

Асинхронный реверсивный счетчик. В таких счетчиках предусмотрена возможность работы в двух режимах: сложения и вычитания.

На рис. 15.7 представлена схема реверсивного счетчика, а на рис. 15.8 — диаграмма его работы. Сигналы с выходов Q и \bar{Q} триггеров управляют прохождением импульсов (+1 или -1) счета от двух источников в зависимости от режима работы.

Управление режимом работы счетчика осуществляется сигналами, поданными на вход «Режим». При сложении на вход подается лог. 0, а при вычитании — лог. 1. Именно эти сигналы управляют прохождением импульсов счета через входные ключи $DD2$ или $DD3$, затем через $DD6$, $DD8$, $DD10$ в режимах сложения или вычитания. При этом прохождение импульсов счета в более старшие разряды будет зависеть от сочетания управляющих сигналов Q или \bar{Q} младших разрядов счетчика. Так, например, при сложении импульс счета поступит на вход триггера третьего разряда только при условии, что перед этим триггеры первого и второго разрядов будут находиться в единичном состоянии (число $3_{(10)} = 11_{(2)}$). Аналогично при вычитании импульс счета поступит на вход триггера третьего разряда, только когда триггеры первого и второго разрядов будут находиться в нулевом состоянии.

Основным преимуществом асинхронных счетчиков является простота построения, а основным недостатком — сравнительно низкое быстродействие, которое обусловлено накапливаемой задержкой распространения импульсов счета от разряда к разряду (рис. 15.9).

Необходимо иметь в виду, что при высокой частоте следования импульсов счета возможно получение ложного результата.

Синхронные счетчики

По сравнению с асинхронными счетчиками синхронные обладают большим быстродействием. В синхронных счетчиках импульсы счета поступают одновременно на триггеры всех разрядов, но реакция триггеров на них будет разная. При построении таких счетчиков анализируются случаи возможного изменения состояния триггеров старших разрядов в зависимости от состояния младших разрядов. Так, триггер третьего разряда может изменить свое состояние с приходом четвертого импульса счета, только когда перед его приходом триггеры первого и второго разрядов находятся в единичном состоянии (число $3 = 11_{(2)}$). Состояние триггера четвертого разряда меняется с приходом восьмого импульса счета, когда перед его приходом триггеры первого, второго, третьего разрядов находятся в единичном состоянии (число $7 = 111_{(2)}$). К этим моментам времени триггеры третьего и четвертого разрядов необходимо подготовить для работы в счетном режиме, в остальных случаях они должны находиться в режиме хранения. Для этой цели в схему счетчика вводятся дополнительные логические элементы И, на которых отслеживается момент совпадения единиц соответствующих разрядов. Выходной сигнал с них используется для организации счетного режима и режима хранения для Т-триггера.

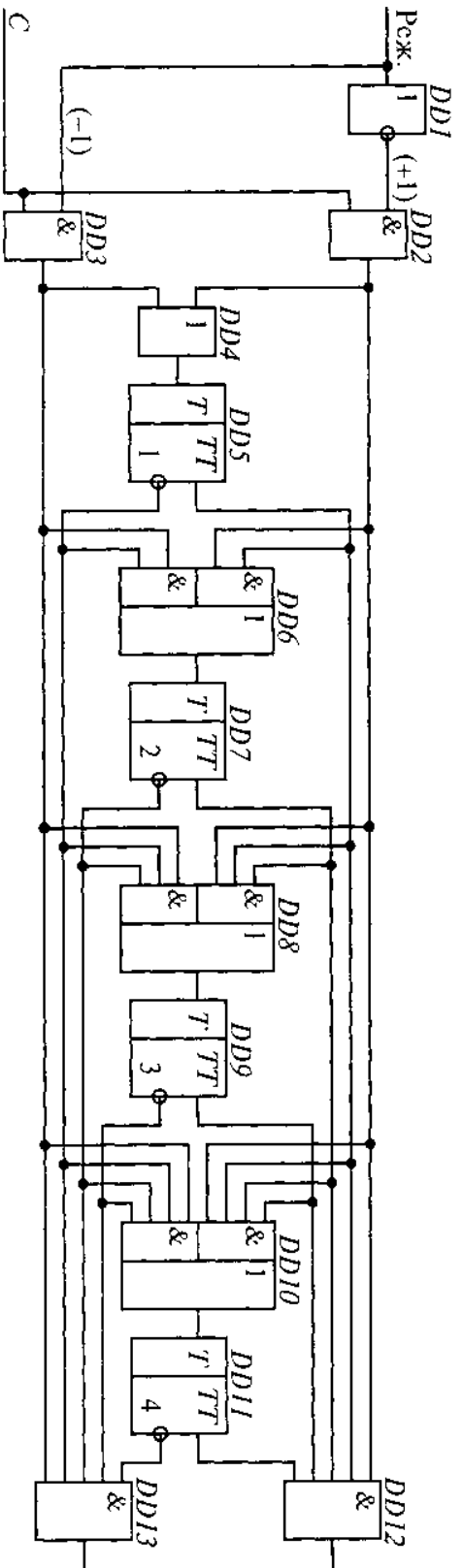


Рис. 15.7

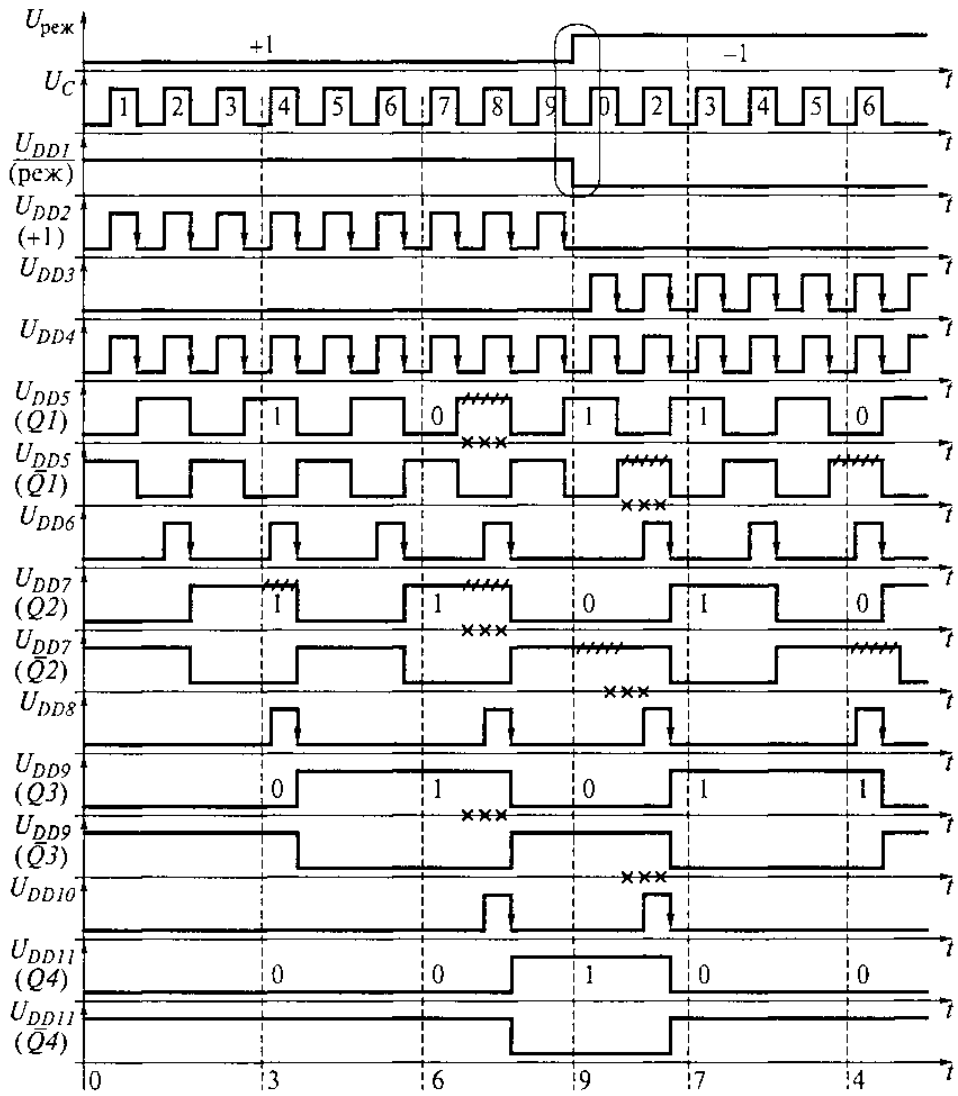


Рис. 15.8

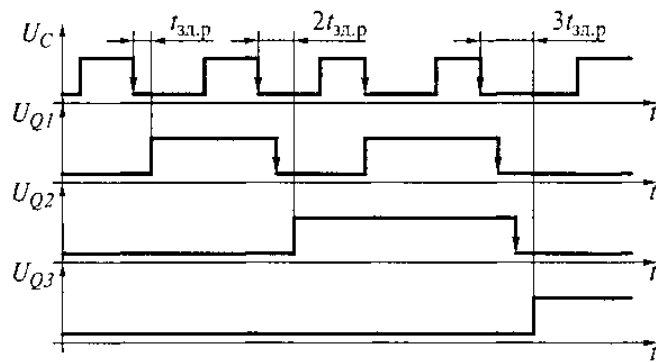


Рис. 15.9

Счетчик со сквозным переносом. Схема такого счетчика представлена на рис. 15.10, а диаграмма его работы — на рис. 15.11.

