3.7. Счетчики импульсов

В состав КМДП серий ИС включены счетчики импульсов, которые относятся к микросхемам средней интеграции. Основное функциональное назначение этих типов ИС — счет импульсов и деление частот. Счетчики импульсов КМДП-серий можно разделить на две условные группы: специализированные счетчики, основное назначение которых — построение электронных часов, секундомеров, таймеров, и универсальные счетчики общего назначения. Условность групп состоит в том, что счетчики импульсов первой группы могут также использоваться в иных целях, например для мультиметров, цифровых измерительных приборов и устройств. Одновременно универсальные счетчики могут использоваться в электронных часах, но иногда это менее эффективно.

Основные параметры счетчиков импульсов приведены в табл. 3.5.

Микросхема К176ИЕ1 является простейшим шестиразрядным асинхронным двоичным счетчиком импульсов. Она имеет счетный вход *С1*, установочный вход асинхронного сброса *R* (установка «нуля») и шесть выходов, на которых содержимое

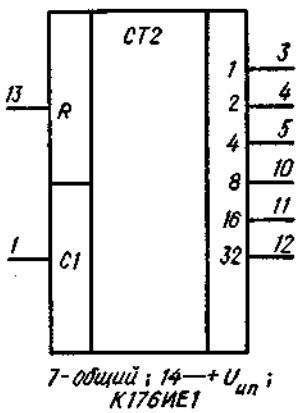


Рис. 3.56. Микросхема типа ИЕ1

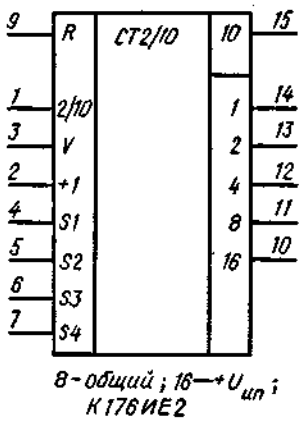


Рис. 3.57. Микросхема типа ИЕ2

счетчика выдается двоичным числом. Условное обозначение МС приведено на рис. 3.56.

Микросхема К176ИЕ2 — счетчик, который может работать как двоичный, так и как десятичный. Счетчик имеет пять двоичных выходов (выводы *10...14*) и один десятичный (вывод *15*). По входам (выводы *4...7*) в счетчик может быть занесено начальное значение при низком уровне на входе «+1». По входу *R* счетчик асинхронно устанавливается в нулевое состояние. На вход *V* подается сигнал тактовой частоты (ТИ). Вход 2/10 (вывод *1*) является переключением режима счета (двоичный-десятичный). Если на входе 2/10 высокий уровень, счетчик работает как двоичный, при низком (нулевом) потенциале — как десятичный и на выводе *15* появляются импульсы с частотой *f*/10.

Простейшее включение счетчика К176ИЕ2 как делителя частоты: вывод *2* соединить с выводом *16*, а выводы *4, 5, 6, 7, 8* — заземлить. На вывод *3* подать частоту *f*. На выводах *14, 13, 12, 11, 10* появятся частоты *f*/2, *f*/4, *f*/8, *f*/16 и *f*/32 соответственно. Вход «+1» служит для разрешения счета.

Условное обозначение ИС К175ИЕ2 приведено на рис. 3.57.

Микросхема К176ИЕ3 является счетчиком импульсов, снабженным дешифратором для вывода информации на семисегментный индикатор. Входные импульсы с частотой *f* подаются на вход *T* (вывод *4*). На выводах *2* и *3* получаем частоты *f*/2 и *f*/6. Выходы *a, b, c, d, e, f, g* служат для подключения семи сегментов цифрового индикатора. Если индикатор светодиодный, то вход *C* (вывод *6*) МС следует заземлить. Для электролюминесцентного индикатора на вход *C* подается модулирующая импульсная последовательность 32 или 64 кГц. Сброс показаний

индикатора на нуль осуществляется по входу *R* (вывод *5*). Условное обозначение ИС К176ИЕ3 приведено на рис. 3.58, соответствие сегментов индикатора выводам дешифратора — на рис. 3.59.

Микросхема К176ИЕ4 является десятичным счетчиком импульсов, снабженным дешифратором для вывода информации на семисегментный индикатор. Отличие ее от предыдущей состоит в том, что на выводе *2* выделяется частота *f/10*, а на выводе *3* — *f/4*. Условное обозначение ИС приведено на рис. 3.60.

Микросхема К176ИЕ5 служит генератором секундных импульсов для электронных часов и других программаторов и таймеров. К выводам *9* и *10* непосредственно подключается кварцевый резонатор (либо сюда подается эталонная частота от постороннего генератора). Частота кварцевого резонатора *f* может быть 16 384 Гц (т. е. 2^{14} Гц) либо 32 768 Гц (т. е. 2^{15} Гц). На буферных выводах *11* и *12* присутствует сформированная и усиленная последовательность с частотой *f*. На выводе *1* име-

