

К. т. н. В. Г. ВЕРБИЦКИЙ, Г. П. ЛИПОВЕЦКИЙ,
П. В. СИВОБОРОД

Украина, г. Киев, НИИ микроприборов

Дата поступления в редакцию
18.04 2001 г.

Оппонент к. т. н. Н. Б. КОПЫТЧУК

ОДНОКРИСТАЛЬНАЯ МИКРО-ЭВМ С АНАЛОГО-ЦИФРОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Представлены функциональные возможности новой однокристальной микро-ЭВМ (ОМЭВМ), рассмотрены принципы функционирования АЦП совместно с ОМЭВМ.

Разработана новая однокристальная микро-ЭВМ (ОМЭВМ), интегрированная с 8-разрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), — микросхема УМ5704ВЕ56. Микросхема дополняет ОМЭВМ семейства МК-51 [1, с. 107] (аналог семейства MCS-51 фирмы Intel, США) и предназначена для использования в системах обработки информации в качестве высокопроизводительных контроллеров и управляющих устройств в изделиях, оперирующих с аналоговыми и цифровыми сигналами.

ОМЭВМ содержит все блоки, необходимые для автономной работы:

- центральный восьмиразрядный процессор;
- память программ объемом 4 Кбайт, программируемая в процессе изготовления микросхемы;
- память данных объемом 128 байт;
- четыре канала ввода/вывода;
- два таймера/счетчика и программный счетчик;
- АЦП (8-разрядный на 6 входов);
- систему прерываний;
- последовательный интерфейс;
- тактовый генератор.

Структурная схема ОМЭВМ приведена на рис. 1. Архитектура (исключая АЦП), технические характеристики и сис-

тема команд соответствуют микросхеме УМ5704ВЕ31 (КР1830ВЕ51/31).

Основные технические характеристики:

- 8-разрядный канал данных с возможностью обработки следующих форматов данных: бит, байт, два байта;
- 16-разрядный канал адреса;
- объем подключаемой внешней памяти команд — 64 Кбайт;

