

Исследование асинхронных счетчиков - ЛР6

Цель работы – изучение принципов построения счетчиков, овладение методом синтеза асинхронных счетчиков, экспериментальная оценка динамических параметров счетчиков.

Во время самостоятельной подготовки к работе необходимо ознакомиться с теоретическими сведениями, изучить методы синтеза асинхронных счетчиков, синтезировать безвентильный счетчик с заданным коэффициентом пересчета, подготовить по каждому пункту раздела «Задание и порядок выполнения работы» расчетные и теоретические материалы, электрические функциональные схемы исследуемых счетчиков. Перед началом работы студент должен предъявить преподавателю рабочие материалы для проверки и обсуждения. После выполнения работы студенты обязаны представить преподавателю оформленный отчет. Экспериментальная часть работы проводится или на персональном компьютере путем математического моделирования, используя прикладные программы Electronics Workbench, Multisim или на физических моделях на базе учебного макета. Вначале проводится сборка схемы счетчиков, затем исследование его временных диаграмм и параметров с помощью логического анализатора (осциллографа).

Продолжительность работы – 4 часа.

Теоретические сведения

Счетчик - операционный узел ЭВМ, предназначенный для выполнения счета, кодирования в определенной системе счисления и хранения числа сигналов импульсного типа, поступающих на его счетный вход.

Кроме микроопераций счета, счетчики могут выполнять микрооперации установки произвольного состояния (запись числа параллельным кодом) и установки в нулевое или начальное состояние.

Счетчик состоит из разрядных схем, связанных между собой и содержащих триггеры и комбинационные схемы. Для счета и кодирования счетных сигналов наиболее широко применяется двоичная система счисления, а также двоично-кодированные системы, в которых цифры 0, 1, 2, ... кодируются многоразрядными двоичными кодами, последовательно изменяющимися на единицу,

начиная с начального. В качестве начального кода часто применяется нулевой код 000...0.

Конкретное значение цифрового кода фиксируется в триггерах (разрядах) счетчика и называется *состоянием* счетчика.

Порядок изменения состояния, начиная с нулевого, когда значения кодов состояний отличаются на единицу от кодов предыдущих состояний, называется *естественным*.

Порядок изменения состояний называется *произвольным*, если значения кодов соседних состояний могут отличаться больше, чем на единицу.

Счетчики с произвольным порядком изменения состояний называют также пересчетными схемами.

Основные параметры счетчиков

Модуль счета M - это число разрешенных состояний счетчика, включая начальные или нулевые.

Модуль счета или коэффициент пересчета пересчетной схемы – это число входных сигналов, которое возвращает пересчетную схему в начальное состояние, в качестве которого может быть принято любое ее состояние.

Модуль счета равен $M=q^n$, где q - основание системы счисления, n - число разрядов счетчика в системе счисления с основанием q .

Двоичный m -разрядный счетчик имеет 2^n состояний: 0, 1, 2,..., 2^n-1 , а его модуль счета $M=2^n$. Одноразрядный двоично-десятичный счетчик имеет модуль счета $M=10$.

Емкость счетчика N - максимальное число импульсов, которое может быть зафиксировано в счетчике. Этот параметр определяется числом разрядов и модулем счета: $N=q^n - 1$.

Двоичный m -разрядный счетчик имеет емкость $N=2^n-1$. Емкость двоично-десятичного m -разрядного счетчика равна $N=10^n-1$.

Статические параметры счетчика
 $U_{вх}^0, U_{вх}^1, U_{вых}^0, U_{вых}^1, I_{вх}^0, I_{вх}^1, K_{раз}$ и другие определяются аналогичными параметрами логических и запоминающих элементов, на которых он реализован.

Динамические параметры. Динамические свойства счетчиков характеризуются большим числом параметров, из которых отметим следующие:

- максимальная частота счета,

- времена задержек распространения трактов: счетный вход - выход Q_i , счетный вход - выход переноса (заема), вход параллельной записи - выход Q_i , вход R - выход Q_i .

- минимальные длительности импульсов счета, установки в 0, параллельной записи.

Время задержки распространения $t_{\text{э.р.сч}}^{0,1}(t_{\text{э.р.сч}}^{1,0})$ сигнала в счетчике – интервал времени между входным и выходными сигналами при переходе напряжения на выходе счетчика от U^0 к U^1 (или от U^1 к U^0), измеренный на уровне 0,5 логического перепада входного и выходного сигналов.

