

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 10.02.2022 15:45:00
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c1

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова



2016 г.

СЧЕТЧИКИ ИМПУЛЬСОВ

Методические указания по выполнению лабораторной
работы по дисциплине «Электротехника,
электроника и схемотехника» для студентов специальности
09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Курск 2016

УДК 681.3.049.77

Составители: В.И. Иванов, М.В. Бобырь

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Е.О. Брежнева*

Счетчики импульсов: методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Электротехника, электроника, схемотехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.И. Иванов, М.В. Бобырь. – Курск, 2016. – 15 с.: ил. 10, табл. 5. – Библиогр.: с.15.

Изложена методика проектирования и исследования двоично-кодированных счетчиков и счетчиков с недвоичным кодированием; приведены рекомендации по применению программы моделирования электронных схем Electronics Workbench 5.0 для изучения функционирования счетчиков.

Методические указания соответствуют требованиям программы дисциплины «Электротехника, электроника, схемотехника».

Предназначены для студентов специальности 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *19.10.16*. Формат 60x84 1/16.
Усл.печ. л. 0,9. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 50 экз. Заказ. *980*
Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СЧЕТЧИКИ ИМПУЛЬСОВ

1. Цель работы

Исследование схем двоично-кодированных счетчиков и счетчиков с недвоичным кодированием, изучение методов синтеза синхронных счетчиков, приобретение навыков в сборке и наладке пересчетных схем.

2. Основные теоретические положения

2.1. Двоичные и двоично-кодированные счетчики

Специфичной для счетчиков является микрооперация инкремента или декремента, то есть изменение содержимого на единицу. Состояние счетчика выражается двоичным кодом, считываемым с выходов триггеров, например, для четырехразрядного счетчика – кодом $Q_3Q_2Q_1Q_0$. Счетчик характеризуется, прежде всего, *модулем счета* (емкостью) M , равным количеству различных состояний, составляющих цикл работы.

В *параллельных* счетчиках переключение триггеров во всех разрядах осуществляется синхронно по счетному импульсу, при этом новое состояние триггера в каждом разряде обусловлено сигналами, поступающими на его информационные входы из комбинационной схемы.

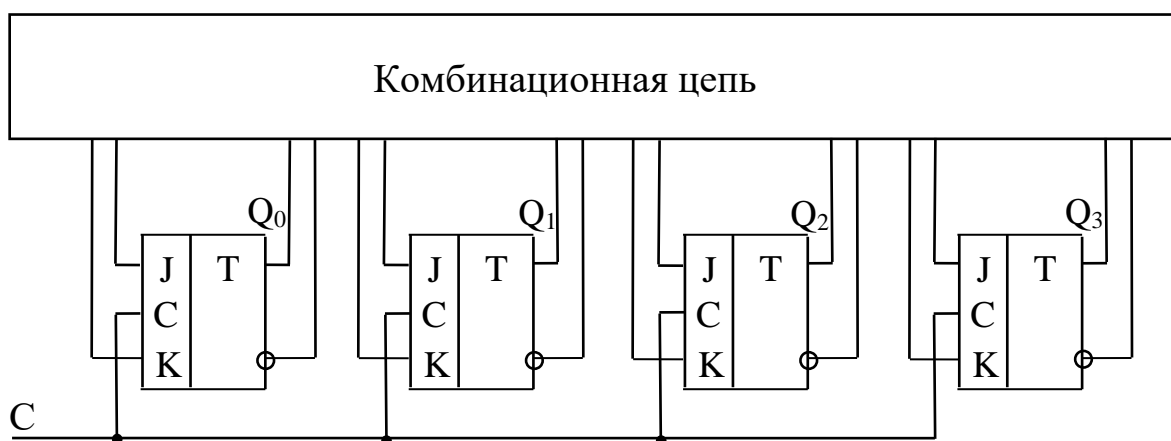


Рис. 1. Схема 4-разрядного счетчика на JK-триггерах

На рисунке 1 в качестве примера приведена структурная схема синхронного счетчика на JK-триггерах. Сигналы с выходов триггеров поступают в комбинационную схему, которая преобразует их в сигналы возбуждения триггеров. Указанные сигналы подаются на информационные входы J_i и K_i ($i = 0, \dots, 3$) триггеров и подготавливают их для переключения счетчика в требуемое состояние. Переключение триггеров происходит по счетному импульсу, поступающему на синхровходы триггеров.