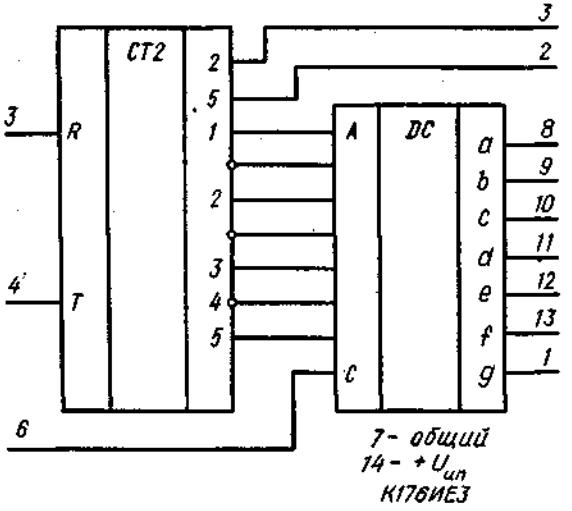


Рис. 3.58. Структурная схема ИС типа ИЕ3

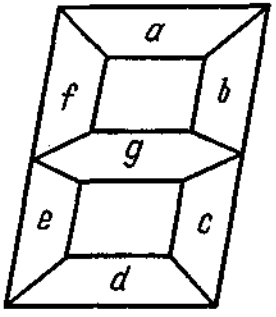


Рис. 3.59. Обозначение сегментов цифрового индикатора

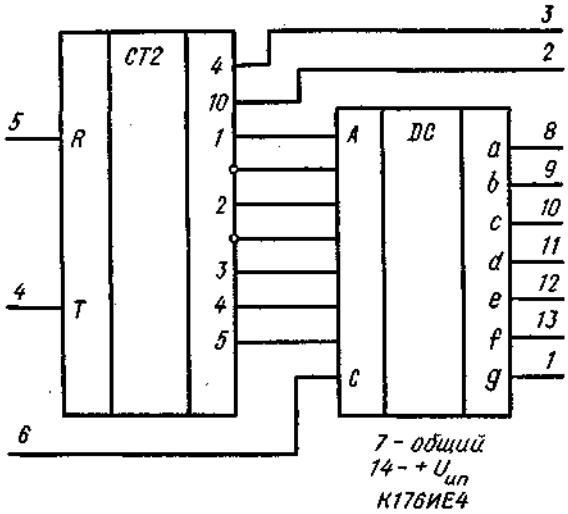


Рис. 3.60. Структурная схема ИС типа ИЕ4

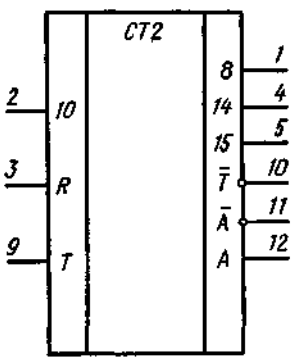


Рис. 3.61. Микросхема типа ИЕ5

ется частота $f/2^8$. Вывод *4* дает частоту $f/2^{14}$, а вывод *5* — $f/2^{15}$. Таким образом, на выводе *4* будет последовательность секундных интервалов при входной частоте $f = 2^{14}$ Гц, а на выводе *5* секундная последовательность появится при $f = 2^{15}$ Гц. Чтобы счетчик давал секундную последовательность, выводы *1* и *2* следует перемкнуть, поскольку вывод *2* — это вход частоты $f/2^8$.

Условное обозначение МС К176ИЕ5 приведено на рис. 3.61.

Микросхемы 561ИЕ8, К561ИЕ8 представляют собой счетчики по модулю 10 с дешифратором. Они выполнены на основе пятикаскадного высокоскоростного счетчика Джонсона и дешифратора, преобразующего двоичный код в сигнал на одном из десяти выводов.

Если на входе разрешения счета *V* присутствует низкий уровень, счетчик осуществляет счет синхронно с положительным фронтом на тактовом входе *C*. При высоком уровне на входе *V* действие входа *C* запрещается и счет останавливается. Сброс счетчика осуществляется подачей высокого уровня на вход *R*. Счетчик имеет выход переноса *P*. Положительный фронт выходного сигнала переноса появляется через 10 импульсов на входе *C* и используется как входной сигнал для счетчика следующей декады. Структурная схема счетчиков 561ИЕ8, К561ИЕ8 и их условное обозначение приведены на рис. 3.62, а временные диаграммы работы — на рис. 3.63.

Состояния триггеров счетчика в процессе счета приведены в табл. 3.6.

Как нетрудно заметить из таблицы, для дешифрации каждого состояния счетчика необходим анализ состояний только двух триггеров, которые выделены полужирным шрифтом. Кроме того, благодаря использованию в счетчике сдвигающего регистра любой переход в новое состояние сопровождается изменением состояния только одного триггера. Это исключает появление ложных единиц в процессе переключения при деши-

