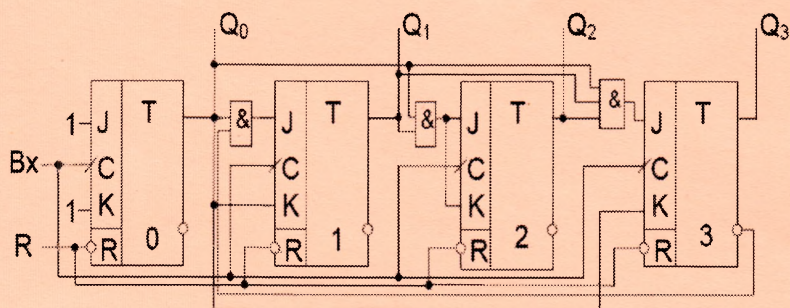


437-2021

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОИЧНЫХ СЧЁТЧИКОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника»
(профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и
обработки сигналов»)
всех форм обучения



Воронеж 2021

УДК 681.325.5(07)
ББК 32.973.2я7

Составители:

канд. физ.-мат. наук, доц. В. А. Кондусов,
канд. техн. наук, доц. Е. Д. Алперин

Синтез и исследование двоичных счётчиков: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: В. А. Кондусов, Е. Д. Алперин. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 22 с.

В методических указаниях изложены требования и рекомендации по выполнению лабораторных работ, их объему и содержанию.

Предназначены для студентов направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника» (профиль «Радиотехнические средства передачи, приема и обработки сигналов») всех форм обучения.

Ил. 17. Табл. 4. Библиогр.: 3 назв.

УДК 681.325.5(07)
ББК 32.973.2я7

Рецензент – А. В. Останков, д-р техн. наук, зав. кафедрой радиотехники ВГТУ

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания содержат описания двух лабораторных работ по овладению методами синтеза и исследования синхронных и асинхронных счетчиков с произвольным модулем счёта, экспериментальной оценкой динамических параметров счетчиков.

На основе проведенного синтеза с использованием моделирующей программы типа *Electronics Workbench (EWB)* исследуется работа синхронного и асинхронного счетчиков. Снимаются временные диаграммы. Оценивается быстродействие счетчиков.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННЫХ СЧЁТЧИКОВ**

Цель работы – приобретение практических навыков в синтезе и экспериментальном исследовании суммирующих синхронных счетчиков импульсных сигналов с произвольным модулем счёта с использованием моделирующей программы *Electronics Workbench (EWB)*.

Задание к работе - синтезировать суммирующий синхронный счетчик на универсальных JK-триггерах SN7472 в соответствии с техническим заданием (вариантом). Данные для синтеза в соответствии с вариантом приведены в таблицах 1-4 (1 группа – табл.1 и табл. 2, 2 группа – табл. 3 и табл. 4). Изобразить временные диаграммы. Определить разрешающее время счетчика – $T_{сч}$ и время установления кода – $T_{уст}$.

Таблица 1

Данные для синтеза счетчика (варианты 1–12)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Код	4-2-1	3-2-1	3-2-1	2-2-1	3-1-1	3-1-1	1	8-4-2-	8-4-2-	1	7-4-2-	7-4-2-	1	7-4-2-	1	7-4-2-
Ксч	7	7	6	5	6	5	14	10	14	12	15	12				
Q_4^n	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n													
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
0	0	1	0	2	2	2	2	-	-	2	2	2				
0	0	1	1	3	-	3	3	2	2	3	3	3				
0	1	0	0	4	3	-	-	3	3	4	4	4				
0	1	0	1	5	4	4	-	4	-	5	5	5				
0	1	1	0	6	5	5	4	-	4	6	6	6				
0	1	1	1	-	6	-	-	5	-	7	7	7				
1	0	0	0	-	-	-	-	-	8	8	-	7				
1	0	0	1	-	-	-	-	-	9	9	8	8				
1	0	1	0	-	-	-	-	-	10	-	9	9				
1	0	1	1	-	-	-	-	-	11	-	10	10				
1	1	0	0	-	-	-	-	-	12	-	11	11				
1	1	0	1	-	-	-	-	-	13	-	12	12				
1	1	1	0	-	-	-	-	-	-	-	13	13				
1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	14				