Функции возбуждения каждого, i -го, триггера определяются “старым” состоянием счетчика $Q_3Q_2Q_1Q_0$ (до переключения), и их вид зависит от алгоритма счета и от типа применяемых триггеров.

Таким образом, если задан тип триггера, то задача логического проектирования схемы счетчика заключается в составлении функций возбуждения каждого триггера и минимизации найденных функций в заданном базисе.

Двоичные счетчики. Модуль n -разрядного двоичного счетчика соответствует целой степени двойки ($M = 2^n$). По направлению счета различают суммирующие (Up-Counter), вычитающие (Down-Counter) и реверсивные (Up-Down-Counter) счетчики.

Структуру двоичного счетчика можно получить эвристическим путем (внимательно рассмотрев особенности последовательности двоичных чисел) или с применением формального синтеза.

Рассмотрим случай суммирующего счетчика. В процессе прибавления единицы к двоичному числу, например,

$$\begin{array}{r} 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1 \\ + 1 \\ \hline 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0 \end{array}$$

результат отличается от исходного числа только в младших разрядах до первого нулевого включительно. Изменение заключается в инвертировании состояний. В этом и состоит функция счетчика.

Для переключения триггера в i -м разряде ему необходимо обеспечить режим T -триггера при наличии сигнала переноса p_i , который должен возникать, если триггеры во всех младших разрядах были в единичном состоянии, т. е.

$$p_i = Q_{i-1}Q_{i-2}\dots Q_1Q_0.$$

В случае вычитающего счетчика результат отличается от исходного числа во всех младших разрядах до первого единичного включительно. Следовательно, для переключения триггера в i -м разряде ему необходимо обеспечить режим T -триггера при наличии сигнала заема z_i , который должен возникать, если триггеры во всех младших разрядах были в нулевом состоянии, т. е.

$$z_i = \bar{Q}_{i-1} \bar{Q}_{i-2} \dots \bar{Q}_1 \bar{Q}_0.$$

Сигнал переноса или заема используется для формирования функций возбуждения триггера в соответствии с таблицей переходов применяемых триггеров.

Из формул для переноса и заема видно, что эти сигналы во всех разрядах счетчика вырабатываются одновременно с помощью многовходовых конъюнкторов. В счетчиках со *сквозным* переносом сигнал переноса или заема распространяется по цепочке двухвходовых конъюнкторов:

$$P_i = P_{i-1} Q_{i-1} \text{ или } z_i = z_{i-1} \bar{Q}_{i-1}.$$

Сигнал переноса распространяется до ближайшего разряда, содержащего нуль, а сигнал заема – до ближайшего разряда, содержащего единицу.

2.2. Счетчики с недвоичным кодированием

Наибольшее практическое значение среди счетчиков с недвоичным кодированием состояний имеют счетчики с кодом Грея, счетчики Джонсона и счетчики с кодом "1 из N".

Счетчики в коде Грея. Этот код известен с 70-х годов XIX века, однако оказался связанным с именем Ф. Грея только в 50-х годах XX века, когда Ф. Грей применил его для построения преобразователя угловых перемещений в цифровой код, обладающего явными преимуществами перед преобразователем с двоичным кодом. Код Грея относится к таким, в которых при переходе от любой кодовой комбинации к следующей изменяется только один разряд. В схемотехнике счетчиков это свойство устраняет одновременное переключение многих разрядов, характерное для двоичных счетчиков при некоторых переходах. Одновременное переключение многих элементов создает такие токовые импульсы в цепях питания схем, которые могут вызывать сбои в работе схемы. В ряде БИС/СБИС применение двоичных

счетчиков большой разрядности не разрешается, и они заменяются счетчиками с кодом Грея и последующим преобразованием кода Грея в двоичный.

Сложность счетчика с кодом Грея ненамного больше, чем сложность двоичного счетчика, преобразователь кодов также относительно прост.

3. Программа исследований

3.1. Разработать схему счетчика в соответствии с вариантом задания и указанным преподавателем типом триггера (JK или D). Эта часть работы выполняется в ходе домашней подготовки к занятиям.