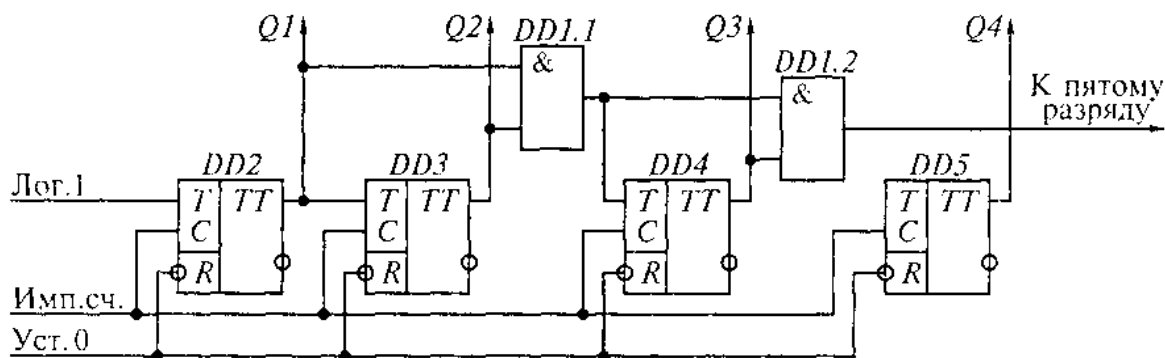


Рис. 15.10

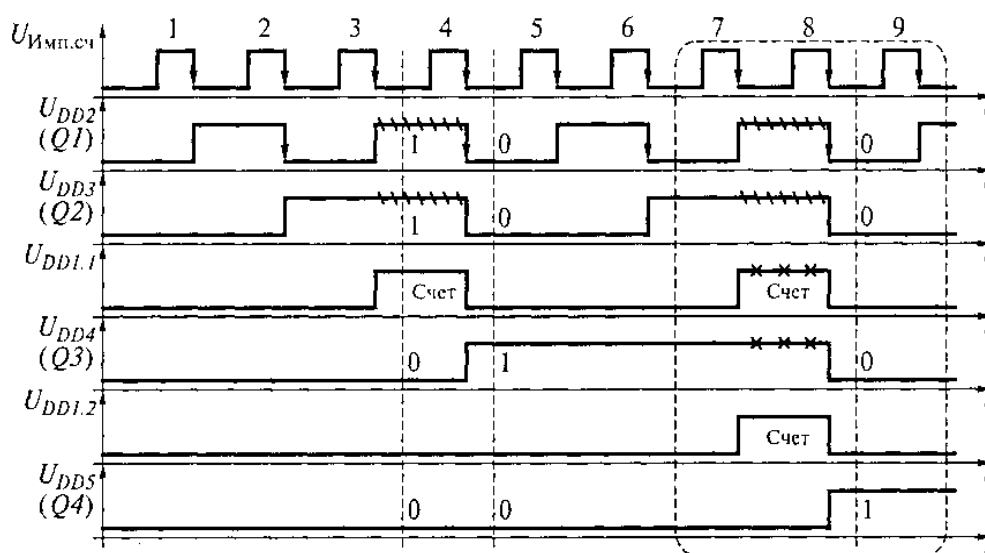


Рис. 15.11

Схема состоит из триггеров и дополнительных логических элементов И ($DD1.1$ и $DD1.2$), которые определяют режимы работы Т-триггеров третьего и четвертого разрядов. С их помощью осуществляется дешифрация первого и второго разрядов; первого, второго с третьим разрядов.

Триггер первого разряда постоянно работает в счетном режиме. Состояние триггера второго разряда зависит от значения сигнала на выходе Q триггера первого разряда к моменту прихода импульса счета. Состояние триггеров третьего и четвертого разрядов определяется логическими элементами И.

На рис. 15.12 представлен фрагмент диаграммы работы данного счетчика с учетом временных задержек на логических элементах И и задержек переключения триггеров.

Из графика видно, что формирование управляющих сигналов на выходе схем И идет с нарастанием задержки распространения переноса от одного разряда к другому. Поэтому при увеличении разрядности счетчика эта задержка может превысить время поступления очередного импульса счета. К этому моменту времени определенные входы

T-триггеров должны быть уже подготовлены к счетному режиму работы. Следовательно, должно выполняться условие

$$f_{\max} = \frac{1}{(n-2)t_{л.э} + t_{зл.п}},$$

где f_{\max} — максимальная частота поступления импульсов счета; n — количество разрядов счетчика; $t_{л.э}$ — задержка реакции логического элемента И; $t_{зл.п}$ — задержка переключения триггера первого разряда.

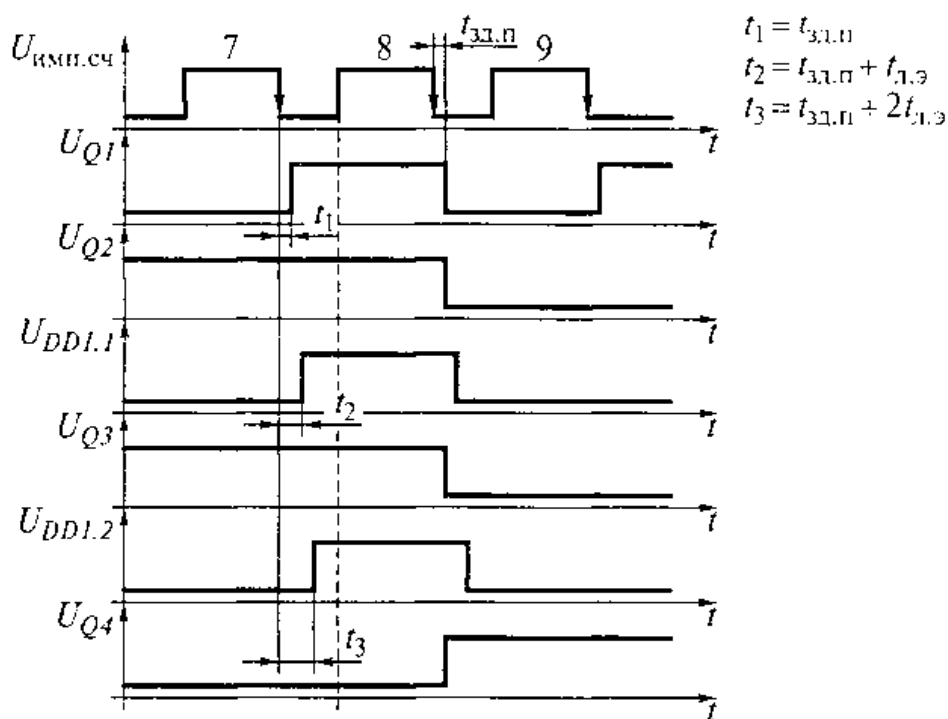


Рис. 15.12

Из диаграммы видно, что каждый последующий логический элемент отслеживает задержки, накопленные предыдущими логическими элементами. Соответственно с увеличением разрядности числа эта величина может быть значительной. Снизить накопление задержек удалось в схеме счетчика с параллельным переносом.

Счетчик с параллельным переносом. Схема этого счетчика представлена на рис. 15.13, а диаграмма его работы — на рис. 15.14. В отличие от счетчика со сквозным переносом в рассматриваемой схеме на логических элементах И ($DD1$, $DD2$, $DD3$) осуществляется дешифрация — выявление возможного состояния триггера старшего разряда путем анализа всех младших разрядов. На входы этих схем соответственно подаются сигналы с выходов: первого, второго разрядов; первого, второго, третьего разрядов; первого, второго, третьего и четвертого разрядов.

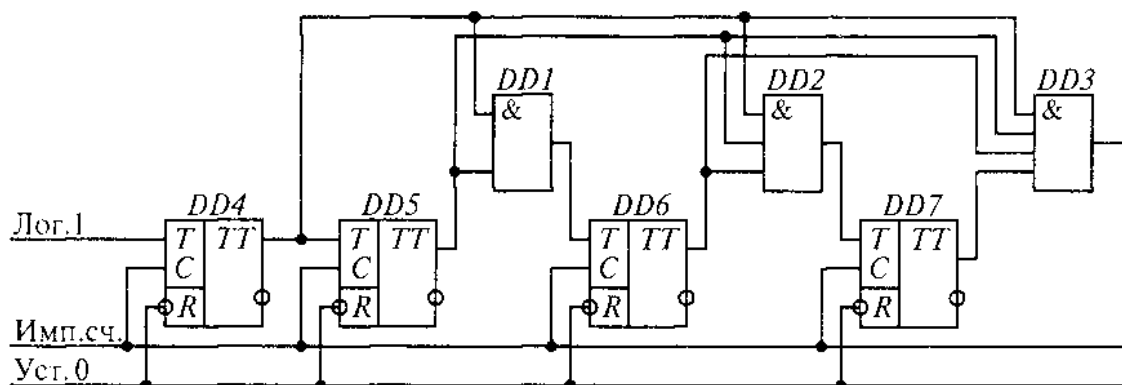


Рис. 15.13

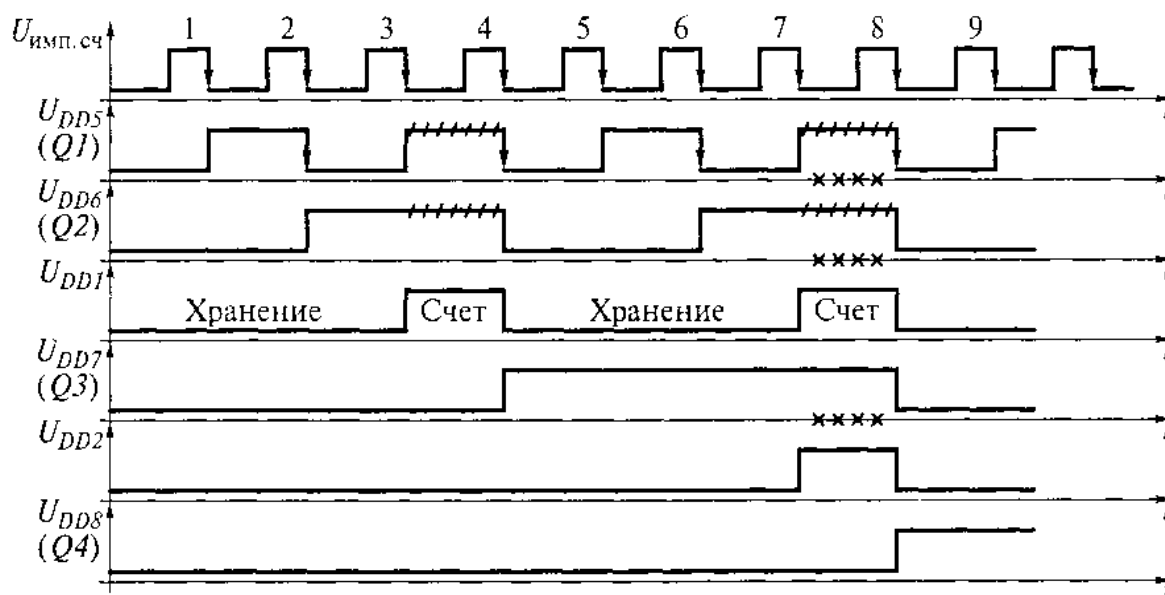


Рис. 15.14

Из-за отсутствия межразрядных связей между логическими элементами удается снизить задержки реакции логических элементов. В этом случае максимальная частота поступления импульсов счета определяется по формуле

$$f_{\max} = \frac{1}{t_{\text{д.э.}} + t_{\text{зл.п.}}}$$

Схема счетчика с параллельным переносом может быть упрощена, если вместо отдельных логических элементов И воспользоваться дополнительной логикой JK-триггеров. Особенностью JK-триггеров в схеме на рис. 5.15 является наличие у них нескольких (1... 3) входов J и K, связанных операцией И.