Таблица 2

Данные для синтеза счетчика (варианты 13 – 25)

Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Код	7-4-2-1	6-4-2-1	6-4-2-1	6-4-2-1	6-4-2-1	6-4-2-1	5-4-2-1	5-4-2-1	5-4-2-1	5-4-2-1	4-4-2-1	4-4-2-1	4-4-2-1
Ксч	9	13	10	14	10	7	13	11	8	6	11	10	8
Q_4^n Q_3^n Q_2^n Q_1^n													
0 0 0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 0 0 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0 0 1 0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0 0 1 1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0 1 0 0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
0 1 0 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0 1 1 0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
0 1 1 1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1 0 0 0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1 0 0 1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1 0 1 0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1 0 1 1	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1 1 0 0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1 1 0 1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1 1 1 0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1 1 1 1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Данные для синтеза счетчика (варианты 1–12)

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Код	4-2-1	3-2-1	3-2-1	2-2-1	3-1-1	8-4-2-1	8-4-2-1	7-4-2-1	7-4-2-1	7-4-2-1	7-4-2-1	7-4-2-1
Ксч	5	6	5	6	6	15	11	15	11	9	14	11
Q_4^n Q_3^n Q_2^n Q_1^n												
0 0 0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 0 0 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0 0 1 0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0 0 1 1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0 1 0 0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
0 1 0 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0 1 1 0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
0 1 1 1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1 0 0 0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1 0 0 1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1 0 1 0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1 0 1 1	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1 1 0 0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1 1 0 1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1 1 1 0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1 1 1 1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Таблица 4

Данные для синтеза счетчика (варианты 13 – 25)

Вариант	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Код	6-4-2-1	6-4-2-1	6-4-2-1	6-4-2-1	6-4-2-1	5-4-2-1	5-4-2-1	5-4-2-1	5-4-2-1	4-4-2-1	4-4-2-1	4-4-2-1	4-4-2-1
Ксч	14	11	13	11	9	11	9	12	9	12	9	12	7
Q_4^n Q_3^n Q_2^n Q_1^n													
0 0 0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 0 0 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0 0 1 0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0 0 1 1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0 1 0 0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
0 1 0 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
0 1 1 0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
0 1 1 1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
1 0 0 0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
1 0 0 1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1 0 1 0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1 0 1 1	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
1 1 0 0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
1 1 0 1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1 1 1 0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
1 1 1 1	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Синтез синхронного счётчика

Для выполнения лабораторной работы рассмотрим пример синтеза суммирующего синхронного двоичного счетчика, работающего в коде 5-4-2-1 с модулем счета Ксч = 12 (вариант 20 в табл. 4. Студенту с доставшимся таким вариантом работы следует согласовать с преподавателем иной вариант).

Работу разрабатываемого счётчика можно представить следующим образом:

→ на вход счётчика от генератора тактовых импульсов подаётся периодический сигнал ТТЛ уровня;

→ счётчик будет осуществлять счёт числа поступающих на его вход импульсов (с 1-го по 11-й) и фиксацию этого числа на выходах $Q_4^n, Q_3^n, Q_2^n, Q_1^n$ в виде четырёхразрядного двоичного кода 5-4-2-1.

Счётчики работают по циклическому принципу. Максимальное число K входных импульсов, после которого счётчик возвращается в исходное состояние, называется коэффициентом пересчёта или модулем счёта. Т.е., согласно заданию таблицы 4, разрабатываемый счётчик в исходном состоянии должен показать код на выходах $Q_4^n, Q_3^n, Q_2^n, Q_1^n$ 0000 (после обнуления), 0001 после прихода 1-го импульса, 0010 после прихода 2-го импульса, 0011 после прихода 3-го импульса, 0100 после прихода 4-го импульса,

1000 после прихода 5-го импульса, 1001 после прихода 6-го импульса, 1010 после прихода 7-го импульса, 1011 после прихода 8-го импульса, 1100 после прихода 9-го импульса, 1101 после прихода 10-го импульса, 1110 после прихода 11-го импульса, 0000 после прихода 12-го импульса и далее коды на выходах $Q_4^n, Q_3^n, Q_2^n, Q_1^n$ повторяются. Как видим, количество кодовых комбинаций, периодически формируемых счётчиком при работе равно 12, т.е. равно коэффициенту пересчёта $K_{сч}$.

