

Л. С. СИТНИКОВ

(Киев)

### УНИФИЦИРОВАННЫЙ БЛОК ДЕКАДНОГО СЧЕТЧИКА ИМПУЛЬСОВ

Одной из главных тенденций современного приборостроения является преимущественное развитие цифровых измерительных приборов самого различного назначения (частотомеров, вольтметров, измерителей временных интервалов, построителей гистограмм и др.).

Обязательным узлом большинства цифровых измерителей является декадный счетчик импульсов, на долю которого, как правило, приходится значительный процент оборудования. До последнего времени техническая реализация счетных декад обеспечивалась путем схемного объединения двоичных элементов. Между тем, создание достаточно простых и надежных многоустойчивых элементов открыло возможность построения счетчиков, более экономичных и совершенных по сравнению с существующими [1].

Ниже описывается декадный счетчик на фазоимпульсных многоустойчивых элементах, обладающий по сравнению с аналогичными приборами на триггерных тетрадах значительно меньшими габаритами, весом, потребляемой мощностью. Счетчик выполнен в виде унифицированного блока, что позволяет использовать его в качестве комплектующего узла при построении самых различных цифровых приборов.

В качестве пересчетных элементов счетчика использованы конденсаторные накопительные делители частоты с коэффициентом деления 10. Принципиальная схема такого фазоимпульсного элемента приведена на рис. 1, а. Там же (б) приведены временные диаграммы, иллюстрирующие его работу. Для простоты временные диаграммы построены для коэффициента деления, равного 4.

Короткие синхронизирующие (тактовые) импульсы  $U_T$  через первый вход схемы ИЛИ и входной формирователь, представляющий собой эмиттерный повторитель, поступают на накопительную цепь, состоящую из конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ , диодов  $D_3$  и  $D_4$ , а также эмиттерного повторителя, включенных по схеме конденсаторного накопителя с линеаризацией [2]. Приход каждого импульса вызывает некоторое приращение напряжения  $U_C$  на накопительном конденсаторе. Как только величина этого напряжения достигнет уровня срабатывания компаратора, выполненного на диоде  $D_5$ , последний открывается и по обмотке  $\omega_1$  трансформатора Тр ( $\Phi 1000-7 \times 4 \times 2$ ;  $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = 15$ ) проходит импульс тока, запускающий блокинг-генератор, собранный на транзисторах Т<sub>3</sub> и Т<sub>4</sub>. Источником коллекторного питания транзистора Т<sub>3</sub> служит

накопительный конденсатор  $C_2$ . Параметры трансформатора таковы, что длительность импульса блокинг-генератора определяется временем разряда  $C_2$ . Выходной импульс снимается с эмиттера  $T_4$ . Поскольку приращение напряжения на накопителе, вызванное приходом одного входного импульса, незначительно по сравнению с уровнем срабатывания компаратора, этот уровень достигается после прихода нескольких (десяти) входных импульсов, т. е. схема работает в режиме деления частоты.