Для триггеров счетчика должны быть обеспечены необходимые времена предустановки и выдержки информационных сигналов относительно активного перепада сигнала параллельной записи.

Максимальной частотой счета $f_{\text{макс}}$ называется частота счетных сигналов, при которой счетчик сохраняет нормальную работоспособность (отсутствуют пропуски счета входных сигналов). Для надежной фиксации состояний триггеров, анализа и передачи выходных сигналов счетчика максимальную частоту уменьшают в 1,5-2 раза и называют ее рабочей частотой $f_{\text{раб}} = (0,5 \div 0,7) f_{\text{макс}}$.

Классификация счетчиков по основным признакам

По значению модуля счета различают двоичные ($M=2^n$, n – количество двоичных разрядов), двоично-кодированные (например, двоично-десятичные) счетчики, счетчики с одинарным кодированием, когда состояние представлено местом расположения единственной единицы и др.

По направлению счета счетчики делят на суммирующие, вычитающие, реверсивные. Суммирующие счетчики выполняют микрооперацию типа $СТ := СТ + 1$, вычитающие - $СТ := СТ - 1$. Реверсивные счетчики выполняют обе микрооперации.

По способу организации межразрядных связей различают счетчики с последовательным, сквозным, параллельным и групповым переносами.

По порядку изменения состояний различают счетчики с естественным порядком счета и с произвольным порядком счета (пересчетные схемы).

По способу управления переключением триггеров во время счета сигналов счетчики разделяют на синхронные и асинхронные.

В асинхронных счетчиках триггер каждого данного разряда переключается входными сигналами счета, или выходными сигналами триггеров других разрядов, или комбинацией этих сигналов. Переключение триггеров происходит последовательно во времени.

В синхронных счетчиках триггеры осуществляют переходы из одного состояния в другое в соответствии со значениями сигналов на информационных входах в момент прихода синхронизирующего (тактового) сигнала. Сигналы счета являются синхронизирующими сигналами.

Таким образом, при изменении состояния синхронного счётчика переключение триггеров всех разрядов происходит одновременно, последовательно во времени, а в асинхронном счётчике этот процесс протекает во всех разрядах последовательно во времени.

По способу организации переноса различают счётчики с последовательным, сквозным параллельным и групповым переносами.

Для построения счётчиков могут быть использованы интегральные триггеры разных типов: T , D , DV , JK с внутренней задержкой, имеющие двухступенчатую структуру, а также D , DV , JK с прямым или инверсным динамическим управлением. В счётчиках, построенных на триггерах с прямым динамическим управлением, изменение состояний происходит от положительного перепада счётного импульса; если применяются триггеры с инверсным динамическим управлением – от отрицательного перепада.

Рассмотрим принципы построения счётчиков разных типов.

Асинхронные двоичные счетчики с последовательным переносом

При построении асинхронных двоичных счетчиков используются счетные триггеры, соединенные между собой цепями переносов. В каждом разряде асинхронного двоичного суммирующего счетчика, представленного на рис. 1,а, в качестве Т-триггеров применены D-триггеры с прямыми динамическими синхронизирующими входами. Благодаря обратной связи с инверсного выхода триггера на вход D, синхронный D-триггер преобразуется в асинхронный Т-триггер с прямым динамическим Т-входом.

При переходе триггера из единичного состояния в нулевое на инверсном выходе формируется сигнал переноса в виде положительного перепада, поступающий по линии связи в следующий старший разряд. Сигнал переноса переключает триггер этого разряда в противоположное состояние. Следует отметить, что при отрицательном перепаде в случае перехода триггера в единичное состояние перенос в следующий разряд отсутствует (рис. 1,б). Поэтому в суммирующем счетчике входные сигналы счета подаются на счетный вход триггера первого разряда счетчика, выход \bar{Q}_i триггера i -го разряда соединен с входом T_{i+1} триггера $i+1$ -го разряда (это вход C_{i+1} D-триггера), т.е. триггера соседнего старшего разряда. Q_2 -старший разряд, Q_0 -младший разряд кода состояния счетчика (рис. 1).

Начальная установка нулевого состояния проводится сигналом R , длительность которого должна быть больше, чем время распространения сигнала переноса. При этом исключается влияние ложных переносов, возникающих при установке нулевого кода. Под действием входных сигналов счетчик последовательно переходит из одного состояния в другое в соответствии с табл. 1.