Следует обратить внимание на то, что в столбце для данного варианта задания стоят прочерки, что говорит об отсутствии четырёх кодовых комбинаций 0101, 0110, 0111, 1111 при его работе, они являются неопределёнными или *запрещёнными*. Такие коды присутствуют при работе двоичного суммирующего счётчика, работающего в прямом натуральном коде 8-4-2-1 с коэффициентом пересчёта $K_{сч} = 2^4 = 16$ при поступлении на его вход 5,6,7 и 15 импульсов, который производит подсчёт импульсов от 0 до 15 и обнуляется с приходом 16-го импульса. Приступим к синтезу счётчика.

1. Определяем количество разрядов счетчика m :

$$m = \lceil \log_2 K_{сч} \rceil = \lceil \log_2 12 \rceil = 4.$$

Скобки означают, что значение логарифма ($\log_2 12 = 3,585$) округляется до ближайшего целого числа 4. Для построения такого счётчика необходимо 4 триггера, что соответствует четырём разрядам двоичного числа.

Следует сделать принципиальную оговорку. Эта формула часто приводится при расчёте двоичных счётчиков с естественным порядком изменения состояний, начиная от нулевого для определения количества разрядов (триггеров) счётчика, у которых коэффициент пересчёта $K = 2^N$ ($N=1,2,3,\dots$). Число разрядов N двоичных счётчиков равно числу триггеров. В нашем случае она не везде подходит, так как есть в задании счётчики с произвольным модулем счёта, произвольным порядком изменения состояний и с неоднозначными кодами. Поэтому можно считать, что, согласно техническим заданиям (вариантам), **разрядность счётчика** (число триггеров) для каждого варианта задана и **определяется количеством цифр кода**.

2. Заполняем таблицу функционирования счетчика (табл. 5) для n (текущего состояния выходов триггеров $Q_4^n, Q_3^n, Q_2^n, Q_1^n$) и $n+1$ (следующего состояния выходов триггеров счётчика $Q_4^{n+1}, Q_3^{n+1}, Q_2^{n+1}, Q_1^{n+1}$). Значения Q^n при заданном значении тактового импульса n соответствуют значениям Q^{n+1} при $n+1$ и соответствуют номерам клеток выбранного варианта карт Карно (прил. 1). Такая таблица представляет теперь собой таблицы переключения счётчика дополненная столбцами для следующего такта. Также в этой таблице для каждого тактового импульса указана клетка карты Карно, соответствующая набору переменных функции в её таблице истинности. Функционирование синхронного счётчика, работающего в коде 5-4-2-1, представлено в табл. 5.

3. По табл. 5 заполняем для каждого разряда карты Карно (рис.1). Для четырёх выходов $Q_1^n, Q_2^n, Q_3^n, Q_4^n$ будет четыре карты Карно. Функциями этих диаграмм являются значения $Q_1^{n+1}, Q_2^{n+1}, Q_3^{n+1}, Q_4^{n+1}$, а аргументами $Q_1^n, Q_2^n, Q_3^n, Q_4^n$. В ячейки карт Карно (рис. 1, б) заносятся две цифры: левая отражает состояние триггера на данном наборе в n -ом такте, правая – в такте $n+1$. Заполняем карту Карно для первого разряда счётчика $Q_1^n Q_1^{n+1}$ по такой методике:

3.1. Находим ячейку в карте Карно с № 0 (рис. 1а), в которой значения всех аргументов в нулевом такте равны нулю, т. е.

$$Q_4^n = 0, Q_3^n = 0, Q_2^n = 0, Q_1^n = 0.$$

Таблица 5
Функционирование синхронного счётчика, работающего в коде 5-4-2-1

Номер тактового импульса n	Номер клетки карты Карно	Q_4^n	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_4^{n+1}	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
2	2	0	0	1	0	0	0	1	1
3	3	0	0	1	1	0	1	0	0
4	4	0	1	0	0	1	0	0	0
5	8	1	0	0	0	1	0	0	1
6	9	1	0	0	1	1	0	1	0
7	10	1	0	1	0	1	0	1	1
8	11	1	0	1	1	1	1	0	0
9	12	1	1	0	0	1	1	0	1
10	13	1	1	0	1	1	1	1	0
11	14	1	1	1	0	0	0	0	0