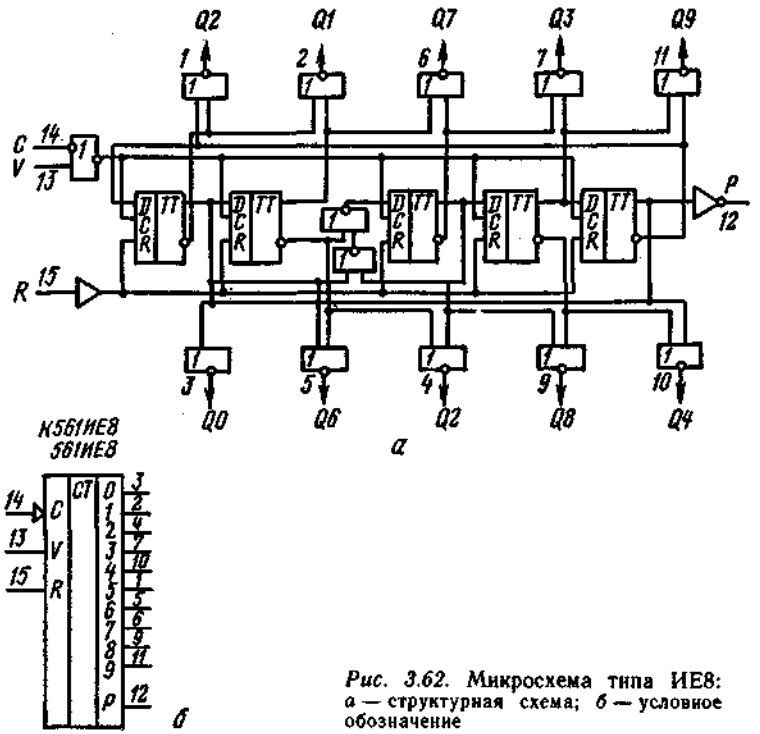


Рис. 3.62. Микросхема типа ИЕ8: *а* — структурная схема; *б* — условное обозначение

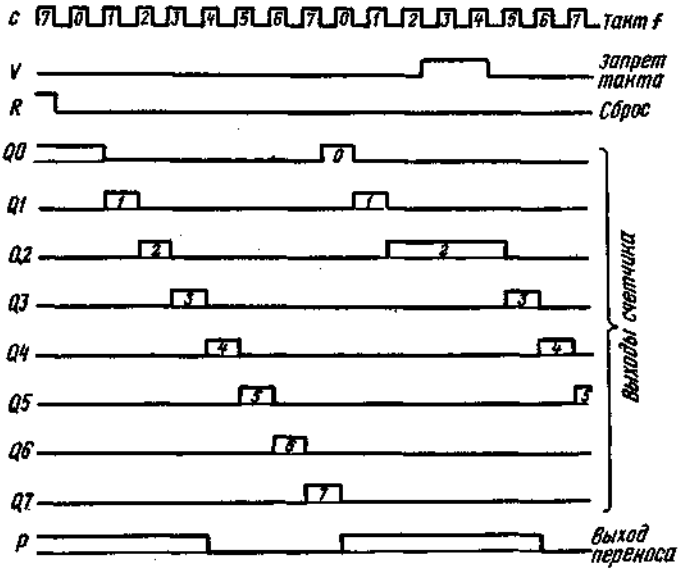


Рис. 3.63. Временные диаграммы работы счетчика типа ИЕ8

Таблица 3.6. **Состояния счетчика ИЕ8**

Q	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	P	$(Q)^+$
0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	1	2
2	1	1	0	0	0	1	3
3	1	1	1	0	0	1	4
4	1	1	1	1	0	1	5
5	1	1	1	1	1	0	6
6	0	1	1	1	1	0	7
7	0	0	1	1	1	0	8
8	0	0	0	1	1	0	9
9	0	0	0	0	1	0	0

фрации состояний. При этом, однако, из общего числа состояний в счетчике, равного 2^N, используются только $2N$, где N — разрядность счетчика, равная в нашем случае 5. Остальные состояния оказываются нерабочими, и при попадании в них (например, при включении питания, если не предпринять специальных мер) необходимая последовательность состояний в счетчике будет нарушена. Для восстановления правильной последовательности в ИС предусмотрена автоматическая коррекция состояний, которая действует всякий раз, когда в первых трех триггерах счетчика формируется код $S_1S_2S_3 = 010$. В этом

случае при переходе счетчика в следующее состояние третий триггер S_3 переходит в «0», а не «1».

Нетрудно убедиться, что любой нерабочий код в счетчике за то или иное число сдвигов (счетных импульсов) оказывается преобразованным в рабочий код. Например, нерабочий код 01101 превращается в рабочий код за 4 сдвига:

$$00110 \rightarrow 10011 \rightarrow 01001 \rightarrow 00000.$$

Длительность импульса запрета счета должна превышать 300 нс, а длительность тактовых (считываемых) импульсов — не менее 250 нс. Длительность импульса сброса — не менее 275 нс.

Микросхемы К561ИЕ9, 564ИЕ9 являются счетчиками по модулю 8 с дешифрацией состояний. Принцип работы их аналогичен счетчикам ИЕ8, но они содержат 4 триггера в счетчике Джонсона. Структурная схема и условное обозначение этого типа счетчиков приведены на рис. 3.64.

Следует отметить, что время задержки распространения сигнала от входа до информационных выходов *Q1...Q7* и до выхода переноса *P* у данного типа счетчиков различно. Для К561ИЕ9 при $U_{и.п} = 5$ В $t_{зд.р}$ для выходов *Q1...Q7* составляет 3150 нс, а для вывода *P* — 1500 нс. Для МС 564ИЕ9 время задержки нормируется при $U_{и.п} = 10$ В и составляет для выходов *Q1...Q7*—700 нс, а для выхода *P* — 360 нс.

