

**АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ  
И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

УДК 621.374.32

**В. Г. АРТЮХОВ, С. В. ДЕНЬНОВЕЦКИЙ, В. П. СИГОРСКИЙ**  
(Киев)

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПЕРЕСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА  
НА ФАЗОИМПУЛЬСНЫХ МНОГОУСТОЙЧИВЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

В [1] на примере запоминающих осциллографов рассмотрен вопрос построения многофункциональных устройств, которые выполняют набор измерительных операций, но свободны от конструктивной избыточности, свойственной эквивалентным по числу функций комплексам простых приборов. В настоящее время широкий круг измерительных задач решается с помощью цифровых приборов, основанных на прямом счете импульсов. Поэтому представляет интерес исследование целесообразности построения многофункциональных пересчетных устройств (МФПУ), определение их структуры, набора выполняемых операций, элементной основы и перспектив развития.

**Набор измерительных операций.** Примем прямой счет за базовую операцию [1] и рассмотрим методику определения совокупности измерительных операций из полного набора, каждая из которых выполняется достаточно часто и реализуется на основе базовой при минимальном снижении эффективности функционирования прибора.

Полный набор измерительных операций, который выполняется МФПУ на базе прямого счета импульсов, может включать: 1) реверсивный счет и счет с предустановкой результата; 2) декадное деление частоты, уменьшение в заданное число раз; 3) измерение параметров: а) частоты, соотношения частот; б) периодов, интервалов времени, длительностей импульсов и пр.; в) амплитудных значений; г) сопротивлений, емкостей, индуктивностей и других электрических величин; д) неэлектрических величин (число оборотов, давление, скорость, ускорение и пр.) с предварительным преобразованием их в число импульсов.

МФПУ в целом при выполнении данной операции будем характеризовать общим критерием качества, являющимся функцией частных критериев, характеризующих отдельные свойства прибора.

1. Информационный критерий  $K_n$ , который учитывает объем получаемой информации, чувствительность, быстродействие, а также частоту использования измерительной операции

$$K_{ni} = d_i p_i, \quad (1)$$

где  $d_i$  — показатель энергетической добротности, введенной в [2];  $p_i$  — вероятность применения  $i$ -й операции с учетом операций, ранее введенных в прибор.

2. Критерий эффективности функционирования  $K_{\phi}$ , учитывающий надежность, стоимость, мощность питания, вес, габариты прибора:

$$K_{\phi i} = K_{нi} K_{сi} K_{мi} K_{вi} K_{гi}, \quad (2)$$

где

$$K_{mi} = \frac{A_6}{A_i} \quad (3)$$

частные критерии, учитывающие ухудшение надежности, стоимости, мощности питания, веса, габаритов прибора, выполняющего  $i$ -ю операцию по сравнению с частью прибора, выполняющего базовую операцию;

$A_6$  — надежность, стоимость, мощность питания и пр., относящиеся к базовой операции;  $A_i$  — то же, относящиеся к части прибора, выполняющего базовую и  $i$ -ю дополнительную операцию. Каждый частный критерий  $K_i$  является функцией числа деталей  $N_d$ , поэтому  $K_{\phi i}$  можно выразить через  $N_d$ , что удобно при его определении. Как видно, при увеличении  $K_{нi}$ , т. е. при расширении возможностей прибора,  $K_{\phi}$  уменьшается, так как увеличивается число комплектующих изделий. Общий критерий качества МФПУ для каждой операции можно определить произведением

$$K_i = K_{нi} K_{\phi i}, \quad (4)$$

а задачу рационального выбора совокупности измерительных операций МФПУ свести к исследованию общего критерия качества с целью введения тех операций из полного набора, для которых  $K_i$  имеет наибольшее значение.

**Элементарная основа.** Основным элементом МФПУ, от выбора которого во многом зависит успех разработки, является десятичная пересчетная ячейка, выполняющая в приборе функции счета импульсов, деления частоты следования сигналов, запоминания промежуточной информации и т. д.

Применение современных простых и надежных схем пересчетных ячеек, естественно, ведет к увеличению критерия эффективности функционирования при достаточно высоких значениях информационного критерия.

В настоящее время в качестве десятичных пересчетных ячеек в МФПУ целесообразно использовать фазоимпульсные многоустойчивые элементы (ФИМЭ) [3], выгодно отличающиеся по простоте и экономичности от широко распространенных триггерных декад.

