

**А.И.Недашковский**

**Лабораторная работа  
Асинхронные и синхронные счетчики импульсов**

Цель работы – знание структур построения, параметров и режимов работы счетчиков импульсов, умение анализировать их работу, навыки исследования счетчиков.

Выполняя настоящую работу, обратить внимание на следующее:

- Прежде чем приступить к элементной реализации исследуемого устройства, согласовать его принципиальную схему с преподавателем.
- Максимально использовать элементную базу, входящую в состав лабораторного макета.
- Визуальное считывание сигналов выполнять при помощи как светодиодов, так и экрана осциллографа.

**Программа работы**

**1. Исследовать асинхронные счетчики импульсов.**

Примечания:

- а). Построить двоичный счетчик, используя заданный преподавателем тип триггера.
- б). Построить двоично-десятичный счетчик в соответствии с предложенным преподавателем вариантом задания (см. рис. 1).
- в). Использовать двоичный или двоично-десятичный счетчик, выполненный в виде интегральной микросхемы.
- г). Снять и построить временные диаграммы входного и выходных сигналов используемых счетчиков.
- д). Найти код и режим работы каждого счетчика.
- е). Подключить к выходам одного из исследуемых счетчиков схему совпадения на паразитное состояние счетчика.
- ж). Снять и построить временную диаграмму, иллюстрирующую наличие паразитного состояния счетчика.

**2. Исследовать синхронный счетчик импульсов.**

Примечания:

- а). Тип счетчика задает преподаватель.
- б). Снять и построить временные диаграммы, поясняющие работу счетчика.
- в). Найти код, в котором работает счетчик.

3. Исследовать реверсивный счетчик импульсов.

Примечания:

а). Тип счетчика задает преподаватель.

б). Снять временные диаграммы, отражающие формирование входных, выходных управляющих и всех сигналов.

4. Построить на основе реверсивного счетчика устройство, автоматически реализующее предложенный преподавателем алгоритм функционирования (см. рис. 2).

Примечание: Контролировать состояние счетчика, наблюдая сигналы на его выходах.

#### Методические указания

*Счетчик импульсов* предназначен для счета числа входных импульсов и хранения кода этого числа, соответствующего результату счета. Счетчики делят на асинхронные и синхронные, двоичные и недвоичные (в том числе двоично-десятичные), суммирующие, вычитающие и реверсивные, работающие во взвешенном и невзвешенном кодах.

Состояние счетчика принято выражать кодовыми комбинациями сигналов 0 и 1 составляющих его двоичных разрядов. Его можно представить десятичным числом  $N_i$ . Если код, используемый для построения счетчика, взвешенный, то число  $N_i$  находят по формуле:

$$N_i = Q_1m_1 + Q_2m_2 + Q_3m_3 + Q_4m_4 \quad (1)$$

где  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  – бинарные символы двоичных разрядов, равные 0 или 1,  $m_1, m_2, m_3, m_4$  – весовые коэффициенты двоичных разрядов счетчика.

К счетчикам, работающим в невзвешенном коде, формула (1) не применима.

К основным параметрам счетчика относят коэффициент пересчета и быстродействие.

*Коэффициент пересчета*  $K_{ст}$  соответствует основанию используемой для построения счетчика системы счисления (кода) и равен числу возможных состояний счетчика.

*Быстродействие счетчика* оценивают двумя временными параметрами: разрешающей способностью  $t_p$  и временем установления  $t_{уст}$  очередного состояния счетчика.

Значение разрешающей способности  $t_p$  находят по формуле  $t_p = 1/f_{max}$ , где  $f_{max}$  – максимальное значение входной частоты, не приводящее к нарушению функционирования счетчика. По существу этот параметр зависит от быстродействия младшего триггера.

Время установления  $t_{уст}$  – максимально возможный промежуток времени между поступлением импульса (его рабочим перепадом) входной (тактовой) частоты и установлением очередного состояния счетчика.

*Асинхронный счетчик* представляет ряд последовательно соединенных счетных триггеров. Причем у простейшего двоичного асинхронного счетчика тактовый вход каждого триггера, кроме первого, соединен с прямым или инверсным выходом предыдущего (рис. 3.а). В этой связи такой счетчик называют счетчиком с последовательным переносом (суммирующий счетчик) или займом (вычитающий счетчик).

*Синхронный счетчик* отличается от асинхронного тем, что на тактовые входы всех триггеров подают импульсы входной частоты. При этом счетчики делят на счетчики со сквозным и параллельным переносом.

Коэффициент пересчета  $K_{CT}$  двоичного счетчика находят по формуле  $K_{CT} = 2^n$ , где  $n$  – число триггеров.

Чтобы узнать, в каком режиме (суммирующем или вычитающем) и коде работает счетчик, вначале необходимо найти теоретически (по представленной принципиальной схеме) или снять экспериментально и построить временные диаграммы (рис. 3, б,в) или таблицу переключений (табл. 1), характеризующие работу счетчика. В табл. 1 сведены таблицы переключений (коды), характеризующие работу трехразрядного двоичного счетчика. Следует обратить внимание на то, что код и режим работы зависят от того, сигналы с прямых или инверсных выходов используют для обозначения состояний счетчика.

Для построения временных диаграмм можно воспользоваться двумя способами визуального считывания сигналов. Один из них, который назовем статическим, предполагает одновременное параллельное считывание всех сигналов при помощи светодиодов. При использовании динамического способа осуществляют последовательный во времени вывод исследуемых частотных сигналов на экран осциллографа. Чтобы изображения временных диаграмм всех наблюдаемых сигналов были привязаны друг к другу во времени, производят синхронизацию начала развертки луча осциллографа одним из исследуемых сигналов, отличающимся меньшей по значению частотой. Синхронизацию можно выполнять, используя ждущий режим внешнего запуска луча. В случае применения двухканального осциллографа синхронизацию по второму каналу производят сигналом, одновременно подаваемым на первый канал осциллографа.

