

входу 2, запирает транзистор. Последний находится в запертом состоянии до тех пор, пока пилообразное напряжение, поданное на вход 1, не возрастет до величины U_0 , после чего транзистор отпирается и на выходе устройства появляется импульс.

На рис. 22, б показана схема двухкаскадного сравнивающего устройства на транзисторах T_1 (эмиттерный повторитель) и T_2 (усилитель). На вход 1 подается напряжение U_0 , а на вход 2 — линейно убывающее напряжение U_{π} , с которым сравнивается напряжение U_0 . Так как на транзисторе T_1 собран эмиттерный повторитель, напряжение на его нагрузке $U_{R2} \approx U_0$. Это напряже-

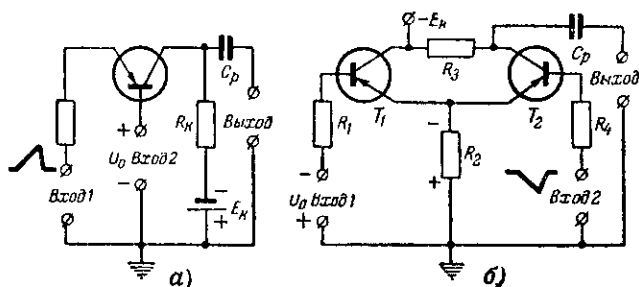


Рис. 22. Примеры сравнивающих устройств.

ние, действуя в эмиттерной цепи усилителя, запирает транзистор T_2 . Последний находится в запертом состоянии, пока напряжение U_{π} , приложенное ко входу 2, не станет по абсолютной величине меньше напряжения U_{R2} . В момент, когда $|U_{\pi}| = |U_0|$, транзистор T_2 отпирается и на выходе усилителя возникает импульс.

Более высокая точность срабатывания достигается в схемах сравнивающих устройств с положительной обратной связью.

10. ЭЛЕКТРОННЫЕ СЧЕТЧИКИ ИМПУЛЬСОВ

Двоичные счетчики. Рассмотренные в § 7 триггеры применяются в счетчиках, ведущих счет в двоичной системе счисления. Для того чтобы описание двоичного триггерного счетчика было более ясным, предварительно сообщим краткие сведения о двоичной системе счисления.

Система счисления, которой мы пользуемся при обычных арифметических вычислениях, — десятичная система. Она основана на представлении любого числа с помощью десяти различных цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9. Числа записываются в весьма простой форме вследствие использования идеи о разряде. Каждое число представляется в виде суммы целых степеней числа 10, и записываются только множители при степенях. Каждый такой множитель и является разрядом. Например, в числе 135 единица означает число сотен ($1 \cdot 10^2$), тройка — число десятков, ($3 \cdot 10^1$), пятерка — число единиц ($5 \cdot 10^0$), т. е.

$$135 = 1 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0.$$

Число 10 называют основанием системы счисления и записывают с помощью двух цифр: «10».

Помимо десятичной системы, применяются двоичная (основание — 2), трюичная (основание — 3), восьмиричная (основание — 8) и другие системы счисления. Принципиально для записи чисел можно применять систему с любым основанием в виде целого числа.

В счетных устройствах широко используется двоичная система. Для записи чисел в такой системе требуется минимальное число цифр — всего две: 0 и 1. Основанием этой системы служит число 2. Иначе говоря, в двоичной системе все числа представляются в виде суммы целых степеней числа 2; например, число 135 можно записать так:

$$135 = 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0,$$

откуда двоичное представление числа 135 получается в виде 10000111.

Для иллюстрации приведем несколько чисел, записанных в двоичной системе:

0 — нуль; 1 — один; 10 — два; 11 — три; 100 — четыре; 101 — пять; 110 — шесть; 111 — семь; 1000 — восемь; 1001 — девять; 1010 — десять; 1011 — одиннадцать; 1100 — двенадцать; 10000 — шестнадцать; 10100 — двадцать; 11110 — тридцать; 100000 — тридцать два; 101101 — сорок пять.

Основным преимуществом двоичной системы счисления является возможность использования для представления каждого разряда числа любого элемента (физического прибора), имеющего два различных устойчивых состояния равновесия. Характерным примером такого прибора служит триггер. Одно из устойчивых состояний равновесия триггера, как указывалось выше, соответствует нулю, а другое — единице. Кроме того, в двоичной системе счисления очень просты правила арифметических действий.