Преимущество многоустойчивых элементов особенно эффективно используется в многофункциональном приборе, где их общее количество велико. В этом случае относительное усложнение из-за дополнительного обслуживающего оборудования (генератор тактовых импульсов, генератор символов [3]), необходимого для обеспечения функционирования ФИМЭ, незначительно, так как эти узлы обслуживают все без исключения ячейки и, кроме того, используются в приборе для выполнения вспомогательных функций.

Использование фазоимпульсного признака состояний на выходе ФИМЭ дает существенный выигрыш при конструировании вспомогательных узлов (устройства индикации, вывода на цифропечать). Это также приводит к увеличению критерия эффективности функционирования и общего критерия качества.

Две возможные принципиальные схемы ФИМЭ, структура которых описана в [3], приведены на рис. 1. В схеме рис. 1, а на входы 1 и 2 диодной схемы ИЛИ поступают соответственно тактовые и счетные им-

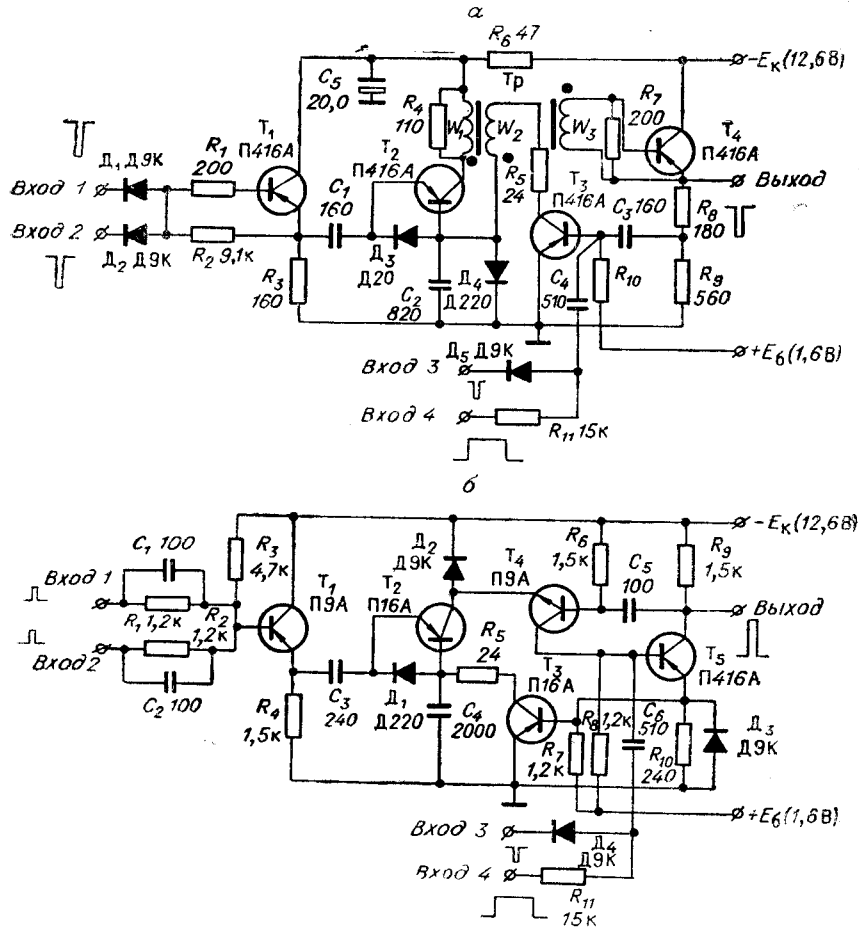


Рис. 1.

пульсы отрицательной полярности и с амплитудой  $E_k$ . С помощью  $T_1$  происходит ограничение их амплитуды на уровне  $U_{kT_1}$ , равном  $E_k - U_{R_1}$ . Это позволяет сохранить постоянное значение амплитуды выходных импульсов при небольшом изменении амплитуды входных.  $R_1$  выполняет роль ограничивающего сопротивления. С выхода  $T_1$  сигналы поступают на накопитель  $C_1 D_3 C_2$  с линейризатором на транзисторе  $T_2$ . Роль компаратора выполняет переход б—к  $T_2$ . Схема сброса выполнена на транзисторе  $T_3$  с трансформатором  $Tr$  (сердечник  $\Phi 600$ ;  $\omega_1 = \omega_2 = 10$  вит;  $\omega_3 = 7$  вит), запуск которой осуществляется импульсами, снимаемыми с нагрузки  $R_9$  выходного формирователя  $T_4$ . Формирователь запускается импульсами с третьей обмотки  $Tr$  в момент срабатывания компаратора. Для шунтирования положительного выброса, появляющегося на обмотке  $\omega_2$ , служит диод  $D_4$ , фиксирующий потенциал на  $C_2$  после окончания разряда на нулевом уровне. Для установки ячейки в требуемое состояние используется вход записи 3. На вход 4 поступают сигналы разрешения записи. Схема проста и надежна. Недостатком ее следует считать наличие трансформатора, затрудняющего микроисполнение.