На рис. 15.16 приведена диаграмма работы такого счетчика. Логические элементы DD5 и DD6 в нем используются для формирования внешних, межсхемных переносов.

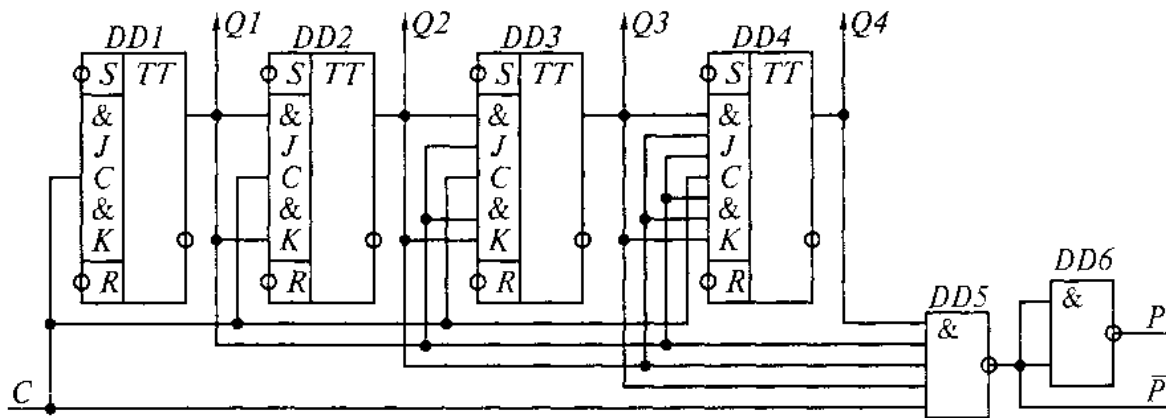


Рис. 15.15

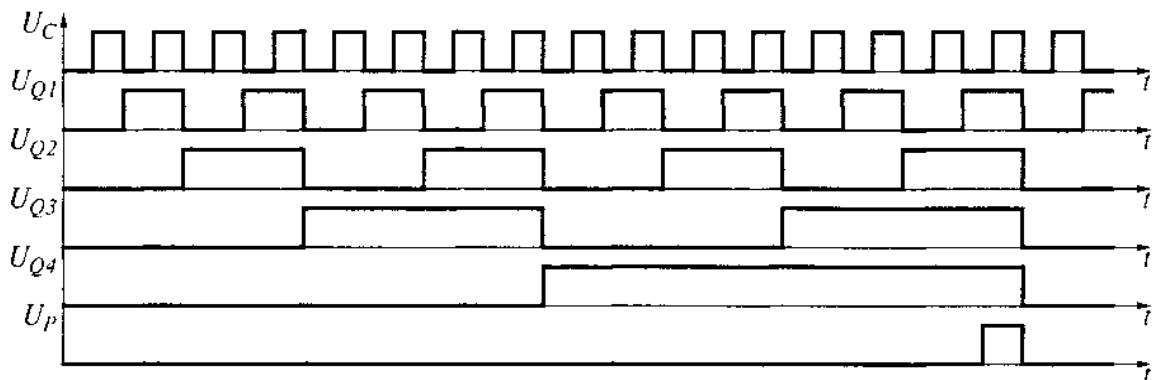


Рис. 15.16

Счетчик с групповым переносом. В рассмотренной схеме счетчика с параллельным переносом на основе JK-триггера число входов J и K триггера ограничено, а следовательно, число разрядов, образующих группу разрядов, такого счетчика также ограничено. Поэтому при создании счетчиков на большее количество разрядов используют дополнительные логические элементы для формирования межгрупповых переносов (P). На рис. 15.15 это логические элементы DD5 и DD6. Если такие вспомогательные схемы находятся внутри микросхемы, то дополнительные внешние логические схемы не применяются.

На рис. 15.17 приведен пример организации счетчика с групповым переносом, в котором перенос внутри микросхемы формируется параллельно для всех разрядов, а между микросхемами — последовательно.

Реверсивный счетчик с параллельным переносом. На рис. 15.18 показан пример построения синхронного реверсивного счетчика с параллельным переносом.

Принцип организации реверсивного режима осуществляется с использованием ключей И-ИЛИ-НЕ, с помощью которых на триггеры старших разрядов поступают сигналы с выходов Q или \bar{Q} всех младших разрядов. Значение сигнала на входе V («Режим») управляет работой этих ключей.

На рис. 15.19 приведен фрагмент диаграммы работы этого счетчика в реверсивном режиме для триггеров первого и второго разрядов.

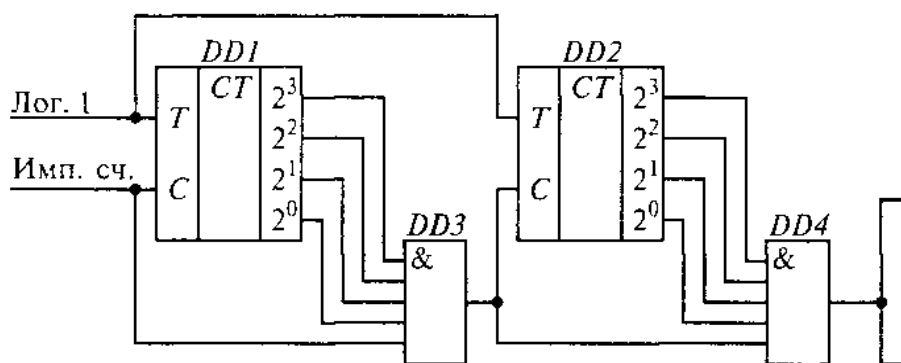


Рис. 15.17

Схема счетчика в интегральном исполнении. На рис. 15.20 представлена довольно сложная схема счетчика ИЕ7. Остановимся на возможностях схемы. Режим работы будет выбран в зависимости от того, на какой из входов (+1) или (-1) подаются импульсы счета.

Предварительная установка триггеров счетчика может быть различной. Установка триггеров в нулевое состояние производится по входу R . Кроме того, возможна предварительная запись любого числа, ограниченного разрядностью счетчика. Для этой цели используются информационные входы $D1, D2, D4, D8$. В любом режиме предварительной записи необходимо наличие инверсного сигнала \bar{C} . Активные парафазные сигналы проходят через схемы ЗИ-НЕ и 2И-НЕ на входы R и S JK-триггеров.

Реверсивный режим работы счетчика обеспечивается логическими ключами И-ИЛИ-НЕ, на каждый из которых приходят сигналы с выходов Q или \bar{Q} младших разрядов и соответствующие режиму импульсы счета (+1) или (-1). Для построения счетчика с большей разрядностью используются выходы прямого и обратного переноса. С выхода прямого переноса импульсы переноса подаются на вход прямого счета (+1), а импульсы обратного переноса подаются на вход обратного счета (-1) следующей микросхемы. На рис. 15.21 представлена диаграмма работы рассматриваемого счетчика в режимах прямого и обратного счета с предварительной записью числа 13.

На рис. 15.22, а дано условное графическое обозначение, а на рис. 15.22, б показан пример организации многоразрядного счетчика, предназначенного для работы в реверсивном режиме.

В условном графическом обозначении показаны выходы « ≥ 15 », « ≤ 0 » для организации счетчиков большей разрядности. При построении счетчиков прямого или обратного счета необходимо объединить выходы « ≥ 15 » и « ≤ 0 » с входами (+1) и (-1) соответственно.