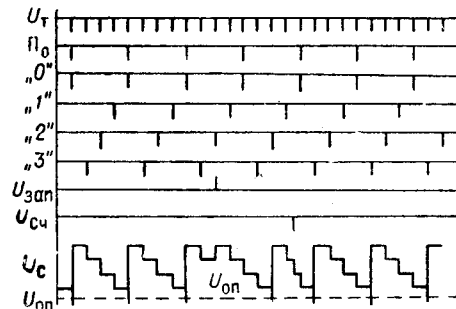
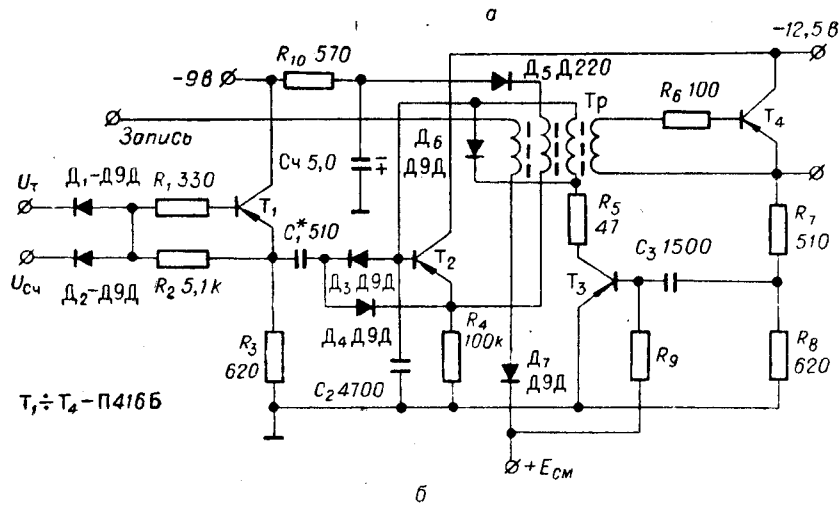


Рис. 1.

На рис. 1, б  $U_T$  — синхронизирующие импульсы;  $П_0$  — импульсы спорной последовательности; «0», «1», «2», «3» — положения выходных импульсов элемента в различных устойчивых состояниях;  $U_C$  — форма напряжения на накопительном конденсаторе  $C_2$ .

Если под воздействием импульса запуска  $U_{зап}$  накопительный конденсатор элемента независимо от величины напряжения на нем принудительно разрядит в момент времени, совпадающий с одним из импульсов какой-либо последовательности, например «2», то в дальнейшем выходные импульсы элемента будут совпадать с импульсами последовательности «2», т. е. обеспечивается режим записи и хранения информации, соответствующей временному сдвигу между импульсами последовательности «2» и опорными. Для записи (запуска блокинг-генератора) служит обмотка  $\omega_4$  трансформатора Тр.

Очевидно, что если на второй вход схемы ИЛИ подавать не совпадающие во времени с синхронизирующими счетные импульсы  $U_{сч}$ , то

приход каждого из них ускоряет момент срабатывания компаратора на время, равное периоду следования синхронизирующих импульсов, т. е. фаза выходных импульсов изменяется на единицу. Таким образом, описанный фазоимпульсный элемент является пересчетной декадой, что позволяет использовать его для построения делителей частоты и много-разрядных счетчиков.

Поскольку унифицированный счетный блок предназначен для использования в различных цифровых приборах, он не содержит разви-

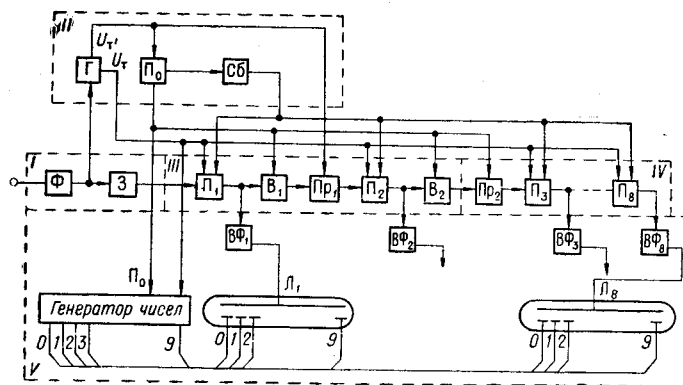


Рис. 2.

того входного устройства и временного селектора. Счетчик рассчитан на питание от источника основного прибора и не включает самостоятельного блока питания.