Рассмотрим устройство двоичного триггерного счетчика.

Двоичный счетчик представляет собой цепочку последовательно соединенных триггеров (ячеек). Каждый триггер перебрасывается из одного положения в другое отрицательным импульсом, подаваемым на его счетный вход.

Счетчик, состоящий из n триггеров, имеет коэффициент пересчета, равный 2^n . Это означает, что через каждые 2^n отрицательных импульсов, поданных на вход, на выходе появляется один отрицательный импульс. Так, например, схема из четырех триггеров образует счетчик с коэффициентом пересчета 16.

На рис. 23 приведена схема первой и четвертой ячейки двоичного счетчика, выполненного на электронных лампах. Промежуточные ячейки счетчика собраны по такой же схеме. Параллельно сопротивлению анодной нагрузки левого (по схеме) триода лампы каждой триггерной ячейки подключены неоновые лампы *НЛ*, служащие для визуальной индикации состояния ячейки. Неоновая лампа горит, когда триггер находится в положении 1, и погашена, когда триггер в положении 0. На вход первой ячейки подаются подсчитываемые отрицательные импульсы. На вход каждой последующей ячейки поступают выходные

импульсы, снимаемые с анода правого (по схеме) триода лампы предыдущей ячейки.

В начальном состоянии все ячейки находятся в положении 0. После подачи на вход счетчика первого отрицательного импульса переключается первый триггер: правый триод лампы запирается, а левый отпирается. Ток левого триода лампы создает на анодном сопротивлении R_a напряжение, которое зажигает неоновую лампу, указывающую на то, что первый триггер

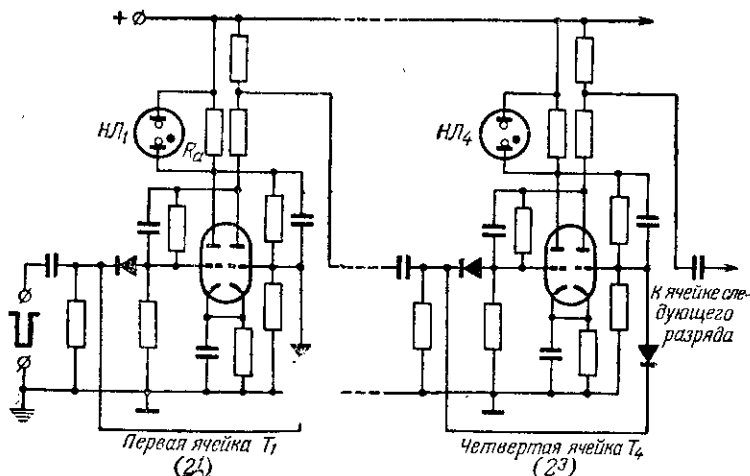


Рис. 23. Схема двоичного триггерного счетчика.

гер находится в положении 1. Поскольку после переключения напряжение на аноде правого триода лампы скачком повышается, на вход второй ячейки поступает положительный импульс. Он не может переключить вторую ячейку вследствие наличия диодов в сеточных цепях лампы.

После подачи второго импульса на вход счетчика происходит новое переключение первого триггера (из положения 1 в положение 0) и неоновая лампа гаснет. При этом напряжение на аноде правого триода падает и на выходе появляется отрицательный импульс, который передается на вход второго триггера и вызывает его переключение из положения 0 в положение 1. В этом положении загорается неоновая лампа второго триггера.

Третий импульс, поступающий на вход счетчика, вызывает очередное переключение первого триггера, в то время как положение второго не меняется. При этом загорается лампа первого триггера и продолжает гореть лампа второго. Это показывает, что первая и вторая ячейки счетчика находятся в положении 1. Так как первая ячейка соответствует младшему разряду числа в двоичной системе 2⁰, вторая ячейка — разряду 2¹, третья — 2² и т. д., горящие неоновые лампы первого и второго

триггеров указывают, что в счетчике зафиксировано число 11 в двоичной системе, т. е. три.