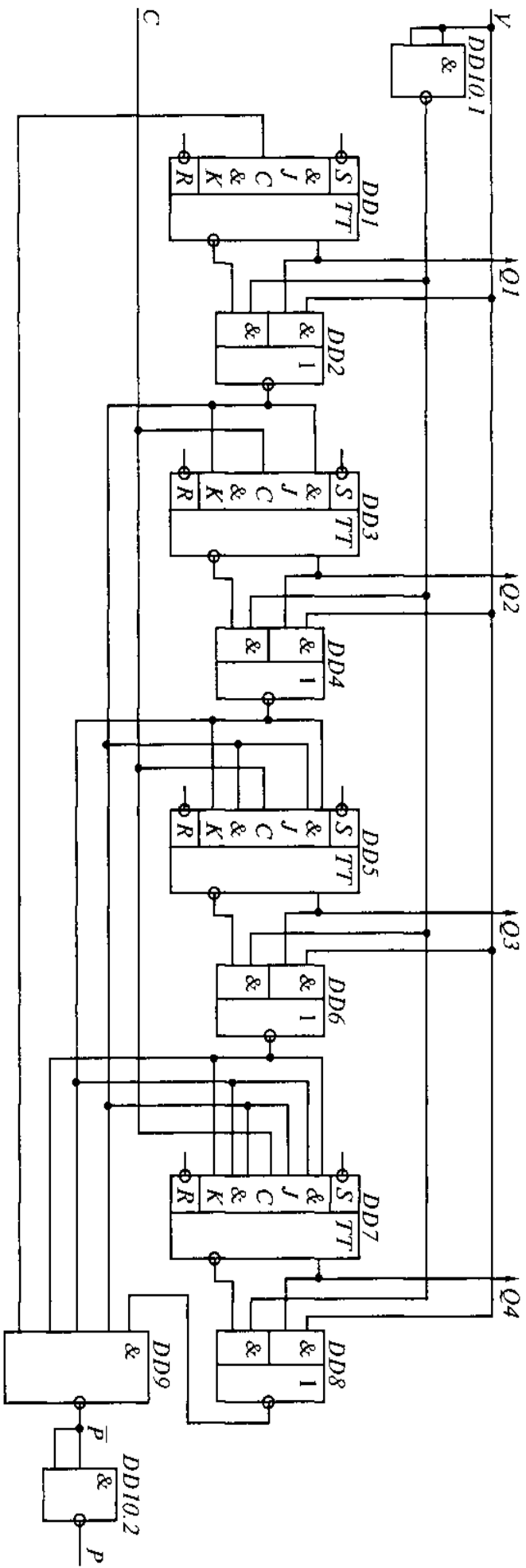


Рис. 15.18

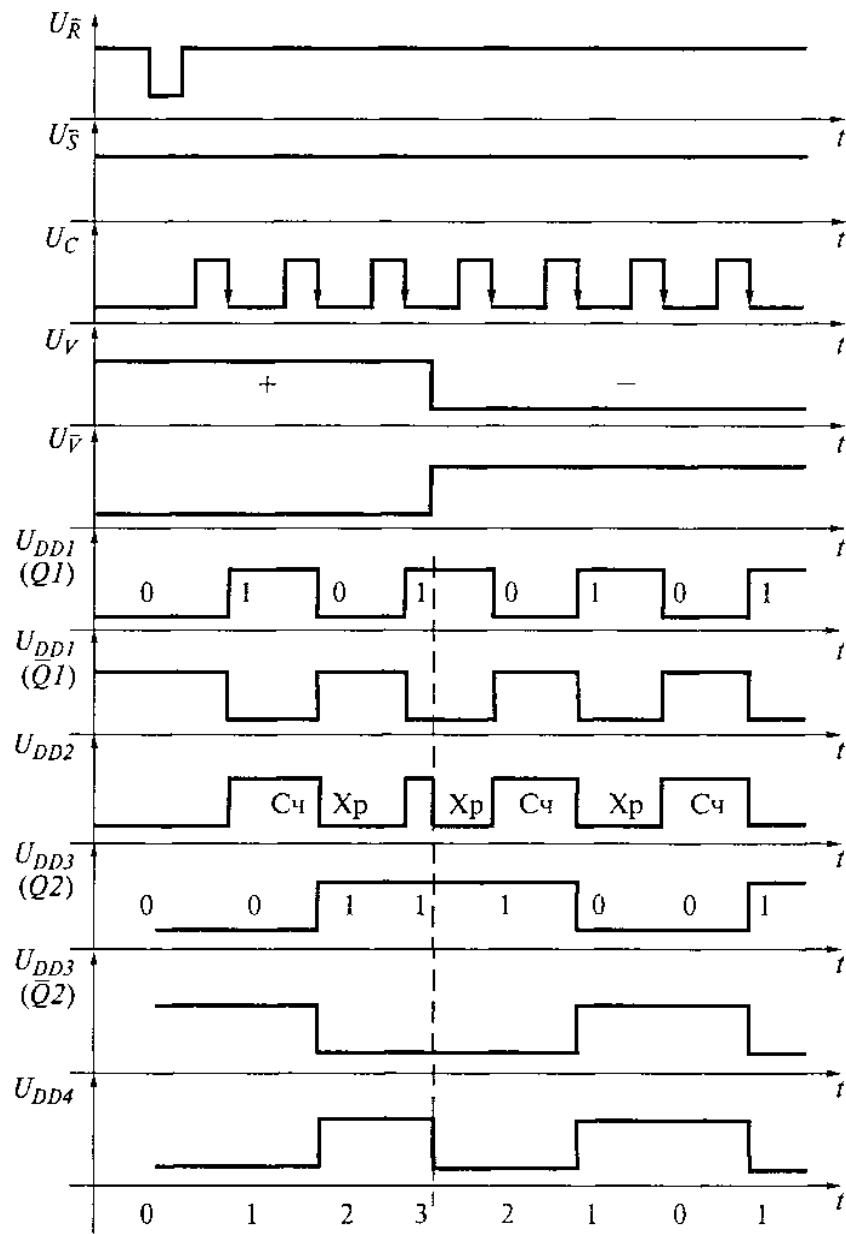


Рис. 15.19

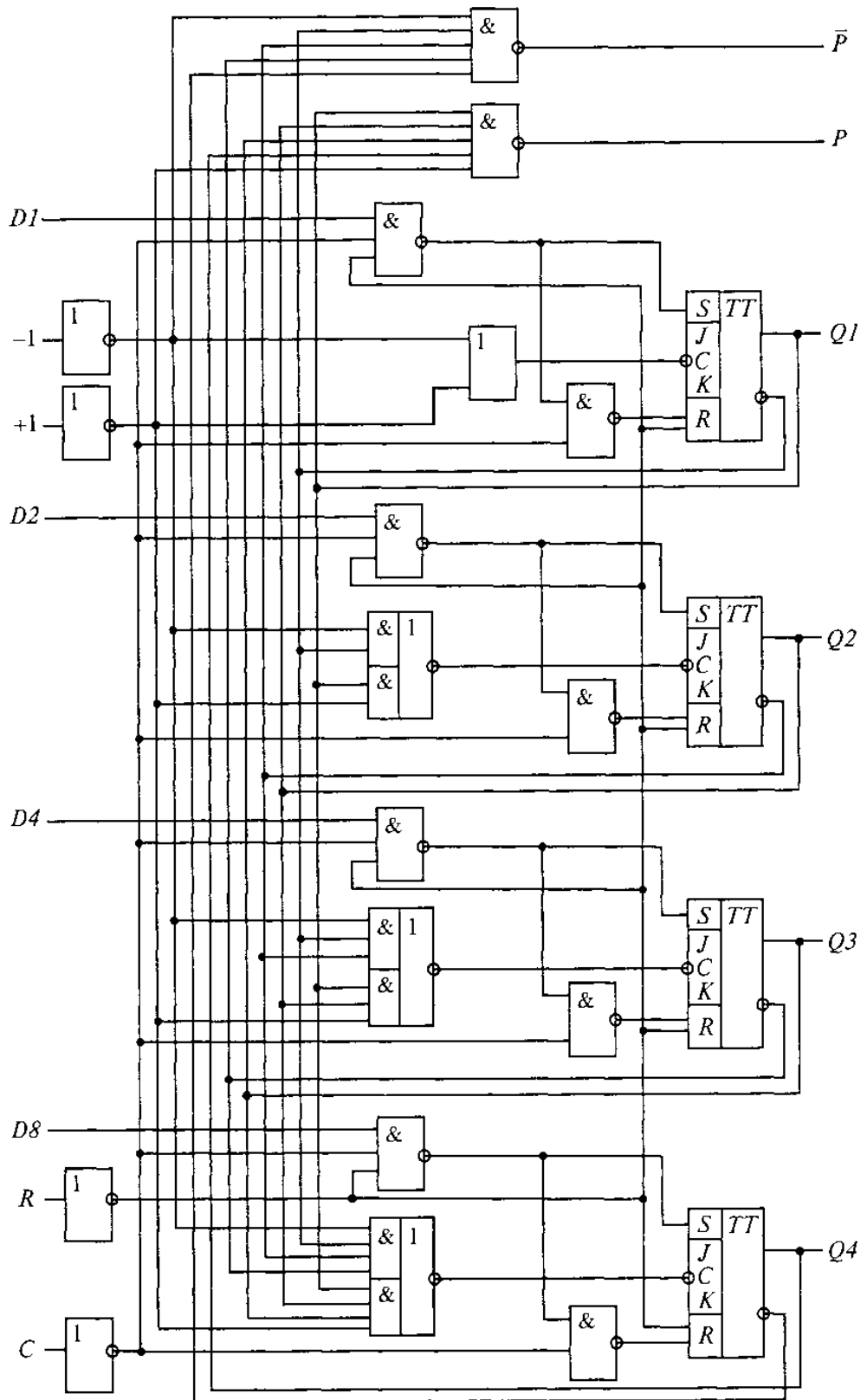


Рис. 15.20

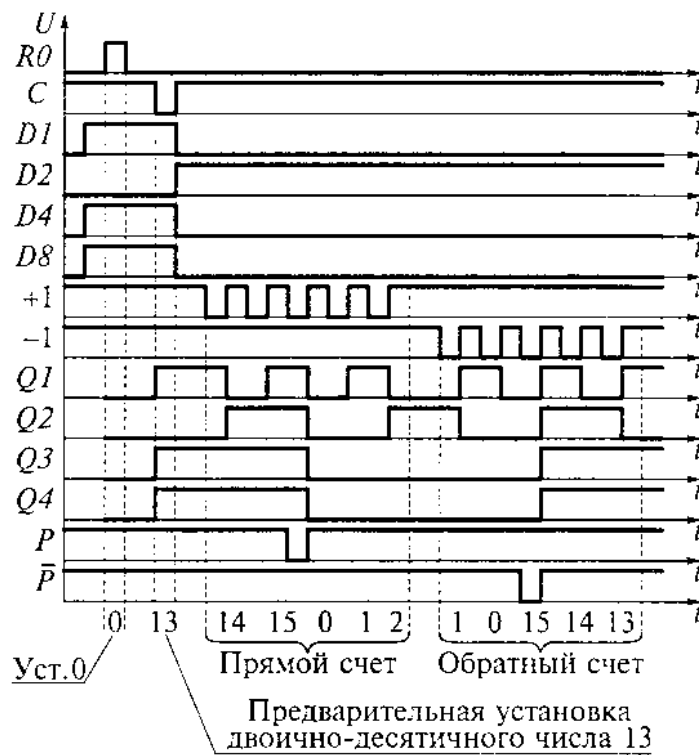
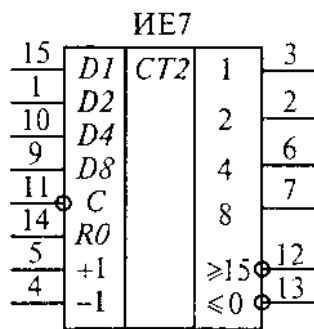
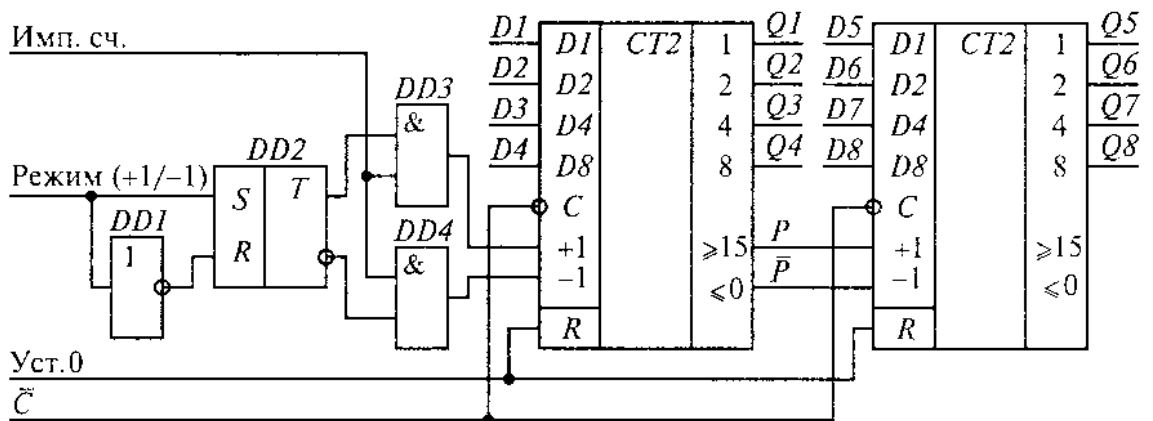


Рис. 15.21



а



б

Рис. 15.22

Счетчики с произвольным коэффициентом пересчета

В ранее рассмотренных схемах счетчиков коэффициент пересчета K был кратен 2^n , где n — количество разрядов счетчика. Рассмотрим схемы счетчиков, в которых может производиться подсчет произвольного количества единиц информации, не кратный 2^n . На рис. 15.23 приведена классификация счетчиков с произвольным коэффициентом пересчета.