3.2. Записываем в найденную ячейку значения Q_1^n в n -ом такте и в $n+1$ -вом, т.е. в нулевом такте $Q_1^n=0$, а в первом (следующем) $Q_1^n=1$ (см. верхняя строка табл. 5), записываем в эту ячейку значение 01. Аналогично заполняем оставшиеся одиннадцать ячеек для рассматриваемого разряда. По этой же методике заполняем карты Карно для второго, третьего и четвертого разрядов счётчика.

3.3. Если в таблице функционирования (переключения) некоторых значений функций нет (рассматриваемый случай), например, для четырёх разрядов по умолчанию используется 16 комбинаций (0-15), а в нашем примере - 12 (0-4,8-14), ячейки карт Карно оставляются пустыми или заполняются символом «X» (неопределённое значение). В приведённых картах Карно такими ячейками оказались ячейки с номерами 5, 6, 7 и 15. Они соответствуют исключаемым комбинациям. При минимизации уравнений входов их можно доопределить удобным образом, поскольку для данного счетчика они являются нерабочими или запрещенными.

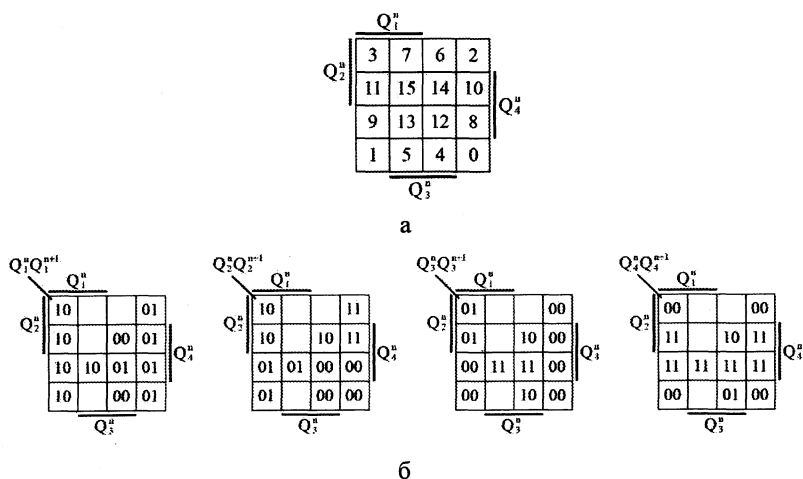


Рис. 1. Карты Карно: а – контрольная; б – для разрядов счётчика

4. Заполняем карты Карно (рис. 3 – 6) для уравнений входов, используя таблицу возбуждения (функционирования) JK-триггера, приведённую на рис. 2.

$Q^n \rightarrow Q^{n+1}$	J	K
0 → 0	0	X
0 → 1	1	X
1 → 0	X	1
1 → 1	X	0

Рис. 2. Таблица возбуждения JK-триггера

Так как JK-триггеры имеют по два информационных входа J и K, на каждый разряд счетчика составляются две карты Карно. Аргументы этих диаграмм располагают в том же порядке, что и на картах Карно (см. рис. 1).

Тогда на основании характеристической таблицы функционирования, представленной на рис. 2, в данную ячейку карт Карно для уравнений входа заносится 1, 0 или X, в соответствии со значениями перехода $Q^n \rightarrow Q^{n+1}$ триггера, которые приведены в аналогичной клетке диаграммы на рис. 1. Например, триггер первого разряда при сигнале $Q_1^n = Q_2^n = Q_3^n = Q_4^n = 0$ переключается из состояния «0» в состояние «1», т. е. совершается переход 0→1. Из характеристической таблицы видно, что такой переход совершается при J = 1, K = X. Значит, в данную клетку (клетка № 0) карт Карно для уравнений входов первого

триггера необходимо занести 1 для карты J₁ и крестик X ($X_0=0$ или $X_1=1$), обозначающий произвольный сигнал для карты K₁.