Четвертый импульс на входе счетчика переключает первый триггер из положения 1 в положение 0, выходной (отрицательный) импульс первого триггера переключает второй триггер из положения 1 в положение 0, выходной (отрицательный) импульс второго триггера вызывает переключение третьего триггера в положение 1. Выходной же импульс третьего триггера получается положительным, и переключения следующего, чет-

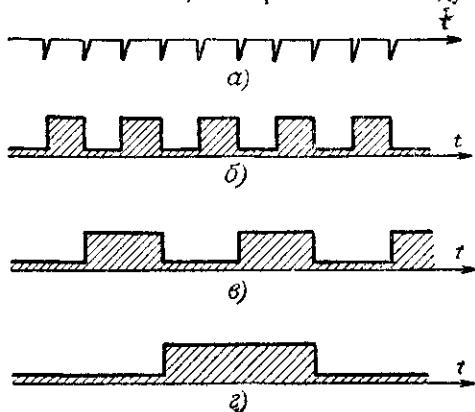


Рис. 24. Эпюры напряжений счетчика.
 а — входные импульсы; б — импульсы на выходе триггера T_1 ; в — импульсы на выходе триггера T_2 ; г — импульсы на выходе триггера T_3 .

вертого, триггера не происходит. Неоновые лампы первого и второго триггеров гаснут, а лампа третьего триггера зажигается. Счетчик фиксирует число 100, т. е. четыре.

Итак, переключение второго триггера вызывается каждым вторым импульсом, третьего триггера — каждым четвертым, четвертого триггера — каждым восьмым и т. д. Это иллюстрируется диаграммой состояний, приведенной на рис. 24.

Если счетчик состоит из n триггерных ячеек, то первый раз n -я ячейка переключится после поступления 2^{n-1} импульсов на вход счетчика. Но выходной импульс будет положительным, так как триггер переключится из положения 0 в положение 1. Для получения отрицательного импульса нужно подать на вход еще 2^{n-1} импульсов. Таким образом, после 2^n входных импульсов на выходе счетчика появится отрицательный импульс и все триггеры займут исходное положение.

Десятичные счетчики. Десятичные, или декадные, счетчики представляют собой ряд счетных декад. Каждая декада осуществляет пересчет на 10. Она состоит из двоичных триггерных ячеек, ведущих счет в двоичной системе счисления. Десятичный счет достигается в результате применения особых схем соединения триггерных ячеек. Счетные декады строят по схеме последова-

тельного (каскадного) соединения двоичных триггерных ячеек с обратными связями между ячейками и по кольцевым цепям.

В первом случае декада представляет собой цепочку из четырех последовательно соединенных триггерных ячеек со счетным входом (рис. 25). Для получения пересчета на десять в схеме осуществляется обратная связь между четвертой и третьей, а также между четвертой и второй ячейками.

Как и в обычном двоичном счетчике, триггер T_1 переключается каждым импульсом, поступающим на вход декады, триггер T_2 — после каждых двух импульсов, триггер T_3 — после каждых четырех. Для переключения триггера T_4 на вход должны быть поданы восемь импульсов. Это видно из приведенного на рис. 25 графика, иллюстрирующего состояние ячеек в зависимости от числа импульсов, поступивших на вход счетчика.

После того как восьмой импульс, установив первые три триггера в положение 0, переключает триггер T_4 из положения 0 в положение 1, напряжение на аноде A_{04} падает. Этот отрицательный перепад, поступающий через цепи обратной связи (C_5D_9 и C_5D_{10}) на входы триггеров T_2 и T_3 , дополнительно переключает их. Такая операция равносильна тому, что счетчик как бы зарегистрировал еще шесть импульсов: переключение триггера T_2 соответствует дополнительной подаче на вход счетчика двух, а переключение триггера T_3 — еще четырех импульсов. Таким образом, после восьми входных импульсов и дополнительных переключений триггеров T_2 и T_3 через цепи обратной связи счетчик находится в положении 0 (T_1), 1 (T_2), 1 (T_3) и 1 (T_4), что соответствует числу 0111 в двоичной системе счисления (числу 14 в десятичной системе).

Девятый входной импульс перебрасывает первый триггер из положения 0 в положение 1, не меняя состояний всех остальных ячеек. Положение счетчика такое же, как у обычного двоичного счетчика после 15 импульсов (1111 в двоичной системе). Десятый импульс переключает все ячейки в положение 0. При этом с анода A_{14} отрицательный импульс поступает на следующую декаду. Таким образом, рассмотренная схема пересчитывает на десять.