Таблица 1

Триггеры	Q1	Q2	Q3	Состояние счетчика $N_i$	$\overline{Q1}$	$\overline{Q2}$	$\overline{Q3}$	Состояние счетчика $N_i$
Весовые коэффиц.	$m_1$ (1)	$m_2$ (2)	$m_3$ (4)		$m_1$ (1)	$m_2$ (2)	$m_3$ (4)	
Состояния триггеров	1	1	1	7	0	0	0	0
	0	1	1	6	1	0	0	1
	1	0	1	5	0	1	0	2
	0	0	1	4	1	1	0	3
	1	1	0	3	0	0	1	4
	0	1	0	2	1	0	1	5
	1	0	0	1	0	1	1	6
	0	0	0	0	0	1	1	1
Режим работы	Суммирующий				Вычитающий			

Если весовые коэффициенты не известны, по формуле (1) их находят в процессе вычисления чисел  $N_i$ , соответствующих всем последовательно расположенным комбинациям выходных сигналов счетчика. Вычисления начинают с числа  $N_0 = 0$  ( $Q1 = Q2 = Q3 = 0$ ), после чего анализируют расположенную рядом кодовую комбинацию, которая содержит единицу в одном (естественно, младшем) разряде  $Q1$ . Формула (1) при этом имеет вид:  $N_1 = 1 \cdot 1 + 0 \cdot m_2 + 0 \cdot m_3$ . Отсюда следует, что  $m_1 = 1$ . Далее переходят к последующим состояниям, если счетчик суммирующий и к предыдущим состояниям – если он вычитающий. Таким образом находят режим работы счетчика и весовые коэффициенты  $m_1 - m_3$ .

Если весовые коэффициенты известны, для каждой комбинации выходных сигналов по формуле (1) вычисляют соответствующее ей состояние счетчика  $N_i$ .

Счетчик будет суммирующим, когда последующее во времени состояние  $N_{i+1}$  на единицу превышает предыдущее  $N_i$ , и вычитающим, когда последующее состояние  $N_{i+1}$  на единицу меньше предыдущего  $N_i$ .

Достоинство асинхронного счетчика – более простая по сравнению с синхронным счетчиком структура построения – приводит к появлению недостатков, одним из которых является меньшее быстродействие.

Параметр  $t_{уст}$  двоичного асинхронного счетчика оценивают по формуле  $t_{уст} = nt_{сраб}$ , синхронных счетчиков со сквозным и параллельным переносом – соответственно по формулам

$$t_{уст} = n t_{здр\ ср} + t_{сраб},$$

$$t_{уст} = t_{здр\ ср} + t_{сраб},$$

где  $n$  – число двоичных разрядов,  $t_{сраб}$  – время срабатывания (переключения) триггера,  $t_{здр\ ср}$  – среднее время задержки распространения сигнала через ЛЭ.

Анализ этих формул показывает, что наибольшим быстродействием отличается счетчик с параллельным переносом.

Следует отметить, что разрешающая способность  $t_p$  асинхронных и синхронных счетчиков при равенстве быстродействия младших триггеров будет одинаковой.

Еще один недостаток асинхронного счетчика заключается в появлении в процессе счета кратковременных паразитных состояний счетчика.

Механизм образования паразитных состояний счетчика иллюстрирует табл. 2.

Последовательность состояний триггеров Q1 – Q3 при переходе от нечетного числа  $N_i$  к четному сопровождается формированием промежуточных состояний, что обусловлено наличием времени срабатывания  $t_{сраб}$  триггера. Кратковременность этих состояний отражена в табл. 2 заключением их в скобки.

Таблица 2

Состояние триггеров			Состояние счетчика $N_i$
Q1	Q2	Q3	
0	0	0	0
1	0	0	1
(0)	0	(0)	(0)
0	1	0	2
1	1	0	3
(0)	1	(0)	(2)
(0)	0	(0)	(0)
0	0	1	4
1	0	1	5
(0)	0	(1)	(4)
0	1	1	6
1	1	1	7
(0)	1	(1)	(6)
(0)	0	(1)	(4)
0	0	0	0

Экспериментально факт образования паразитных состояний можно подтвердить, наблюдая на экране осциллографа сигналы на выходе схемы совпадения, контролирующей одно из выявленных кратковременных состояний счетчика.

При подаче на вход счетчика импульсов, которые формируют на выходах устройств, управляемых вручную механическим переключателем (тумблером), паразитные состояния можно обнаружить и сосчитать их число, подключив выход схемы совпадения к входу дополнительного счетчика.

Недвоичный счетчик импульсов отличается от двоичного тем, что его коэффициент пересчета всегда меньше числа  $2^n$ .

*Двоично-десятичный* асинхронный счетчик в интегральном исполнении рассмотрим на примере ИС ИЕ2 (ТТЛ). На рис.4.а представлена его принципиальная схема.

Интегральная микросхема ИЕ2 (ТТЛ) содержит два счетчика. Один из них, имеющий коэффициент пересчета  $K_{СТ1}$ , равный двум, представляет счетный триггер с тактовым входом С1 и выходом Q1. Второй счетчик с коэффициентом пересчета  $K_{СТ2} = 5$  снабжен тактовым входом С2 и выходами Q2 – Q4.

Соединив выход Q1 младшего триггера со входом С2, получают счетчик, работающий в двоично-десятичном коде  $8 - 4 - 2 - 1$  ( Q4 – Q3 – Q2 – Q1 ), что иллюстрируют представленные на рис 4.б временные диаграммы. Если младшим считать триггер Т2 (см. рис. 4,а), и выход Q4 соединить со входом С1, то счетчик будет работать в коде  $5 - 4 - 2 - 1$  ( Q2 – Q3 – Q4 – Q1 ).

Цепи начальной установки триггеров являются общими для обоих счетчиков с коэффициентами  $K_{СТ1} = 2$  и  $K_{СТ2} = 5$ . Подавая 1 на оба входа цепи  $R_0$  (рис. 4,а,в), производят установку (сброс) всех триггеров в нуль. При этом хотя бы на один из входов цепи  $R_9$  следует подать нуль.

Если нуль подавать хотя бы на один из входов цепи  $R_0$ , а единицу на оба входа  $R_9$ , то триггеры Q1, Q2, Q3, Q4 будут установлены в состояния 1, 0, 0, 1, что в обоих кодах  $8 - 4 - 2 - 1$  и  $5 - 4 - 2 - 1$  соответствует числу 9.

В составе популярных серий цифровых интегральных микросхем имеются как двоичные, так и недвоичные синхронные счетчики импульсов.

*Двоичный синхронный счетчик* (рис. 4,г) рассмотрим на примере ИС ИЕ10 (КМОПТЛ), которая содержит два таких счетчика. Каждый счетчик имеет три входа: R – установки всех триггеров в нуль; С – тактовый и СЕ – разрешения счета. Результат счета считывают в прямом коде с выходов Q1 – Q4. Установку счетчика в нулевое состояние производят подачей 1 на вход R.

Интерес представляет функциональная взаимозаменяемость входов С и СЕ. Счет импульсов при R = 0 осуществляют перепадом С = 0/1, если на вход СЕ разрешения счета подать единицу. При СЕ = 0 счет невозможен. Счет импульсов можно производить также перепадом СЕ = 1/0, если С = 0, при R = 0, а прекратить – подачей 1 на вход С.