Отметим также, что нагрузочная способность по выходному току выхода *P* повышена, по сравнению с остальными выходами, выходные токи которых приведены в таблице основных параметров счетчиков КМДП. Для выхода *P* МС К561ИЕ9 при $U_{и.п} = 10$ В $I^0_{вых} = I^1_{вых} = 0{,}13$ мА, а для МС 564ИЕ9 при $U_{и.п} = 5$ В $I^0_{вых} = I^1_{вых} = 0{,}3$ мА.

На основе микросхем ИЕ8 и ИЕ9 могут быть созданы счетчики с любым модулем. Например, на рис. 3.65 приведена схема счетчика-делителя с модулем $N = 6$. От выхода *N* (где $2 < N < 9$ для ИЕ8, $2 < N < 7$ для ИЕ9) импульс подается на сброс *RS*-триггера, выполненного на К561ЛЕ5 (может быть любой *RS*-триггер), который устанавливает счетчик в нулевое состояние. Выходной сигнал с частотой f/N снимается с выхода переноса *P* и используется для запуска следующего каскада. *RS*-триггер восстанавливает единичное состояние после сброса счетчика. Если $N < 6$ для ИЕ8 и $N < 5$ для ИЕ9, то на выходе переноса *P* не появляется высокий уровень. В этом случае в качестве сигнала переноса (входной сигнал для следующего каскада) можно использовать импульс на выходе *Q0* (вывод *3*).

Основное применение счетчиков типа ИЕ8 и ИЕ9 — различные распределители уровней и импульсов, используемых в качестве формирователей управляющих сигналов либо серий синхроимпульсов. Кроме того, они находят применение при построении многоразрядных десятичных и восьмеричных счетчиков. При построении многоразрядных счетчиков ИС соединяются между собой с последовательным или параллельным формированием переноса с применением дополнительных ИС.

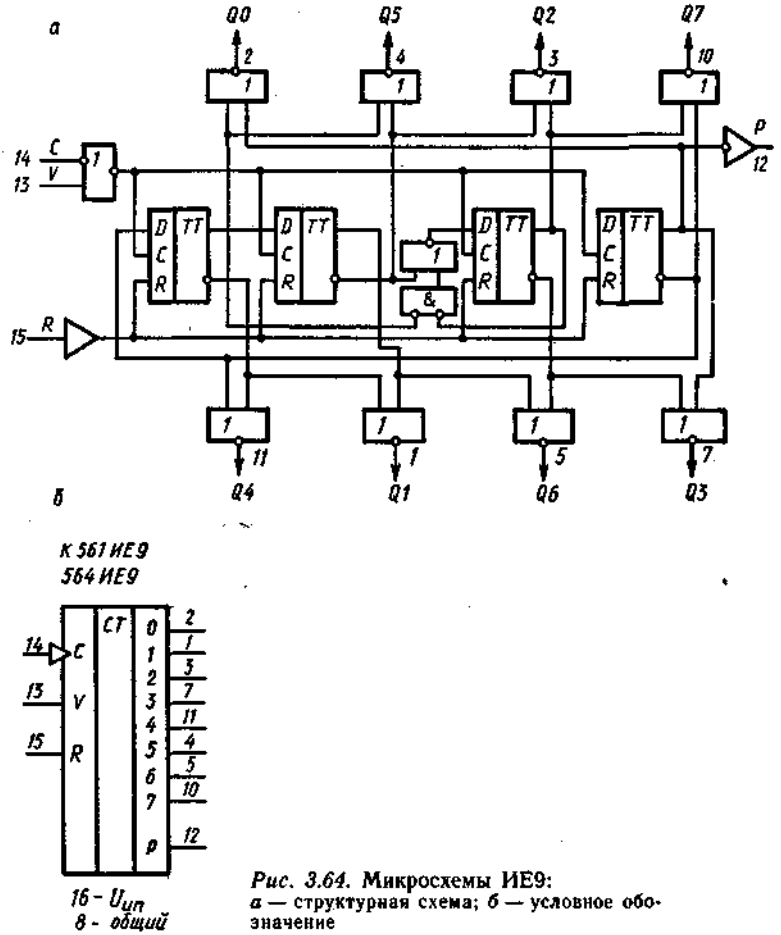


Рис. 3.64. Микросхемы ИЕ9:
а — структурная схема; *б* — условное обозначение

Примеры соединений многоразрядных счетчиков приведены на рис. 3.66.

Микросхемы К561ИЕ10, 564ИЕ10, Н564ИЕ10 содержат два независимых 4-разрядных двоичных счетчика с параллельным выходом. Для повышения быстродействия в ИС применен параллельный перенос во все разряды. Подача счетных импульсов может производиться либо в положительной полярности (высоким уровнем) на вход *C*, либо в отрицательной полярности (низким уровнем) на вход *V*. В первом случае разрешение счета устанавливается высоким уровнем на входе *V*, а во втором случае — низким уровнем на входе *C*.