Изложенный способ уменьшения коэффициента пересчета с 16 до 10 с помощью обратной связи, получивший название «16—6», не является единственно возможным. В счетчике, состоящем из четырех триггерных ячеек, коэффициент пересчета на десять можно получить 35 способами. Наиболее широкое практическое применение получили схемы «16—6», «8+2» и некоторые другие.

Счетчик емкостью 10^n импульсов состоит из n декад. Быстродействие счетчика определяется быстродействием первой от входа декады, т. е. декады младшего разряда, так как она считает все m импульсов, поступающих на вход счетчика. Вторая декада считает в 10 раз меньше, третья — в 100 раз меньше и т. д. А быстродействие декады определяется быстродействием первого триггера.

Триггерные пересчетные схемы, построенные на двойных ламповых триодах, например типа 6НЗП, могут считать до нескольких миллионов импульсов в секунду. В качестве примера на рис. 26 приведена декада младшего разряда счетчика, пред-

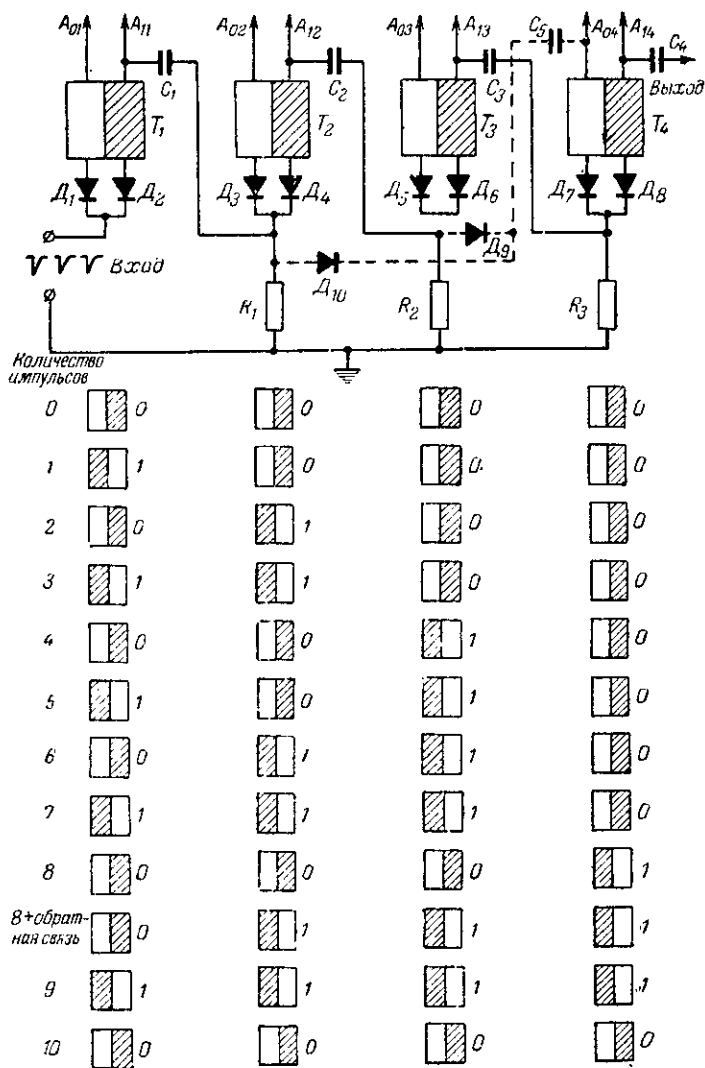


Рис. 25. Схема счетной триггерной декады (исходное положение; пунктиром показаны цепи обратной связи) и графическое изображение состояний триггеров после подачи любого числа импульсов.