Пустые ячейки и ячейки, помеченные крестиком на картах Карно, обозначают факультативно определяемые значения функций, т.е. к ним можно относиться как к запрещённым комбинациям и доопределить таким образом, чтобы уравнения входов были минимальны.

Необходимо иметь в виду тот факт, что, заполняя нулями или единицами такие ячейки, нужно стремиться к тому, чтобы подготовленные к склейке ячейки охватывали максимальное количество единиц и были представлены прямоугольными или квадратными контурами, кратными двум (два, четыре, восемь и т.д.). Правило такое: минимальное количество более крупных объединений. За счёт этого достигается оптимальный вариант минимизации, не требующий последующих дополнительных действий по упрощению переключательной функции.

5. Считываем с карт Карно уравнения входов в минимизированной форме (см. рис. 3 – 6). Следует помнить общее правило упрощения логических функций для карт Карно:

5.1. Если в двух, четырёх, восьми и т.д. ячейках, ограниченных прямоугольным или квадратным контуром, стоят только единицы, можно записывать непосредственно конъюнкцию для всей группы, причём в неё должны входить лишь те аргументы, которые остаются неизменными для всех ячеек данной группы.

5.2. Затем записывается минимизированная функция в виде суммы логических произведений, описывающих эти контуры. Одни и те же клетки, заполненные единицами, могут входить в несколько контуров.

5.3. При проведении контуров самая верхняя и самая нижняя строки таблицы считаются соседними. То же самое справедливо для крайних левого и правого столбцов.

5.4. Число контуров должно быть как можно меньше, а сами контуры – как можно большими.

5.5. При разметке стремятся к тому, чтобы выделить одинаковые области (контуры) на возможно большем числе карт. Каждая такая область при считывании представляется *контермом* и реализуется как логический элемент, который «обслуживает» выходы, относящиеся к этим картам. Это значительно упрощает схемное решение, так как общие члены реализуются один раз для всего комбинационного устройства.

Из этих соображений на рис. 3 – 6 ячейки, обозначенные крестиками X, и пустые ячейки заменены на «0» (обозначены как X₀) или на «1» (обозначены как X₁).