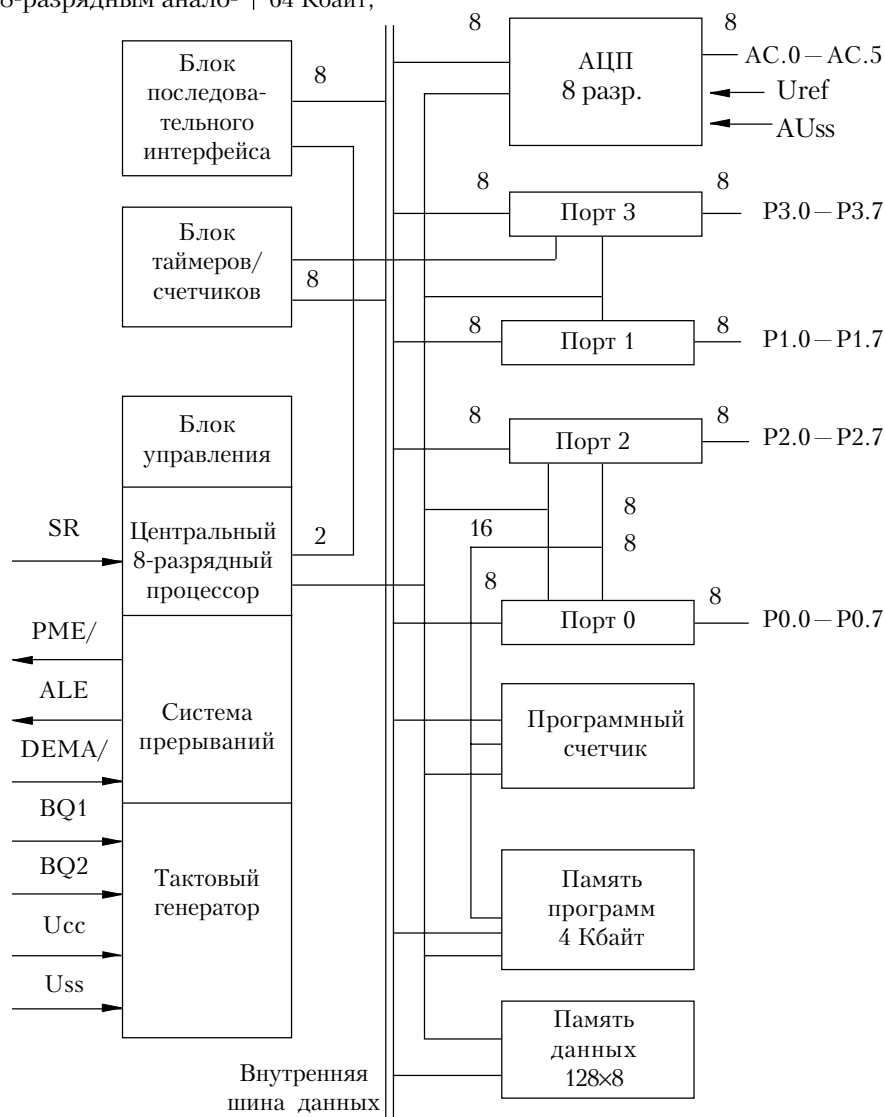


Рис. 1. Структурная схема ОМЭВМ

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

- объем подключаемой внешней памяти данных — 64 Кбайт;
- 32 регистра общего назначения (РОН);
- четыре способа адресации данных (прямая адресация байта и бита, косвенная, непосредственная, регистровая);
- двухуровневая приоритетная структура прерываний;
- пять векторов прерывания;
- четыре 8-разрядных программируемых канала ввода/вывода;
- последовательный канал ввода/вывода (максимальная скорость передачи — 375 Кбод);
- 128 определяемых пользователем программно-управляемых флагов;
- два 16-битовых многорежимных таймера/счетчика;
- стек для связи подпрограмм возврата и памяти данных;
- система команд, содержащая 111 базовых команд, включая аппаратную реализацию операций умножения и деления.

Основные параметры АЦП:

- количество каналов — 6;
- аналоговое входное напряжение — от (AUss-0,2 В) до (Ucc+0,2 В);
- погрешность преобразования — ±1 младший значащий разряд (МЗР);
- время преобразования — 26,3 мкс;
- входная емкость — не более 3,0 пФ;
- входное сопротивление — от 1,0 до 5,0 кОм;
- ток утечки по входам — не более 3,0 мкА;
- напряжение питания — +5,0 ± 0,5 В.

Микросхема устойчива к механическим и климатическим воздействиям (ГОСТ 18725—83), в том числе к пониженной (-10°C) и к повышенной (+70°C) рабочей температуре среды.

Так как собственно ОМЭВМ достаточно подробно представлена в работе [1, с. 107], ограничимся рассмотрением особенностей АЦП и его функционирования совместно с ОМЭВМ.

АЦП обеспечивает 8-разрядный результат по одному из 6 входных каналов. Преобразование выполняется путем последовательного приближения к результату, равному отношению входного напряжения к опорному напряжению. Результат А/Ц-преобразования рассчитывается по формуле

$$255(U_{вх} - AU_{ss}) / (U_{ref} - AU_{ss}),$$

где AUss — нулевой потенциал АЦП;

Uref — опорное напряжение;

Uвх — входное аналоговое напряжение.

Как показано на **рис. 2**, АЦП содержит 6-канальный аналоговый мультиплексор, схему выборки-хранения, преобразователь с последовательной аппроксимацией, 8-разрядный Регистр Команд АЦП и 16-разрядный Регистр Результата-Состояния АЦП.

Ниже приведен формат Регистра Команд АЦП (адрес для записи — 97Н):

Биты	7	6	5	4	3	2	1	0
------	---	---	---	---	---	---	---	---

Обозначение	×	×	L	M	GO	канал	#
-------------	---	---	---	---	----	-------	---

Значение битов регистра следующее:

- L — бит делителя частоты — определяет время преобразования: 0 — выключен (91 такт сигнала BQ1); 1 — включен (158 тактов сигнала BQ1);

