность упаковки элементов, эл/см ²		
	микро-схема	суб-блок	блок	микро-схема	субблок	блок
Гибридные . . .	0,07	0,3	0,5	50	10—15	3—5
Полупроводниковые	0,03	0,2	0,4	100	15—20	4—7

Одной из перспективных конструкций являются герметизированные блоки, внутри которых применяются бескорпусные микросхемы и микросборки. Использование при этом групповой защиты микросхем позволяет значительно уменьшить объем аппаратуры. Это можно проиллюстрировать следующим примером. Объем корпуса микросхемы типа 252МС15 составляет 856 мм³, а сама гибридная микросхема выполнена на подложке объемом 60 мм³. Только за счет отсутствия корпуса можно получить выигрыш в полезном объеме в 14 раз. Если учесть также уменьшение зазоров между микросхемами при отсутствии корпусов, то этот выигрыш возрастает еще больше.

При использовании бескорпусных микросхем и микросборок часть соединений переносится на подложку, где они занимают в десятки раз меньший объем, чем на печатной плате.

В целом при использовании бескорпусных микросхем и микросборок в общем герметичном блоке удается повысить плотность упаковки элементов в 2—8 раз. Применение бескорпусных микросхем и микросборок приводит также к повышению надежности за счет уменьшения количества паяк с печатной платой, вместо которых применяются более надежные способы соединений — напыление и термокомпрессионная сварка на подложках.

При конструировании аппаратуры на микросхемах соединения элементов уделяют особое внимание, поскольку они в значительной мере определяют надежность всего устройства. На долю соединений приходится до 60% общего количества отказов микроэлектронной аппаратуры. Основным способом соединения микросхем с печатными платами и создания межсоединений в субблоках и блоках является пайка. Пайка не требует сложного и дорогостоящего оборудования, экономически выгодна, позволяет легко производить замену вышедших из строя микросхем и других деталей.

Перспективным видом соединений является сварка, которая позволяет получить большую, чем при пайке, надежность соединений, а также уменьшить объем аппаратуры за счет сокращения площади соединений.

Используемые в микроэлектронной аппаратуре методы сварки можно разделить на сварку давлением и плавлением. Сварка давлением (термокомпрессионная, ультразвуковая и электроконтакт-

ная) обеспечивает соединение при совместном действии давления и нагрева. Нагрев не расплавляет соединяемые металлы, а лишь увеличивает их пластичность. Сварка плавлением (электроконтактная, электронным лучом и лучом лазера) соединяет металлы путем их плавления в точке сварки и последующей кристаллизации. Кроме указанных методов применяются также соединения с помощью накрутки проводника на штырь.

Монтаж методом накрутки заключается в том, что несколько (обычно от четырех до шести) витков провода с помощью специального инструмента навивают с заданным натяжением на жесткий вывод — штырь квадратного или прямоугольного сечения. Натяжение провода при накрутке велико и в точках контакта достигает 1800 кг/см². Это достаточно для разрушения оксидной пленки на соединяемых элементах и такого вдавливания провода в вывод, что в месте контакта образуются газонепроницаемые поверхности. Такое соединение очень надежно, особенно при сильных механических воздействиях. Недостатками этого метода является увеличение объема по сравнению с другими методами и трудность ремонта.

Вопросы конструирования аппаратуры на микросхемах обобщены в [35—40].

Теплоотвод в микроэлектронной аппаратуре

В микроэлектронной аппаратуре, которая характеризуется большой плотностью элементов, особенно при использовании микросхем повышенного уровня интеграции, значительное внимание должно уделяться вопросам создания необходимого теплового режима. Он определяется выделяемой мощностью и условиями охлаждения.

При определении необходимого способа охлаждения аппаратуры исходят из удельной мощности рассеяния $q_0 = P_0/V_0$, где P_0 — суммарная мощность, выделяющаяся в блоке; V_0 — объем блока с кожухом.

Другим фактором, который учитывается в данном случае, является допустимая температура перегрева воздуха в блоке: $T_n = T_{\text{доп}} - T_0$, где $T_{\text{доп}}$ — допустимая температура в блоке; T_0 — температура окружающей среды.

Способ охлаждения выбирается с использованием графика зависимости $T_n = f(q_0)$, приведенного на рис. 6-18. На графике показаны зоны, соответствующие различным способам охлаждения. Если точка, соответствующая проектируемому блоку, лежит в зоне 1 или левее, то в этом случае можно использовать герметичную конструкцию и не применять никаких мер по теплоотводу. В области 2 требуется естественное охлаждение с помощью теплопроводности и конвекции. Наконец, в области 3 необходимо принудительное охлаждение.

Если точка, соответствующая рассматриваемому блоку, находится в зоне наложения областей, целесообразно выбирать верхнюю, как отвечающую более простому способу охлаждения.

Для создания допустимого теплового режима аппаратуры по возможности стремятся к использованию микросхем с минимальной рассеиваемой мощностью. При выборе микросхем следует иметь в виду, что заданной является мощность в статическом режиме. С увеличением частоты при постоянной длительности сигнала выделяемая мощность (см. гл. 4) растет за счет резкого увеличения энергии потребления в моменты переключения.

Одним из эффективных путей облегчения теплового режима является использование теплоотводящих шин. На рис. 6-19, а показан вариант такого теплоотвода для плоских корпусов. При этом тепловое сопротивление корпуса уменьшается с 250 до 20 град/Вт.

При использовании микросхем повышенного уровня интеграции, которые характеризуются большей рассеиваемой мощностью, можно устанавливать корпуса микросхем непосредственно на металлическое основание субблока.

Иногда микросхемы, особенно в корпусах пенального типа, устанавливают в радиаторы, как показано на рис. 6-19, б. При соз-

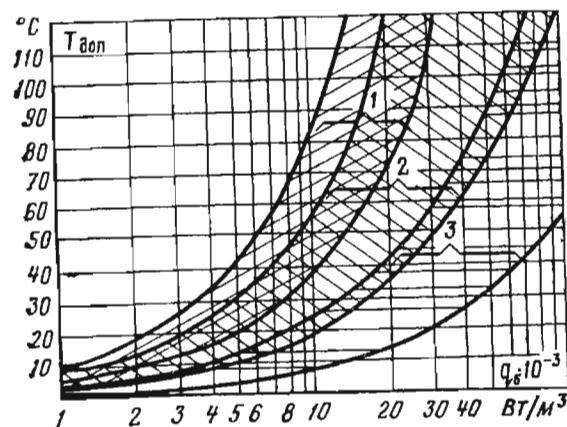


Рис. 6-18. Зависимость допустимого перегрева воздуха от удельной мощности рассеяния.