Таблица 1

| Варианты задания | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Последовательность состояний счетчика | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 5 | 3 | 9 | 3 | A | 3 | 6 | 6 | 6 | C | 5 | C | A | 9 | C | 9 |
| d | 7 | b | 2 | b | b | E | E | E | E | 7 | 8 | E | 1 | d | b |
| 9 | F | F | 6 | 9 | A | F | A | F | F | 6 | 9 | 6 | 3 | F | A |
| b | b | 7 | 7 | 8 | E | 7 | b | d | d | E | d | 7 | 7 | E | E |
| A | 9 | 6 | 5 | C | 6 | 5 | F | 5 | 9 | F | 5 | 5 | F | 6 | F |
| E | 8 | E | 4 | 4 | 7 | d | 7 | 7 | b | d | 1 | d | E | 7 | d |
| 6 | C | A | C | 5 | 5 | 9 | 3 | 3 | A | C | 3 | 9 | 6 | 3 | 5 |
| 2 | 4 | 8 | 8 | 1 | 4 | 8 | 1 | 1 | 2 | 8 | 2 | 1 | 4 | 2 | 1 |

На рисунке 2 поясняются условные обозначения состояний триггеров счетчика, которые используются в табл. 1.

| | | | | | |
|-------|-------|---|---|---|-------|
| | Q_0 | | | | |
| | 0 | 1 | 3 | 2 | |
| | 4 | 5 | 7 | 6 | |
| Q_2 | C | d | F | E | Q_3 |
| | 8 | 9 | b | A | |
| | Q_1 | | | | |

Рис. 2. Обозначение кодов состояний в 16-ричных символах

3.2. Провести анализ счетчика на способность автоматически самовосстанавливаться после сбоя. Для этого необходимо рассмотреть, какие переходы будет осуществлять счетчик из каждого запрещенного состояния. В нашем примере составим таблицу переходов для шести таких состояний.

3.3. Собрать схему счетчика на рабочем столе программы Electronics Workbench, подключить к выходам триггеров светодиодные индикаторы и цифровой семи-сегментный индикатор, соединить входы логического анализатора с выходом генератора импульсов и выходами триггеров. Установить низкую частоту импульсов 1 Гц и проверить функционирование счетчика по показаниям индикаторов. Принудительно устанавливая в триггерах запрещенные комбинации, проверить схему на самовосстановление после сбоя.

Установить частоту импульсов 1 кГц, запустить логический анализатор и получить временные диаграммы входных импульсов и выходов счетчика Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 .

4. Методические указания

Пример синтеза функций возбуждения триггеров 4-разрядного параллельного счетчика с произвольным порядком счета и неполным числом состояний. На рисунке 3 представлен вариант задания. Модуль счета $M = 10$. Стартовое состояние 0000, финишное 0100. Счетчик реализуется на JK -триггерах.

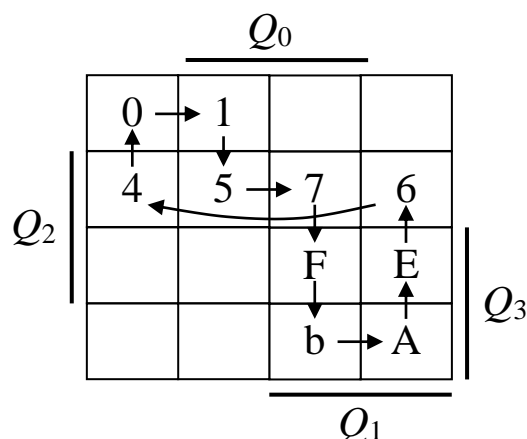


Рис. 3. Схема переключения состояний счетчика

Таблица 2

Таблица переходов JK-триггера

| Q_t | Q_{t+1} | J | K |
|-------|-----------|---|---|
| 0 | 0 | 0 | × |
| 0 | 1 | 1 | × |
| 1 | 0 | × | 1 |
| 1 | 1 | × | 0 |

Используя таблицу переходов JK-триггера, представленную в табл. 2, заполняем таблицу состояний счетчика и необходимых сигналов на входах всех триггеров – функций возбуждения (см. табл. 3). Заполняем диаграммы Вейча для функций J и K триггеров всех четырех разрядов счетчика. Из шестнадцати возможных состояний триггеров используются только десять, остальные шесть при правильной работе счетчика не должны появляться. На этих наборах аргументов значения функций возбуждения триггеров можно выбирать произвольно. Производим минимизацию функций J_i и K_i .