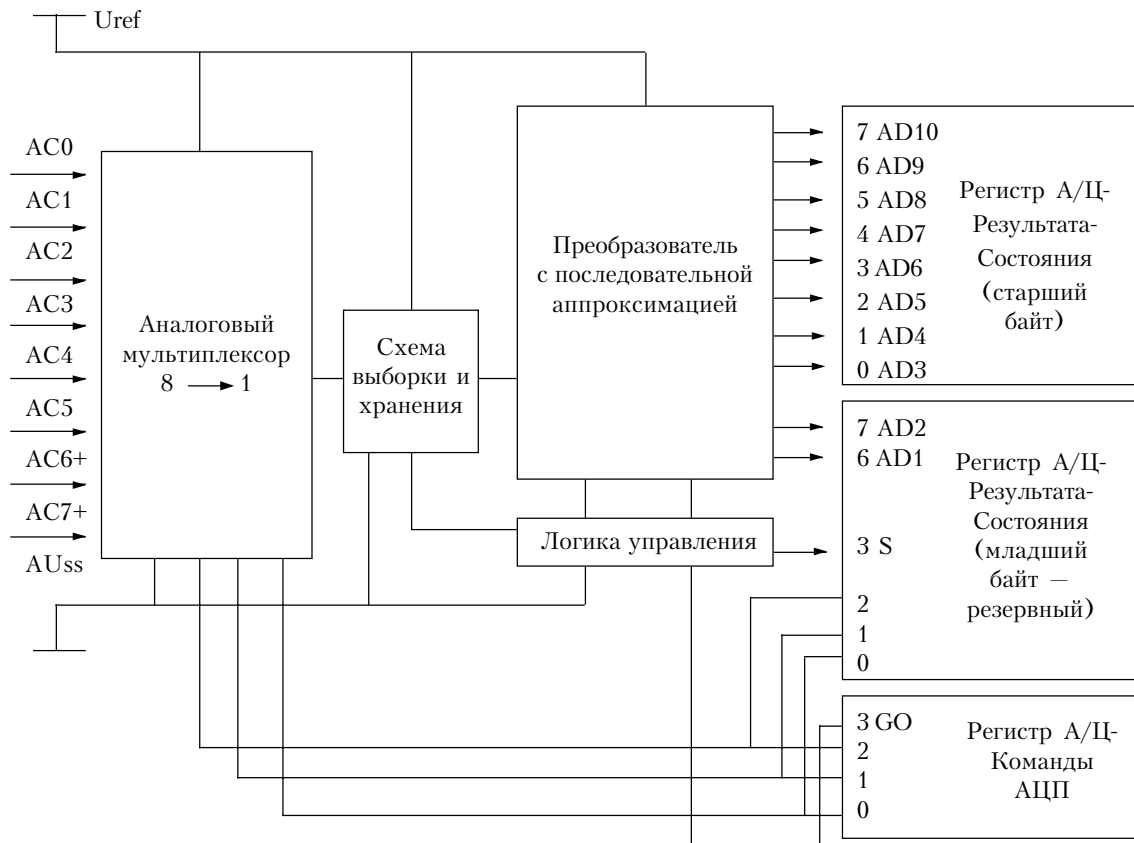


Рис. 2. Структурная схема АЦП

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

М — режим преобразования: 0 — выборка производится перед каждым сравнением; 1 — производится одна выборка на все преобразование;

GO — бит запуска преобразования: 1 — запуск преобразования;

канал # — адрес канала АЦП;

× — резервный бит.

Результат преобразования AD10—AD1 физически находится в двух регистрах ОЗУ по адресам 0С7Н (старший байт) и 97Н (младшие биты) и считывается как отдельные байты. Результат преобразования располагается таким образом:

— старшие биты AD10—AD3 — в регистре с адресом 0С7Н, причем старший бит AD10 находится в старшем разряде регистра;

— младшие биты AD2—AD1 — в регистре с адресом 97Н, причем бит AD2 находится в старшем разряде этого регистра.

Обозначение разрядов регистра Регистр А/Ц-Результата-Состояния показано ниже:

(адрес для чтения — 0С7Н) (адрес для чтения — 097Н)

7	6	5	4	3	2	1	0		7	6	5	4	3	2	1	0
←—————								*	*	×	×	S				
старшие биты результата																

Здесь S — Статус;

0 — АЦП простаивает;

1 — выполняется преобразование;

канал # — адрес канала, по которому выполняется преобразование;

* — младшие биты преобразования (резервные);

× — резервный бит.

Таким образом, АЦП может выбирать один из 6 аналоговых входов (каналов) АС0—АС5 для преобразования, выборки и поддержания входного напряжения, а также преобразования напряжения в дискретную величину.

Преобразование выполняется на одном из входов методом последовательных приближений. По завершении преобразования может выполняться прерывание с вектором 002ВН. При этом для разрешения прерывания от блока АЦП необходимо установить в единицу бит EAD (IE.5) в регистре разрешения прерываний IE:

(адрес для записи А8Н)

Биты	7	6	5	4	3	2	1	0
Обозначение	EA	—	EAD	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

В связи с выполнением функций АЦП регистр приоритетов прерываний IP содержит, по сравнению с микросхемой КР1830ВЕ51/31, разряд PAD (IP.5) — бит установления приоритета прерываний от блока АЦП.