В схеме рис. 1, б трансформатор отсутствует; его роль выполняет реостатно-спусковая схема, выполненная на транзисторах различной

проводимости  $T_4$ ,  $T_5$ . Схема запускается импульсом компаратора, роль которого также выполняет переход б—к  $T_2$ . С эмиттерной нагрузки  $T_5$  отрицательный сигнал запускает транзистор сброса  $T_3$ , через который разряжается накопительная емкость  $C_4$ . С коллектора  $T_5$  снимается выходной импульс положительной полярности, длительность которого определяется постоянной времени заряда емкости  $C_5$ . Тактовые и счетные импульсы положительной полярности подаются через входы 1 и 2 реостатно-емкостной схемы ИЛИ на формирователь  $T_1$ , а с него на накопитель  $C_3$ ,  $D_1$ ,  $C_4$ ,  $T_2$ .

**Основные узлы.** Применение фазоимпульсных многоустойчивых элементов в МФПУ имеет целый ряд особенностей, которые зависят от выполняемых функций и которые необходимо учитывать при проектировании узлов на их основе.

Пересчетная линейка. Фазоимпульсный многоустойчивый элемент по своей природе является пересчетной декадой, однако при конструировании счетной линейки на ФИМЭ необходимо, во-первых, принимать специальные меры для исключения сбоев из-за совпадения тактовых и счетных импульсов и, во-вторых, требуются специальные схемы для выделения импульсов переноса.

Первая задача наиболее часто решается путем «привязки» с помощью схемы одновременных совпадений (синхронизатора) счетных сигналов к импульсной последовательности, имеющей определенный фазовый сдвиг относительно тактовых импульсов. В [3] описана схема такого синхронизатора, состоящая из триггерного элемента памяти, импульсно-потенциальной схемы И и выходного формирователя, но она громоздка и имеет ограниченное быстродействие. Более широкое распространение в МФПУ нашла схема, в которой в качестве запоминающего элемента используется статический конденсатор [4] и которая позволяет вести обработку счетных сигналов с частотой до нескольких мегагерц.

Задача выделения импульсов переноса решается двояко в зависимости от соотношения частот счетных и тактовых сигналов. В том случае, когда частота счетных сигналов превышает  $1/10$  тактовой частоты, используются схемы одновременного запрета, с помощью которых из общего числа выходных импульсов декады  $N_{\text{вых}} = \frac{N_{\text{вх}} + N_{\text{т}}}{10}$  выделяют-

ся сигналы переноса  $\frac{N_{\text{вх}}}{10} = N_{\text{вых}} - \frac{N_{\text{т}}}{10}$ . Для этого в качестве селектирующих на схему запрета подаются импульсы нулевой (опорной) последовательности  $f_0 = \frac{f_{\text{т}}}{10}$ . Если частота счетных импульсов меньше

$\frac{f_{\text{т}}}{10}$ , выделение импульсов переноса происходит автоматически.

Для этого счетные сигналы «привязываются» к импульсам опорной последовательности  $f_0 = \frac{f_{\text{т}}}{10}$ , а декады соединяются друг с другом не-

посредственно. В отсутствие счетных импульсов выходные сигналы каждой декады совпадают во времени с тактовыми импульсами и поэтому, поступая на вход последующего старшего разряда, не изменяют его состояния. Если в исходном состоянии в декаде был записан «0», то с приходом первых девяти счетных сигналов выходные импульсы ее по-прежнему совпадают с тактовыми, так как последние вызывают срабатывание декады. Десятый счетный импульс запускает схему сброса ФИМЭ, вызывая его срабатывание. Выходной сигнал декады в этом случае совпадает с привязанным счетным и оказывается сдвинутым от-

носителем тактовых импульсов. Последующей декадой он засчитывается как импульс переноса.