1 — герметичный блок; 2 — естественное охлаждение; 3 — принудительное охлаждение.

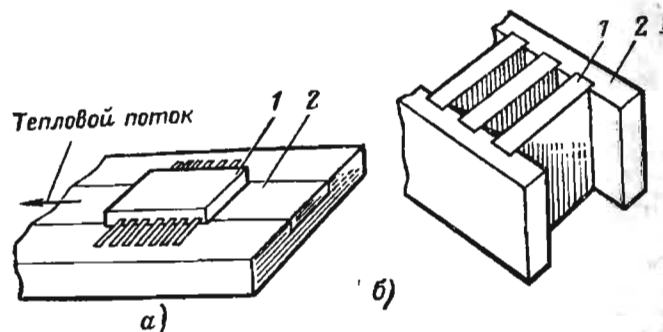


Рис. 6-19. Варианты теплоотвода.

а — с токоотводящей шиной; 1 — микросхема; 2 — шина; б — установка в радиатор; 1 — микросхема; 2 — радиатор.

данными теплоотводящими путями стремятся к уменьшению теплового сопротивления на всех участках от микросхемы до кожуух блока. Для этой цели при креплении микросхем применяются клеи с высокой теплопроводностью, используется припайка микросхем к субблоку и т. п.

Большое значение имеет тепловое сопротивление контактов между теплоотводящими элементами. На сопротивление влияют материал, чистота обработки поверхности, плотность соединения и ряд других факторов. Лучшими теплоотводящими материалами являются медь и алюминий, которые чаще всего применяются в конструкциях микроэлектронной аппаратуры. Очень нежелательно попадание краски между контактирующими теплоотводящими элементами, так как тепловое сопротивление контакта металл — краска очень велико и может превышать соответствующую величину для соединения медь — алюминий в 250 раз.

Для уменьшения контактных тепловых сопротивлений применяют покрытия соединяемых металлов кадмием, оловом и теплопроводящими пастами. Снижение теплового сопротивления корпуса блока достигается использованием ребристой структуры и покрытием наружной поверхности краской с высокой степенью черноты.

Для улучшения теплоотвода с помощью конвекции платы с распаянными на них микросхемами устанавливают в вертикальном положении, между корпусами микросхем соседних субблоков делают зазоры (не менее 6 мм), а также перфорационные отверстия в кожухе блока.

Когда перечисленные способы не могут обеспечить заданного теплового режима, применяется принудительное воздушное охлаждение. Воздух подается или внутрь блока непосредственно к теплоотводящим элементам или при герметичных конструкциях снаружи блока к стенкам корпуса. Наиболее нагретые части субблоков, как правило, располагают ближе к началу охлаждающего потока. При наличии теплопроводящих шин целесообразно ориентировать их по направлению движения воздуха. Контакт с конструктивными теплопроводными элементами блока (рамка, кожух и т. п.) обычно осуществляется на входе в блок.

При использовании микросхем малого уровня интеграции чаще всего нет необходимости в учете тепловых режимов. При применении же микросхем повышенной интеграции, как правило, следует принимать специальные меры по созданию теплоотвода. В подобных случаях проводят специальный тепловой расчет [37], при котором определяется допустимое количество микросхем на платах, число плат, зазор между субблоками, расход охлаждающего воздуха, размеры теплопроводящих шин и т. п.

6-3. МОНТАЖ И ДЕМОНТАЖ МИКРОСХЕМ

Защита от действия статического электричества

Во избежание выхода из строя микросхем в процессе их монтажа и демонтажа необходимо учитывать опасность воздействия на эти элементы статического электричества.

Электрические заряды могут образовываться на теле человека при трении об одежду, при ходьбе по линолеуму, резиновым покрытиям и в других подобных случаях. Величина этих зарядов может достигать одного микрокулона.

При прикосновении рукой к микросхеме на нее стекает электростатический заряд и в зависимости от емкости возникает электрический потенциал соответствующей величины. Например, если на затвор МДП-транзистора перенести заряд $Q=10^{-6}$ Кл, то при входной емкости $C_{вх}=2$ пФ к диэлектрику толщиной 0,1 мкм, изолирующему затвор, оказывается приложенной разность потенциалов $U=QC_{вх}=0,5$ кВ. Электривозбудиться может и сама микросхема при трении ее о тару, монтажный стол и т. п.

Статическое электричество вызывает электрические, тепловые и механические воздействия, часто приводящие к появлению дефектов в микросхемах. Характер этих дефектов в микросхемах на биполярных и МДП-транзисторах при различных потенциалах показан в табл. 6-4.

Таблица 6-4

Характер дефектов в микросхемах при различных потенциалах

Потенциалы, кВ	МДП-транзисторы	Биполярные транзисторы
0,05—0,1	Изменение параметров (токов и крутизны) на 10—20%	—
0,1—0,2	Пробой диэлектрика	—
0,2—0,3	Возрастание тока на 2—3 порядка	Пробой эмиттерных переходов в обратном направлении
0,6—1,2	Пробой переходов. Частичное разрушение металлизации	Уменьшение коэффициента передачи тока на 20—40%. Пробой коллекторных переходов
2—3	Разрушение внутренних выводов	Разрушение металлизации и внутренних выводов
Более 3	Полное разрушение микросхемы	

Для уменьшения влияния статического электричества принимают профилактические меры, которые сводятся к применению малоэлектризирующей одежды и покрытий, химической обработке и созданию определенной влажности в рабочем помещении. При работе с микросхемами необходимо пользоваться одеждой из малоэлектризирующихся материалов, например халатами из хлопчатобумажной ткани, обувью на кожаной подошве и т. п. Не рекомендуется приме-

нение одежды из шелка, капрона, нейлона и подобных материалов. Все виды оборудования необходимо заземлять. В частности, оборудование и инструмент, не имеющие питания от сети, подключаются к заземляющей шине через сопротивление 10^6 Ом, служащее для ограничения возможных токов. Оснастку и инструмент, которые питаются от сети (например, паяльники), подключают к заземляющей шине непосредственно.