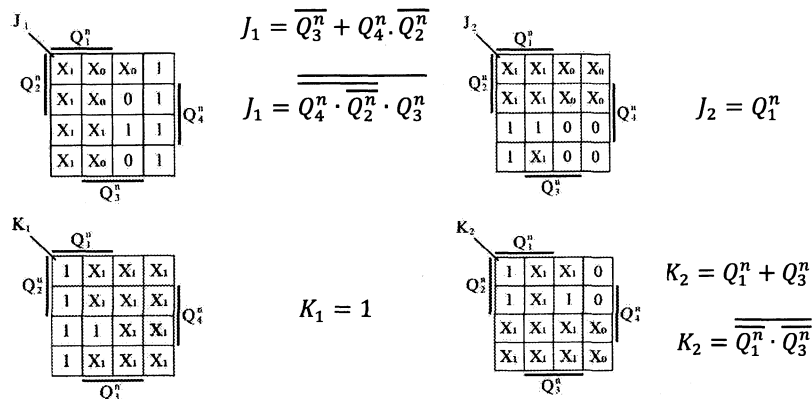


Рис. 3. Карты Карно и уравнения входов для первого триггера

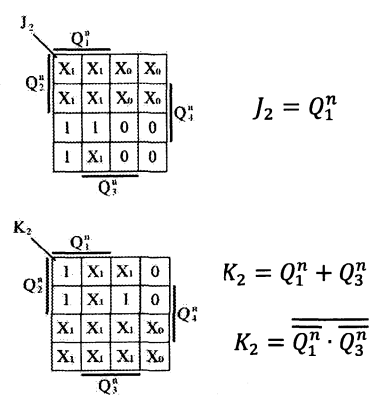


Рис. 4. Карты Карно и уравнения входов для второго триггера

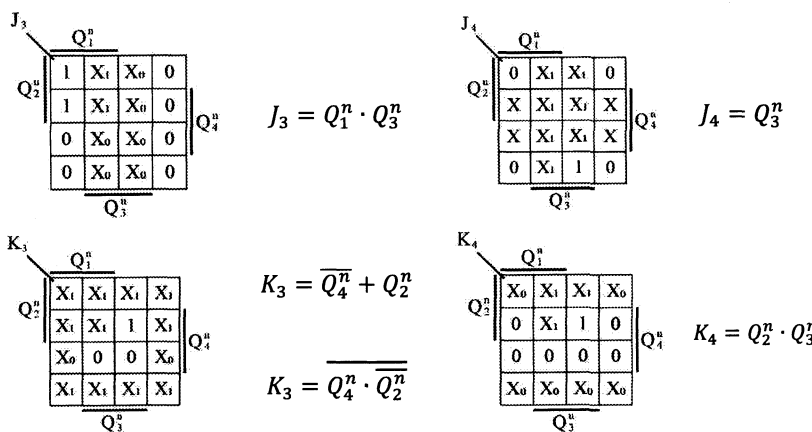


Рис. 5. Карты Карно и уравнения входов для третьего триггера

Рис. 6. Карты Карно и уравнения входов для четвёртого триггера

5.6. Используя карты Карно (рис. 3 – 6), минимизируем функции возбуждения J_i и K_i для четырёх разрядов счётчика. Эти уравнения полностью определяют структуру проектируемого счётчика.

Покажем процесс оптимальной минимизации с получением уравнений входов (логических функций) для каждого триггера и последующим представлением их с помощью электрических схем. Покажем объединение (склеивание) минтермов для каждой карты Карно рис. 3 – 6.

В карте Карно для уравнения входа J_1 первого триггера объединению подлежат минтермы, содержащие единицы в восьми ячейках первого объединения, которые считаются соседними: 3, 11, 9, 1, 2, 10, 8, 0, и четыре соседние ячейки: 9, 13, 12, 8 второго объединения.

В карте Карно для уравнения входа K_1 первого триггера объединению (склеиванию) подлежат минтермы, содержащие единицы во всех шестнадцати ячейках, тоже считаются соседними.

В результате такого объединения получаем уравнения:

а) для входа J_1 в виде логического сложения $J_1 = \overline{Q_3^n} + Q_4^n \cdot \overline{Q_2^n}$ с последующим преобразованием его к виду логического умножения: $J_1 = \overline{Q_3^n \cdot Q_4^n \cdot \overline{Q_2^n}}$. Этому уравнению соответствует электрическая схема рис. 7.

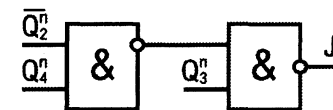


Рис. 7

б) для входа $K_1=1$, означающего, что на вход K_1 необходимо подать логическую единицу, т.е. подключить к источнику питания +5 В.

Для уравнения входа J_2 второго триггера проведено объединение восьми соседних ячеек: 3, 11, 9, 1, 7, 15, 13, 5. Для уравнения входа K_2 второго триггера проведено два объединения: восьми ячеек первого: 3, 11, 9, 1, 7, 15, 13, 5 и восьми ячеек второго: 7, 15, 13, 5, 6, 14, 12, 4. В результате такого объединения получаем уравнения:

а) для входа $J_2 = Q_1^n$. Этому уравнению соответствует электрическая схема рис. 8а.

б) для входа K_2 в виде логического сложения $K_2 = Q_1^n + Q_3^n$ с последующим преобразованием его к виду логического умножения: $K_2 = \overline{Q_1^n \cdot \overline{Q_3^n}}$. Этому уравнению соответствует электрическая схема рис. 8б.



Рис. 8

Для уравнения входа J_3 третьего триггера единственное объединение ячеек: 3, 7, 11, 15. Для уравнения входа K_3 третьего триггера два объединения: восемь ячеек первого объединения: 3, 7, 6, 2, 11, 15, 14, 10 и восемь

ячеек второго объединения: 3, 7, 6, 2, 1, 5, 4, 0. В результате такого объединения получаем уравнения:

а) для входа $J_3 = Q_1^n \cdot Q_2^n$. Этому уравнению соответствует электрическая схема рис. 9а;

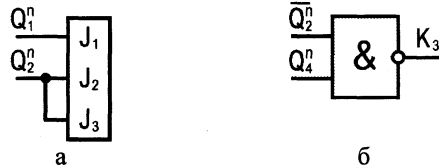


Рис. 9

б) для входа K_3 в виде логического сложения $K_3 = \overline{Q_4^n} + Q_2^n$ с последующим преобразованием его к виду логического умножения: $K_3 = Q_4^n \cdot \overline{Q_2^n}$. Этому уравнению соответствует электрическая схема рис. 9б.