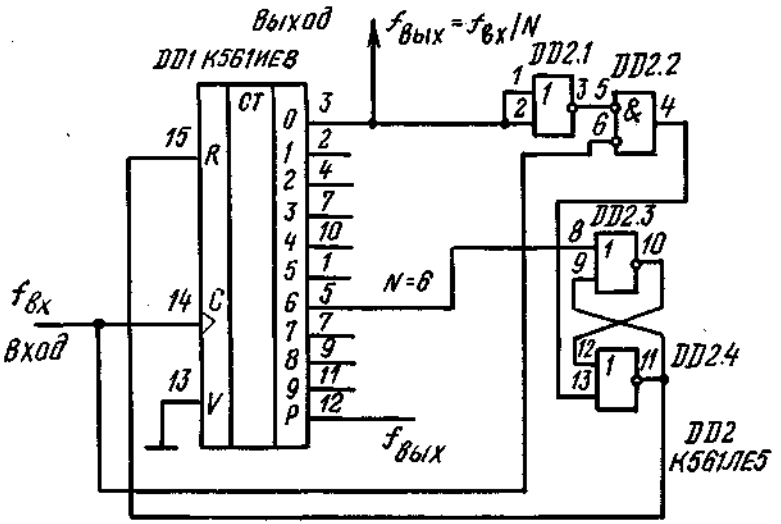


Рис. 3.65. Счетчик на основе ИЕ8 с укороченным циклом работы

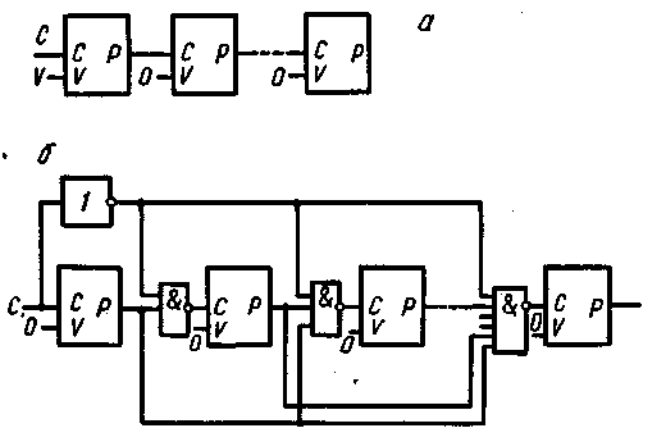


Рис. 3.66. Наращивание разрядности счетчика на основе ИЕ8 или ИЕ9:
а — с последовательным переносом; *б* — с параллельным переносом

Структурная схема и условное обозначение счетчиков типа ИЕ10 приведены на рис. 3.67.

При построении многоразрядных счетчиков с числом разрядов более четырех соединение между собой ИС ИЕ10 может, как и в предыдущем случае, производиться с последовательным

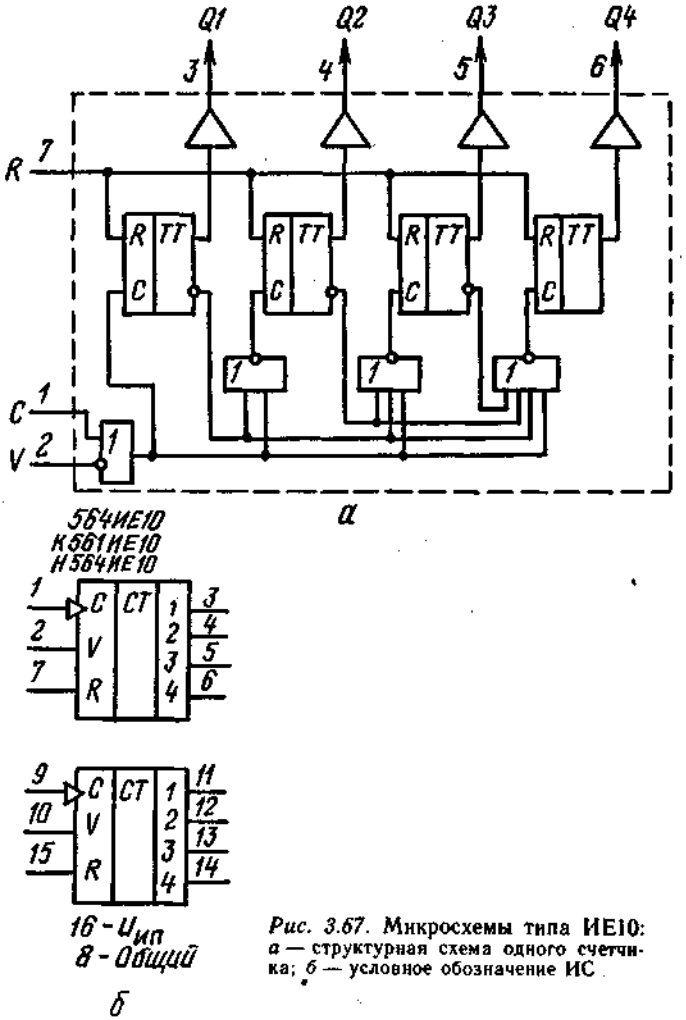


Рис. 3.67. Микросхемы типа ИЕ10: *а* — структурная схема одного счетчика; *б* — условное обозначение ИС

или параллельным формированием переноса. В первом случае на вход *С* (вывод *1* или *9*) следующего каскада счетчика подается высокий уровень с выхода *Q4* (выводы *6* или *14*) предыдущего каскада. Схема соединения каскадов счетчика с параллельным переносом приведена на рис. 3.68.

Микросхемы К561ИЕ11, 564ИЕ11, Н564ИЕ11 представляют собой двоичные реверсивные 4-разрядные счетчики с параллельной записью начального числа.