Поверхность столов и пола в рабочих помещениях рекомендуется покрывать малоэлектризирующимися материалами. Если этого осуществить нельзя, то на рабочих столах следует иметь металлические листы размером не менее 100×200 мм, соединенные через ограничительное сопротивление 10^6 Ом с заземляющей шиной.

Для уменьшения электростатического заряда применяются также специальные антистатические жилеты, надеваемые на руку и имеющие связь с заземлением.

Кратковременно можно снять с себя заряд статического электричества, прикоснувшись к заземлению через сопротивление 10^6 Ом. Для уменьшения поверхностного сопротивления столов, пола, стульев рекомендуется применять специальные антистатические краски или пасты, например «Чародейка», «Антистатик», и т. п. Влажность в рабочих помещениях должна поддерживаться не ниже 50—60%.

Радиолюбители должны по возможности придерживаться указанных правил защиты от статического электричества. Особую осторожность нужно проявлять при работе с микросхемами на МДП-транзисторах, наиболее чувствительных к действию рассмотренного фактора.

Следует иметь в виду, что прикосновение к выводам микросхемы часто не приводит к немедленному выходу ее из строя (поскольку не всегда создаются благоприятные условия для появления зарядов), однако при этом могут возникнуть скрытые дефекты, которые проявятся позже.

Подготовка к монтажу и пайка микросхем

Перед монтажом микросхем необходимо проверить их на работоспособность и соответствие электрических параметров справочным данным.

Малые размеры и близкое расположение выводов микросхемы требуют создания специальных конструктивных устройств, которые предназначены для временной установки в них микросхем при контроле и обеспечивают удобный подход к выводам через штепсельный разъем сравнительно больших размеров. Плата для испытаний микросхем (без прижимной крышки) показана на рис. 6-20.

Во избежание повреждения контактов микросхем при контроле иногда используют крепление выводов с помощью изоляционных плашек или применяют кассеты, не требующие извлечения микросхем для проверки.

Перед монтажом микросхем проверяется чистота их выводов. При потемнении выводов или наличии на них лака и краски выводы необходимо зачистить механическим способом. При этом расстояние от корпуса микросхемы до места зачистки должно быть не менее 1 мм. При монтаже и в процессе эксплуатации должны приниматься меры, исключающие нарушение герметичности корпуса при изгибах выводов. В связи с этим в технических условиях оговариваются минимальные радиусы изгиба выводов и расстояния от места изгиба до

корпуса. К примеру, для схем серии К133 не допускаются изгибы выводов более двух раз под углом 90°, ближе чем 1,25 мм от основания корпуса. Радиус изгиба должен быть не менее 0,5 мм.

Ряд типов микросхем, например в корпусах с планарными выводами и в круглых корпусах, требует формовки, т. е. придания выводам формы, удобной для последующего монтажа. Примеры микросхем с формованными выводами показаны на рис. 6-19, б, в. Вид формовки зависит от способа установки микросхем на печатную плату, в частности от наличия или отсутствия прокладки между микросхемой и платой (см. рис. 6-9, в). При формовке одновременно обычно

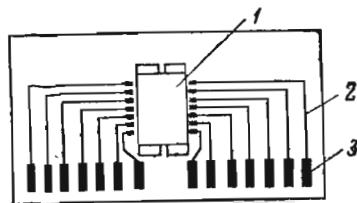


Рис. 6-20. Панель для проверки микросхем.

1 — место установки микросхемы; 2 — печатные проводники; 3 — выводы для соединения с разъемом.

осуществляют и подрезку выводов. В процессе производства для формовки и подрезки применяют шаблоны, а также специальные полуавтоматические и автоматические устройства.

В радиолюбительской практике формовка может проводиться вручную с помощью пинцета с учетом приведенных мер осторожности, предотвращающих нарушение герметизации корпуса микросхемы. После формовки и подрезки выводы лудят. Эта операция, как правило, осуществляется теми же флюсами и припоями, что и последующая пайка (см. далее). Для некоторых микросхем, чувствительных к тепловому воздействию, когда имеются специальные указания в ТУ, допускается лужение выводов легкоплавными припоями марок ПОСК50-18, ПОСВ33.

Микросхему с подготовленными выводами укладывают на печатную плату и ориентируют по ключу (см. рис. 6-10, а). Ключом (первым выводом) микросхемы может являться вывод, отличающийся от остальных конфигурацией или отмеченный специальным знаком. При установке микросхемы с планарными выводами необходимо обращать внимание на точность совмещения выводов с контактными площадками платы. Допускается смещение выводов относительно площадок по ширине на величину, обеспечивающую расстояние между краем вывода микросхем и краем соседней контактной площадки не менее 0,3—0,4 мм. По длине допускается смещение в пределах контактной площадки. При установке микросхемы со штыревыми выводами последние совмещают с отверстиями в печатной плате. Если при монтаже микросхемы требуется зазор, то перед пайкой под такую микросхему временно подкладывают специальную

прокладку, а если зазор не нужен, микросхему припаивают в прижатом и плате положении.

Пайка микросхем осуществляется либо вручную с помощью паяльника, либо с применением автоматизированных установок. Последние широко применяются при производстве односторонних печатных плат. При этом чаще всего применяются следующие способы пайки: погружением и волной. При пайке погружением плата с установленными на ней элементами погружается в расплавленный припой той поверхностью, на которую выходят штыревые выводы элементов. Места на плате, не подлежащие действию припоя, закрываются бумажной маской. При пайке волной припой плата проходит с постоянной скоростью по гребню волны, где припой не имеет пленок окислов и загрязнений и поэтому обеспечивает высокое качество пайки. Этот способ требует применения бумажной маски и предварительного подогрева платы. При пайке очень важно выдержать правильный температурный режим. Температура пайки (лужения) при автоматизированных процессах (например, при пайке погружением, волной и т. п.) обычно устанавливается исходя из марки припоя с учетом следующего соотношения $T = T_{п.н.} + (40 \div 80)^\circ\text{C}$, где T — температура пайки, $^\circ\text{C}$; $T_{п.н.}$ — температура начала кристаллизации припоя, $^\circ\text{C}$. При ручной пайке с помощью электропаяльников температуру стержня допускается повышать на 20—40 $^\circ\text{C}$ по сравнению с полученной по приведенной формуле, если в ТУ на микросхему нет соответствующих ограничений.