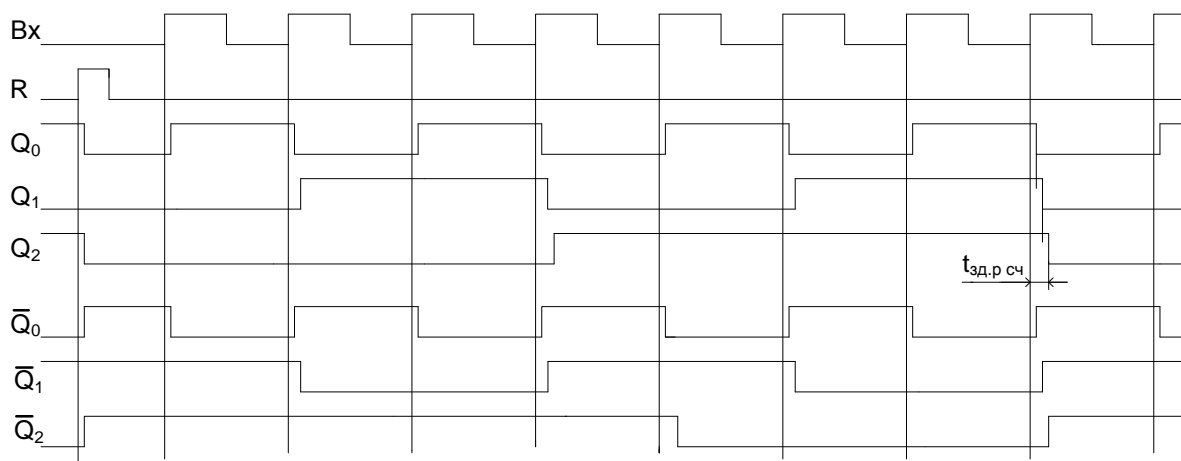
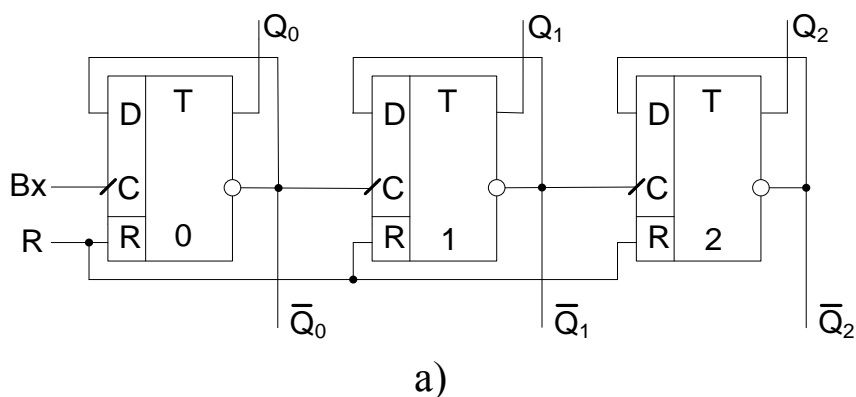
Таблица 1

| № п/п | Q_2 | Q_1 | Q_0 | № п/п | Q_2 | Q_1 | Q_0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 5 | 1 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 1 | 0 | 6 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 7 | 1 | 1 | 1 |

Переход в новое состояние происходит с задержкой, обусловленной задержкой переключения триггеров. В счетчике с последовательным распространением переноса время задержки распространения сигнала определяется соотношением $t_{зд.р.сч} = nt_{зд.р.тр}$, где n – число разрядов счетчика; $t_{зд.р.тр}$ – время задержки распространения сигнала в триггере от информационного входа до выхода триггера.

В вычитающем счетчике входные сигналы счета подаются на счетный вход триггера первого разряда счетчика, выход Q_i любого другого триггера соединен с входом T_{i+1} (это вход C_{i+1} D-триггера) триггера соседнего старшего разряда. Выходные сигналы состояния

вычитающего счетчика снимаются, как и в схеме суммирующего счетчика, с прямых выходов триггеров (Q_2 -старший разряд, Q_0 -младший разряд кода состояния).



б)
Рис. 1

Переход в новое состояние происходит с задержкой, обусловленной задержкой переключения триггеров. В счетчике с последовательным распространением переноса время задержки распространения сигнала определяется соотношением $t_{зд.р.сч} = n t_{зд.р.тр}$, где n – число разрядов счетчика; $t_{зд.р.тр}$ - время задержки распространения сигнала в триггере от информационного входа до выхода триггера.