Функциональная схема счетчика (рис. 2) состоит из входного согласующего узла *I*, содержащего формирователь  $\Phi$  и схему задержки *З*; источника тактового питания *II*, включающего синхронизируемый генератор  $\Gamma$  с формирователями и опорную ячейку  $\Pi_0$  со схемой сброса *Сб*; высокочастотной части *III*, включающей счетные декады  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , а также схемы вычитания  $B_1$ ,  $B_2$  и привязки  $\text{Пр}_1$ ; низкочастотной счетной линейки *IV* (схема привязки  $\text{Пр}_2$  и счетные декады  $\Pi_3$  —  $\Pi_8$ ); блока индикации *V*, в состав которого входят генератор чисел ГЧ, высоковольтные формирователи  $B\Phi_1$ ,  $B\Phi_2$ , . . . ,  $B\Phi_8$  и цифровые газоразрядные индикаторы  $L_1$  —  $L_8$ .

Счетные импульсы через входной формирователь  $\Phi$  поступают на вход схемы задержки *З*, а также на генератор тактовых импульсов  $\Gamma$ . В том случае, когда состояние схемы генератора таково, что на его выходе должен скоро появиться импульс, амплитуда входного сигнала оказывается достаточной для принудительного запуска генератора. Таким образом, генератор запускается и выдает очередной тактовый импульс  $U_t$  в момент поступления счетного. Сам же счетный импульс  $U_{сч}$  попадает на вход первого разряда счетчика с задержкой, величина которой такова, что импульсы  $U_t$  и  $U_{сч}$  заведомо не перекрываются. Если счетный импульс приходит задолго до момента срабатывания генератора, то он не оказывает влияния на его работу. Когда частота импульсов счета становится соизмеримой с тактовой частотой, наступает режим синхронизации, причем в зависимости от соотношения частот происходит умножение входной частоты, простая синхронизация или синхронизация с делением входной частоты. Во всех случаях тактовая частота меняется в сравнительно узких пределах, и в то же время обеспечивается полное временное разделение тактовых и счетных импульсов.

Итак, общее количество импульсов, поступающих на вход счетной декады  $\Pi_1$ , включает счетные  $U_{сч}$  и тактовые  $U_T$  импульсы, т. е. равно  $U_T + U_{сч}$ . Очевидно, что на выходе  $\Pi_1$  получим  $\frac{U_T + U_{сч}}{10}$  импульсов, в то время как на вход  $\Pi_2$  необходимо подать  $\frac{U_{сч}}{10}$  сигналов переноса. Эту задачу выполняет схема вычитания  $V_1$ , обеспечивающая выделение разностной частоты следования выходных импульсов первого разряда и импульсов опорной последовательности  $\left(\frac{U_T}{10}\right)$ . В результате на выходе схемы  $V_1$  имеем  $\frac{U_{сч}}{10}$  импульсов, являющихся сигналами переноса на второй разряд. После их привязки к импульсам  $U_T$ , противофазным тактовым, импульсы переноса поступают на вход второго разряда. Схема  $V_2$  производит вычитание импульсов опорной последовательности ( $\Pi_0$ ), следующих с частотой  $\frac{U_T}{10}$ , из выходных

импульсов второго разряда, а схема привязки  $\text{Пр}_2$  обеспечивает синфазность импульсов переноса с импульсами  $\Pi_0$ . Импульсы с выхода схемы привязки поступают на низкочастотную счетную линейку, представляющую собой соединение фазоимпульсных многоустойчивых элементов, последовательное по счетному и параллельное по тактовому входам.

На рис. 3 показаны временные диаграммы, поясняющие работу счетной линейки. Здесь  $a$  — тактовые импульсы;  $b$  — импульсы опорной последовательности;  $c$  — выходные импульсы схемы привязки  $\text{Пр}_2$ ;  $d$  — форма напряжения на накопительном конденсаторе третьего пересчетного элемента  $\Pi_3$ ;  $e$  — выходные импульсы третьего элемента  $\Pi_3$ ;  $f$  — импульсы на выходе схемы ИЛИ следующего разряда ( $\Pi_4$ );  $g$  — форма напряжения на его накопительном конденсаторе.