Следует заметить, что в карте Карно для K_3 минимизация не совсем оптимальна. Для оптимальной минимизации в факультативно определяемые ячейки 1, 5, 4, 0 нужно было бы поставить не единицы, а нули и тогда уравнение для K_3 получилось бы короче: $K_3 = Q_2^n$, т.е. можно было бы обойтись без логического элемента 2И-НЕ (рис. 9б), но изменять уже ничего не будем, так как далее прилагается без вышеуказанных изменений схема модели синхронного счетчика и рабочий файл EWB. За такие небольшие некорректности оценка не снижается, главное, чтобы схема работала правильно.

Для уравнения входа J_4 четвертого триггера единственное объединение ячеек: 7, 15, 13, 5, 6, 14, 12, 4. Для уравнения входа K_4 четвертого триггера также единственное объединение четырех ячеек: 7, 6, 15, 14. В результате такого объединения получаем уравнения:

а) для входа $J_4 = Q_3^n$. Этому уравнению соответствует электрическая схема рис. 10а;

б) для входа $K_4 = Q_2^n \cdot Q_3^n$. Этому уравнению соответствует электрическая схема рис. 10б.



Рис. 10

На рис. 11 показана встроенная логика на входе J JK-триггера SN7472 и варианты её использования при необходимости. Например, на

вход третьего триггера J_3 необходимо подать логически перемноженные сигналы $Q_1^n \cdot Q_2^n$ с прямых выходов первого и второго триггеров соответственно. Чтобы не использовать дополнительный логический элемент 2И, можно использовать встроенную логику 3И этого триггера, как показано на рис. 9а. Но если на вход, например, J_4 четвертого триггера необходимо подать сигнал с прямого выхода Q_3^n третьего триггера, тогда встроенный логический элемент 3И не используется, его входы J_1, J_2, J_3 соединяются в один узел, и он превращается просто в провод, как показано на рис. 10а и рис. 11в.

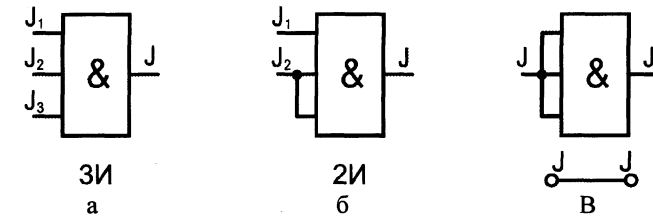


Рис.11. Встроенная логика на входе J JK-триггера SN7472

6. На основании уравнений входов разрабатываем схему модели синхронного счетчика (рис.12). В счётчике применены пять микросхем: четыре SN7472 и одна SN7400. Микросхема SN7472 – тактируемый JK-триггер со структурой «мастер-помощник». Триггер имеет инверсные входы установки *Pre-set* и сброса *Reset*. Каждый из входов J и K снабжен трёхвходовым логическим элементом И. У триггера есть тактовые входы Clock и комплиментарные выходы Q и \overline{Q} . В функциональной структуре микросхемы SN7400 имеется 4 самостоятельных логических элемента 2И-НЕ. Временные диаграммы на выходах триггеров с помощью модели логического анализатора представлены на рис.13.

Синхронные двухступенчатые JK-триггеры типа MS с дополнительной логикой 3И на J- и K-выходах SN7472, представленные в библиотеке EWB 5.12, тактируются по входу CLK положительным фронтом.

На диаграммах отсутствуют исключаемые кодовые комбинации, и все числа счёта получены в соответствии с таблицей истинности в техническом задании (табл. 2). Как видим, временные диаграммы работы, показанные на рис. 8, соответствуют заданной таблице истинности, следовательно, полученный счётчик функционирует правильно.