В счетчике, построенном на Т-триггерах с инверсным динамическим входом, сигнал переноса в следующий разряд снимается с прямого выхода триггера. Это вызвано тем, что переключение триггера происходит в тот момент, когда на входе

его появляется отрицательный перепад. Тогда, если триггер предыдущего разряда счётчика переключается в нулевое состояние, на его прямом выходе формируется отрицательный перепад, который обеспечивает перенос в следующий разряд счетчика.

Простой двоичный код обладает свойством дополненности: сумма двоичной цифры и ее инверсии равна $q-1$, где q -основание двоичной системы счисления. Следствием этого свойства является то, что, если на прямых выходах триггеров изменения состояния счетчика соответствуют режиму сложения, то на инверсных выходах эти изменения состояния счетчика будут соответствовать режиму вычитания, и наоборот.

Асинхронные счетчики с параллельным переносом. Для повышения быстродействия счетчика необходимо ввести в схему цепи, ускоряющие распространение переноса. В асинхронном счетчике с параллельным переносом (рис.2) сигналы на счетных входах Т-триггеров формируются следующими логическими функциями:

$$T_0 = Bx, T_1 = Bx \cdot Q_0, T_2 = Bx \cdot Q_0 \cdot Q_1, T_3 = Bx \cdot Q_0 \cdot Q_1 \cdot Q_2,$$

$$T_i = Bx \cdot Q_0 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \dots Q_{i-1}.$$

Переносы в разряды счетчика формируются параллельно, т.е. одновременно, логическими элементами И. В четырехразрядном счетчике сигнал T_3 является сигналом переноса CR (carry-перенос) в следующую группу разрядов счетчика.