*Двоично-десятичный синхронный счетчик* ИЕ9 (ТТЛ), работающий в коде  $8 - 4 - 2 - 1$ , отличается более сложной структурой построения, а следовательно, имеет больше функциональных возможностей. Условное графическое обозначение (УГО) счетчика представлено на рис.4.д.

Подачей на вход R нуля независимо от сигналов на остальных входах счетчика производят установку всех триггеров Q1 – Q4 в нуль. Триггеры Q1 – Q4 можно установить в любое состояние, подавая соответствующие сигналы на входы D1 – D4. Для этого на вход выбора режима работы М необходимо подать нуль, на вход R- единицу, а на тактовый вход С – перепад 0/1, т.е. запись по входам D1 – D4 осуществляется синхронно.

Счет импульсов тем же перепадом С = 0/1 осуществляют, если М = R = 1 и единица присутствует на входах разрешения счета СЕР и разрешения счета и организации сквозного переноса СЕТ. При этом на выходе переноса CR единица формируется тогда, когда счетчик находится в состоянии 9 (1001). Если в этом состоянии подать сигнал СЕТ = 0, на выходе CR также формируется нуль.

Вход СЕТ позволяет наращивать разрядность счетчика путем последовательного соединения нескольких ИС, сохраняя синхронный режим работы многоразрядного счетчика. Для достижения этого счетные импульсы подают на тактовые входы С всех ИС, а выход переноса CR каждой интегральной микросхемы соединяют со входом разрешения счета и организации сквозного переноса СЕТ последующей ИС. Сигнал разрешения счета подают на входы СЕР

всех декад счетчика, а также на вход СЕТ младшего двоичного-десятичного разряда.

*Реверсивный счетчик импульсов* осуществляет счет в режиме как суммирования, так и вычитания числа входных импульсов из числа хранящегося в счетчике.

Рассмотрим функциональные возможности четырехразрядного двоичного счетчика ИЕ7 (ТТЛ), условное графическое обозначение которого представлено на рис. 5,а. Прежде всего отметим, что наличие асинхронных входов R и ED позволяет производить начальную установку счетчика соответственно в нуль ( $R = 1$ ) и в любое состояние ( $R = ED = 0$ ), зависящее от сигналов D1 – D4. В режиме суммирования входные импульсы подают на вход CU, а разрешением счета служит сигнал CD = 1. При подаче импульсов на вход CD содержимое счетчика уменьшают, если единица присутствует на входе CU.

Результат счета в параллельном коде считывают с выходов Q1 – Q4. Кроме того, счетчик снабжен выходами переноса CR и займа BR. В режиме суммирования сигнал CR = 0 формируется лишь тогда, когда все триггеры находятся в 1 и 0 подан на вход CU. В режиме вычитания сигнал BR равен нулю, когда все триггеры установлены в нуль и нуль присутствует на входе CD.

Применяя ИС ИЕ7 (ТТЛ), необходимо учитывать, что начало формирования нуля на выходе CR (BR) по отношению к вызвавшему его перепаду 0/1 на входе CU (CD) задержано на время, равное удвоенному значению времени задержки распространения сигнала через ЛЭ.

Двоично-десятичный счетчик ИЕ6 (ТТЛ), работающий в коде 8 – 4 – 2 – 1, аналогичен счетчику ИЕ7 вплоть до совпадения порядковых номеров соответствующих выводов ИС и отличается только значением коэффициента пересчета. Следует учесть также, что в счетчике ИЕ7 сигнал CR = 0 формируется, когда счетчик находится в состоянии 9 (1001) и CU = 0.

Интегральная микросхема ИЕ14 (КМОПТЛ) по назначению похожа на рассмотренные выше ИС ИЕ7 (ИЕ6). Отметим лишь особенности счетчика ИЕ14 (рис 5,б). Имея один тактовый вход С с рабочим перепадом 0/1, счетчик работает в режиме суммирования, если на вход выбора режима U/D подают единицу, и в режиме вычитания – если нуль. При этом нуль также подают на вход разрешения счета и организации сквозного переноса СЕТ. Кроме того, нуль должен присутствовать на входе выбора режима работы ED.

Счетчик работает в двоичном коде, если на вход D/B поступает единица, и в двоично-десятичном коде 8 – 4 – 2 – 1, если D/B = 0. Результат считывают с выходов Q1 – Q4. При наличии сигнала СЕТ = 0 на выходе переноса – займа CR формируется нуль, когда двоичный (D/B = 1) счетчик, работающий в режиме суммирования (U/D = 1), находится в состоянии 1111 (или в состоянии 1001, если D/B = 0) или все триггеры установлены в нуль при работе счетчика в режиме вычитания. Запись по входам D1 – D4 осуществляется асинхронно подачей сигнала ED = 1.

В лабораторной работе на основе реверсивного счетчика предлагается построить устройство, реализующее заданный преподавателем алгоритм работы. Так, например, показанный на рис. 2 алгоритм 1 предполагает автоматически выполнять следующую последовательность действий:

Осуществить начальную установку счетчика в состояние  $N_{НУ}$ , а триггера, управляющего режимом работы счетчика, – в состояние, обеспечивающее суммирование входных импульсов.

Разрешить счет импульсов.

По достижении счетчиком нулевого состояния  $N_0$  изменить режим работы так, чтобы очередной и последующие импульсы воспринимались в режиме вычитания.

Прекратить счет, зафиксировав в счетчике конечное состояние  $N_k$ .

Варианты 7 и 8 предполагают непрерывную работу устройства. Причем устройство, выполненное в соответствии с вариантом 7, меняет режим работы каждый раз, достигая значений нулевого  $N_0$  и максимального  $N_M$  состояний счетчика. В устройстве, выполненном в соответствии с алгоритмом 8, изменения режима работы происходят по достижении нижнего  $N_H$  и верхнего  $N_B$  состояний счетчика.

#### Контрольные вопросы

1. Как найти состояние счетчика, пользуясь весовыми коэффициентами его двоичных разрядов?
2. Чем отличается асинхронный счетчик от синхронного?
3. Как найти значения весовых коэффициентов двоичных разрядов и режим работы счетчика (суммирование или вычитание) по временным диаграммам выходных сигналов?
4. Как в ждущем режиме осуществить синхронизацию развертки луча осциллографа сигналами внешнего запуска?
5. Как пояснить различные режимы работы синхронного двоично-десятичного счетчика, пользуясь его УГО?
6. Каковы особенности формирования входных и выходных сигналов реверсивного счетчика импульсов в интегральном исполнении в различных режимах работы?

#### Список литературы

1. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): Учебник для вузов.-М.: Горячая линия –Телеком, 2007.
2. Каламбеков Б.А. Цифровые устройства и микропроцессорные системы.М.: Горячая линия – Телеком, 2003.