В блок-схеме счетной линейки, нашедшей применение в МФПУ (рис. 2), на тактовые входы счетных декад  $D_1 - D_n$  поступают сигналы тактовой частоты  $f_T$ . Счетные импульсы  $f_{сч}$  «привязываются» в синхронизаторе  $C_1$  к импульсам из последовательности  $f_{сч}$ , синхронизированным с  $f_T$  и имеющим относительно последних постоянный фазовый сдвиг, и затем подаются на информационный вход младшего высокочастотного разряда  $D_1$ . Выделение сигналов переноса на выходе  $D_1$  осуществляется с помощью схемы разновременного запрета  $Z$ , а их «привязка» — с помощью синхронизатора  $C_1$ . В качестве сигналов запрета и синхронизации используются импульсы  $f_0$ . Низкочастотная часть линейки состоит из последовательно соединенных декад  $D_1 - D_n$ . Установка декад в исходное состояние осуществляется подачей на все установочные входы сигналов «Уст. 0», в качестве которых используются импульсы опорной последовательности.

Использование нескольких высокочастотных разрядов позволяет вести обработку входных импульсов с частотами, в несколько раз превышающими частоту тактовых сигналов. Практическая схема счетной линейки, нашедшая применение в МФПУ, при тактовой частоте 100 кГц и двух высокочастотных разрядах имеет максимальное быстродействие 1 МГц.

Для осуществления обратного счета используется способ, основанный на запрете очередного тактового импульса с приходом счетных [3]. Малое быстродействие способа (в три-четыре раза меньше  $f_T$ ), а также необходимость в межкаскадных схемах выделения сигналов заема во всех без исключения разрядах делает способ малоэффективным. Поэтому он не нашел пока широкого распространения в МФПУ.

Интересным и имеющим большое практическое значение является вопрос об изменении коэффициента пересчета декады, а также счетной линейки в целом. На рис. 3 изображены две блок-схемы счетной линейки, позволяющие вести счет импульсов с переменным коэффициентом пересчета [5]. В первой из них (см. рис. 3, а) требуемое число предустановки (или основание счета) записывается в счетные декады линейки  $D_1 - D_n$  в дополнительном коде, а затем считывается с помощью счетных импульсов  $f_{сч}$ , поступающих на вход  $D_1$  через схему «привязки»  $C_1$ . Запись числа осуществляется путем подачи на входы записи декад сигналов с соответствующих выходов генератора символов, выбираемых с помощью переключателей  $P_1 - P_n$ . После прихода на вход счетной линейки требуемого числа импульсов на выходе старшего разряда появляется сигнал переноса, выделяемый с помощью схемы совпадений  $I_2$ , который используют в качестве командного импульса. В схеме рис. 3, б выходные сигналы счетных декад  $D_1 - D_n$  с помощью схем совпадений  $I$  сравниваются с сигналами, поступающими через переключатели  $P_1 - P_n$  с соответствующих выходов генератора символов. На выходе схемы совпадения появляется сигнал лишь в том случае, когда состояние декады соответствует числу, набранному с помощью определенного переключателя.

Для правильной работы схемы в целом необходимо, чтобы сигнал сравнения в очередном младшем разряде возникал после появления импульса на выходе схемы  $I$  предыдущего старшего разряда. Для этой цели предусмотрены элементы памяти, представляющие собой обычные статические триггеры  $T$ . В исходном состоянии на все схемы  $I$  с соответствующих триггеров поступают запрещающие потенциалы. С появлением сигнала сравнения в старшем разряде соответствующий триггер

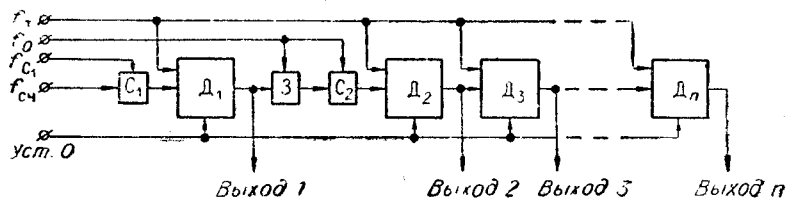


Рис. 2.