Регистр IP (адрес для записи В8Н)

Биты	7	6	5	4	3	2	1	0
Обозначение	—	—	PAD	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

При равенстве приоритетов имеет место следующая очередность источников прерывания: EAD, EX0, ET0, EX1, ET1, ES.

Процесс преобразования начинается после установления бита GO в Регистре Команд АЦП программным путем. При этом вырабатывается сигнал начала преобразования, поступающий в схему "Логика управления". Собственно преобразования начинаются в течение трех внутренних состояний (6 T BQ1) после исполнения инст-

рукции записи в Регистр Команд с разбросом в пределах 500 нс на частоте 12 МГц.

После получения сигнала начала преобразования одно состояние используется логикой управления на подключение (задержка выборки), пока сбрасывается регистр последовательного приближения и выбирается канал мультиплексора. Затем выход мультиплексора подключается к конденсатору выборки и остается подключенным на протяжении 8 состояний для быстрого режима и 14 состояний — для медленного (время выборки).

Окно выборки закрывается, конденсатор при помощи мультиплексора переключается на вход схемы последовательной аппроксимации, так что изменения на входе не будут влиять на заряд во время процесса преобразования, компаратор сбрасывается и начинается процесс преобразования.

Для выполнения аналого-цифрового преобразования используется алгоритм последовательного приближения. Преобразователь состоит из цепочки 256 резисторов, компаратора, емкостей связи и 10-разрядного регистра последовательных приближений с логикой управления. Цепочка резисторов обеспечивает шаги 20 мВ в пределах опорного напряжения на выводе Uref. Таким образом, 256 внутренних опорных напряжений служат для сравнения с аналоговым входом, вырабатывая 8-разрядный результат преобразования.

Преобразование путем последовательного приближения выполняется за счет последовательного сравнения напряжения на аналоговом входе с опорными напряжениями методом двоичного поиска такого опорного напряжения, которое максимально соответствовало бы входному напряжению. Для начала вход проверяется на равенство половине всей шкалы опорного напряжения. Это соответствует 8-разрядному результату с нулевым старшим битом и остальными единицами (0111 1111).

Если аналоговый вход меньше напряжения сравнения, бит 8 остается в нуле, и делается следующая попытка с напряжением сравнения, равным 1/4 полной шкалы (0011 1111). Если это напряжение оказалось меньше входного, 7-й бит устанавливается, а 6-й обнуляется для следующей проверки. Такой двоичный поиск продолжается до тех пор, пока не выполнится 8 тестов, за время которых 8-разрядный результат преобразования окажется в регистре результата, откуда он может считываться программно.

Общее число состояний, которое требуется для преобразования, определяется установкой бита L — делителя частоты в регистре А/Ц-Команды. Если бит установлен, время преобразования составляет 91 состояние, иначе — 158 состояний (состояние — 2T BQ1). Не рекомендуется читать результат АЦП, пока бит S не установится.

В процессе разработки микросхемы исследовались следующие основные факторы, влияющие на ошибки АЦ-преобразования.

При построении зависимости выходного кода от входного напряжения получается ступенчатая передаточная функция. Результирующий код может быть взят как простая относительная информация, или он может быть использован, чтобы обеспечить информацию об абсолютном напряжении или относительном изменении напряжения на входе. Иногда доста-