Таблица 3

Таблица функций возбуждения триггеров

| Состояния триггеров | | | | | | | | | Входные сигналы триггеров | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| в момент t | | | | в момент $t+1$ | | | | | | | | | | | | |
| | Q_3 | Q_2 | Q_1 | Q_0 | Q_3 | Q_2 | Q_1 | Q_0 | J_3 | K_3 | J_2 | K_2 | J_1 | K_1 | J_0 | K_0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | × | 0 | × | 0 | × | 1 | × |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | × | 1 | × | 0 | × | × | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | × | × | 0 | 1 | × | × | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | × | × | 0 | × | 0 | × | 0 |
| F | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | × | 0 | × | 1 | × | 0 | × | 0 |
| b | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | × | 0 | 0 | × | × | 0 | × | 1 |
| A | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | × | 0 | 1 | × | × | 0 | 0 | × |
| E | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | × | 1 | × | 0 | × | 0 | 0 | × |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | × | × | 0 | × | 1 | 0 | × |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | 1 | 0 | × | 0 | × |

Диаграммы Вейча для функций возбуждения триггеров

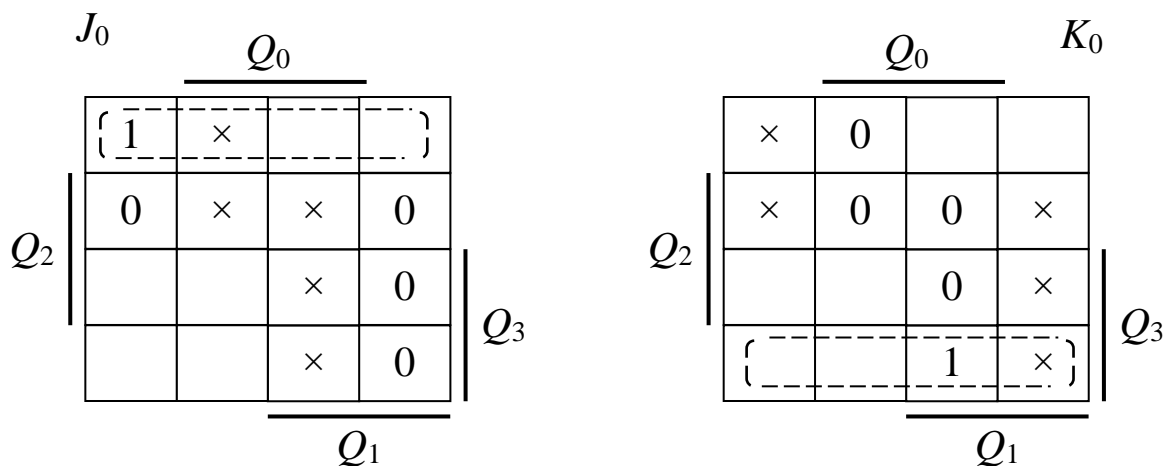


Рис. 4. Диаграммы Вейча для функций возбуждения триггера младшего разряда

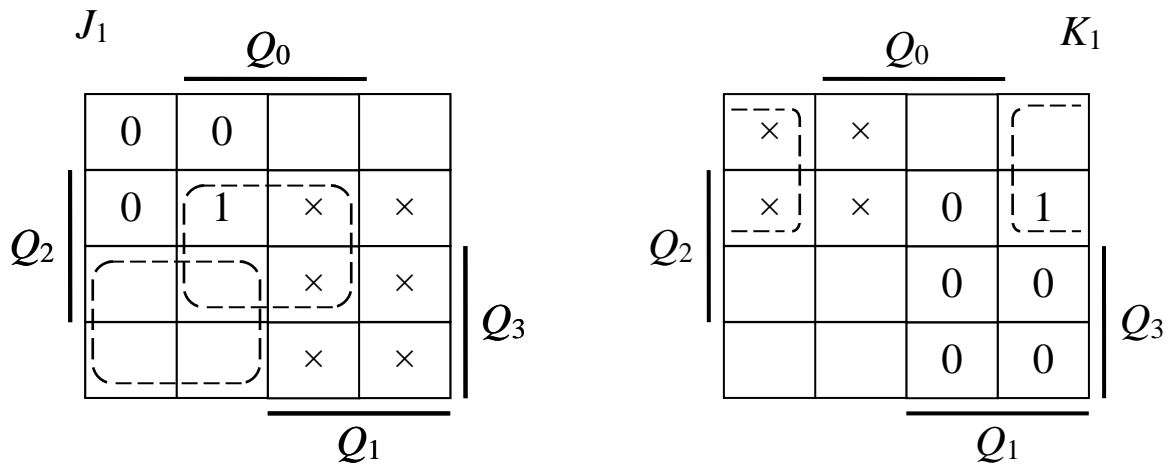


Рис. 5. Диаграммы Вейча для функций возбуждения триггера 1-го разряда:

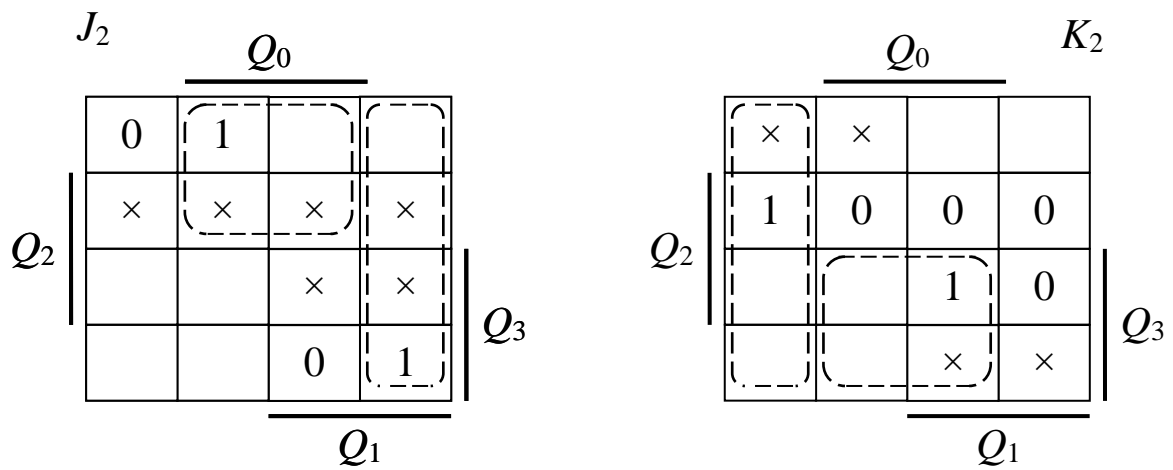


Рис. 6. Диаграммы Вейча для функций возбуждения триггера 2-го разряда:

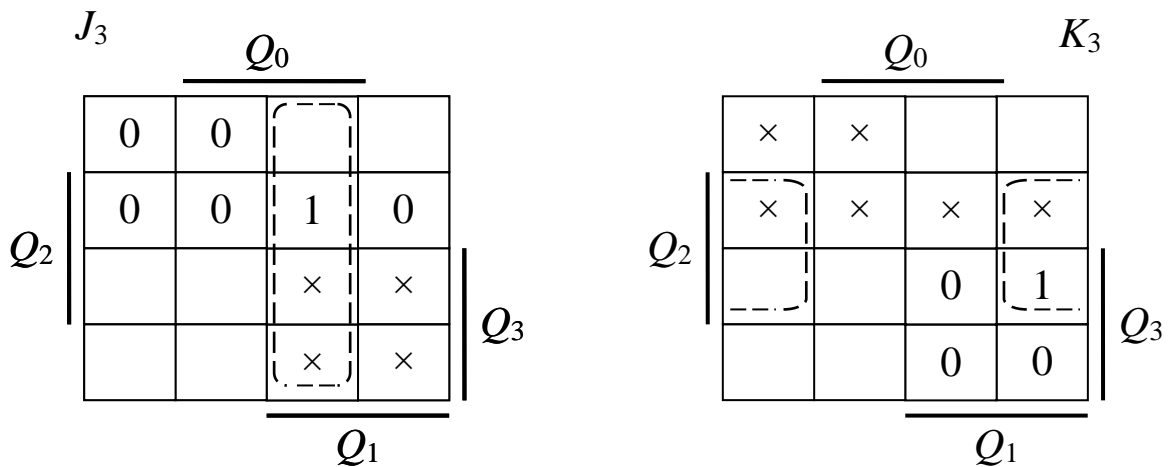


Рис.7. Диаграммы Вейча для функций возбуждения триггера 3-го разряда

Результаты минимизации функций возбуждения:

- В младшем разряде $J_0 = \bar{Q}_3\bar{Q}_2$, $K_0 = Q_3\bar{Q}_2$.
- В 1-м разряде $J_1 = Q_2Q_0$, $K_1 = \bar{Q}_3\bar{Q}_0$.
- Во 2-м разряде $J_2 = \bar{Q}_3Q_0 \vee Q_1\bar{Q}_0$, $K_2 = Q_3Q_0 \vee \bar{Q}_1\bar{Q}_0$.
- В 3-м разряде $J_3 = Q_1Q_0$, $K_3 = Q_2\bar{Q}_0$.

Проводим анализ счетчика на способность автоматически самовосстанавливаться после сбоя. Для этого необходимо рассмотреть, какие переходы будет осуществлять счетчик из каждого запрещенного состояния. В нашем примере составим таблицу переходов для шести таких состояний.

Таблица 4

Таблица переходов счетчика из запрещенных состояний

| Состояние в момент t | | | | | Входные сигналы триггеров | | | | | | | | Состояние в момент $t+1$ | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|---|---|
| | Q_3 | Q_2 | Q_1 | Q_0 | J_3 | K_3 | J_2 | K_2 | J_1 | K_1 | J_0 | K_0 | Q_3 | Q_2 | Q_1 | Q_0 | | |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | F |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 5 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| C | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| d | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | b |

Из табл. 4 видно, что из двух запрещенных состояний, а именно 1000 и 1001, счетчик не сможет войти в правильный цикл работы, то есть эта схема не обладает способностью автоматически восстанавливаться после сбоя. Необходимо скорректировать некоторые сигналы возбуждения триггеров. Для этого достаточно в сигнал J_1 ввести дополнительный терм: $J_1 = Q_2Q_0 \vee Q_3\bar{Q}_1$, что показано на рисунке 5. В табл. 5 показаны переходы счетчика из запрещенных состояний после коррекции сигнала J_1 .

Таблица 5

| Состояние в момент t | | | | | Входные сигналы триггеров | | | | | | | | Состояние в момент $t+1$ | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|-------|---|
| | Q_3 | Q_2 | Q_1 | Q_0 | J_3 | K_3 | J_2 | K_2 | J_1 | K_1 | J_0 | K_0 | Q_3 | Q_2 | Q_1 | Q_0 | |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | F |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | A |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | A |
| C | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| d | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | b |

На рисунке 8 изображен граф переходов счетчика, обладающего свойством самовосстановления после сбоя: через один или два такта счетчик возвращается из любого запрещенного состояния в рабочий цикл.