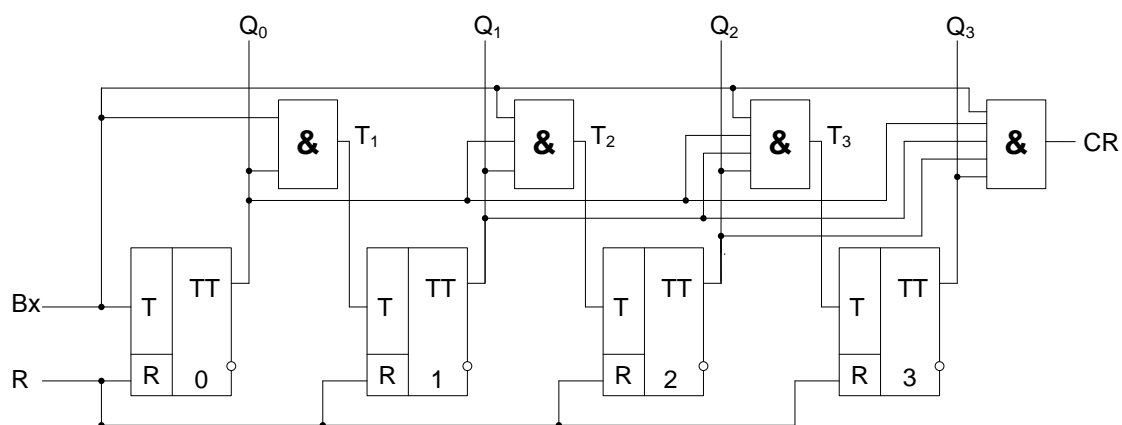


Рис. 2

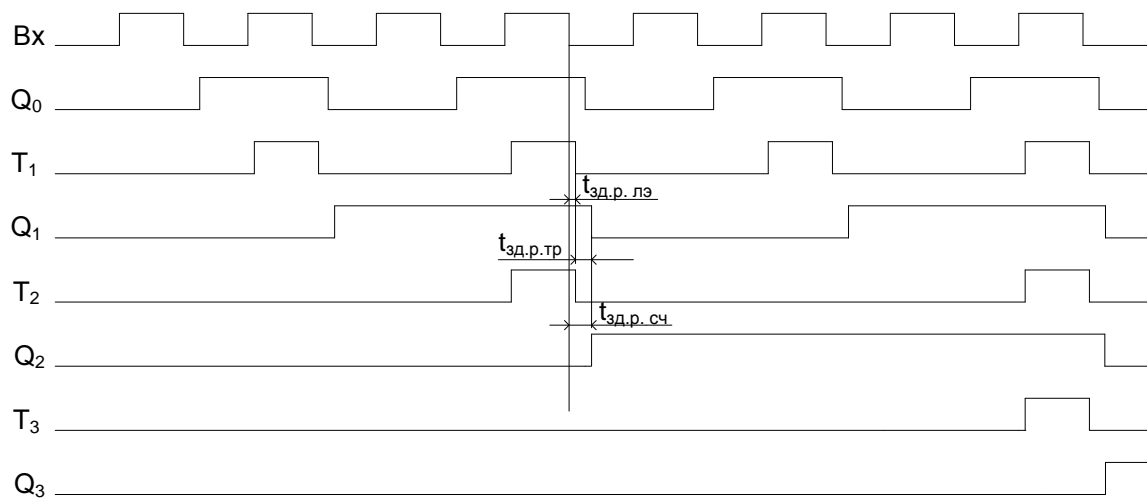


Рис. 3

Временная диаграмма асинхронного двоичного суммирующего счетчика с параллельным переносом (рис. 2) показана на рис. 3. Время задержки распространения сигнала в счетчике от входа счетных сигналов до выходов Q_i равна сумме времен задержек распространения сигнала в логическом элементе (ЛЭ) И и триггере:

$$t_{\text{зд.р.сч}} = t_{\text{зд.р.тр}} + t_{\text{зд.р.лэ}} .$$

Безвентильные счетчики. В практике проектирования часто применяется безвентильный способ построения счётчиков с $M \neq 2^n$, не требующий применения дополнительных межразрядных логических элементов. В основе построения таких счётчиков лежит принцип организации счёта по произвольному модулю $2^n + 1$, т. е. на счётчиках, позволяющих увеличить модуль счёта на единицу.

Для построения безвентильного счётчика требуемый модуль счёта необходимо представить в виде произведения сомножителей (групп), каждый из которых состоит из чисел степени 2 или степени 2 и добавочных единиц.

Например:

$$9 = 2^3 + 1 = (2 + 1)(2 + 1)$$

$$10 = 2^1(2^2 + 1) = 2(4 + 1)$$

$$11 = 2^1(2^2 + 1) + 1$$

$$12 = 2^2(2^1 + 1)$$

$$27 = (2^1 + 1)(2^1 + 1)(2^1 + 1)$$

$$27 = (2^3 + 1)(2 + 1)$$

$$27 = 2^1[2^2(2^1 + 1) + 1] + 1$$

Увеличение модуля счёта группы двоичного счётчика на 1 осуществляется на дополнительном (“единичном”) JK–триггере.

Единичный JK-триггер должен иметь J-входы, объединенные конъюнктивно, число которых равно числу триггеров предшествующих двоичных разрядов своей группы.

Правила соединения триггеров группы счётчика:

- на К-входы единичного триггера и триггера младшего разряда группы подается сигнал 1,

- С-вход единичного триггера соединяется с С-входом JK-триггера младшего разряда своей группы,

- выходы Q всех двоичных разрядов группы подключаются к J-входам единичного триггера,

- выход \bar{Q} единичного триггера подключается к J-входу триггера младшего разряда своей группы,

- выходом группы является выход Q единичного триггера. С выхода Q единичного триггера снимается сигнал для запуска следующей группы.

В качестве триггеров группы двоичного счетчика и единичного триггера, можно применить D-триггеры.

Если единичный триггер служит для увеличения на 1 модуля счёта нескольких последовательно включенных групп и отдельно двоичных триггеров, каждый из которых в этом случае условно можно считать отдельной группой, то у единичного триггера число J-входов должно равняться количеству всех предшествующих групп, и к этим входам необходимо подключить выходы Q всех предшествующих групп счётчика. Остальные связи единичного JK-триггера в схеме счётчика должны быть аналогичны ранее описанным.

На рис. 4 приведена схема безвентильного счётчика с модулем $M=21=2^2 \cdot (2^2 + 1) + 1$.

Термин «безвентильный» счетчик, используемый в литературе, неточен. Объяснение, что для построения счетчика не требуются логические элементы (вентили), если триггеры имеют необходимое число J-входов, объединенных конъюнктивно, неубедительно, так как в действительности эти вентили размещены в триггере.