При пайке с наиболее часто используемым припоем ПОС61, ПОС61М (ГОСТ 1499-70) температура стержня паяльника должна составлять 240—265 $^\circ\text{C}$ для пайки штыревых выводов и 250—280 $^\circ\text{C}$ для пайки планарных выводов. При этом время пайки составляет 1—5 с. Процесс пайки начинается с нанесения флюса с помощью волосняной кисти или специального дозатора. Наиболее часто применяется флюс ФКТ. Наносить следует минимальное количество флюса, позволяющее смачивать паяные поверхности.

Пайку микросхемы, если она не приклеивается к плате, начинают с крайних выводов, чтобы закрепить микросхему. При пайке диаметр проволоки или трубчатого припоя должен быть на 50—60% меньше диаметра стержня паяльника. Если таной проволоки нет, то целесообразно использовать припой в виде крошки. При ручной пайке и лужении в качестве теплоотводящих элементов от выводов микросхемы можно использовать пинцет, плоскогубцы или другой подобный инструмент. Теплоотвод следует снимать не ранее чем через 5 с после пайки. Пайку соседних выводов можно производить не ранее чем через 3—5 с. Расстояние по длине вывода от места пайки до корпуса обычно составляет не менее 1 мм.

После пайки с места соединения удаляют флюс с помощью спиртобензиновой смеси или горячей проточной воды. Качество пайки контролируется с помощью лупы с десятикратным увеличением. Для пайки и лужения выводов микросхем применяют электропаяльники с диаметром стержня 1—5 мм, напряжением 220, 36 и 6 В, мощностью от 10 до 65 Вт, обеспечивающие нагрев до 300 $^\circ\text{C}$. В процессе промышленной сборки аппаратуры применяют паяльники с регулируемой и контролируемой температурой нагрева.

После монтажа микросхемы должны быть защищены лакокрасочными покрытиями, например лаками Э-4100, Ур-231, устойчивыми к воздействию окружающей среды.

Рекомендации по подготовке к монтажу и пайке микросхем подробно изложены в [41—43].

При монтаже микросхем часть их входов, особенно у цифровых элементов, в соответствии с принципиальной схемой остаются неиспользуемыми. Неиспользуемые входы элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ можно оставить свободными, однако на этих входах могут появляться случайные сигналы помех, которые отрицательно сказываются на работе всей схемы. Кроме того, при свободных входах ухудшаются динамические параметры микросхем. Для устранения этих недостатков свободные входы элементов И-НЕ припаивают параллельно к используемым входам при условии, что общее количество микросхем, включенных на предыдущий элемент, не превышает допустимого. Иногда свободные входы присоединяют к источнику питания через ограничивающее сопротивление порядка нескольких килоом. Если в микроэлектронном устройстве есть незадействованные инверторы, то свободные входы работающих элементов подключают к выходу инвертора (к маломощному — до 10 входов, к мощному — до 30) при условии, что его входы заземлены. При пайке в микросхемах незадействованных элементов И-НЕ их обычно заземляют. Аналогично поступают и с незадействованными входами И элемента И-ИЛИ-НЕ. Если не заземлить эти входы, логика работы всего элемента будет нарушена. При пайке свободных входов в элемент ИЛИ-НЕ их также заземляют.

Устранение неисправностей и демонтаж микросхем

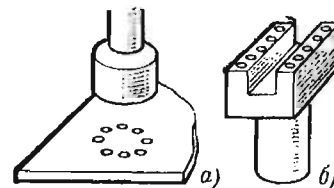
При эксплуатации аппаратуры на микросхемах поиск неисправностей и их устранение заключается обычно в определении вышедшего из строя субблока и замене его новым. Однако в радиолюбительской практике или при отсутствии возможности замены целого субблока приходится осуществлять поиск неисправностей и замену неисправных микросхем.

Для сложных цифровых устройств поиск неисправностей ведется с помощью специальных программ-тестов. Эти тесты содержат наборы входных сигналов и соответствующие комбинации выходных сигналов, возникающие при исправном состоянии или при определенных неисправностях в элементах устройства. В простых цифровых схемах, а также в аналоговых устройствах поиск неисправностей ведется путем последовательного анализа прохождения сигналов в схеме. Определение места отказа ведется с использованием контрольных выводов и разъемов (см. рис. 6-16, а).

Процесс замены вышедшей из строя микросхемы можно представить в виде следующей последовательности операций. Прежде всего нужно убедиться в том, что аппаратура обесточена. Затем необходимо удалить лак с платы со стороны пайки, для чего следует предварительно нагреть это место до 150—180°C. После этого необходимо осторожно подрезать лак в местах пайки и удалить его остатки тампоном, смоченным в спиртобензиновой смеси. После просушки в течение 5—10 мин плата будет готова к выпайке микросхемы. Перед выпайкой на очищенные места необходимо нанести флюс. Выпаивать микросхему можно с помощью обычного паяльника или с применением специального накопечника. Для выводов, расположенных по кругу, можно применять цилиндрический накопечник, показанный на рис. 6-21, а. При распайке элементов со штыревыми выводами, расположенными рядами, применяют накопечник, изображенный на рис. 6-21, б. Для пайки микросхемы накопечник прижимают к месту соединения так, чтобы его поверх-

ность соприкасалась одновременно со всеми выводами. При пайке контактного контакта на поверхности паяльника имеются углубления, в которые входят концы выводов. После расплавления припоя элемент снимается с платы.

Перечисленные методы выпайки имеют существенный недостаток: после удаления с платы выпаянной микросхемы на контактных площадках и в металлизированных отверстиях остается припой, затрудняющий установку нового элемента. Эффективным приспособлением для удаления припоя является паяльник с отсосом припоя. Жидкий припой под действием атмосферного давления попадает в канал наконечника паяльника и далее в специальную камеру-сборник, место выпайки остается чистым.