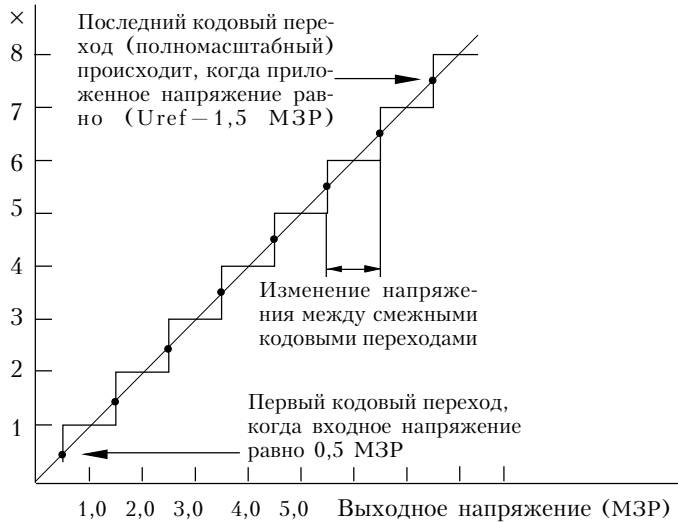


Рис. 3. Передаточная функция идеального 3-разрядного АЦП

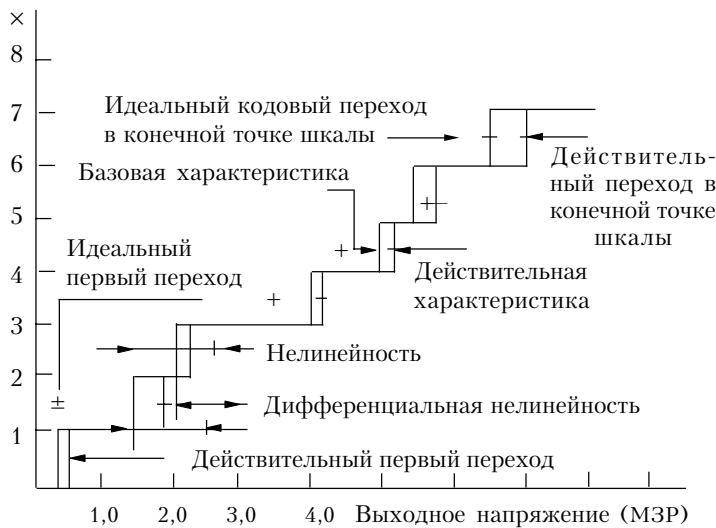


Рис. 4. Действительная характеристика гипотетического 3-разрядного АЦП

точно знания абсолютной погрешности. Однако ошибок, свойственных АЦ-преобразованию, много: ошибка квантования, нулевое смещение, полномасштабная ошибка, дифференциальная нелинейность и нелинейность. Это все ошибки «функции передачи», которые относятся к АЦП. Кроме того, есть температурный дрейф, режекция $U_{сс}$, «проницаемость» канала после закрытия окна, перекрестная помеха, неидентичность каналов для соответствующих кодовых переходов, а также помехи.

Обычно указывается одна абсолютная ошибка, которая отражает сумму всех отклонений от идеального процесса преобразования. Однако составляющие ошибки важны во многих случаях, когда сравниваются реальные и идеальные преобразователи. Неизбежная ошибка получается при преобразовании непрерывного напряжения в целую дискретную величину, т. н. ошибка квантования, которая находится всегда в пределах половины младшего бита. Ошибка квантования является единственной ошибкой идеального АЦП и всегда присутствует в реальном преобразователе.

На рис. 3 показана передаточная функция идеального 3-разрядного АЦ-преобразователя. Идеальная характеристика обладает уникальными свойствами: первый кодовый переход происходит, когда входное напряжение составляет 0,5 младшего бита; полномасштабный переход имеет место, когда входное напряжение равно номинальному значению U_{ref} минус 1,5 младшего бита.

Действительная характеристика гипотетического 3-разрядного преобразователя показана на рис. 4. Когда идеальная характеристика пересекается с действительной характеристикой, реальный преобразователь показывает ошибки в области первого и последнего кодовых переходов и шаг квантования. Отклонение первого кодового перехода от идеального будет «нулевым смещением», а отклонение последнего перехода от идеального — полномасштабной ошибкой. Отклонение интервалов квантования от идеальных приводит к двум типам ошибок: дифференциальная нелинейность и нелинейность. Первая — локальная ошибка измерения, вторая — общая ошибка линейности. Дифференциальная нелинейность дает пользователю значение изменения входного напряжения в результате кодового перехода.

На характеристики преобразования может сильно влиять схема внешнего интерфейса к аналоговому входу. При разработке такой схемы должны учитываться такие важные факторы как утечка на входе, величина конденсатора и последовательные сопротивления

мультиплексора от входного вывода до внутреннего конденсатора выборки (запоминания).

На рис. 5 представлена эквивалентная схема, на которой конденсатор выборки (C_s) через последовательное сопротивление (R_i) заряжается точно до напряжения, соответствующего току утечки (I_L). Обычно C_s составляет примерно 2 пФ, R_i около 5 кОм и I_L — 3 мкА (максимум). Для определения внутреннего сопротивления источника R_s значение напряжения смещения (U_b) не важно.