При отсутствии счетных импульсов на входы всех декад ( $\Pi_3$  —  $\Pi_8$ ) подаются импульсы  $U_T$ , снимаемые с одного из плеч двухтактного генератора. Импульсы  $U_T$ , снимаемые с другого плеча генератора, поступают на генератор импульсов опорной последовательности  $\Pi_0$ , вследствие чего импульсы  $\Pi_0$  не совпадают с тактовыми во времени. В качестве опорного элемента  $\Pi_0$  служит делитель частоты, не отличающийся от пересчетного элемента.

Для того чтобы в отсутствие счетных импульсов состояния всех элементов оставались неизменными, на их входы должно поступать такое же количество импульсов, что и на вход опорного элемента  $\Pi_0$ . Между тем, это условие выполняется только для первого разряда линейки, в то время как на входы остальных разрядов наряду с тактовыми поступают выходные импульсы предыдущего разряда.

Однако из временных диаграмм видно, что благодаря совпадению во времени каждой выходной импульс предыдущего разряда и совпавший с ним тактовый сливаются на схеме ИЛИ и появляются на ее выходе как один импульс (цифры на диаграмме рис. 3,  $e$  указывают на номер состояния элемента). Таким образом, несмотря на наличие межразрядных связей, на вход каждой декады в данном режиме поступают

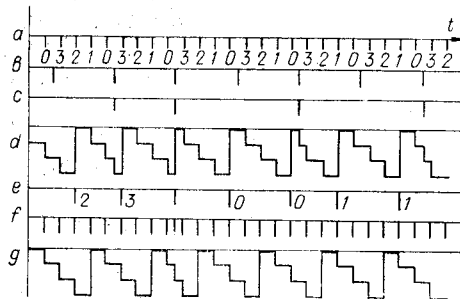


Рис. 3.

только тактовые импульсы и, следовательно, показание счетчика сохраняется неизменным. В режиме счета импульсы переноса с выхода схемы привязки  $Pr_2$  поступают синфазно с импульсами  $П_0$  (см. рис. 3, *д*), благодаря чему исключается просчет из-за совпадения импульсов переноса с тактовыми. С приходом каждого импульса переноса фаза выходных импульсов первого разряда линейки меняется на единицу. Когда к приходу очередного импульса переноса третий разряд счетчика находится в состоянии «9», его выходные импульсы отстают от импульсов опорной последовательности на полпериода следования тактовых импульсов, а напряжение на его накопительном конденсаторе отличается от напряжения на накопительном конденсаторе опорного элемента на величину одной «ступеньки». В результате в момент прихода счетного импульса данный разряд срабатывает синфазно с  $П_0$ . При этом его выходной импульс обеспечивает переход четвертого разряда в следующее состояние, в то время как третий разряд оказывается в состоянии «0» (см. рис. 3, *е*). Аналогично работают следующие разряды линейки. Поскольку в такой схеме предусмотрена привязка счетных импульсов к импульсам  $П_0$ , быстродействие ее ограничивается частотой следования импульсов опорной последовательности.

Остановимся более подробно на работе некоторых узлов прибора. На рис. 4 показаны принципиальная схема входного формирователя (*I*), синхронизируемого генератора тактовых импульсов (*II*), схемы задержки (*III*), схемы вычитания и привязки после первого (*IV*) и после второго (*V*) разрядов, а также схемы сброса (*VI*).

В качестве генератора тактовых импульсов использован мультивибратор на транзисторах  $T_4$  и  $T_5$ , в коллекторных цепях которого включены дифференцирующие трансформаторы  $Tr_3$  и  $Tr_4$ . Сигналы, снимаемые со вторичных обмоток трансформатора, усиливаются выходными формирователями ( $T_3$  и  $T_6$ ). Диоды в базовых цепях мультивибратора ( $D106$ ) выполняют роль отсекающих диодов, так что запирающее напряжение на базах транзисторов не превышает допустимого. Частота автоколебаний мультивибратора 70—80 кГц.