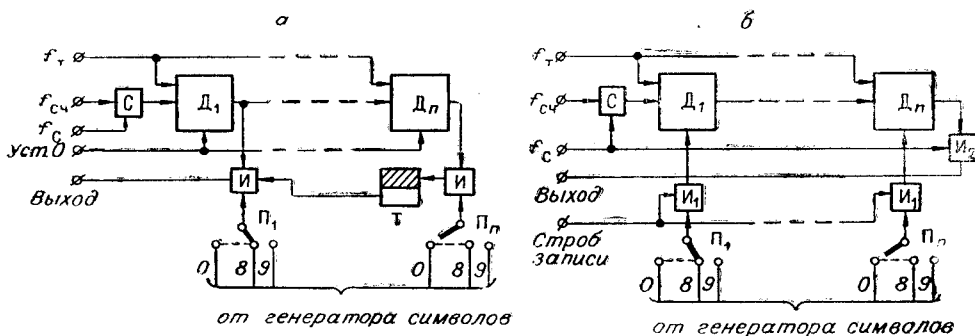


Рис. 3.

опрокидывается и на схему И последующего младшего разряда поступает разрешающий потенциал. Сигнал совпадения на выходе самого младшего разряда используется в качестве командного.

Схема рис. 3, а проще схемы рис. 3, б, однако она оперирует с числами в дополнительном коде; кроме того, для подготовки схемы к работе, т. е. для записи числа предустановки необходимо время, равное периоду следования импульсов опорной последовательности, между тем, как в схеме рис. 3, б это время минимально и определяется длительностью процесса сброса декад в нулевое состояние. Максимальная частота входных сигналов в обеих схемах не превышает  $f_0 = \frac{f_T}{10}$ .

Командный сигнал в обеих схемах может иметь фазовый сдвиг относительно соответствующего счетного, что в некоторых случаях является недопустимым. Поэтому необходимо принимать меры для устранения этого недостатка.

Режим счета с предустановкой результата находит широкое распространение в различных задачах управления, при формировании пакетов импульсов, интервалов времени с дискретно изменяющейся длительностью и пр.

**Делители частоты.** В МФПУ делительная линейка используется в качестве генератора меток для формирования тактовых, синхронизирующих и прочих сигналов.

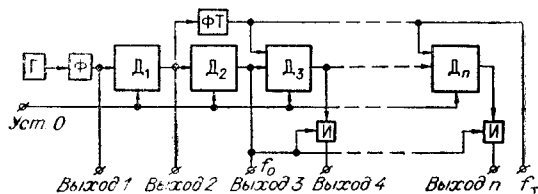


Рис. 4.

В схеме на рис. 4 колебания, вырабатываемые генератором Г и формирователем Ф, подаются на цепочку делителей  $Д_1 - Д_n$ . Для того чтобы избавиться от межкас-

кадных схем выделения импульсов переноса, высокочастотные разряды  $D_1, D_2$  работают в режиме обычных накопительных делителей, для чего тактовые входы отключены от источника тактовых сигналов.

Низкочастотные разряды используются в фазоимпульсном режиме; работа их аналогична работе низкочастотной части счетной линейки. Тактовые сигналы получаются путем задержки в формирователе такта ФТ выходных импульсов делителя  $D_1$ .

Выделение импульсов поделенной частоты с выходов  $D_3 - D_n$  осуществляется с помощью схем совпадений И. Схема может быть использована при достаточно высокой частоте задающего генератора и в широком диапазоне ее изменения. Выходные сигналы схемы в МФПУ используются в качестве мерных импульсов при измерении временных интервалов, импульсов усреднения при измерении частоты, тактовых импульсов, синхрои́мпульсов, сигналов опорной последовательности и пр.

Деление частоты в широком частотном диапазоне (например, при использовании МФПУ в качестве декадного делителя и пр.) может быть осуществлено непосредственно с помощью счетной линейки. При этом для устранения фазовой нестабильности выходных сигналов декад относительно соответствующих входных необходима их «привязка» ко входным сигналам.

Буферные регистры. При выводе информации на выходные устройства в МФПУ целесообразно промежуточное запоминание информации, содержащейся в счетной линейке с целью ее последующей обработки. Введение такого буферного запоминающего устройства позволяет значительно сократить время между циклами измерений, так как в этом случае возможно параллельно вести процесс измерения и считывание результатов индикатора, либо вывод на ЦПМ. При этом время между циклами равно длительности процесса перезаписи информации со счетной линейки в буферный регистр.