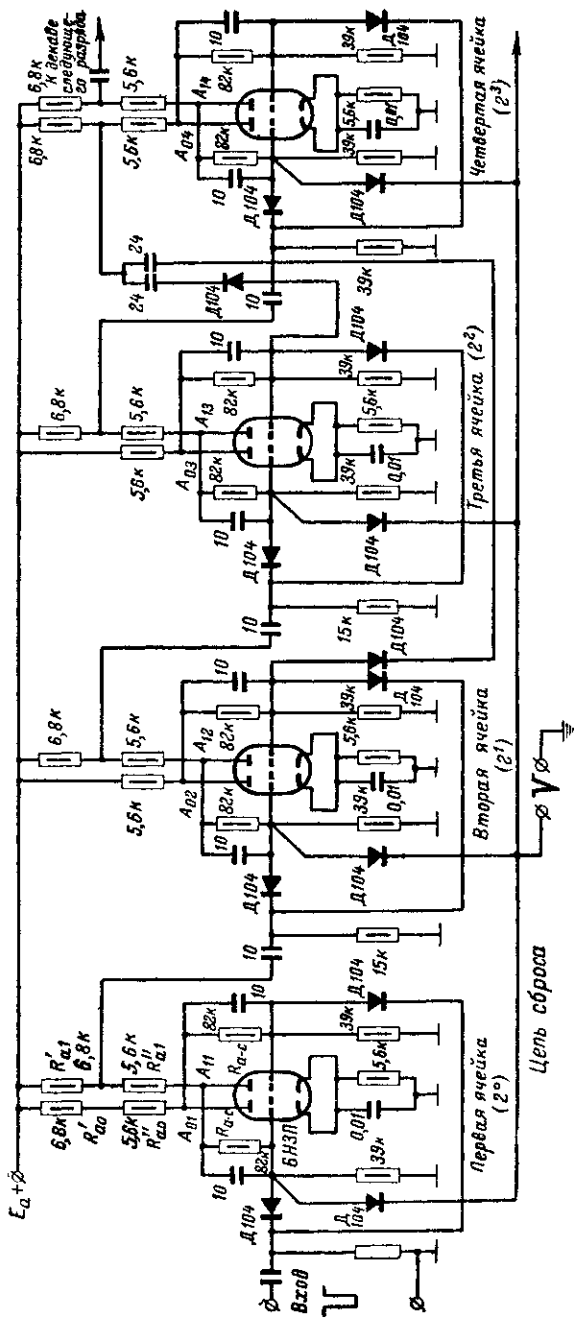
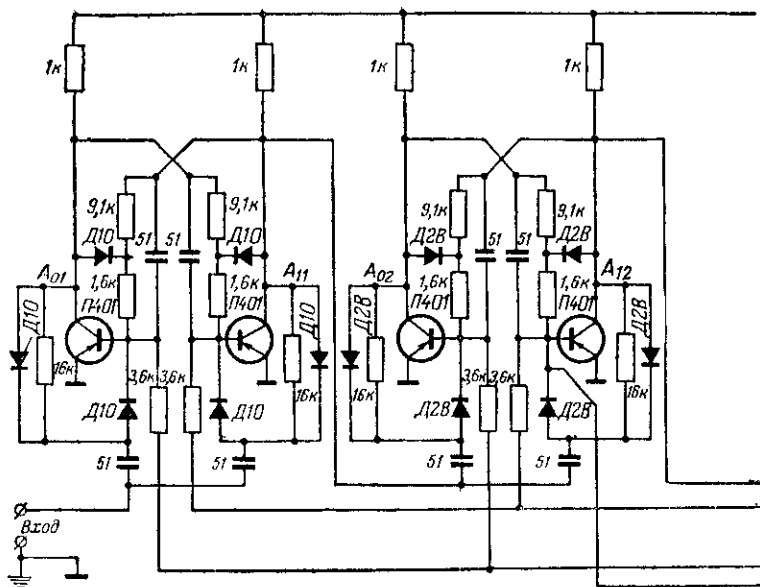


Рис. 26. Счетная декада на электронных лампах.



назначенного для счета импульсов, следующих с частотой 1 Мгц. Предусмотренная в схеме цепь сброса позволяет возвращать все ячейки счетчика в нулевое положение путем подачи отрицательного импульса одновременно на ячейки всех левых (по схеме) триодов ламп триггеров.

Счетчики на транзисторах. Триггерные декады на транзисторах строятся по тому же принципу, что и ламповые. Ячейки обычно представляют собой ненасыщенные транзисторные триггеры со счетным входом. Переключение триггера осуществляется положительным импульсом, подаваемым через диоды одновременно на обе базы.

Быстродействие транзисторного счетчика определяется главным образом характеристиками транзисторов. Применение высокочастотных транзисторов типов П401, П402, П403 и др. в счетчиках, выполненных из обычных ненасыщенных триггеров на двух транзисторах, позволяет получить предельную частоту счета до 3—5 Мгц. Дальнейшее увеличение скорости счета достигается дополнительным введением в схему триггера эмиттерных повторителей и корректирующих индуктивностей.