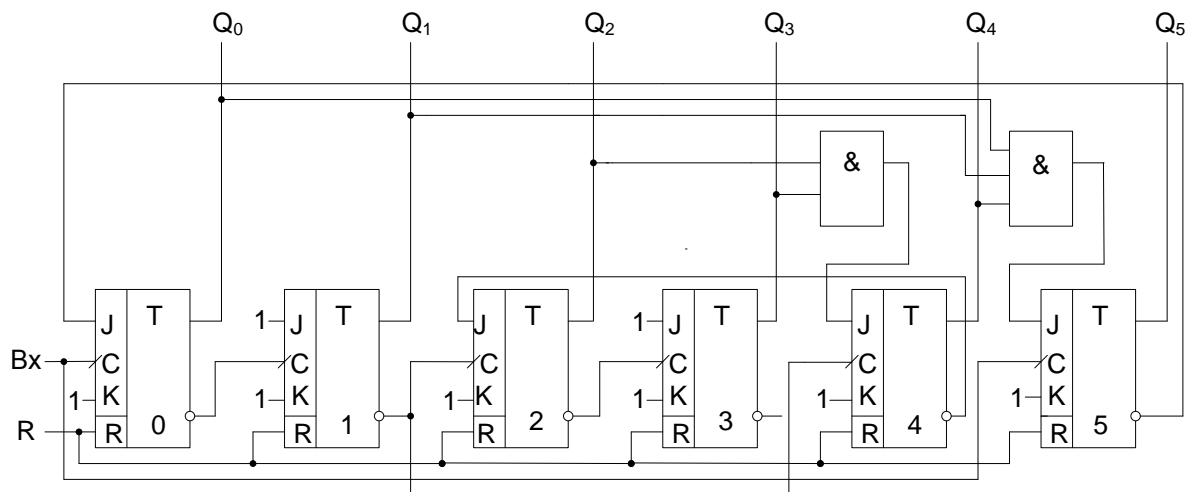


Рис. 4

Достоинством безвентильных счётчиков является простота их синтеза для произвольного модуля.

Недостатки безвентильных счётчиков:

- неестественный порядок счёта (в общем случае);
- низкое быстродействие ввиду последовательного срабатывания разрядов и групп;
- большее по сравнению с другими типами счётчиков количество триггеров.

Задание и порядок проведения работы

1. Исследование четырёхразрядного асинхронного суммирующего счётчика с последовательным переносом, используя для этого *D*-триггеры с прямым динамическим синхронизирующим входом. Проверить работу счётчика

- от одиночных импульсов, подключив к прямым выходам разрядов световые индикаторы,
- от импульсов генератора.

Просмотреть на экране логического анализатора (осциллографа) временную диаграмму сигналов на входе и выходах счетчика, провести анализ временной диаграммы сигналов счетчика. Измерить время задержки распространения счетчика.

2. Исследование четырёхразрядного асинхронного суммирующего счётчика с последовательным переносом на *JK*-триггерах в статическом и динамическом режимах. Проверить его работу и построить временные диаграммы. Провести анализ временной диаграммы сигналов счетчика. Измерить время задержки распространения счетчика.

3. Исследование четырёхразрядного асинхронного суммирующего счётчика с параллельным переносом на *JK*-триггерах. Проверить его работу в статическом и динамическом режимах. Провести анализ временной диаграммы сигналов счетчика. Измерить время задержки распространения счетчика.

4. Синтезировать безвентильный счётчик с заданным коэффициентом пересчета (табл. 2).

Таблица 2

| № вари- анта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| Модуль | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |

Проверить работу счётчика

- от одиночных импульсов, подключив к прямым выходам разрядов световые индикаторы,
- от импульсов генератора.

Просмотреть на экране логического анализатора (осциллографа) временную диаграмму сигналов на входе и выходах счетчика, зафиксировать их и измерить их параметры. Измерить время задержки распространения сигнала счетчика.

Требования к отчету

Отчёт должен содержать электрические функциональные схемы исследуемых счетчиков, временные диаграммы сигналов счетчиков, материалы по синтезу безвентильных двоично-

десятичного счётчика и счетчика с заданным коэффициентом пересчета, результаты измерений.

Контрольные вопросы

1. Что называется счетчиком?
2. Что называется коэффициентом пересчета?
3. Перечислить основные классификационные признаки счетчиков.
4. Указать основные параметры счетчиков.
5. Что такое время задержки распространения сигнала счетчика?
6. Объяснить работу асинхронного счетчика с последовательным переносом, оценить его быстродействие.
7. Объяснить работу асинхронного счетчика с параллельным переносом, оценить его быстродействие.
8. Что такое безвентильный счётчик?
9. На чём основано построение безвентильных счётчиков?
10. Объяснить методику синтеза асинхронных безвентильных счетчиков на *JK*-триггерах, на *D*-триггерах.
11. Проиллюстрируйте правила построения безвентильных счётчиков на конкретных примерах ($M=3; 5; 9$).