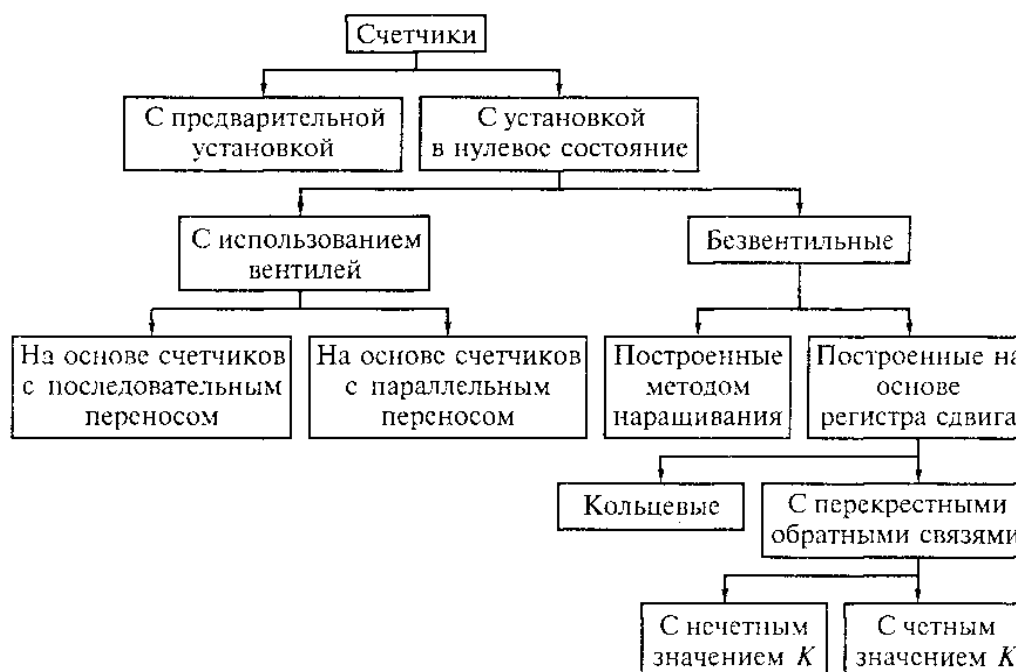


Рис. 15.23

В основном схемы счетчиков строятся таким образом, что по достижении требуемого коэффициента пересчета их триггеры устанавливаются в нулевое состояние. Это может быть достигнуто различными способами. Вопрос состоит в том, как и в какой момент времени исключить лишние состояния в счетчике. Исключение можно выполнить перед началом счета или по его окончанию. В первом случае в исходном состоянии в счетчике формируется число, соответствующее избытку, после чего осуществляется последовательный естественный счет. Во втором случае исключаются последние избыточные состояния, т.е. при определенном $K \neq 2^n$ счетчик устанавливается в нулевое состояние. Такой способ позволяет сохранить естественный порядок счета, начиная с нулевого до необходимого.

Счетчики с произвольным коэффициентом пересчета могут быть построены на основе ранее рассмотренных схем счетчиков с использованием различных способов. Счетчики, построенные на базе синхронных счетчиков со сквозным и параллельным переносом, сохраняют естественный порядок счета, в остальных случаях порядок счета нарушается. Исключение составляют счетчики, построенные методом наращивания на основе синхронного счетчика прямого счета с малым K .

Рассмотрим счетчики на основе регистра сдвига.

Кольцевые счетчики. Простейшим счетчиком на основе регистра сдвига является кольцевой, у которого выходы триггера старшего разряда соединены с входами триггера младшего разряда, образуя кольцо. При этом сдвигаемое в кольце число содержит всего одну единицу. Коэффициент пересчета равен количеству используемых в нем триггеров. Так, для построения декадного счетчика ($K=10$) необходимо 10 триггеров. Схема строится таким образом, что продвижение единицы можно проследить по выходам Q счетчика. Номер выхода показывает, какой по счету импульс счета поступил на вход. На рис. 15.24 приведена схема счетчика с $K=5$, а на рис. 15.25 — диаграмма работы такого счетчика.

Схема представляет собой пятиразрядный регистр на JK - триггерах. Перед началом счета триггер $DD1$ устанавливается в состояние, соответствующее лог. 1, а триггеры $DD2...DD5$ — в нулевое состояние с помощью сигнала «Установка 0». Далее с приходом импульсов счета лог. 1 продвигается из разряда в разряд.

Кольцевой счетчик очень прост в построении, но не нашел широкого применения из-за большого количества триггеров и сложности обнаружения ошибки в случае сбоя в схеме.

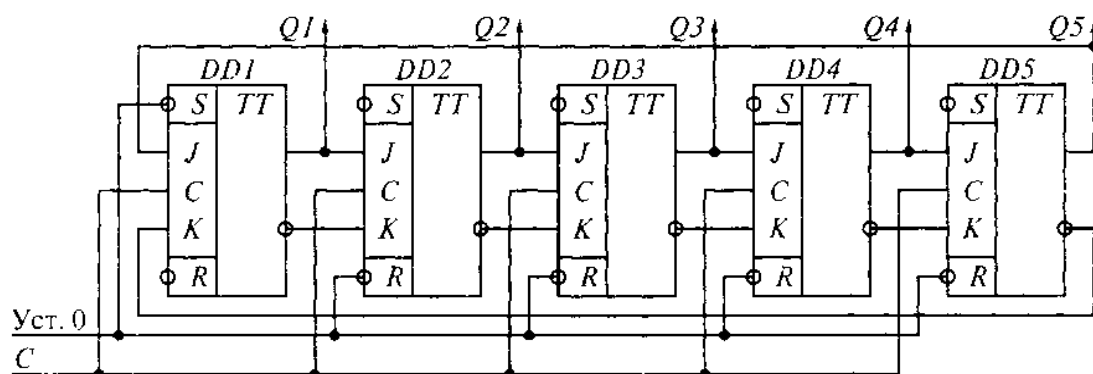


Рис. 15.24

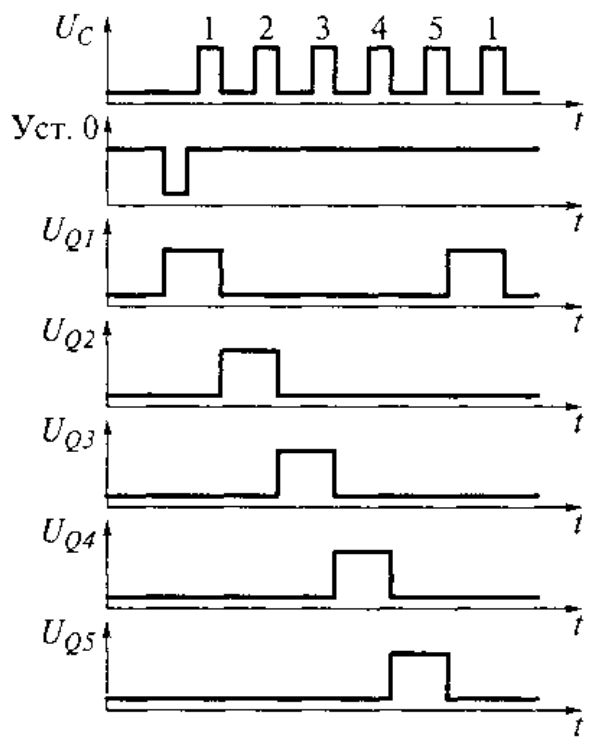


Рис. 15.25

Счетчики с перекрестными обратными связями (безвентильные счетчики Джонсона). В зависимости от организации обратных связей такие счетчики могут иметь как четный, так и нечетный коэффициент счета.

Счетчик Джонсона, имеющий четный коэффициент счета, представляет собой кольцевой регистр сдвига с перекрестными обратными связями, т.е. связями с выходов Q и \bar{Q} триггера старшего разряда на информационные входы K и J (или R и S) триггера младшего разряда соответственно. В основе его работы лежит последовательный сдвиг циркулирующей в регистре информации. Количество триггеров n , используемое в схеме, равно $K/2$. Следовательно, можно организовать счетчики с K , равным 4, 6, 8, 10 и т.д. На рис. 15.26 приведена схема счетчика Джонсона с $K = 6$, а на рис. 15.27 — диаграмма его работы. Схема состоит из трех ($n = K/2$) триггеров, соответствующих трем разрядам регистра сдвига. Обратные связи заводятся с выходов Q и \bar{Q} старшего разряда на входы R и S триггера младшего разряда соответственно. После установки всех триггеров в нулевое состояние на входе триггера первого разряда появится лог. 1, которая с каждым импульсом счета будет передаваться следующему триггеру до заполнения всех разрядов единицами. Далее за счет обратных связей в следующем цикле пойдет волна нулей и т.д. Наглядно это видно из таблицы истинности. По достижении требуемого значения K с выходов триггеров всех разрядов снимаются нули.