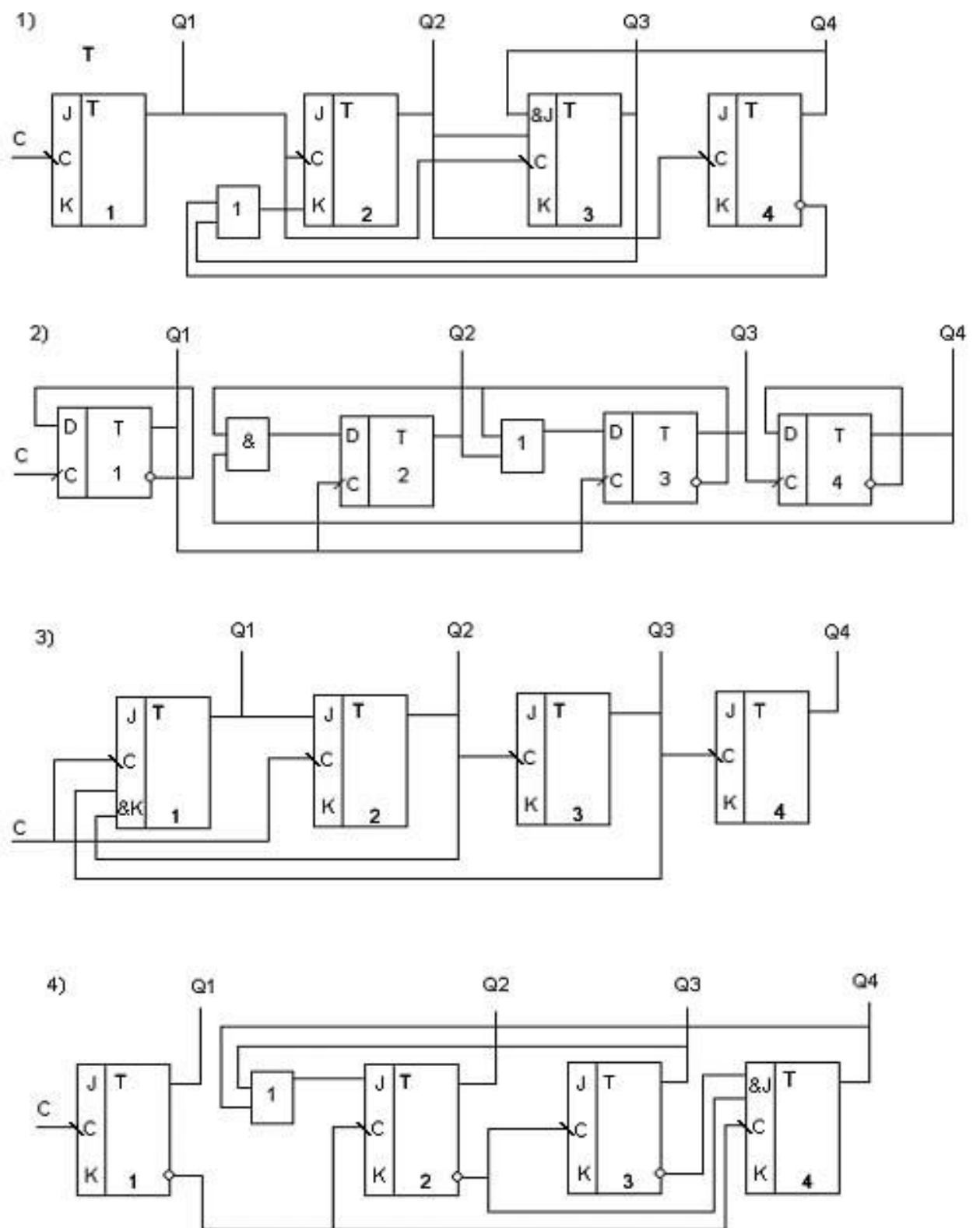


Рис. 1



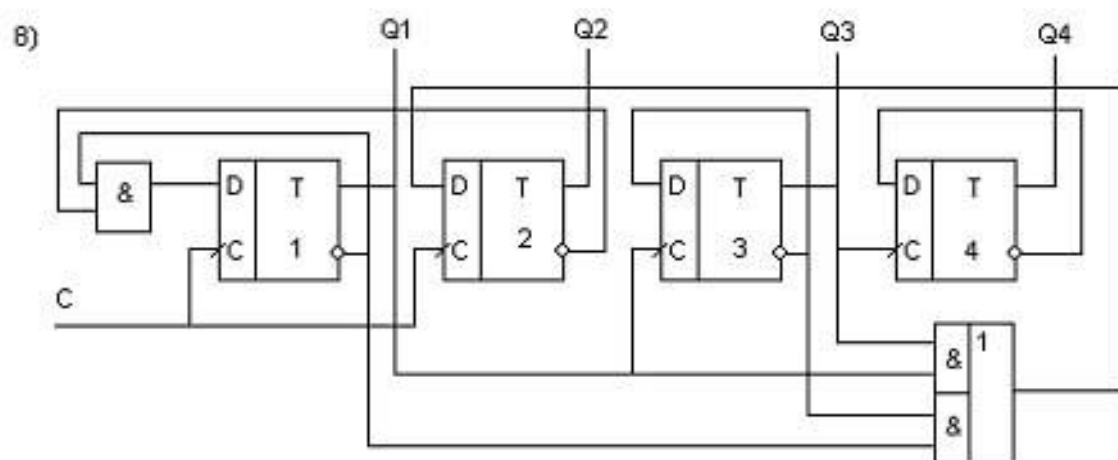
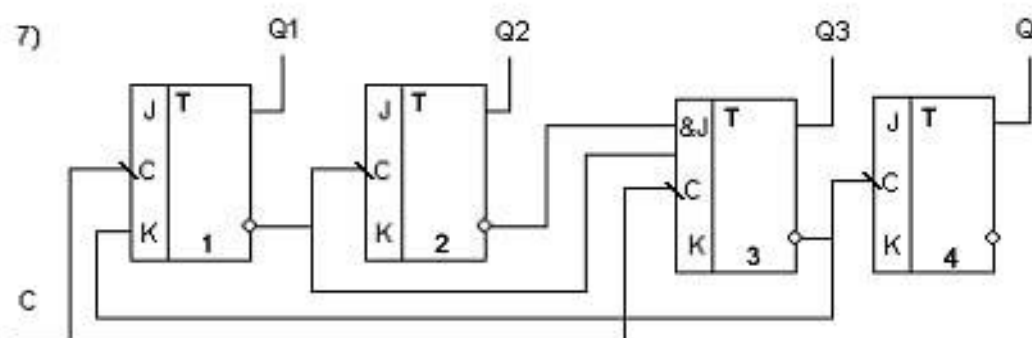