На рис. 5 тактовые входы всех ячеек  $D_1 - D_n$  подключены к источнику тактовых сигналов  $f_T$ . На входы записи через схемы И поступают выходные импульсы, соответствующих счетных декад. Перезапись осуществляется с приходом на шину разрешения импульса перезаписи, длительность которого равна 1—2 периодам сигналов опорной последовательности.

Из сравнения буферных регистров на ФИМЭ с нашедшими в настоящее время широкое распространение двоично-десятичными регистрами на статических триггерах очевидны их преимущества как в части экономии оборудования (один многоустойчивый элемент вместо четырех двоичных триггеров на разряд), так и по функциональным связям (один канал на разряд для ФИМЭ вместо четырех для ячейки на триггерах).

Следует также отметить, что регистр на ФИМЭ легко согласуется со счетной линейкой на любых других декадах, что придает ему универсальный характер. Так как вопросы отображения информации с фазоимпульсным признаком решаются значительно проще, чем обычно, применение регистров на ФИМЭ в любых цифровых устройствах, а в МФПУ в особенности, имеет широкие перспективы.

Устройство вывода информации. Наиболее широкое распространение при выводе информации из цифровых приборов находят

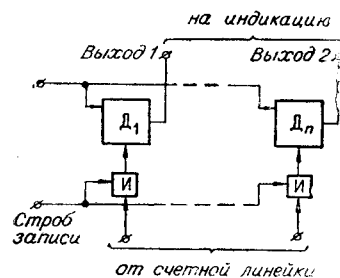


Рис. 5.

различные визуальные индикаторы и цифropечатающие механизмы (ЦПМ).

В качестве индикаторов могут быть использованы любые существующие в настоящее время цифровые указатели (ЦУ). Независимо от типа используемого ЦУ способ управления последним един и основан на сравнении фазы выходных сигналов, несущих информацию о состоянии ФИМЭ, с выходными импульсами генератора символов. В результате такого сравнения осуществляется преобразование фазоимпульсного признака, характерного для ФИМЭ, в позиционный, в котором обычно работают ЦУ. Устройство управления индикаторами при таком способе отличается исключительной простотой. Использование физических свойств некоторых типов индикаторов, например газоразрядных и люминесцентных, позволяет избавиться от разрядных дешифраторов и производить сравнение фаз непосредственно на самих ЦУ. Схема управления при этом включает в себя лишь 10 формирователей фазовых констант, поступающих с генератора символов и обслуживающих все без исключения знакоместа, и разрядных формирователей, число которых равно числу индицируемых разрядов [4]. В 7—8-разрядном устройстве индикации на лампах типа ИН-1 (2) удается получить 3—4-кратный выигрыш по числу элементов в сравнении с аналогичным устройством индикации, обслуживающим счетную линейку, выполненную на триггерных декадах.

Импульсный режим работы газоразрядных указателей, кроме того, является более экономичным, что позволяет увеличить их срок службы. Важной особенностью является также то, что такой способ индикации может быть использован при выводе информации из любых десятичных пересчетных ячеек (триггерных декад, ФТЯ и т. д.), если только удастся каким-либо путем получить на выходе декады фазоимпульсный признак. Обычно это не представляет особого труда. Возможные решения этой задачи приведены в [6].

Разработанные в настоящее время для МФПУ на ФИМЭ индикаторные устройства на газоразрядных и люминесцентных знакоместах могут быть выполнены совместно с буферными запоминающими регистрами на ФИМЭ в виде отдельных унифицированных блоков, пригодных для использования в любых цифровых приборах.

**Структура многофункционального пересчетного устройства.** Как уже указывалось, структура МФПУ должна быть выбрана так, чтобы ее узлы максимально использовались при выполнении как базовой, так и дополнительных операций.

Оценка, проведенная с помощью критериев качества, показывает, что наиболее рациональными операциями, которые могут быть введены в МФПУ на ФИМЭ, являются следующие: 1) счет с предустановкой результата, а также 2) измерение частоты входных сигналов; интервалов времени, периодов и длительностей; амплитуды.

Базовой операцией является прямой счет импульсов с промежуточным запоминанием информации, ее визуальной индикацией и выходом на ЦПМ.

Кроме указанных основных функций, МФПУ с описанным набором может выполнять и ряд вспомогательных (например, деление частоты на заданное число, формирование пачек импульсов, интервалов времени с дискретно изменяющейся длительностью и пр.).