Схема $DD4$ используется для выделения каждого шестого импульса. Для организации связей с этой схемой анализируется состояние триггеров перед приходом шестого импульса и с выходов, находящихся в единичном состоянии, заводятся

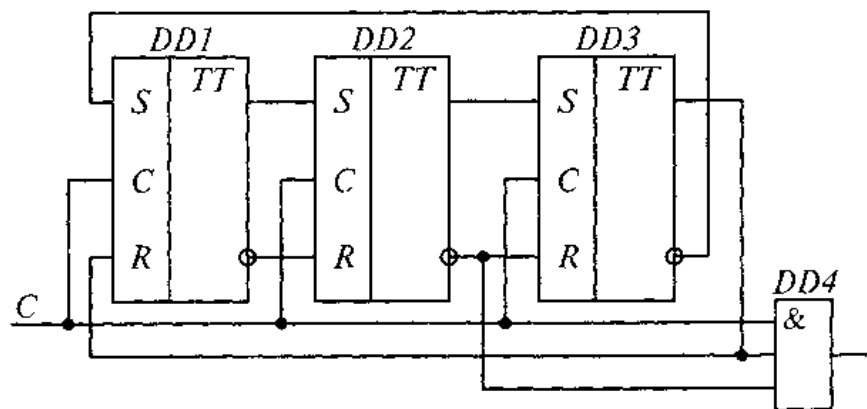


Рис. 15.26

управляющие сигналы на вход логического элемента, обеспечивая тем самым прохождение нужного импульса.

В счетчиках Джонсона с нечетным коэффициентом счета обратные связи заводятся с выходов \bar{Q} триггера старшего разряда и с выхода Q триггера предпоследнего разряда. В этом случае распространение по счетчику лог. 0 начнется после прихода единицы на предпоследний триггер, т.е. на один такт раньше. Коэффициент счета данного счетчика вычисляется как $K = 2(n - 1)$. Используя этот способ построения можно организовать подсчет 3, 5, 7 импульсов и т.д. На рис. 15.28 приведен пример организации подобного счетчика с $K = 5$, а на рис. 15.29 — диаграмма, поясняющая работу схемы. Число триггеров должно обеспечивать количество состояний, которое больше значения $K = 5$. В данном случае используются три триггера, обеспечивающих шесть состояний ($2 \cdot 3 = 6$). Исключение лишнего состояния происходит за счет несимметричной обратной связи, в результате чего перед третьим импульсом счета триггер первого разряда переходит в счетный режим. Таким образом, после третьего импульса ситуация меняется (вместо наличия во всех разрядах единиц в первом разряде появляется нуль), подготавливая на один такт раньше волну нулей (соответственно в следующей нулевой волне на один такт раньше будет подготовлена волна единиц).

Счетчик на основе регистра с использованием вентилей. Принцип организации сдвига информации, рассмотренный ранее, можно реализовать с использованием вентилей. Пример такого счетчика с $K = 5$ приведен на рис. 15.30, а на рис. 15.31 показана диаграмма, поясняющая работу схемы. Как и в предыдущей схеме, распространение нулей здесь начинается на один такт раньше. Но в данном случае обратные связи заводятся с триггеров двух старших разрядов (\bar{Q}_2 и \bar{Q}_3) на дополнительный элемент 2И-НЕ ($DD1$), сигнал с которого подается на вход K младшего разряда и через инвертор на вход J этого же разряда.

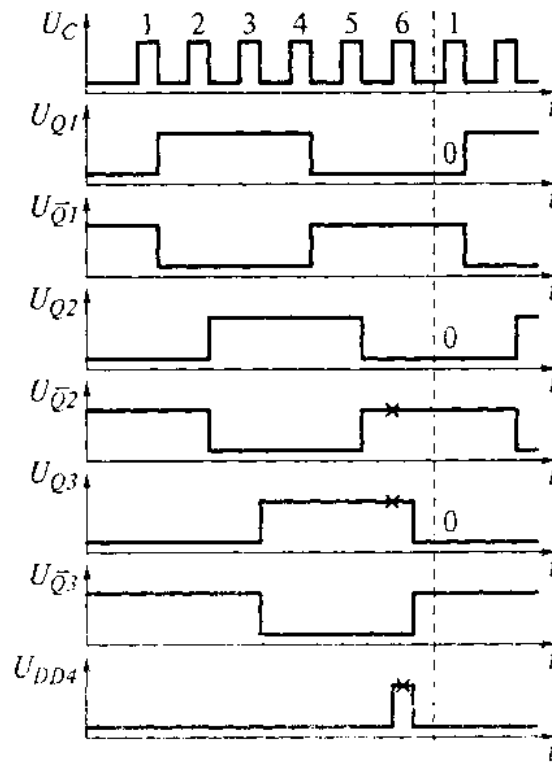


Таблица 15.1

Состояние счетчика	$Q1$	$Q2$	$Q3$
0	0	0	0
1	1	0	0
2	1	1	0
3	1	1	1
4	0	1	1
5	0	0	1

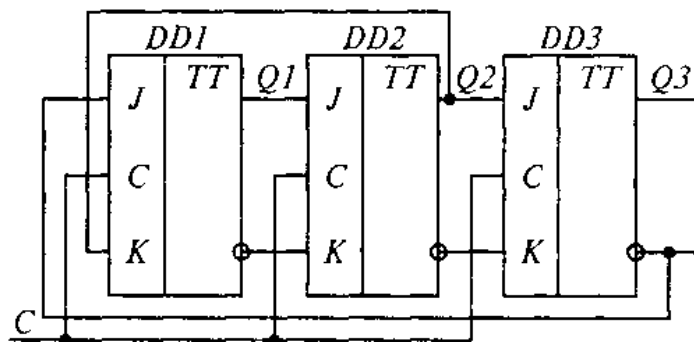


Рис. 15.28

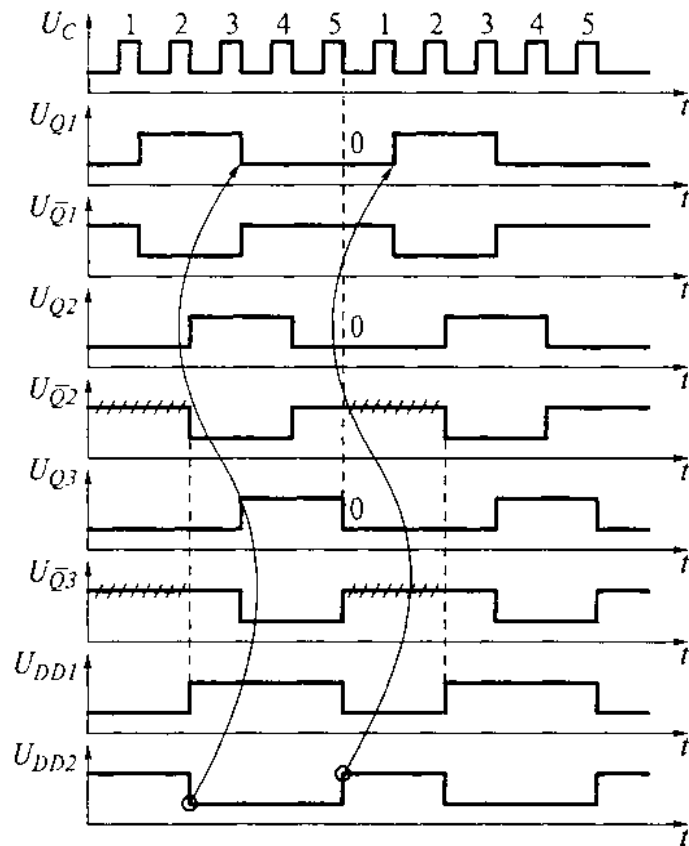


Рис. 15.31

Схемы на основе счетчиков с последовательным переносом в интегральном исполнении. Широкое применение на практике находят схемы, построенные на основе счетчиков с последовательным переносом, в которых введена обратная связь для исключения лишних состояний. Такой счетчик работает в режиме прямого или обратного счета до некоторого состояния, задаваемого коэффициентом K , которое дешифрируется (выделяется) на логическом элементе И, о чем свидетельствует появление сигнала на его выходе, а затем с помощью обратных связей подается на входы \bar{R} триггеров счетчиков. На рис. 15.32 представлена схема организации счетчика с $K = 10$ на основе интегральной схемы ИЕ5, в которой уже предусмотрено наличие логического элемента И. На рис. 15.33 представлена диаграмма работы такого счетчика.

На рис. 15.34 даны условные графические обозначения трех видов счетчиков.

Схемы на основе счетчиков с параллельным переносом. В таких счетчиках перед приходом последнего импульса счета, соответствующего заданному коэффициенту счета, выявляются разряды триггеров, которые должны были бы перейти в единичное состояние. Именно на входы J этих триггеров заводится обратная связь с выхода \bar{Q} старшего разряда. Таким образом осуществляется подготовка их к приходу последнего импульса счета, в результате которого все триггеры счетчика устанавливаются в нулевое состояние, что свидетельствует о достижении требуемого коэффициента счета. После этого подсчет импульсов возобновляется.

На рис. 15.35 приведен пример организации счетчика с $K=10$, а на рис. 15.36 — диаграмма работы такой схемы.

Безвентильные счетчики, построенные методом наращивания. Среди безвентильных счетчиков нашли широкое применение наращиваемые счетчики, строящиеся на основе базовой схемы, с помощью которой формируется коэффициент счета:

$$K = 2^n + 1.$$

Эта схема может быть использована также в качестве самостоятельного счетчика, коэффициент пересчета которого отличается от $K = 2^n$ на единицу.

Построение таких схем подчиняется следующим правилам.

Схема состоит из основного счетчика с $K=2^n$, на выходе которого устанавливается дополнительный триггер, с помощью которого осуществляется добавление единицы (рис. 15.37).

Основной счетчик можно организовать как по схеме асинхронного счетчика сложения, так и по схеме асинхронного счетчика вычитания. В первом случае естественный порядок счета сохраняется, но на таких схемах можно реализовать лишь счетчики с малым коэффициентом пересчета. Для второго случая таких ограничений нет, но при этом порядок счета будет непоследовательным.

Дополнительный триггер подсоединяется к выходу Q триггера старшего разряда основного счетчика.

С выхода \bar{Q} дополнительного триггера заводится обратная связь на вход J триггера первого разряда.

О достижении необходимого коэффициента судят по одновременному нулевому состоянию всех триггеров.

На рис. 15.38 представлен пример построения счетчиков для $K=5$.