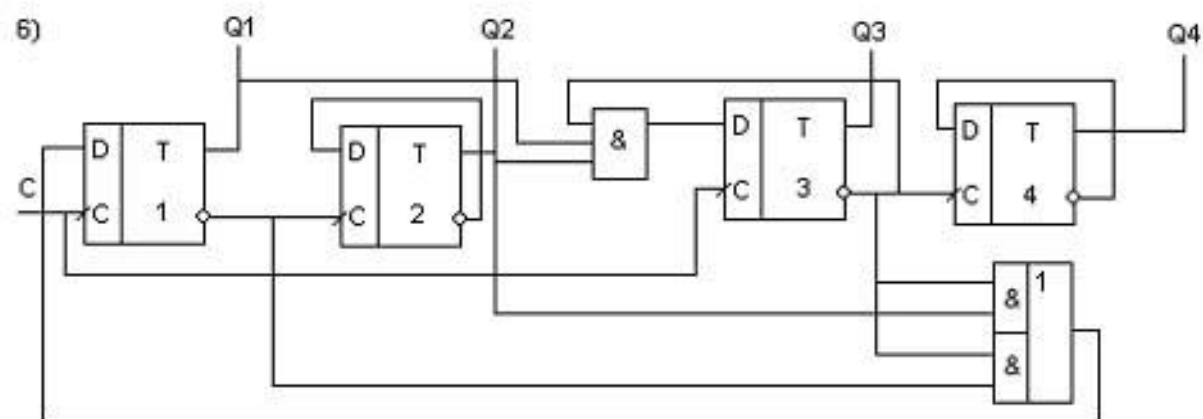
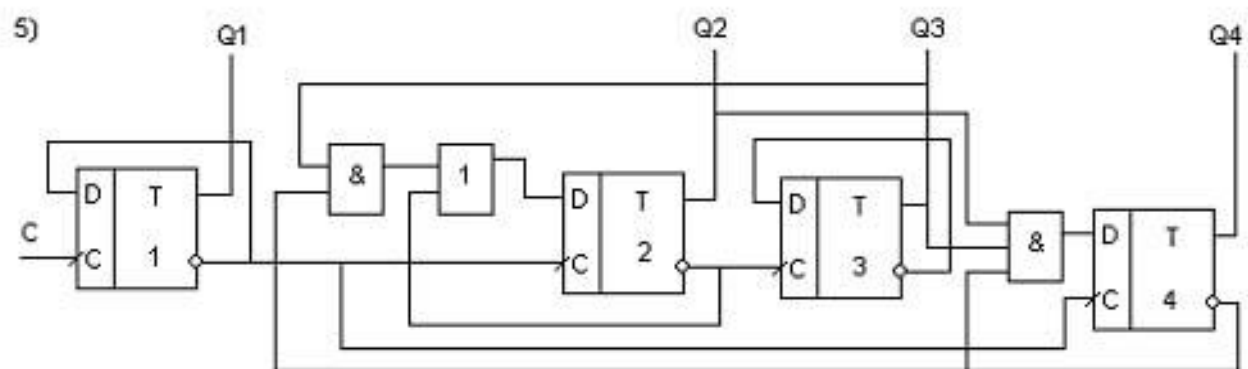


Рис.1 (продолжение)