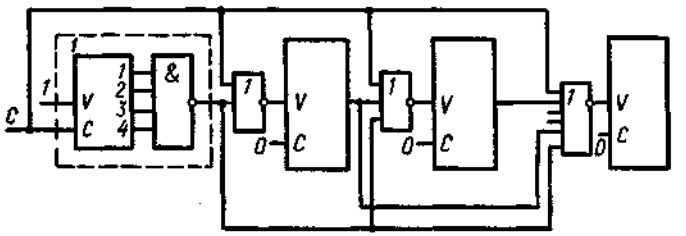


Рис. 3.68. Наращивание разрядности счетчиков на ИС типа ИЕ10 с параллельным переносом

На рис. 3.69 приведены структурная схема и условное обозначение счетчиков типа ИЕ11. Табл. 3.7 поясняет работу устройства. В соответствии с таблицей изменение направления счета на входе ± 1 допускается при любом состоянии счетчика при условии, что счетный импульс на входе *C* имеет высокий уровень. При одновременном действии сигналов *R* и *V* в счетчике будет выполняться установка в «0» независимо от сигналов на входах *D1...D4*. При одновременном же действии сигналов *C* и *V* будет выполняться установка в соответствии с сигналами на входах *D1...D4*.

Счет на увеличение выполняется при высоком уровне на входе ± 1 и на уменьшение — при низком уровне на входе ± 1. Вход *P*0 и выход *P* имеют активные напряжения низкого уровня,

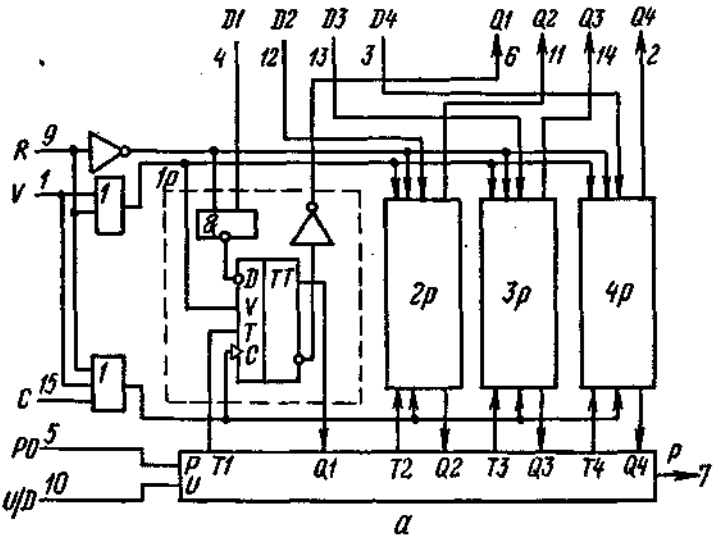
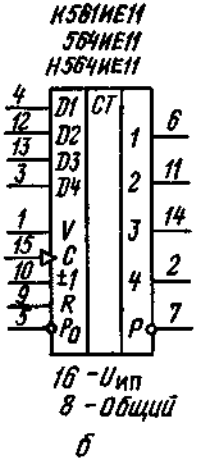


Рис. 3.69. Микросхемы типа ИЕ11:
а — структурная схема;



б — условное обозначение

Таблица 3.7. **Состояния счетчика ИЕ11**

C	P	±1	V	R	Q^{n+1}
⌐	1	×	0	0	Q^n
⌐	0	1	0	0	Q^n+1
⌐	0	0	0	0	Q^n-1
×	×	×	1	0	D^{n+1}
⌙	×	×	0	0	Q^n
×	×	×	×	1	0

Примечание:

⌐ — *фронт импульса*;

⌙ — *срез импульса*;

× — *любое состояние*

именно в этом случае выполняется операция счета. Сброс *R* асинхронный и имеет преимущество по сравнению с сигналом записи *V* начального числа.

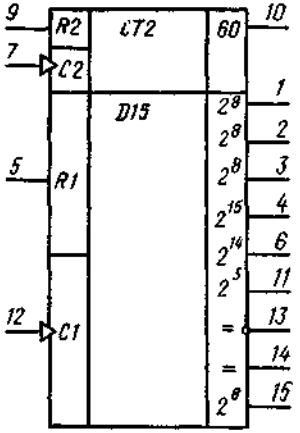
Микросхема К176ИЕ12 содержит делитель частоты следования импульсов с коэффициентом деления 60- и 15-разрядный делитель частоты следования импульсов. ИС предназначена для использования в электронных часах. Условное обозначение ИС приведено на рис. 3.70.

Микросхема К176ИЕ13 является специальным двоичным счетчиком, предназначенным для применения в электронных часах с будильником и календарем. Условное обозначение ИС приведено на рис. 3.71, где указаны и наименования выводов.

Микросхемы К561ИЕ14, 564ИЕ14, Н564ИЕ14 являются четырехразрядными реверсивными счетчиками с предварительной записью числа. Состав операций этого типа счетчиков тот же, что и у ИС ИЕ11, за исключением отсутствия установки в нуль, вместо которой введена операция переключения двоично-десятичного счета (2/10, вывод *9*). При высоком уровне на выводе *9* осуществляется двоичный счет, при низком — двоично-десятичный.