Для случаев, когда коэффициент счета K не соответствует формуле $(2^n + 1)$, например для чисел 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15 и т.д., организация счетчиков сводится к наращиванию базовой схемы $K = 2^n + 1$. В этом случае коэффициент пересчета определяется по одной из следующих формул:

$$K=(2^n + 1)2^p, \quad \text{для } K = 6, 10, 12; \quad (15.1)$$

$$K=(2^n + 1)2^p + 1, \quad \text{для } K = 7, 11, 13; \quad (15.2)$$

$$K=[(2^n + 1)2^p + 1] 2^m, \quad \text{для } K = 14, 22; \quad (15.3)$$

$$K=[(2^n + 1)2^p + 1] 2^m + 1, \quad \text{для } K = 15, 23, \quad (15.4)$$

где n — степень для базовой схемы; m, p — степени для наращиваемых схем.

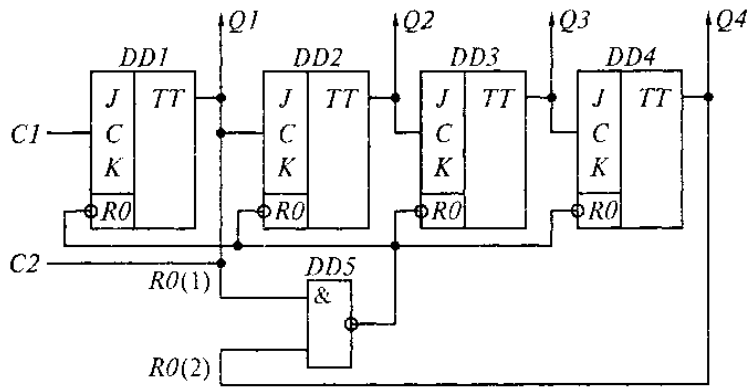


Рис. 15.32

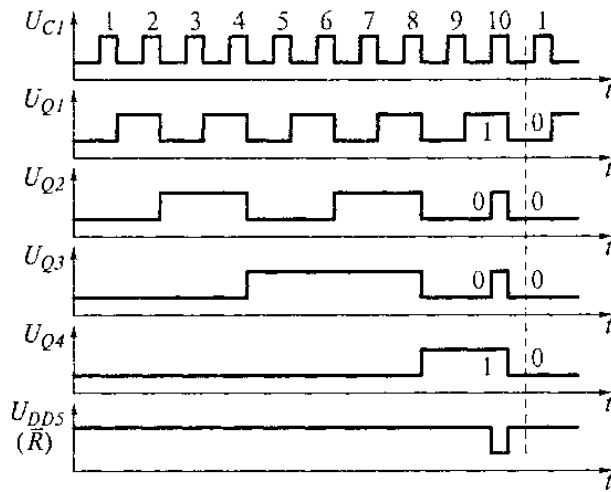


Рис. 15.33

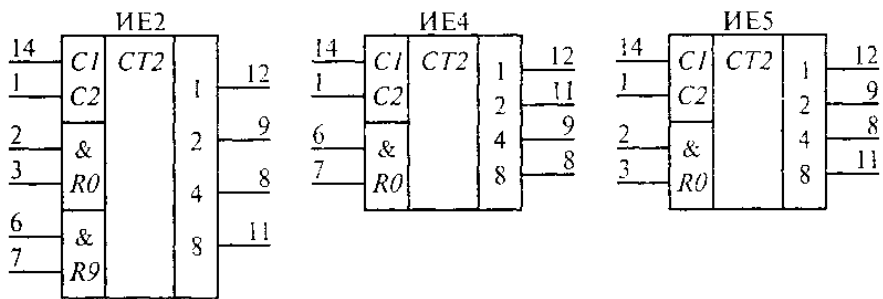


Рис. 15.34

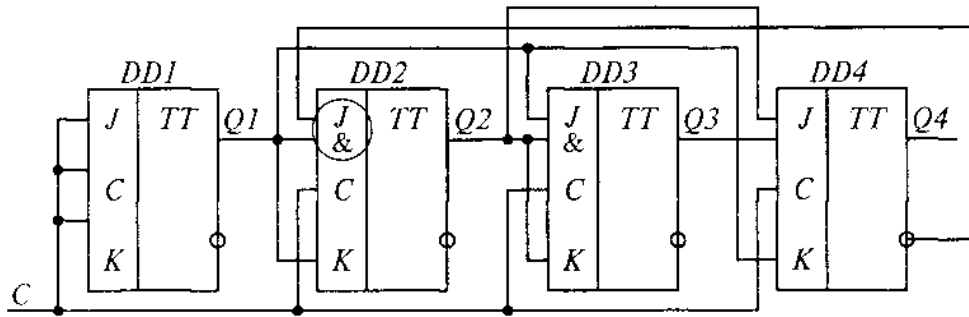


Рис. 15.35

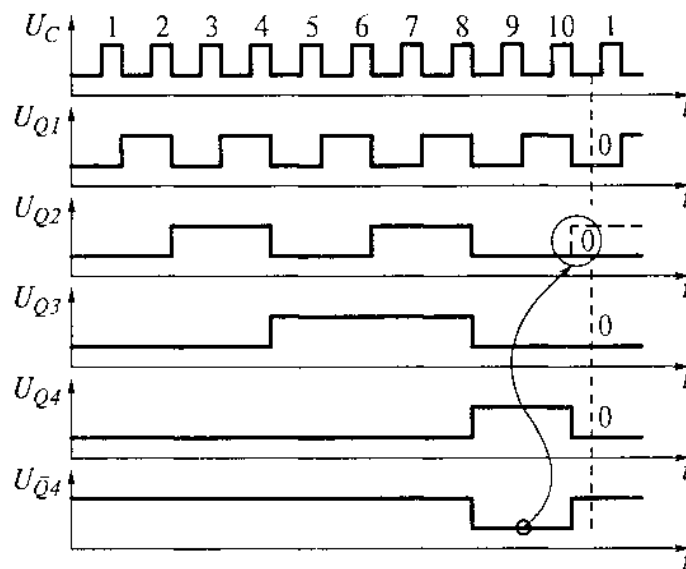


Рис. 15.36

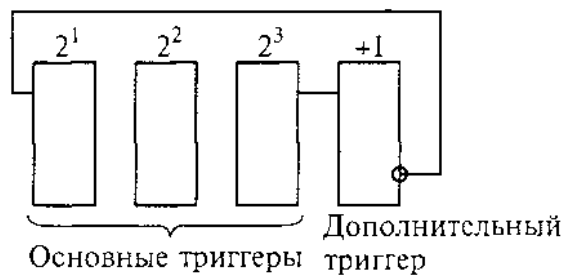
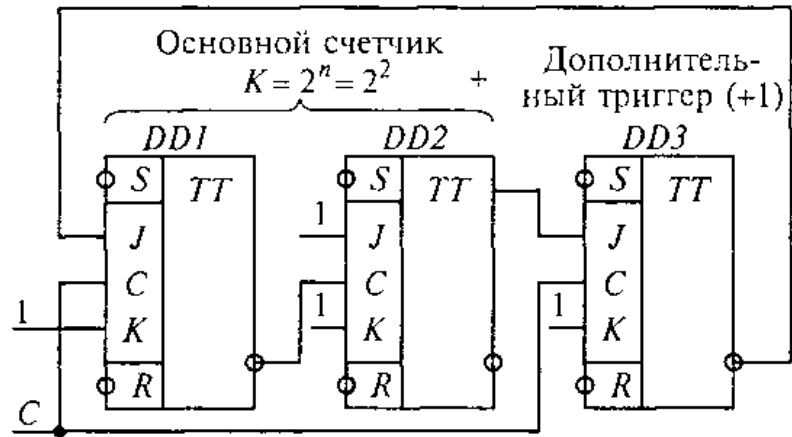
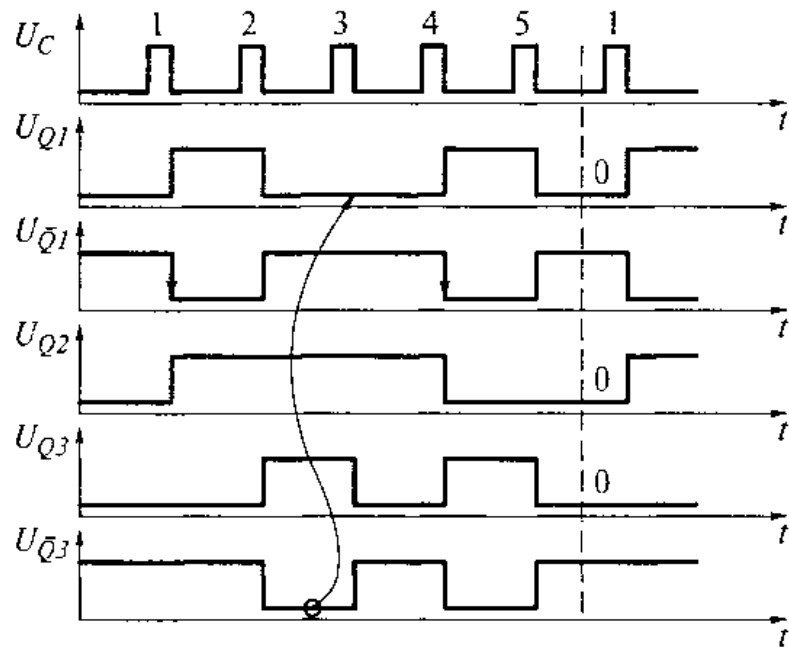


Рис. 15.37



a



б

Рис. 15.38

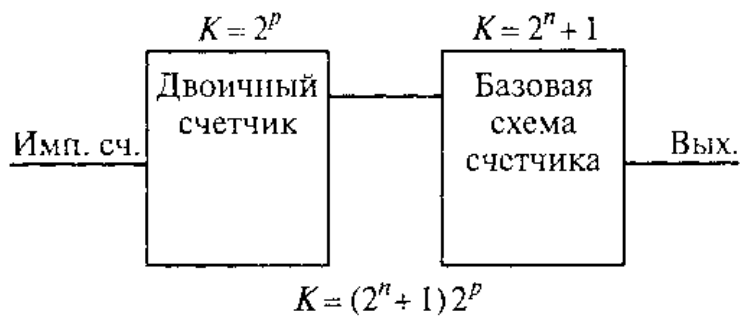


Рис. 15.39

Для счетчиков, организуемых в соответствии с формулой (15.1), наращивание схемы достигается путем добавления к ней двоичного счетчика с $K = 2^p$, где p — число триггеров в схеме с последовательным переносом для режима вычитания (рис. 15.39).