Внутреннее сопротивление источника свыше 25 кОм может снизить точность преобразования в результа-

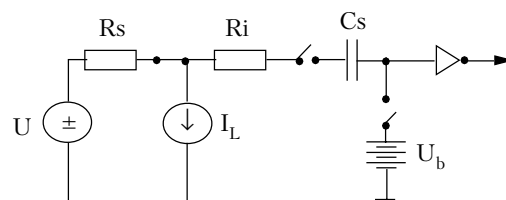


Рис. 5. Эквивалентная схема внешнего интерфейса

те недозаряда внутреннего конденсатора в течение 1 мкс (время выборки на частоте 12 МГц). В таком случае недозаряд внутреннего конденсатора должен компенсироваться внешним конденсатором, подключенным на входной вывод. Если внутренний конденсатор выборки составляет 2 пФ, то конденсатор 0,005 мкФ будет заряжать конденсатор выборки до входного напряжения с точностью 0,5 младшего бита. Хотя внешний конденсатор не компенсирует падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника, однако полностью заряжает конденсатор за время выборки. Размещая внешний конденсатор на каждом аналоговом входе, мы будем снижать чувствительность к помехе, т. к. конденсатор в комбинации с последовательным сопротивлением во внешней цепи образует фильтр низких частот. В то же время резистор будет ограничивать ток на входе при условии превышения напряжения.

На рис. 6 приведена схема простого аналогового интерфейса с учетом вышесказанного. Как только входное напряжение упадет заметно ниже уровня "земли" (AUss), диод D2 окажется прямо смещенным на величину напряжения около 0,8 В. Поскольку

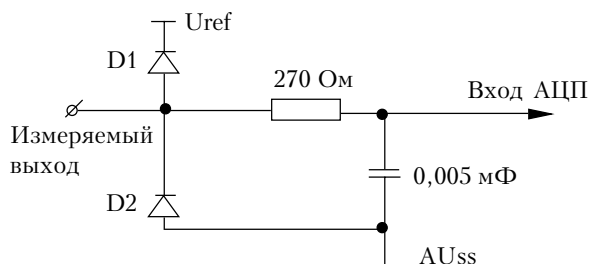


Рис. 6. Схема простого аналогового интерфейса

на выводе микросхемы напряжение должно быть ниже минус 0,3 В, на резисторе 270 Ом останется напряжение около 0,5 В при токе 2 мА. Это должно снизить ток до безопасного. Однако перед тем, как использовать ту или другую схему, ее следует тщательно проанализировать применительно к конкретному случаю.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Однокристалльные микро-ЭВМ // Бобрыкин А. В., Липовецкий Г. П., Литвинский Г. В. и др. — М.: Бино, 1994.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

ОАО "ІРВА"

Украина, 03680, Киев
ул. Радищева, 10/14
Тел.: (044) 488-49-44, 488-73-00
Тел./факс: (044) 488-38-21
E-mail: irva@i.kiev.ua

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ СВЕРХМАЛОГО СЕЧЕНИЯ

Для проведения отладочных и настроечных работ на предприятиях применяются частотомеры миллиметрового диапазона длин волн, в которых в качестве входных устройств используются волноводные смесители малых сечений. В диапазоне частот от 37,5 до 178,4 ГГц для обеспечения уровня измеряемых сигналов от 50 мкВт до 5 мВт применяются смесители с сечением волновода от 5,2×2,6 мм до 1,6×0,8 мм. К точности и шероховатости поверхности канала волновода предъявляются высокие требования.

В настоящее время прямоугольные трубы малого и сверхмалого сечения промышленностью Украины и стран СНГ не выпускаются.

В ОАО "ІРВА" разработан и внедрен в производство технологический процесс изготовления волноводов малого сечения.

Для изготовления волноводных трактов прямоугольного сечения используются круглые тру-

бы диаметром 4, 5, 6 мм с толщиной стенки 1 мм из меди марки М0 или М1.

Наружный контур прямоугольного сечения образуется путем прокатки трубы между специальными валками, а внутренний — путем одновременной протяжки. Необходимые размеры сечения трубы обеспечиваются подбором валков и протяжки. Размер внутреннего канала трубы выдерживается с допуском ±0,02 мм.

Детали волноводных трактов сечением от 0,8×1,6 до 2,6×5,2 мм, изготовленные по разработанному технологическому процессу, обладают высокой точностью и малой шероховатостью поверхности и по своим качествам полностью обеспечивают изготовление волноводных узлов частотомеров миллиметрового диапазона длин волн.

К. т. н. Л. Г. Цыпкун, А. В. Марьенко,
Е. П. Гаркуша, А. В. Якушев