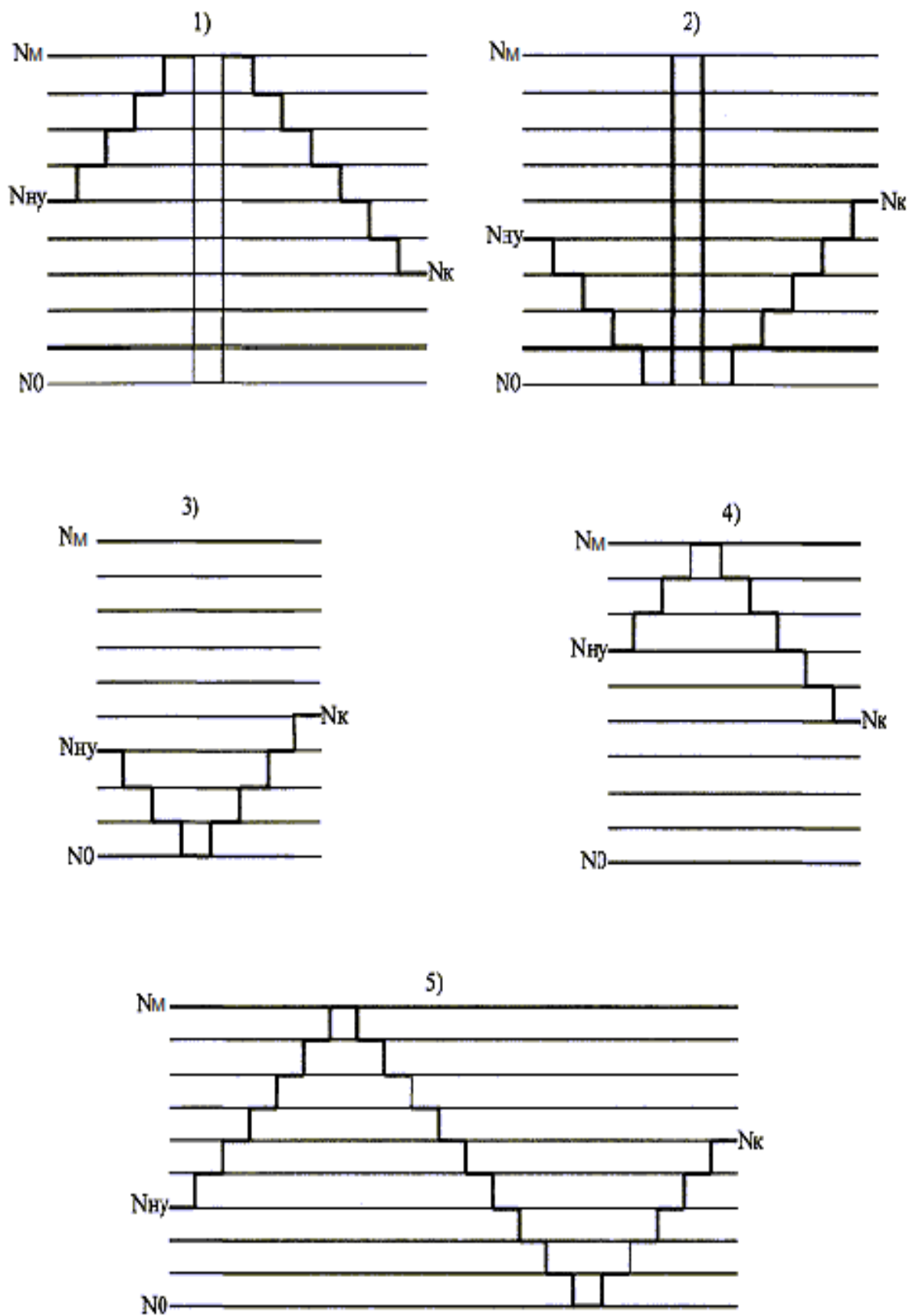
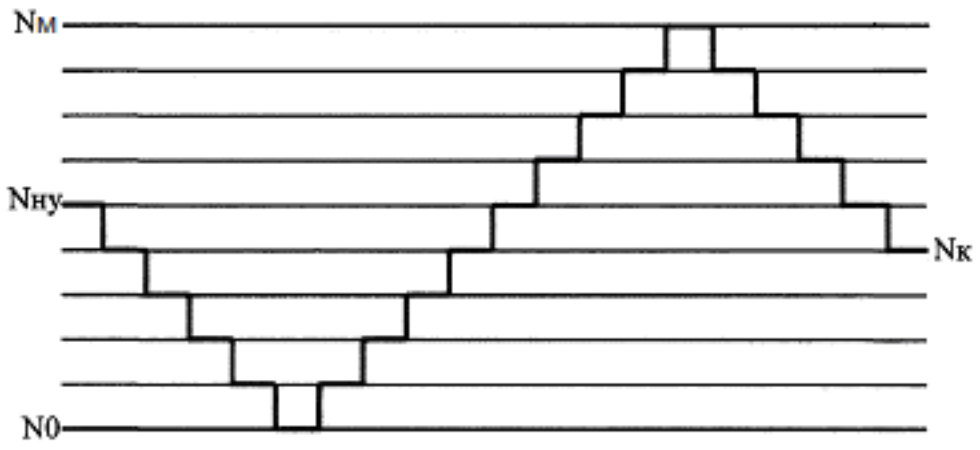
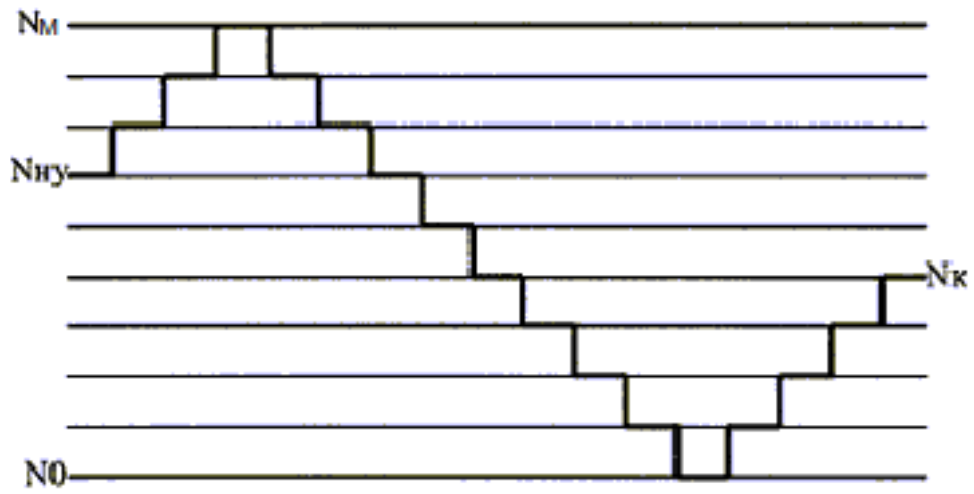


Рис. 2

6)



7)



8)

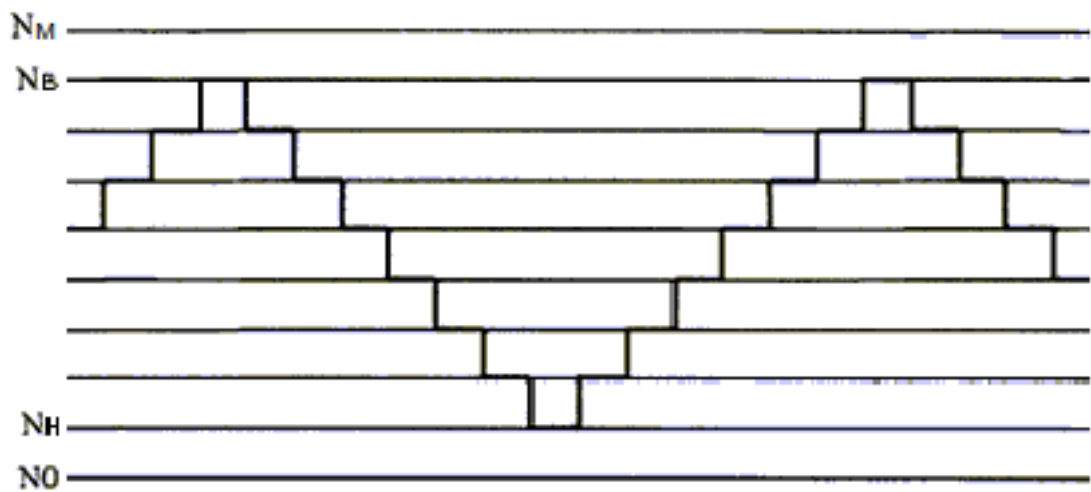


Рис.2 (продолжение)