Для малых значений коэффициентов пересчета счетчик можно реализовать по схеме для режима сложения, при этом сохраняется последовательный порядок счета. Рассмотрим организацию счетчика для $K = 6$:

$$K = (2^n + 1)2^p = (2^1 + 1)2^1 = 6.$$

На рис. 15.40, *a*, *б* представлены соответственно схема и диаграмма работы этого счетчика. Такой счетчик представляет собой соединение одного Т-триггера *DD1* ($K = 2$) и самостоятельного счетчика ($K = 3$), выполненного на базе элементов *DD2*, *DD3*.

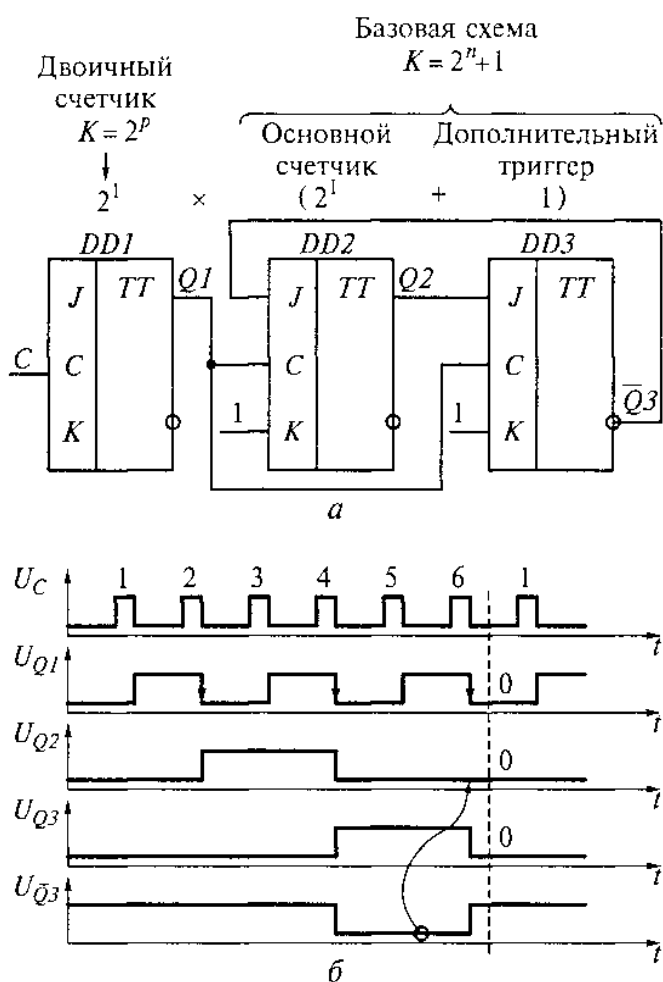


Рис. 15.40

На рис. 15.41, *a*, *б* представлены аналогично схема и диаграмма работы счетчика для режима вычитания.

Рассмотрим организацию счетчика в соответствии с формулой (15.2), упрощенная структура которого показана на рис. 15.42. Первые два фрагмента схемы представляют

собой предыдущую схему с дополнительным триггером на выходе, с помощью которого достигается нечетное значение коэффициента счета путем добавления 1 (+ 1).

Таким образом, если к схеме с $K = 6$ подключить дополнительный триггер $DD4$, осуществляющий добавление 1, то можно организовать счетчик ($K = 7$):

$$K = (2^n + 1)2^p + 1 = (2 + 1)2 + 1.$$

На рис. 15.43, *a*, *б* представлены соответственно схема и диаграмма работы такого счетчика.

Построение счетчиков с большим коэффициентом счета представляет собой дальнейшее наращивание рассмотренной схемы.

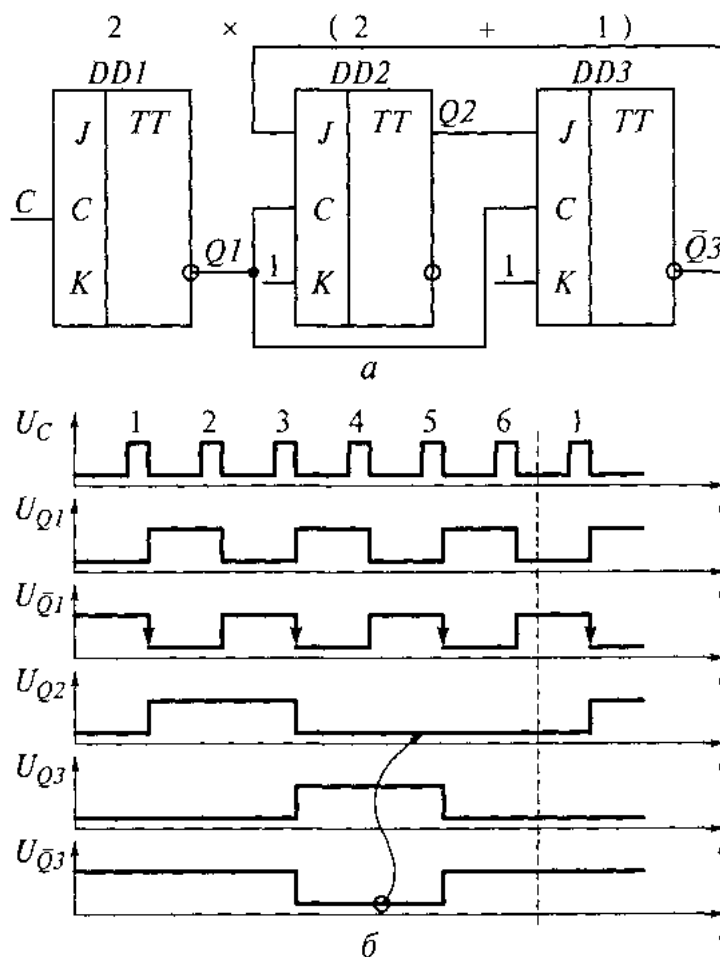


Рис. 15.41

Основными достоинствами таких счетчиков являются возможность наращивания их схем и отсутствие дополнительных логических схем. К недостаткам можно отнести большое число триггеров и сравнительно невысокое быстродействие, которое вызвано тем, что значительная часть триггеров соединяется с использованием последовательного переноса.

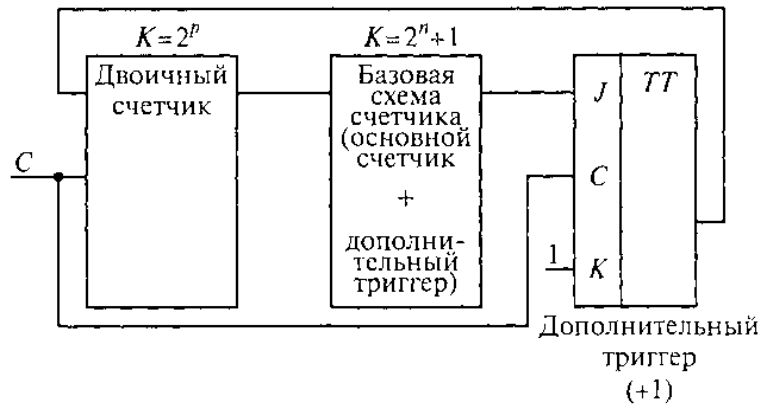


Рис. 15.42

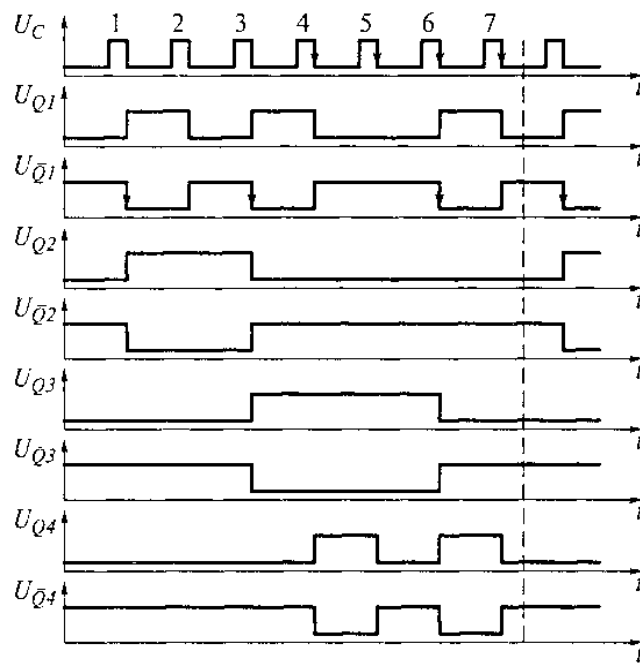
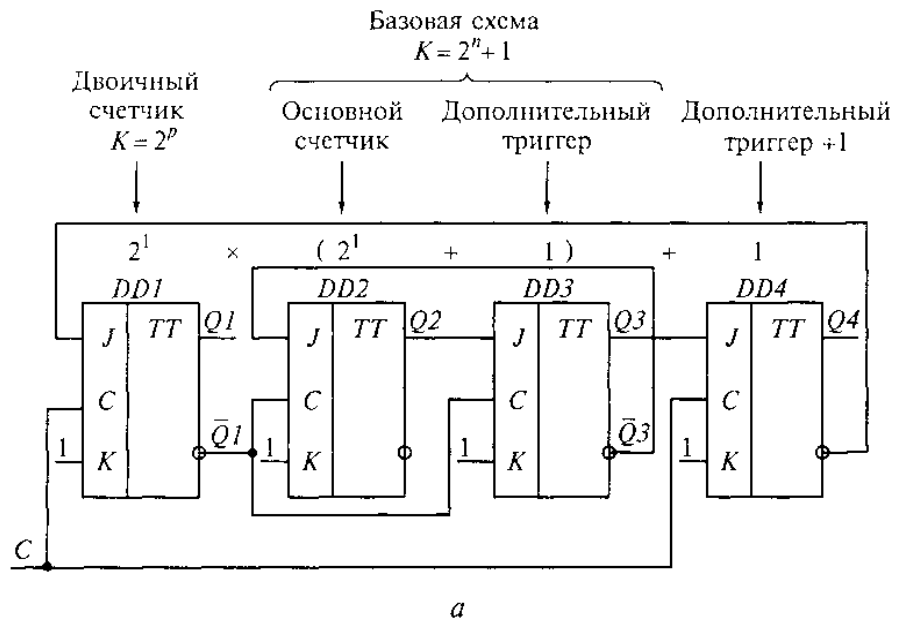


Рис. 15.43