Интегральные микросхемы отечественного производства обладают широкими функциональными возможностями и хорошими эксплуатационными характеристиками, позволяющими создавать разнообразную радиоэлектронную аппаратуру с высокими технико-экономическими показателями.

Применение микросхем как элементной базы радиоэлектронной аппаратуры вносит ряд существенно новых моментов в процесс разработки функциональной структуры и конструкции аппаратуры. Эти особенности, рассмотрение которых составляло одну из основных задач книги, необходимо учитывать при использовании микросхем, чтобы в полной мере реализовать их возможности.

Рис. 6-21. Наконечники паяльников для распайки микросхем.

а — в круглом корпусе; б — в прямоугольном корпусе со штыревыми выводами.

СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

В настоящее время имеются две системы обозначений интегральных микросхем: старая — для микросхем, разработанных до 1974 г., и новая — для микросхем, разработанных позднее. Последняя система соответствует ГОСТ 18682-73, введенному в июне 1974 г.

Обозначение микросхемы по старой системе состоит из четырех основных элементов. Первый элемент — цифра, указывающая группу по конструктивно-технологическому признаку, к которой относится данная микросхема: 1 — полупроводниковая, 2 — гибридная, 3 — пленочная. Второй элемент — две буквы, определяющие функциональное назначение микросхемы: первая буква указывает подгруппу, а вторая — вид микросхемы по функциональному признаку. Буквенные обозначения видов микросхем приведены в табл. П1-1 в графе «старое обозначение». Третий элемент — две цифры, обозначающие порядковый номер разработки данной серии микросхем. Четвертый элемент — одна или две цифры, указывающие порядковый номер микросхемы в данной серии среди микросхем одного вида.

Первый и третий элементы составляют номер серии, к которой относится микросхема.

Для микросхем, предназначенных для использования в устройствах широкого применения, предусмотрена дополнительная буква К перед первым элементом обозначения.

При необходимости разделения микросхем одного вида по какому-либо параметру, например нагрузочной способности, быстродействию и т. д., вводится буквенный индекс в конце обозначения.

Примеры: 2ИД291 — гибридная микросхема серии 229, представляющая собой дешифратор; ИИР442 — полупроводниковая микросхема серии 144, представляющая собой регистр, является второй микросхемой такого вида в серии, на что указывает цифра 2 в конце обозначения.

В новой системе обозначения расширен ряд цифровых и буквенных индексов и изменен порядок размещения основных элементов.

Первый элемент — цифра, указывающая тип микросхемы по конструктивно-технологическому признаку: 1, 5, 7 — полупроводниковые; 2, 4, 6, 8 — гибридные; 3 — прочие (пленочные, керамические, вакуумные и т. д.). В обозначение микросхем, предназначенных для аппаратуры широкого применения, также вводится буква К перед первым элементом.

Второй элемент — две цифры, указывающие номер разработки данной серии. Первый и второй элементы обозначают серию микросхем.

Третий элемент — две буквы, обозначающие функциональную подгруппу и вид микросхемы (см. табл. П1-1, графу «новое обозначение»).

Четвертый элемент — порядковый номер разработки микросхемы в серии среди микросхем одного вида. При необходимости в обозначение также могут быть введены дополнительные буквенные индексы от А до Я.

По новой системе приведенные ранее для примера микросхемы будут иметь следующие обозначения: 229ИД1, 144ИР2.

Обозначения видов микросхем

Вид микросхемы	Обозначение	
	старое	новое
Генераторы сигналов:		
синусоидальных	ГС	ГС
специальной формы	ГФ	ГФ
прямоугольных	—	ГГ
линейно-изменяющихся	—	ГЛ
шума	—	ГМ
прочие	ГП	ГП
Усилители:		
синусоидальные	УС	—
постоянного тока	УТ	УТ
видеоусилители	УБ	—
импульсные	УИ	УИ
повторители	УЭ	УЕ
высокой частоты	—	УВ
промежуточной частоты	—	УР
низкой частоты	—	УН
считывания и воспроизведения	—	УЛ
индикации	—	УМ
операционные и дифференциальные	—	УД
прочие	УП	УП
Преобразователи:		
частоты	ПС	ПС
фазы	ПФ	ПФ
формы	ПМ	—
напряжения	ПН	ПН
кодирующие	ПК	—
декодирующие	ПД	—
длительности	—	ПД
мощности	—	ПМ
уровня (согласователи)	—	ПУ
код—аналог	—	ПА
аналог—код	—	ПВ
код—код	—	ПР
прочие	ПП	ПП
Модуляторы:		
амплитудные	МА	МА
частотные	МС	МС
фазовые	МФ	МФ
импульсные	МИ	МИ
прочие	МП	МП

Продолжение табл. П1-1

Вид микросхемы	Обозначение	
	старое	новое
Детекторы:		
амплитудные	ДА	ДА
частотные	ДС	ДС
фазовые	ДФ	ДФ
импульсные	ДИ	ДИ
прочие	ДП	ДП
Фильтры:		
верхних частот	ФВ	ФВ
нижних частот	ФН	ФН
плосовые	ФП	ФЕ
заградительные	ФГ	—
режекторные	—	ФР
прочие	—	ФП
Коммутаторы и ключи:		
транзисторные	КТ	—
диодные	КД	—
оптоэлектронные	КЭ	—
тока	—	КТ
напряжения	—	КН
прочие	КП	КП
Схемы селекции и сравнения:		
амплитудные (уровня сигнала)	СА	СА
временные	СВ	СВ
частотные	СС	СС
фазовые	СФ	СФ
прочие	СП	СП
Логические элементы:		
И	ЛИ	ЛИ
ИЛИ	ЛЛ	ЛЛ
НЕ	ЛН	ЛН
И-ИЛИ	ЛС	ЛС
И-НЕ	ЛБ	ЛА
ИЛИ-НЕ	ЛБ	ЛЕ
И-ИЛИ-НЕ	ЛР	ЛР
И-ИЛИ-НЕ/И-ИЛИ	—	ЛК
ИЛИ-НЕ/ИЛИ	—	ЛМ
Расширители	—	ЛД
Прочие	ЛП	ЛП