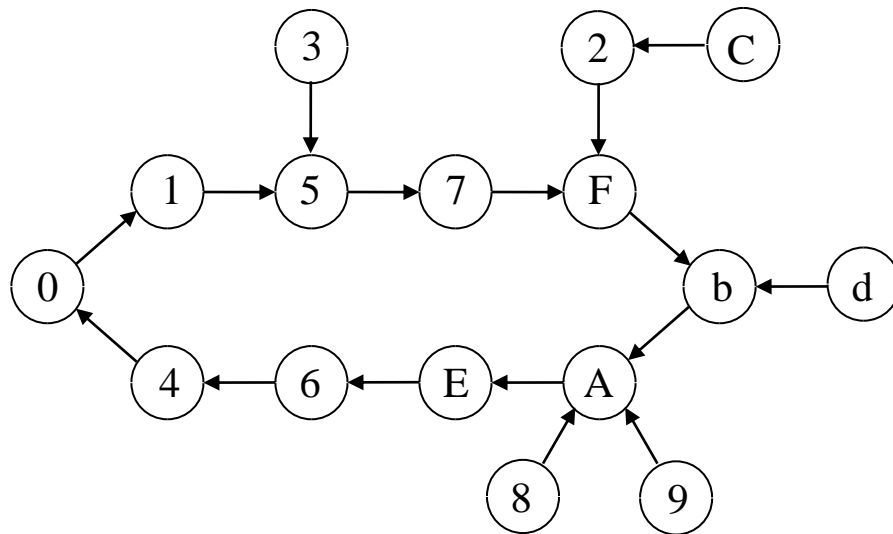


Рис. 8. Граф переходов счетчика

Собираем схему счетчика (см. рис. 9), подключаем к выходам триггеров светодиодные индикаторы и цифровой семи-сегментный индикатор, соединяем входы логического анализатора с выходом генератора импульсов и выходами триггеров. Ключи «1», «2», «3», «4» в нормальном состоянии должны быть подключены к общей шине, так как у применяемых в счетчике триггеров активный уровень асинхронных сигналов S и R – высокий.