Блок-схема МФПУ представлена на рис. 6. Назначение и особенности работы делительной и счетной линеек, буферного регистра, генератора символов, индикаторного и цифropечатающего устройств отмечены в предыдущих разделах. Входное устройство является узлом, с



помощью которого осуществляется связь МФПУ с источниками исследуемых, а также внешних командных сигналов («Старт», «Стоп», «Сброс»). Его задачей является приведение параметров входных сигналов к форме, удобной для работы дальнейших узлов, т. е. усиление, формирование, масштабно-временное преобразование и пр. От его качества в сильной степени зависит достоверность результатов измерения. Задачей операторного устройства является управление работой основных узлов МФПУ в зависимости от выбранной операции. Как правило, оно включает в себя временные ворота, схему управления временными воротами, схему сброса, схему коммутации пределов и точности измерений. Операторное и входное устройства наиболее подвержены изменениям в зависимости от набора выполняемых операций. Ниже приведены технические характеристики нескольких разработанных МФПУ по приведенной блок-схеме.

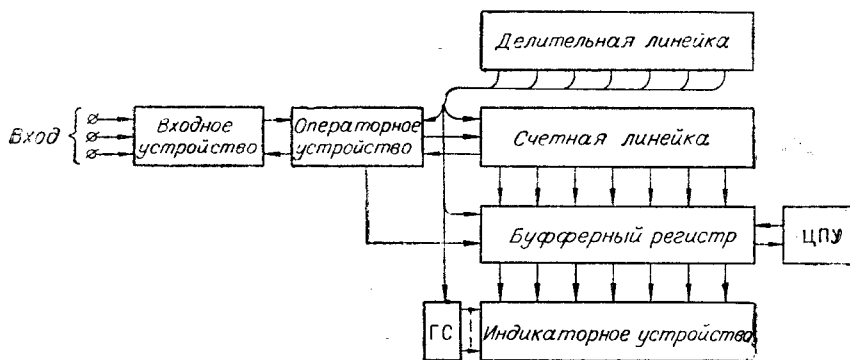


Рис. 6.

**Перспективы развития.** Наиболее важными в развитии технических показателей МФПУ являются вопросы повышения их быстродействия, что ведет к увеличению информационного критерия, а также возможности микроминиатюризации, что связано с улучшением критериев, учитывающих надежность, экономичность, вес, габариты, стоимость. Увеличение быстродействия МФПУ возможно двумя путями.

Первый и очевидный путь — это повышение быстродействия непосредственно счетной линейки МФПУ и в первую очередь счетных декад (ФИМЭ). В настоящее время максимальное быстродействие ФИМЭ ограничено частотой порядка 10 МГц. Можно ожидать, что разработка более совершенных схем с использованием новых комплектующих элементов (транзисторов, диодов и др.) позволит повысить максимальную скорость счета ФИМЭ еще на порядок. Однако возникающие при этом трудности при синхронизации счетных сигналов, а также при выделении импульсов переноса приводят к тому, что максимальное быстродействие счетной линейки на ФИМЭ ограничивается частотами до нескольких мегагерц.

Более эффективным, но менее универсальным является второй метод, который сводится к предварительному масштабно-временному преобразованию (МВП) входных сигналов. Наиболее часто этот метод применяется при цифровом измерении интервалов времени и при аналого-цифровом преобразовании ординат широкополосных импульсных сигналов [4].

В первом случае исследуемый интервал времени представляется в виде суммы целой и дробной частей. Целая часть грубо измеряется с

помощью МФПУ на ФИМЭ с ограниченным быстродействием. Дробная часть, соответствующая интервалу, не учтенному при грубом измерении, записывается на мишени запоминающей ЭЛТ в виде отрезка круговой развертки, ограниченного стартовым и стоповым импульсами. Длина этого отрезка измеряется с помощью считывающего луча ЭЛТ, движущегося по той траектории, что и при записи, но со скоростью в  $k$  раз меньшей и того же МФПУ, которое подсчитывает число импульсов опорной частоты между началом и концом отрезка. При использовании МФПУ с быстродействием 5 МГц удается получить разрешающую способность 0,5 нс. Это эквивалентно прямому повышению быстродействия счетной линейки до 2 ГГц.