Продолжение табл. П1-1

Вид микросхемы	Обозначение	
	старое	новое
Триггеры:		
со счетным запуском	ТС	—
с отдельным запуском	ТР	—
с комбинированным запуском	ТК	—
Шмитта	ТШ	ТЛ
динамические	ТД	ТД
T-триггер	—	ТТ
RS-триггер	—	ТР
D-триггер	—	ТМ
JK-триггер	—	ТВ
комбинированные (RST, DRS, JKRS и др.)	—	ТК
прочие	—	ТП
Элементы арифметических и дискретных устройств:		
регистры	ИР	ИР
сумматоры	ИС	ИМ
полусумматоры	ИЛ	ИЛ
счетчики	ИЕ	ИЕ
дешифраторы	ИД	ИД
комбинированные	ИК	ИК
прочие	ИП	ИП
Многофункциональные схемы:		
аналоговые	ЖА	ХА
цифровые (логические)	ЖЛ	ХЛ
импульсные	ЖИ	—
аналого-импульсные	ЖЕ	—
импульсно-логические	ЖГ	—
аналого-логические	ЖВ	—
комбинированные	ЖК	ХК
прочие	ЖП	ХП
Наборы элементов:		
диодов	НД	НД
транзисторов	НТ	НТ
резисторов	НС	НР
конденсаторов	НЕ	НЕ
комбинированные	НК	НК
прочие	НП	НП
Линии задержки:		
схемные	ШС	—
пассивные	—	БМ
активные	—	БР
прочие	ШП	БП

Вид микросхемы	Обозначение	
	старое	новое
Формирователи:		
импульсов прямоугольной формы	—	АГ
импульсов специальной формы	—	АФ
адресных токов	—	АА
разрядных токов	—	АР
прочие	—	АП
Схемы вторичных источников питания:		
выпрямители	—	ЕВ
преобразователи	—	ЕМ
стабилизаторы напряжения	—	ЕН
стабилизаторы тока	—	ЕТ
прочие	—	ЕП
Элементы запоминающих устройств:		
на магнитных пленках	ЯЛ	—
матрицы-накопители оперативных запоми- нающих устройств (ОЗУ)	ЯМ	РМ
матрицы-накопители ОЗУ со схемами уп- равления	—	РУ
матрицы-накопители постоянных запоми- нающих устройств (ПЗУ)	—	РВ
матрицы-накопители ПЗУ со схемами уп- равления	—	РЕ
прочие	ЯП	РП

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ГРАФИЧЕСКИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

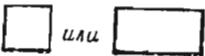
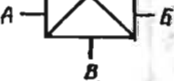
Интегральная микросхема представляет собой конструктивный элемент аппаратуры, включающий один или несколько функциональных элементов, размещенных в одном корпусе. При вычерчивании функциональной схемы аппаратуры применяют обозначения согласно ГОСТ 2.737-68 и ГОСТ 2.743-72 для аналоговых и цифровых функциональных элементов и узлов. Важнейшие из этих обозначений приведены в табл. П2-1.

При вычерчивании принципиальной схемы аппаратуры микросхемы обычно обозначаются в виде прямоугольника или квадрата с указанием номеров выводов и типа микросхемы.

Иногда для наглядности микросхему представляют в виде прямоугольника с функциональными элементами внутри него (например, как на рис. 5-21).

Таблица П2-1

Графические обозначения функциональных элементов

№ п.п.	Функциональный элемент	Обозначение
1	Функциональный элемент, узел	
2	Усилитель:	
	общее обозначение	
	операционный	
3	Генератор:	
	общее обозначение	
	прямоугольных импульсов	
	синусоидальных колебаний переменной частоты	
	колебаний звуковой частоты	
4	Преобразователь частоты	
5	Дискриминатор частотный	
6	Модулятор (А, В — входы модулирующего и несущего сигналов соответственно, В — выход модулированного сигнала)	
7	Преобразователь постоянного тока в переменный	
8	Фильтр:	
	низких частот	

Продолжение табл. П2-1

№ п.п.	Функциональный элемент	Обозначение
	верхних частот	
	полосовой	
9	Повторитель	
10	Логический элемент:	
	2ИЛИ	
	2И	
	НЕ (инвертор)	
	2ИЛИ-НЕ	
	2И-НЕ	
	2И-НЕ с повышенной нагрузочной способностью	

Продолжение табл. П2-1

№ п.п.	Функциональный элемент	Обозначение
	2И-2И-ИЛИ-НЕ	
	2И-2И-ИЛИ-НЕ с возможностью расширения по ИЛИ	
	Расширитель по ИЛИ	
	2И-2И-3И-ИЛИ-НЕ, построенный с помощью расширителя по ИЛИ	
11	RS-триггер (триггер с раздельным запуском):	
	асинхронный	
	синхронный одноступенчатый	

Продолжение табл. П2-1

№ п.п.	Функциональный элемент	Обозначение
12	(C — вход синхронизирующего импульса) синхронный двухступенчатый	
	D-триггер: одноступенчатый	
	двухступенчатый	
13	T-триггер (триггер со счетным запуском)	
14	RST-триггер (триггер с комбинированным запуском: T — счетный вход, S, R — входы асинхронной установки триггера)	
15	JK-триггер (триггер с комбинированным запуском)	

Продолжение табл. П2-1

№ п.п.	Функциональный элемент	Обозначение
16	Комбинированный 3JKRS-триггер (входы S и R — инверсные для асинхронной установки триггера)	
17	Дешифратор	
18	Полусумматор	
19	Сумматор	
20	Пороговый элемент	
21	Элемент задержки (время можно указать внутри прямоугольника)	
22	Формирователь	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

КОРПУСА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Для корпусов, разработанных до 1973 г., применялась одна система обозначений (будем ее называть «старой»). Для корпусов, разработанных после 1973 г., применяется система обозначений и соответствии с ГОСТ 17467-72.

Условное обозначение по старой системе состоит из четырех элементов. Их содержание раскроем на примере обозначения одного из корпусов: 101СТ14-1.

Первый элемент — цифровой индекс 101 — указывает на типоразмер корпуса. Первая цифра 1 показывает, что это корпус первого типа. В этой системе принято деление корпусов по типам:

тип 1 — прямоугольный с планарными выводами, т. е. размещенными параллельно монтажной плоскости;

тип 2 — прямоугольный со штырьковыми выводами;

тип 3 — прямоугольный с выводами, изогнутыми перпендикулярно монтажной плоскости;

тип 4 — круглый со штырьковыми выводами.