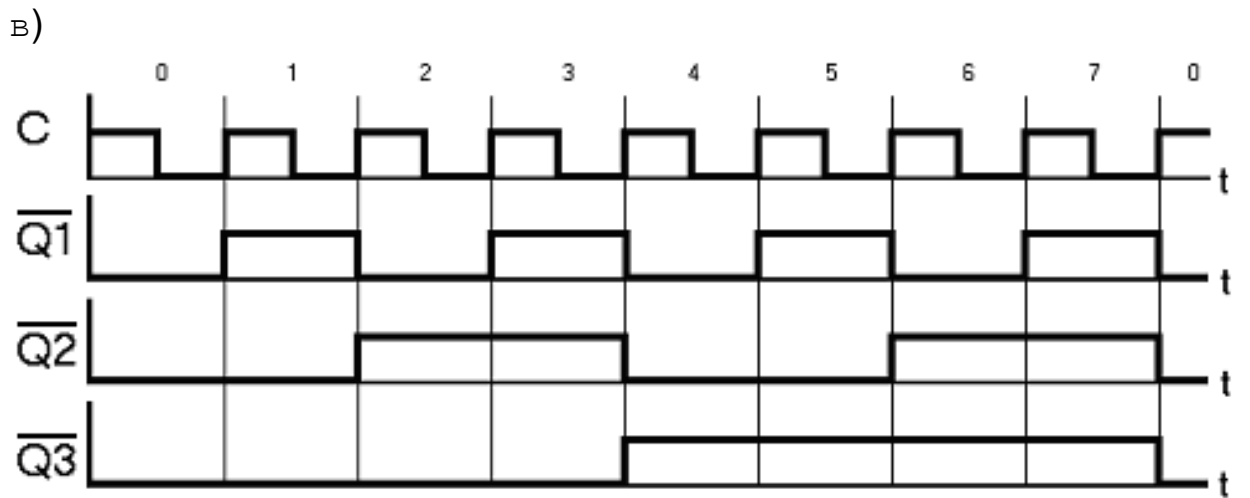
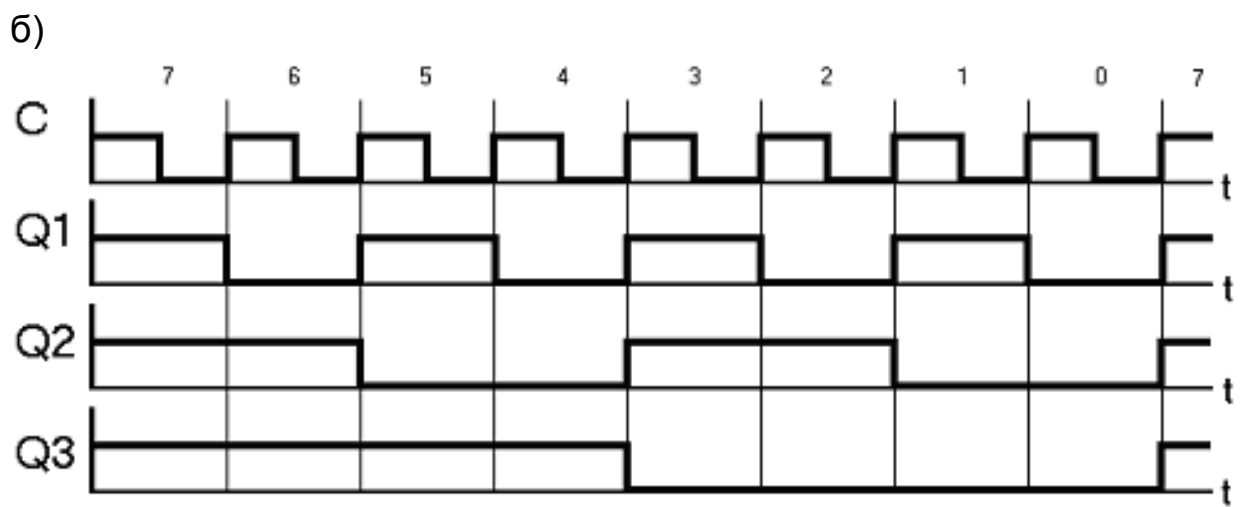
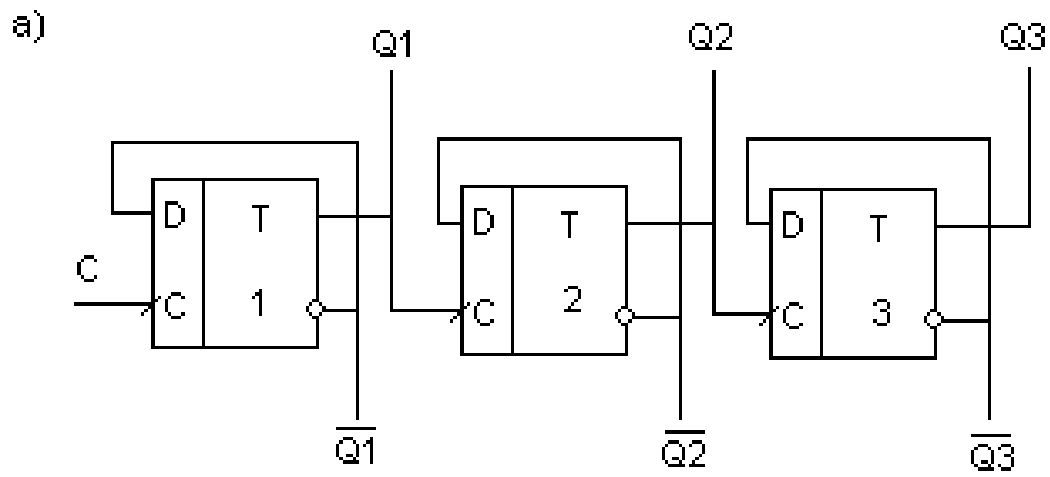