В базовые цепи мультивибратора через схемы запуска поступают импульсы счета. Известно, что напряжение на конденсаторе, подключенном к коллектору открытого транзистора, меняется по экспоненциальному закону, и при отсутствии внешнего воздействия мультивибратор опрокидывается в момент достижения напряжением на базе закрытого транзистора уровня его отпирания. В случае, если незадолго до момента отпирания закрытого транзистора на его базу поступает импульс счета, процесс опрокидывания мультивибратора возникнет в момент прихода этого импульса. Транзисторы мультивибратора работают в ненасыщенном режиме, что достигается включением в коллекторных цепях диодов Д9Д.

С выхода формирователя ( $T_2$ ) импульсы  $U_{сч}$  поступают также на схему задержки ( $T_7$ ,  $T_8$ ), представляющую собой двухкаскадный формирователь, идентичный входному. Коллекторная цепь транзистора  $T_7$  содержит сопротивление  $R=470$  ом и дифференцирующий трансформатор  $Tr_2$ . Вторичная обмотка трансформатора включена таким образом, что отрицательный импульс на базе транзистора  $T_8$  появляется в момент выключения  $T_7$ . Время пребывания  $T_7$  в насыщении определяется параметрами импульса на его базе, а также параметрами  $R$  и  $C$  в цепи эмиттера  $T_7$ . Импульс, снимаемый с эмиттера  $T_8$ , поступает на первый разряд  $П_1$  счетчика.

Импульс  $U_{сч}$  вызывает синхронное с ним появление тактового импульса в том случае, если до момента очередного срабатывания мульти-



вибратора остается интервал времени, не больший  $\Delta t_c$ . Для нормальной работы первого разряда необходимо выполнить условие  $\Delta t_c \geq 2\tau_3$ , где  $\tau_3$  — величина времени задержки. Минимально допустимое значение  $\tau_3$  ограничено разрешающей способностью фазоимпульсного элемента. В том случае, когда счетный импульс опережает тактовый на время, большее  $\Delta t_c$ , и, следовательно, не вызывает опрокидывания



Рис. 5.

мультивибратора, то, пройдя схему задержки, он должен поступить на первый разряд счетчика раньше тактового импульса на время, не меньшее  $\tau_3$ , что и обуславливает приведенное выше соотношение. Соответственно минимальный период следования счетных импульсов должен быть  $T_{\min} \geq 2\tau_3$ , поскольку тактовый импульс помещается между счетными, а разрешающая способность разряда равна  $\tau_3$ .

Быстродействие описанного счетчика равно 300 кГц. Следовательно, величина времени задержки (разрешающая способность первого разряда) должна быть не более 1,5 мксек,  $\Delta t_c$  не менее 3 мксек.

Индикация состояния счетчика осуществляется путем сравнения фазы выходных импульсов каждого разряда с серией эталонных последовательностей импульсов, снимаемых с генератора чисел. Выходные импульсы разрядов и эталонные импульсы с генератора чисел после усиления высоковольтными формирователями поступают на электроды цифровых газоразрядных индикаторных ламп типа ИН-2. При совпадении во времени импульсов на электродах в соответствующем газовом промежутке возникает разряд и свечение одной из цифр свидетельствует о состоянии индицируемой декады.

На рис. 5 представлена фотография счетчика с блоком питания, позволяющим использовать счетчик в качестве самостоятельного прибора. Габариты счетного блока: высота 60 мм, глубина 200 мм, ширина 200 мм; вес не более 1,5 кг; потребляемая мощность не более 4 Вт. Благодаря малым габаритам, весу, потребляемой мощности перспективно применение счетчика в полевой, переносной и бортовой аппаратуре.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. С. Ситников. Счетчик импульсов. Авторское свидетельство № 191636.— ИПОТЗ, 1967, № 4.
2. Я. Миллман, Г. Тауб. Импульсные и цифровые устройства. М., Госэнергоиздат, 1960.

Поступила в редакцию  
10 июля 1967 г.