Две другие цифры — 01 — представляют собой шифр геометрических размеров и шага размещения выводов. Раскрывается этот шифр с помощью таблиц, помещаемых в технической документации на корпуса. Второй элемент — буквенный индекс СТ — указывает на материал, из которого изготовлен корпус.

Третий элемент — цифровой индекс 14 — показывает число выводов корпуса.

Четвертый элемент — цифровой индекс 1 — указывает на номер разработки. Наряду с нормализованными корпусами находят применение, хотя и ограниченное, корпуса, не отвечающие требованиям нормалей по геометрическим размерам и шагу размещения выводов, — корпуса типа «Тропа», «Посол», «Акция».

На корпусе микросхемы имеется маркировка. На габаритных чертежах нумерация и порядок расположения выводов указаны относительно ключа или специальной метки, которые также имеются на корпусе.

Обозначение корпуса по ГОСТ 17467-72 состоит также из четырех элементов. Раскроем их содержание на примере обозначения К421.48-1

Первый элемент — буква К (корпус).

Второй элемент — цифровой индекс 421 — шифр типоразмера корпуса. Первая цифра 4 указывает на тип корпуса. В этой системе принято следующее деление корпусов по типам:

тип 1 — прямоугольный со штырьковыми выводами;

тип 2 — прямоугольный с выводами из боковых сторон, изогнутыми перпендикулярно монтажной плоскости;

тип 3 — круглый со штырьковыми выводами;

тип 4 — прямоугольный с планарными выводами; выводы располагаются на боковых сторонах корпуса в один или два ряда параллельно монтажной плоскости.

Две другие цифры — 21 — указывают на порядковый номер типоразмера.

Третий и четвертый элементы обозначают то же, что и в старой системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов И. Е., Козырь И. Я. Основы микроэлектроники. — М.: Связь, 1975, — 272 с.
2. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. Под общей ред. Н. Н. Горюнова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1976, — 744 с.
3. Волков В. М., Попов В. П., Степаненко В. К. Микроминиатюрные транзисторные усилители. — Киев: Техника, 1973, — 208 с.
4. Розе Р. Ф. и др. Интегральные микросхемы для аппаратуры связи. — Электронная техника, сер. Микроэлектроника, 1970, вып. 2(23), с. 5—10.
5. Алексенко А. Г. Основы микросхемотехники. Элементы морфологии микроэлектронной аппаратуры. — М.: Советское радио, 1971, — с. 352.
6. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных приборах. — М.: Энергия, 1974, — 144 с.
7. Волков В. А. Аналоговые устройства современной радиоэлектроники. — М.: Знание, 1972, — 32 с.
8. Штерн Л. Основы проектирования интегральных схем. — М.: Энергия, 1973, — 328 с.
9. Баранов В., Филипенко В. Использование микросхем К2ЖА243 и К2УС242. — Радио, 1972, № 9, с. 18—20.
10. Гутников В. С. Применение операционных усилителей в измерительной технике. — М.: Энергия, 1975, — 120 с.
11. Афондик В., Безбородько А. Операционные усилители типов К1УТ531 и К74ОУД1. — Радио, 1975, № 10, с. 60.
12. Малинин Р. М. Справочник по транзисторным схемам. — М.: Энергия, 1974, — 184 с.
13. Ковалев В. Г., Ламекин В. Ф. Радиолюбителю о микросхемах. — М.: ДОСААФ, 1975, 75, — 127 с.
14. Борноволоков Э. П. Микросхемы серии К224 для радиоприемной аппаратуры. — В кн.: В помощь радиолюбителю. Вып. 44. М., ДОСААФ, 1974, с. 73—80.
15. Борноволоков Э. П. Микросхемы серии К224 для телевизоров. — В кн.: В помощь радиолюбителю. Вып. 45. — М., ДОСААФ, 1974, с. 59—65.
16. Иванов В. Гибридные интегральные микросхемы серии К237. — В кн.: В помощь радиолюбителю. Вып. 46. М., ДОСААФ, 1974, с. 73—79.
17. Воробьев-Обухов А. Предварительный усилитель воспроизведения на микросхемах. — Радио, 1975, № 8, с. 37.
18. Сухов К., Чистов В., Пожаренкова Т. Блок цветности на микросхемах. — Радио, 1974, № 12, с. 15—17.
19. Сухов К., Олдин А., Белова В. Тракт звукового сопровождения на микросхемах серии К224. — Радио, 1973, № 11, с. 47—48.
20. Олдин А., Сухов К., Белова В. Тракт изображения цветного телевизора на микросхемах серии К224. — Радио, 1974, № 1, с. 17—19.