Рис.3

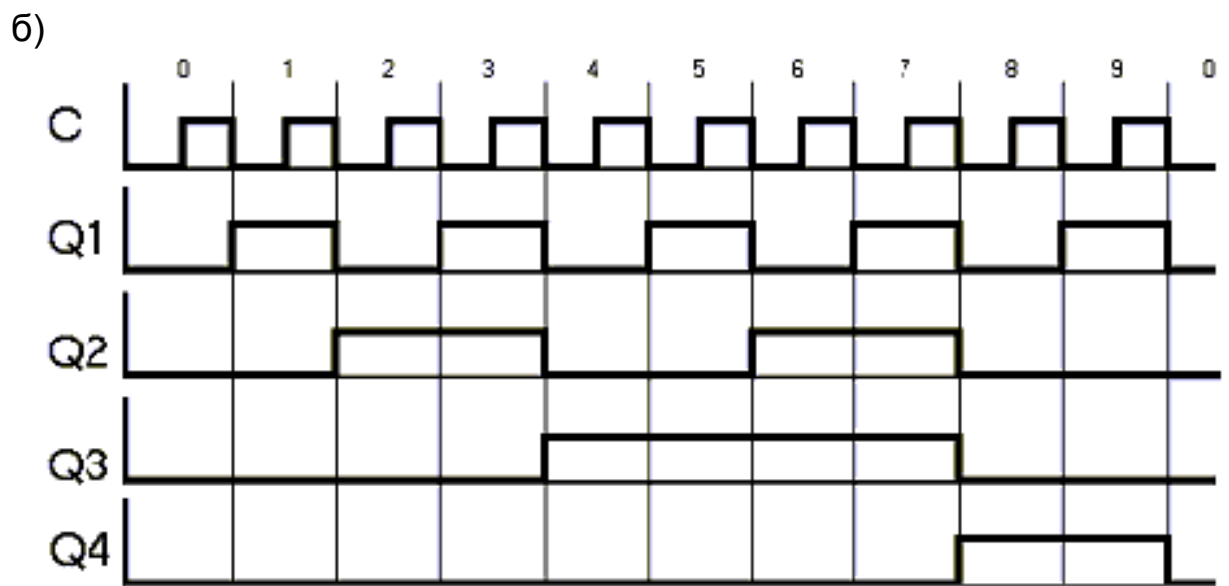
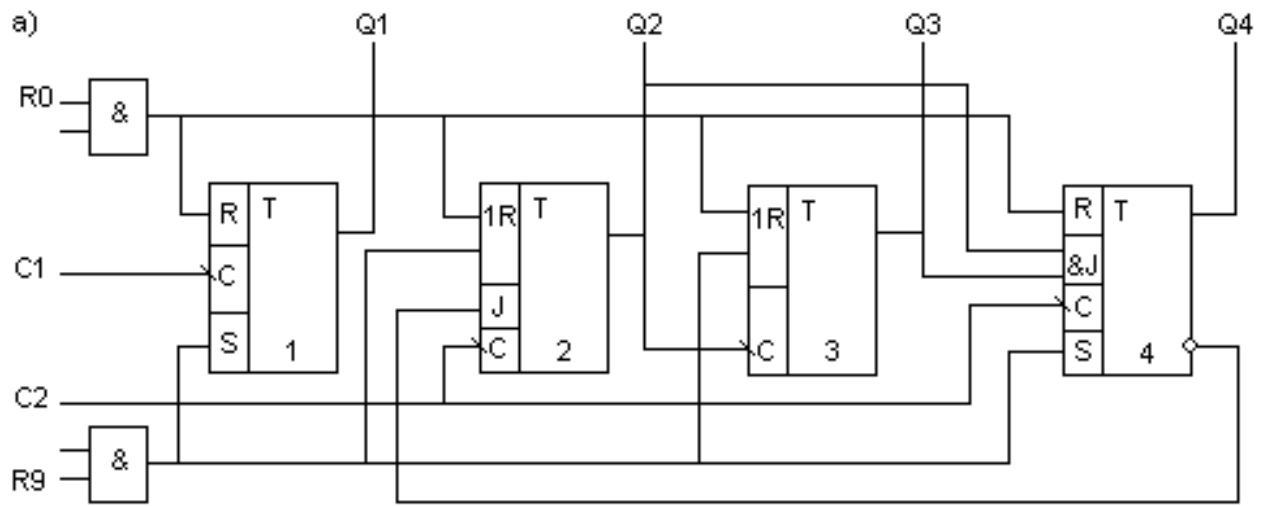


Рис.4

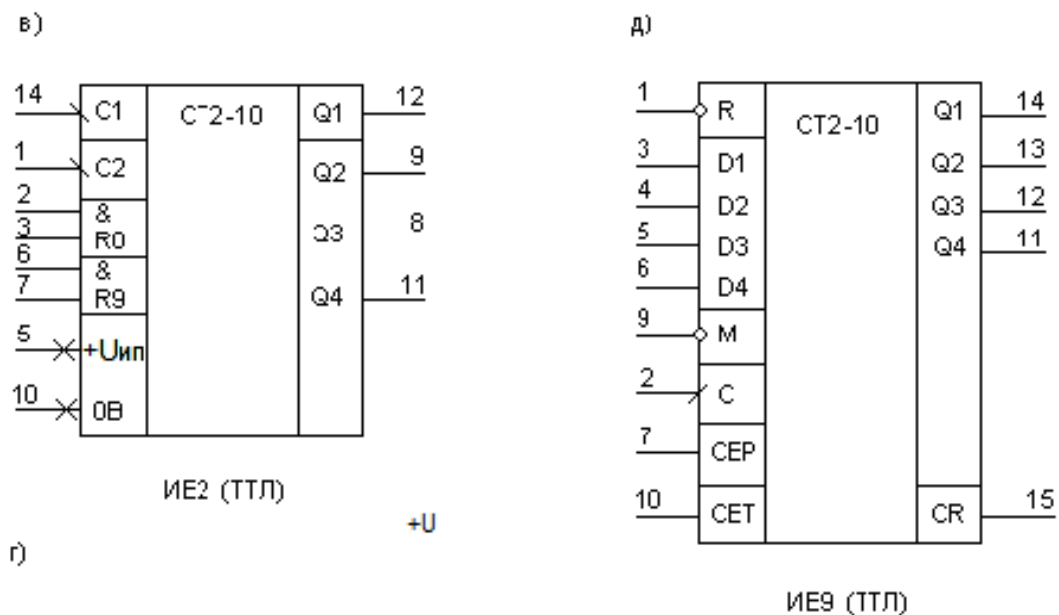


Рис. 4 (продолжение)

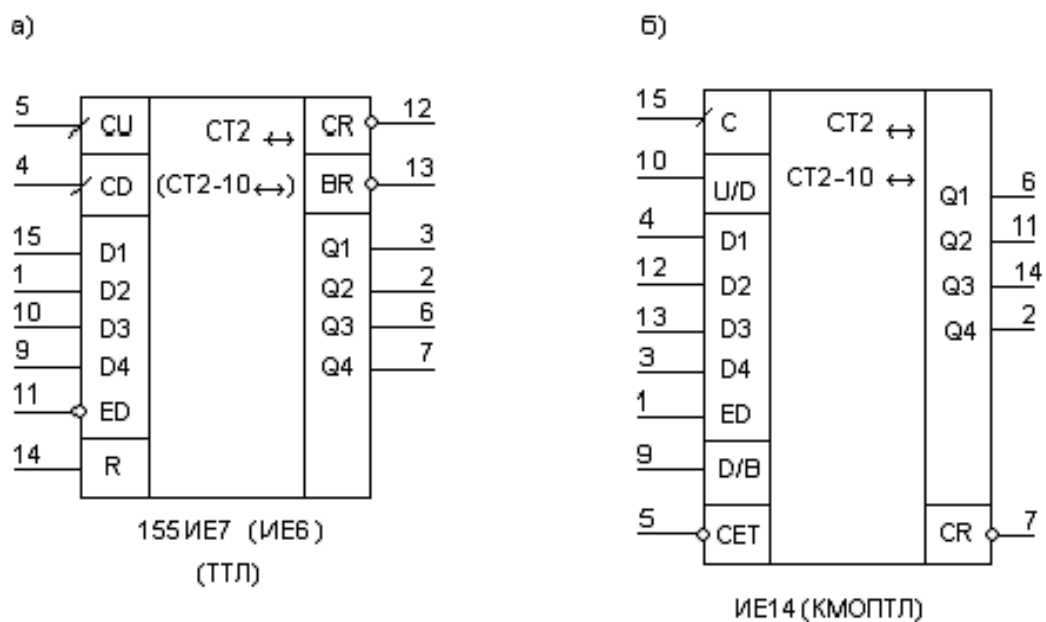


Рис. 5