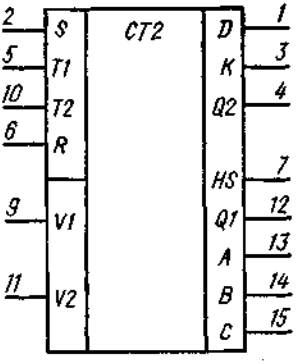
Структурная схема счетчика изображена на рис. 3.72.

Наращивание разрядности счетчиков ИЕ11 и ИЕ14 выполняется наиболее просто при последовательном формировании переноса на входах указанных ИС. В этом случае выход *P* соединяется со входом *P*0 соседней справа ИС, а на входе *P*0 самой левой ИС устанавливается нуль. При этом, в отличие от ИС ИЕ10, здесь последовательное формирование переноса не вносит увеличения задержки распространения сигнала от входа *C*



8 – общий ; 16 – $+U_{пп}$, К176ИЕ12

Рис. 3.70. Микросхема типа ИЕ12



К176ИЕ13
1 – выход ; 2 – вход ;
3 – выход на календарь ;
4 – выход установки „0" ;
6 – вход установки „0" ;
5,10 – входы тактовые ;
7 – выход звонка ;
8 – общий ;
9,11 – входы управления ;
12 – выход стробирующего импульса ;
13,14,15 – выходы ;
16 – питание (+)

Рис. 3.71. Микросхема типа ИЕ13

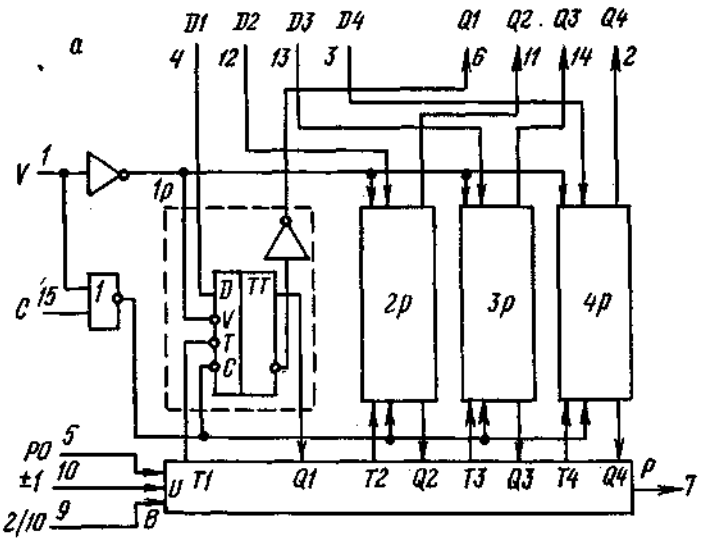
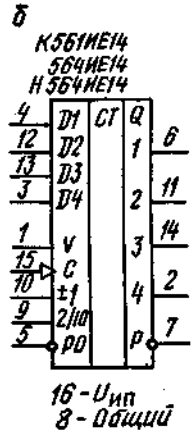


Рис. 3.72. Микросхемы типа ИЕ14:
а — структурная схема;



б — условное обозначение

к выходу Q самой старшей секции, поскольку перед появлением положительного фронта счетного импульса C вся информация, необходимая для смены состояния в счетчике, уже подготовлена и находится в первых ступенях двухтактных триггеров. Однако с увеличением степени наращивания разрядности увеличивается минимально допустимый период T следования счетных импульсов, который должен удовлетворять условию

$$T = (n-1)t_{зд.р1} + t_{зд.р2},$$

где n — число последовательно включенных в счетчике ИС; $t_{зд.р1}$ — задержка распространения сигнала в одной ИС от входа $P0$ к выходу P; $t_{зд.р2}$ — задержка распространения сигнала от входа C к выходу Q. Уменьшения периода следования счетных импульсов можно достичь, используя параллельный перенос на входах P. Схема включения счетчиков типа ИЕ11 и ИЕ14 при параллельном переносе приведена на рис. 3.73.

Микросхемы КА561ИЕ156, 564ИЕ15 представляют собой программируемые счетчики-делители с переменным коэффициентом деления. Установка коэффициента деления N в счетчике осуществляется согласно выражению

$$N = M(1000P_1 + 100P_2 + 10P_3 + P_4) + P_5, \qquad (3.1)$$

где $P_1 \ldots P_4$ — варьируемые коэффициенты, называемые ниже множителями тысяч, сотен, десятков и единиц; P_5 — остаток; M — коэффициент, называемый далее модулем.

Коэффициенты $P_1 \ldots P_4$ принимают значения в диапазоне 0...15. Модуль M принимает значения, равные *2, 4, 5, 8* и *10*. Диапазоны изменения коэффициентов P_1 и P_5 зависят от выбора M, как показано в табл. 3.8. В той же таблице приведен диапазон представляемых чисел N. Если установить $P_1 = P_5 = 0$, то для любых значений $P_2 \ldots P_4$ при изменении модуля M формируется сетка частот с постоянным отношением их значений: $1/N$,