При кодировании ординат одиночных импульсов осциллограмма входного сигнала фиксируется на мишени быстродействующей запоминающей ЭЛТ в виде линии зарядного рельефа. Измерение отсчетных значений ординат сигнала производится с помощью считывающего луча, развернутого в медленный растр. На каждой строке растра интервал между началом развертки и моментом встречи считывающего луча с линией зарядного рельефа соответствует отсчетному значению ординаты. Этот интервал измеряется с помощью МФПУ. За счет быстрой записи и считывания медленной разверткой метод позволяет кодировать до 250 ординат импульса длительностью 50—100 нс с помощью МФПУ с быстродействием до 100 кГц при амплитудной погрешности 1%. Без МВП для этого быстродействие МФПУ должно было бы быть  $5 \cdot 10^2$  ГГц.

Применение МФПУ на ФИМЭ в сочетании с МВП позволяет в значительной степени расширить технические возможности такого комплекса при полном использовании преимуществ, связанных с простотой и экономичностью многоустойчивых элементов. В таблице приведены основные данные МФПУ.

Проблема микроминиатюризации ФИМЭ не является специфичной и решается методами, разработанными для обычных схем. В настоящее время на базе бестрансформаторной схемы изготовлены образцы в гибридном исполнении. При сохранении основных технических показате-

Операции и эксплуатационные параметры	Тип элемента		
	МФПУ <sub>1</sub>	МФПУ <sub>2</sub>	МФПУ, с МВП
Измерение частоты	$f_{\max} = 1 \text{ МГц}$	$f_{\max} = 10 \text{ МГц}$	$f_{\max} = 10 \text{ МГц}$
интервалов времени	$t_{\max} = 10 \text{ с}$ $t_{\min} = 10 \text{ мкс}$ } $\pm \text{мкс}$	$t_{\max} = 10 \text{ с}$ $t_{\min} = 1 \text{ мкс}$ } $\pm \text{мкс}$	$t_{\min} = 2 \pm 0,5 \text{ нс}$
длительности импульсов	—	—	$\tau_{\min} = 2 \pm 0,5 \text{ нс}$
периодов	—	$T_{\min} = 1 \pm 0,1 \text{ мкс}$	$T_{\min} = 2 \pm 0,5 \text{ нс}$
Прямой счет	$\tau_{\min} = 1 \text{ мкс}$	$\tau_{\min} = 0,1 \text{ мкс}$	$\tau_{\min} = 0,1 \text{ мкс}$
Счет с предустановкой результата	—	$f_{\max} = 100 \text{ кГц}$	$f_{\max} = 100 \text{ кГц}$
Деление частоты	—	$f_{\max} = 100 \text{ кГц}$	$f_{\max} = 100 \text{ кГц}$
Потребляемая мощность	20 Вт	32 Вт	140 Вт
Габариты	350 × 420 × 100 мм	350 × 420 × 100 мм	

лей в части быстродействия, температурной стабильности и пр. удастся получить 30-кратный выигрыш в объеме ячейки.

В заключение следует отметить, что в качестве основных элементов МФПУ могут с успехом использоваться и другие типы многоустойчивых элементов, например широтно-импульсные (хронотроны) и частотно-гармонические (спектротроны) [3, 7].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Денбиовецкий, В. Н. Левин, В. П. Сигорский. Запоминающие многофункциональные осциллографы.— Измерительная техника, 1968, № 1.
2. П. В. Новицкий. Основы информационной теории измерительных устройств. Л., «Энергия», 1968.
3. В. П. Сигорский, Л. С. Ситников, Л. Л. Утяков. Многоустойчивые элементы дискретной техники. М.— Л., «Энергия», 1966.
4. Многозначные элементы и структуры. Сб. докладов под ред. В. П. Сигорского. М., «Советское радио», 1967.
5. В. Г. Артюхов, А. М. Шарадкин. Десятичный счетчик с предустановкой на фазоимпульсных многоустойчивых элементах.— Вестник КПИ, серия «Радиоэлектроника», 1968, № 5.
6. А. Я. Пономаренко, В. И. Храпак. Возможности упрощения и унификации схем управления знаковыми индикаторами.— Механизация и автоматизация управления, 1968, № 3.
7. В. И. Храпак, В. Я. Зинченко. Время-импульсный многоустойчивый элемент с пересчетным управлением.— Вестник КПИ, серия «Радиоэлектроника», 1968, № 4.

*Поступила в редакцию  
6 сентября 1968 г.,  
окончательный вариант —  
29 сентября 1970 г.*