Транзисторный счетчик, одна декада которого приведена на рис. 27, считает импульсы с частотой следования до 5 Мгц¹. Все триггеры выполнены на транзисторах П401 по схеме со счетным

¹ Колпаков И. Ф., «Приборы и техника эксперимента», 1962, № 6.

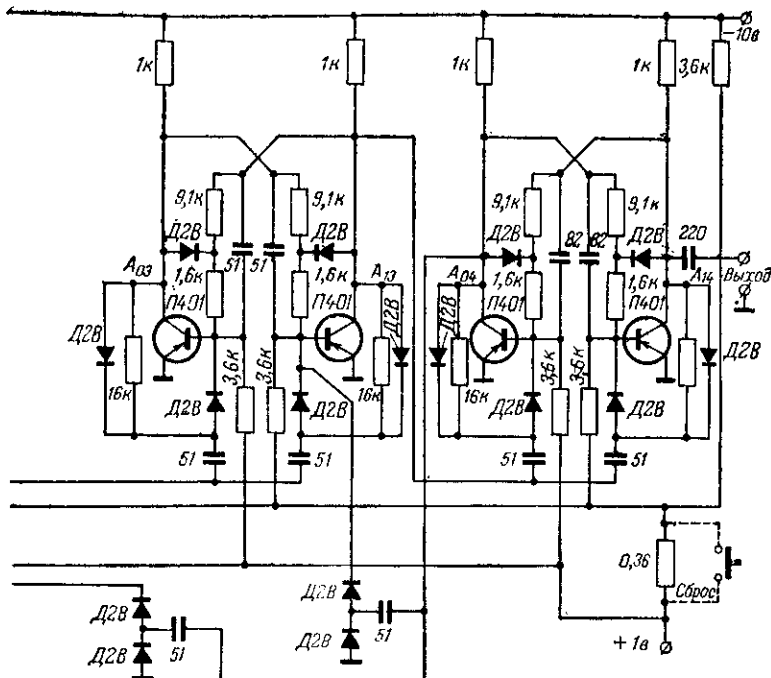


Рис. 27. Счетная декада на транзисторах.

входом (импульсы положительной полярности подаются через диоды на базы обоих транзисторов). Выходные положительные импульсы снимаются с коллекторов транзисторов.

Состояние 0 каждого триггера характеризуется отсутствием тока через левый (по схеме) транзистор и наличием тока в цепи правого, а состояние 1 — отсутствием тока через правый и наличием его через левый.

Принцип действия транзисторной декады не отличается от принципа действия ламповой. До прихода восьмого импульса декада считает, как обычный двоичный счетчик. Восьмой импульс перебрасывает четвертый триггер из положения 0 в положение 1. При этом на коллекторе A_{04} возникает положительный импульс, который подается через цепи обратной связи на базы правых (по схеме) транзисторов второго и третьего триггеров. В результате воздействия импульса обратной связи эти транзисторы, не успев полностью отпереться, снова запираются и, таким образом, второй и третий триггеры оказываются в состоянии 1. Далее, все процессы аналогичны процессам, происходящим в ламповой схеме. Десятый положительный импульс на входе, устанавливая триггеры в положение 0, вызывает появление на выходе A_{14} положительного импульса, который поступает на вход следующей декады.

Кнопка «Сброс» предусмотрена для сброса показаний счетчика на нуль. При нажатии кнопки базы правых транзисторов всех триггеров соединяются с источником смещения плюс 1 в. Когда же кнопка отпускается, базы отключаются от источника 1 в и подключаются через сопротивление 3,6 ком к источнику коллекторного питания минус 10 в. В результате этого все триггеры приходят в состояние 0.

Описанная декада обеспечивает счет до 5 млн. импульсов в секунду с амплитудой более 2,5 в и длительностью более 20 нсек.

Счетчики на туннельных диодах. В последнее время широкое распространение получили счетчики на туннельных диодах. Объясняется это многими достоинствами таких приборов: малыми

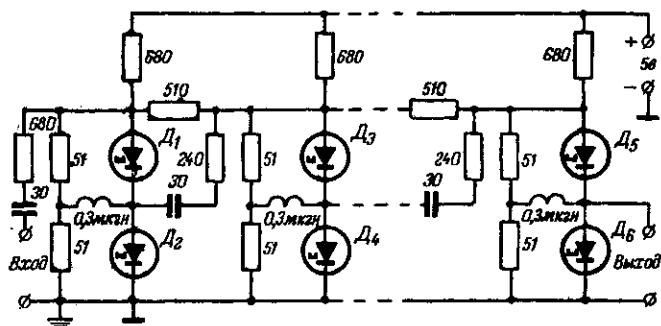


Рис. 28. Пример схемы счетчика на туннельных диодах.