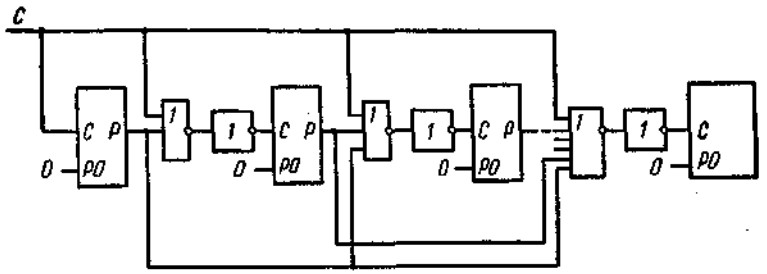


Рис. 3.73. Наращивание разрядности счетчиков на ИС типа ИЕ11 или ИЕ14 с параллельным переносом

Таблица 3.8 **Выбор значения модуля *M***

M	P_{5max}	P_{1min}	N_{min}	N_{max}
2	1	7	3	17 331
4	3	3	3	18 663
5	4	1	3	13 329
8	7	1	3	21 327
10	9	0	3	16 659

$1{,}25f/N$, $2f/N$, $2{,}5f/N$, $5f/N$. Это может оказаться полезным при реализации синтезатора частот, в котором при изменении частоты задающего генератора требуется сохранить отношения между синтезируемыми частотами.

Расчет коэффициентов M и P_i для заданного N производится следующим образом:

а) для заданного N при различных значениях M определяется разложение в виде

$$N = N_0 M + P, \qquad (3.2)$$

где N_0 и P — соответственно целая часть и остаток при делении N на M;

б) выбирается одно из значений модуля M, для которого остаток P не превышает максимального значения P_5, взятого из табл. 3.8;

в) находится представление числа N_0:

$$N_0 = 1000P_1 + 100P_2 + 10P_3 + P_4.$$

Поскольку в (3.1) диапазон изменения коэффициентов P_i превышает основание системы счисления, равное 10, то представление числа N оказывается неоднозначным. Первое представление соответствует обычному десятичному представлению коэффициентов P_i. Во втором представлении все цифры десятичного представления, для которых выполняется условие $P_i \leqslant 5$, заменяются на $P_i + 10$. Одновременно производится замена $P_i - 1$ на $P_{i-1} - 1$. Второе представление будем назы-

вать шестнадцатиричным. Оно позволяет получать более широкий диапазон представления чисел N_0.

Пример 1. Найти разложение числа $N = 1079$.

Находим разложения (3.2) для различных значений M:

$M = 2$, $N = 2 \times 539 + 1$; $M = 4$, $N = 4 \times 269 + 3$;
$M = 5$, $N = 5 \times 215 + 4$; $M = 8$, $N = 8 \times 134 + 7$;
$M = 10$, $N = 10 \times 107 + 9$.

Из сравнения полученных остатков с максимально возможными значениями, взятыми из табл. 3.8, для разложения $N = 1079$ оказываются пригодными любые значения. Выберем $M = 2$.

Представление N_0 в десятичной форме уже найдено. Для перевода его в шестнадцатиричную форму необходимо в представлении $N_0 = 539$ изменить коэффициент P_3, для которого выполняется условие $P_3 \leqslant 5$ и $P_2/P_3 = 3 + 10 = 13$; $P_2 = 5 - 1 = 4$. В результате получаем для разложения $N = 1079$ следующие значения коэффициентов.

На рис. 3.74 показана структурная схема ИС ИЕ15, которая содержит пять счетчиков *P1...P5* вычитающего типа, четыре стробируемых преобразователя *1* однофазного кода в парафазный код, дешифратор *7* конца счета, формирователь *10* кода модуля, формирователь *8* сигнала предустановки счетчика, формирователь *9* выходного сигнала. Счетчики *P2...P4* четырехразрядные. После состояния *0* они, если не действует сигнал предустановки, переходят в состояние *9*, т. е. осуществляют счет по модулю *10*. Счетчики *P1* и *P5* имеют переменную длину, которая задается кодом модуля *M*. В зависимости от *M* происходит перераспределение в группе 6 из четырех разрядов на счетчик остатков *P5* и счетчик тысяч *P1*.

Формирователь конца счета фиксирует в счетчике состояние *2*, начиная с которого должна производиться последовательность операций по новой предустановке счетчика, если это требуется в заданном режиме.

Для управления счетчиком используются сигналы: *I1...I4* — код P_5 и P_6: *I5...I8* — код P_4; *I9...I12* — код P_3; *I13...I16* — код P_2; $K_1 ... K_3$ — код выбора модуля M; C — тактовые импульсы; L — установка режима (0 — многократный счет, 1 — однократный счет); Y — выходной сигнал.

В обозначениях сигналов I_i большим значениям индекса соответствуют старшие разряды в представлении соответствующего коэффициента P_i. Например, для рассмотренного выше примера имеем следующее задание на входах I_i:

$$\underbrace{I_1 I_2 I_3 I_4}_{P_5\ P_1}\ \underbrace{I_5 I_6 I_7 I_8}_{P_4}\ \underbrace{I_9 I_{10} I_{11} I_{12}}_{P_3}\ \underbrace{I_{13} I_{14} I_{15} I_{16}}_{P_2}.$$
$$1\,0\,0\,0 \quad 1\,0\,0\,1 \quad 1\,0\,1\,1 \quad 0\,0\,1\,0$$

В счетчике реализуются режимы, указанные в табл. 3.9.

Режим запрета на счет и установка счетчика в исходное со-