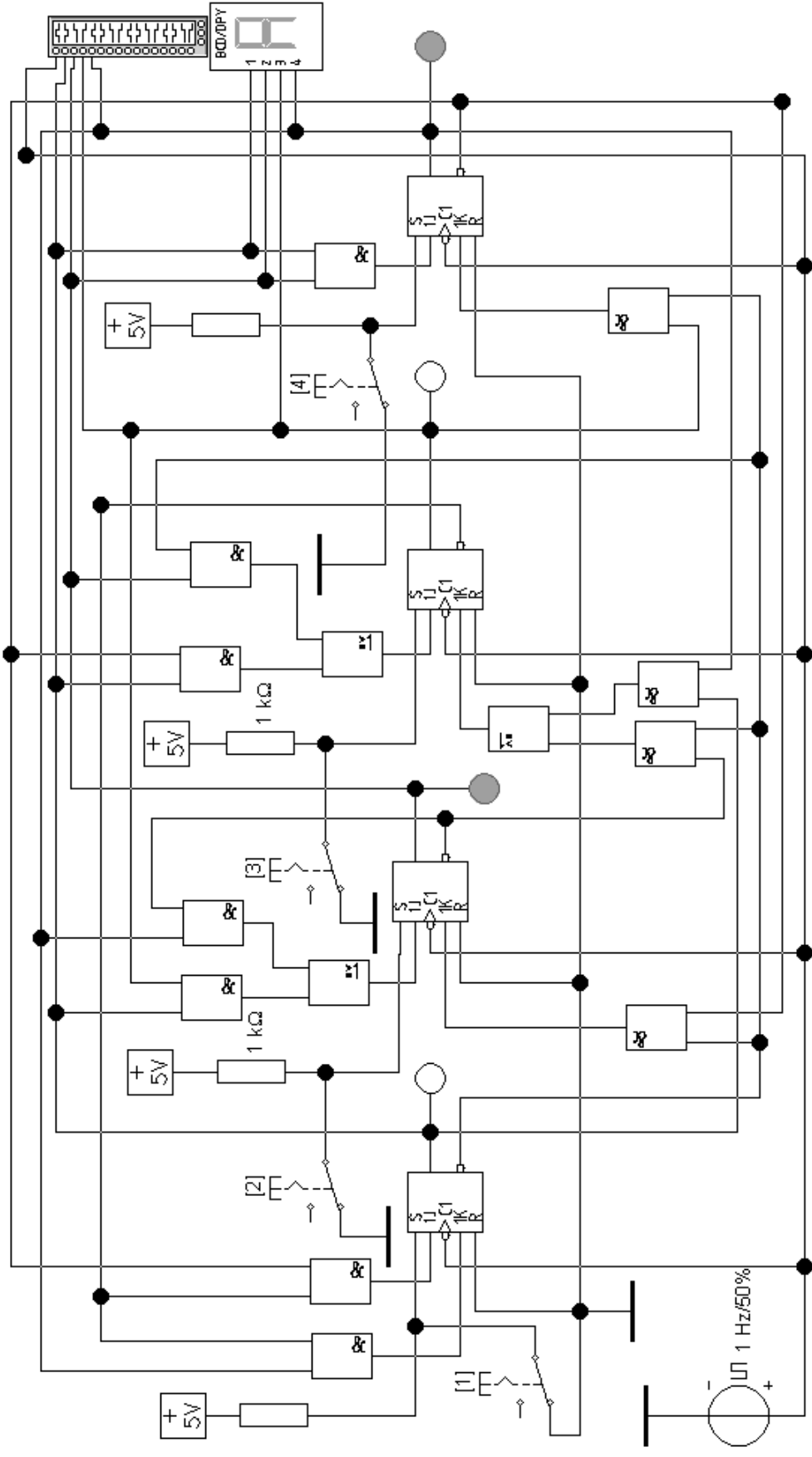


Рис. 9. Схема счетчика

Устанавливаем низкую частоту импульсов 1 Гц и проверяем функционирование счетчика по показаниям индикаторов. Принудительно, на короткое время размыкая ключи, устанавливаем в триггерах запрещенные комбинации и проверяем схему счетчика на самовосстановление после сбоя.

Устанавливаем частоту импульсов 1 кГц, запускаем логический анализатор и получаем временные диаграммы входных импульсов и выходов счетчика Q_0 , Q_1 , Q_2 , Q_3 . Диаграммы сигналов показаны на рисунке 10.

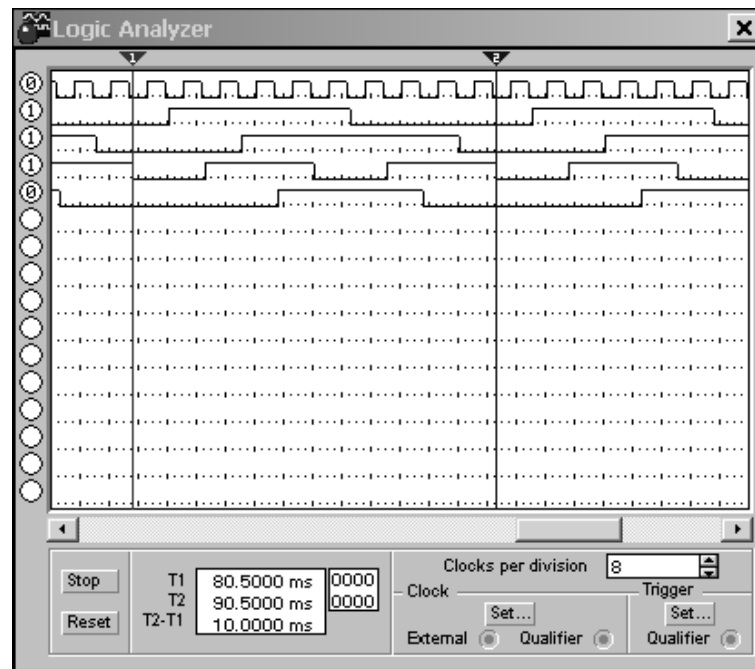


Рис. 10. Временные диаграммы на входе и выходах счетчика

5. Контрольные вопросы

1. В чем различие организации управления триггерами в суммирующем и вычитающем двоичных счетчиках?
2. В чем суть параллельного, сквозного и группового переносов в двоичных счетчиках?
3. Чем объяснить опасность временных состязаний (“гонок”) в многоразрядных пересчетных схемах?
4. Какие типы триггеров можно применять в пересчетных схемах, а какие – нет?
5. Чем ограничивается максимальная частота счетных импульсов на входе счетчика?

6. Как используются “лишние” (запрещенные) состояния двоично-кодированного счетчика с модулем счета $M < 2^n$ при синтезе схемы счетчика?
7. В чем заключается проблема самовосстановления после сбоя пересчетной схемы с неполным использованием всех состояний триггеров?
8. Как обеспечить самовосстановление после сбоя в пересчетной схеме с неполным использованием всех состояний триггеров?

6. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) наименование работы и цель исследований;
- 3) задание на лабораторную работу;
- 4) описание синтеза счетчика;
- 5) схему счетчика;
- 6) временные диаграммы импульсов на входе и выходах счетчика.

Библиографический список

1. Проектирование цифровых устройств [Текст]: учебное пособие для студентов вузов / В.И. Иванов, В.С. Титов, М.В. Бобырь, А.С. Ястребов; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск. 2001. 100 с.
2. Угрюмов, Е.П. Цифровая схемотехника [Текст]: учебное пособие для вузов / Е.П. Угрюмов. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. 528 с.