габаритами и весом, малой потребляемой мощностью (в несколько раз меньшей, чем у транзисторов), очень высокими рабочими частотами, устойчивой работой в широком интервале температур (до 400°С), простотой изготовления и др.

Счетчики на туннельных диодах не отличаются по способу выполнения от ламповых и транзисторных. Они образуются последовательным соединением триггерных ячеек (см. стр. 34), переключаемых положительными импульсами.

На рис. 28 приведена схема двоичного счетчика импульсов на туннельных диодах *D* типа Р-2 (гр. Г), позволяющая получить скорость счета до 60 Мгц (авторы В. В. Изох и М. К. Ефимчик). Амплитуда запускающего импульса 50, а выходного 250 мв. Диоды одной и той же ячейки можно считать идентичными, если разброс их величин максимальных токов не превышает $\pm 5\%$.

Другие типы счетчиков. При сравнительно невысоких частотах следования импульсов в качестве счетчиков нередко используют декароны¹ — многокатодные газоразрядные приборы. Схемы на декаронах характеризуются экономичностью, малым ко-

¹ По литературным данным (зарубежным) уже имеются декароны, позволяющие вести счет со скоростью 1 млн. импульсов в секунду.

личеством деталей, надежностью и простотой индикации (хотя последняя не совсем удобна).

Более высокие скорости счета могут быть реализованы с помощью другого вида специальных приборов — трохотронов. Это электронные переключатели, действие которых основано на управлении потоком электронов, движущихся во взаимно-перпендикулярных однородных электрических и магнитных полях по трохойдальным траекториям. Кольцевые трохотроны позволяют вести счет с частотой до 5 Мгц.

11. УСТРОЙСТВА ЦИФРОВОГО ОТСЧЕТА СЧЕТЧИКОВ

Цифровые индикаторы. Для индикации результатов счета служит устройство цифрового отсчета. В его состав входят цифровые индикаторы и дешифраторы. В современных измерительных приборах применяются разнообразные цифровые индикаторы. Рассмотрим некоторые из них.

Световое табло. Оно состоит из колонок маленьких неоновых ламп или ламп накаливания, размещенных в продолговатых пазах в передней панели прибора, количество которых равно числу декад счетчика. В каждый паз вставлена пластинка,

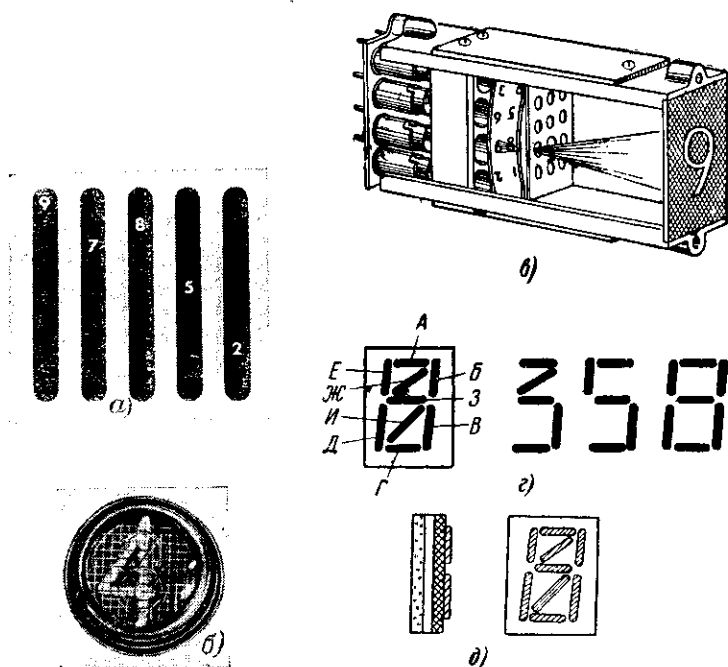


Рис. 29. Примеры устройств цифрового отсчета.