21. Зародов М., Сухов К., Чистов В. Блок цветности — Радио, 1971, № 11 с. 31—35.
22. Сухов К., Чистов В. Блок цветности формирования цветных сигналов. — Радио, 1975, № 2, с. 17—18.
23. Сухов К., Мартынов Ю. ФСС для телевизора. — Радио, 1971, № 3.
24. Нагаев В., Найман М. Радиоприемник «Урал-301». — Радио, 1972, № 10, с. 35—37.
25. Бать С., Дубовис В., Зубова Г., Нечаев Л. Интегральные микросхемы серий К122 и К118. — Радио, 1975, № 7, с. 55—57.
26. Самойликов К. «Микрон-2с». Переносной телевизор на гибридных микросхемах серии К224. — Радио, 1973, № 7, с. 31—35.
27. Зырин Г., Ефименков Р., Хрусталева Г. Телевизор «Юность». — Радио, 1966, № 1, с. 21.
28. Гольденберг Л. М. Импульсные и цифровые устройства. — М.: Связь, 1973, — 495 с.
29. ГОСТ 2.743-72. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Двоичные логические элементы.
30. Букреев И. Н., Мансуров Б. М., Горячев В. И. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. — М.: Советское радио, 1973, — 264 с.
31. Бурков Е. К. и др. Устройства цифровой индикации на элементах микроэлектроники. — Приборы и техника эксперимента, 1973, № 1, с. 112—114.
32. Файзулаев Б. Н. и др. Конструктивно-техническая база ЕС ЭВМ. — Вопросы радиоэлектроники, сер. ЭВТ, 1973, № 5, с. 10—23.
33. Лившиц И. И., Несговоров Б. А., Овсищев П. И. Анализ и выбор показателей эффективности аппаратуры на микросхемах. — Вопросы радиоэлектроники, сер. ТПО, 1973, вып. 1, с. 75—79.
34. Федуллова А. А., Явич Э. Р., Котов Е. П. Многослойные печатные платы. — М.: Советское радио, 1973, — 119 с.
35. Пестряков В. Б. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры (Основные проблемы и современное состояние). — М.: Советское радио, 1969, вып. 4, — 208 с.
36. Анисимов Б. В., Савельев А. Я. Основы конструирования и производства ЭВМ. М.: Высшая школа, 1972, — 278 с.
37. Гель П. П., Иванов-Есипович Н. К. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры. — Л.: Энергия, 1972, — 231 с.
38. Конструирование микроэлектронной аппаратуры. Под общ. ред. Б. Ф. Высоцкого. — М.: Советское радио, 1975, — 121 с.
39. ОСТ 4.ГО.010.009. Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры на микросхемах. Конструирование.
40. Цифровые устройства на микросхемах. Под общ. ред. В. Л. Волчека, Е. Г. Ойхмана, — М.: Энергия, 1975, — 192 с.
41. ОСТ 4.ГО.054.087. Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры. Подготовка навесных элементов к монтажу. Типовые технологические процессы.
42. ОСТ 4.ГО.054.088. Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры. Установка навесных элементов в узлах. Типовые технологические процессы.
43. ОСТ 4.ГО.054.089. Узлы и блоки радиоэлектронной аппаратуры. Пайка монтажных соединений. Типовые технологические процессы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава первая. Общие сведения об интегральных микросхемах	5
1-1. Интегральная микросхема — современный функциональный узел радиоэлектронной аппаратуры	5
1-2. Устройство интегральных микросхем	7
Полупроводниковые интегральные микросхемы (7). Пленочные и гибридные интегральные микросхемы (12)	15
1-3. Микросхемы повышенного уровня интеграции	17
1-4. Функциональная классификация интегральных микросхем	17
Глава вторая. Аналоговые интегральные микросхемы	18
2-1. Общая характеристика	18
2-2. Серии микросхем для аппаратуры радиосвязи и радиовещания	25
Микросхемы серии 219 для КВ и УКВ радиоаппаратуры (25). Микросхемы серии 235 для КВ и УКВ радиоаппаратуры (27). Микросхемы серии К224 для радиовещательной аппаратуры (40). Микросхемы для усилительных трактов аппаратуры радиосвязи (50). Микросхемы вторичных источников питания (55)	
2-3. Серии микросхем для телевизионной аппаратуры	56
Микросхемы серии К224 для телевизионной аппаратуры (56). Микросхемы серии К245 для телевизионной аппаратуры (69)	
2-4. Серии микросхем для магнитофонов и электрофонов	71
2-5. Серии микросхем для линейно-импульсных устройств	79
Микросхемы серий К118, К122, К722 для линейных и пороговых устройств (79). Микросхемы серий К119, К218, К228 для линейно-импульсных устройств (83). Микросхемы прерывателей (84)	
2-6. Серии операционных усилителей	86
2-7. Особенности микросхем, имеющих общее функциональное предназначение	90
Генераторы (90). Детекторы (91). Коммутаторы и ключи (91). Многофункциональные схемы (91). Модуляторы (91). Наборы элементов (92). Преобразователи (92). Вторичные источники питания (93). Схемы селекции и сравнения (93). Триггеры (93). Усилители (93)	
Глава третья. Применение аналоговых микросхем в электронной аппаратуре	95
3-1. Некоторые особенности построения аналоговых устройств на микросхемах	95
3-2. Радиоприемная аппаратура	98
Построение присоединительных трактов (98). Микро-	

	Стр.
схемы в переносных радиоприемниках (101). Спортивный радиоприемник для «охоты на лис» (105)	
3-3. Микросхемы в портативных магнитофонах	109
3-1. Телевизоры	113
Тракты цветных телевизоров (113). Любительский портативный телевизор «Микроп-2с» (125)	
Глава четвертая. Цифровые интегральные микросхемы	132
4-1. Общая характеристика цифровых микросхем	132
4-2. Параметры цифровых микросхем	137
4-3. Серии микросхем транзисторной логики с резистивными связями	140
4-4. Серии микросхем диодно-транзисторной логики	142
4-5. Серии микросхем транзисторно-транзисторной логики	147
4-6. Серии микросхем на переключателях тока	151
4-7. Серии микросхем на МДП-транзисторах	155
4-8. Триггеры	158
4-9. Цифровые микросхемы повышенной степени интеграции	168
4-10. Сравнение серий цифровых микросхем	172
Глава пятая. Функциональные схемы цифровых микроэлектронных устройств	175
5-1. Построение функциональных схем комбинационных устройств	175
5-2. Построение функциональных схем последовательностных устройств	180
Элементная база последовательных устройств (180). Регистры (182). Счетчики (184). Распределители (192). Формирователи и генераторы импульсов (193). Устройства индикации цифровой аппаратуры (194)	
5-3. Примеры цифровых устройств на микросхемах	197
Глава шестая. Разработка радиоэлектронных устройств на микросхемах	200
6-1. Основные этапы разработки радиоэлектронных устройств	200
6-2. Вопросы конструирования радиоэлектронных устройств на микросхемах	213
Печатные платы для установки микросхемы (213). Размещение микросхем, компоновка узлов, субблоков и блоков (217). Теплоотвод в микроэлектронной аппаратуре (225)	
6-3. Монтаж и демонтаж микросхем	227
Защита от действия статического электричества (227)	
Подготовка к монтажу и пайки микросхем (220). Устранение неисправностей и демонтаж микросхем (232)	
Приложение 1. Система обозначений интегральных микросхем	234
Приложение 2. Графические обозначения интегральных микросхем	238
Приложение 3. Корпуса интегральных микросхем	244
Список литературы	245

1p. 50 r.