Быстродействие счетчиков характеризуется:

- $T_{сч}$ – разрешающее время счетчика; как минимальный период поступления счётных импульсов, при котором не происходит ошибок в счёте (ограничивается быстродействием триггеров), т. е. ещё сохраняется работоспособ-

ность счётчика. Параметр $T_{сч}$ задают временем переключения первого (младшего) триггера счётчика, поскольку он переключается под воздействием каждого входного импульса. Разрешающее время определяет максимальную рабочую частоту счётчика – $f_{\max} = 1/T_{сч}$. Для надёжной фиксации состояний триггеров, анализа и передачи выходных сигналов счётчика максимальную частоту уменьшают в 1,5 – 2 раза и называют рабочей частотой $f_{\text{раб}} = (0,5-0,7) f_{\max}$.

- $T_{\text{уст}}$ – время установления выходного кода; как интервал времени между моментом подачи входного сигнала и моментом установления нового кода на выходе.

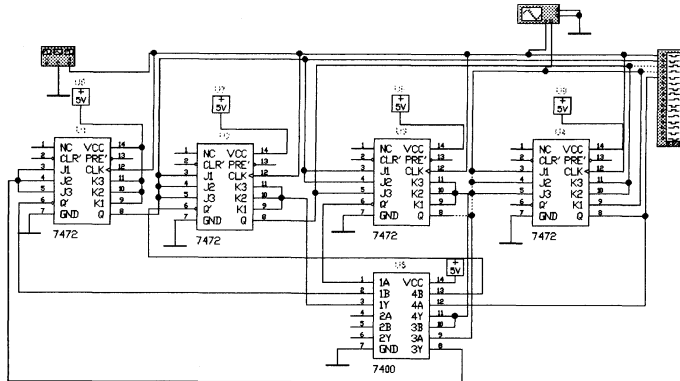


Рис. 12. Схема модели синхронного счетчика на компонентах программы EWB 5.1

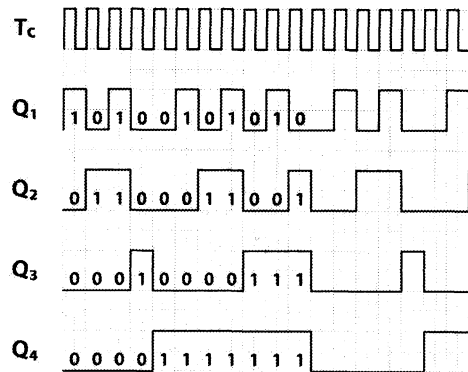


Рис. 13. Временные диаграммы с выходов триггеров синхронного счётчика

Оформление отчёта

Отчет должен содержать:

1. Описание всех этапов синтеза синхронного счетчика и нахождение уравнений входов для каждого разряда.
2. Схема модели синхронного счетчика на компонентах программы EWB 5.12.
3. Описание экспериментального исследования с приведением временных диаграмм, подтверждающих правильность работы счетчика.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Объяснить методику синтеза синхронных счётчиков.
2. Объяснить принцип работы синхронного суммирующего счётчика с произвольным модулем счёта.
3. Рассказать о классификации счётчиков.
4. Изобразить временные диаграммы работы счётчика
5. Где применяются такие счётчики?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ СЧЁТЧИКОВ

Цель работы — приобретение практических навыков в синтезе и экспериментальном исследовании суммирующих асинхронных счетчиков импульсных сигналов с произвольным модулем счёта с использованием моделирующей программы *Electronics Workbench (EWB)*.

Задание к работе — синтезировать суммирующий асинхронный счетчик на универсальных JK-триггерах К555ТБ9-SN74112 в соответствии с техническим заданием (вариантом). Данные для синтеза в соответствии с вариантом приведены в табл. 1 – 4 (1 группа – табл. 1 и табл. 2, 2 группа – табл. 3 и табл. 4). Изобразить временные диаграммы. Определить разрешающее время счетчика – $T_{сч}$ и время установления кода – $T_{уст}$.

Синтез асинхронного счётчика

Для выполнения лабораторной работы рассмотрим пример синтеза асинхронного суммирующего счетчика, работающего в коде 5-4-2-1 с модулем счёта $K_{сч} = 12$.

1. Определяем количество разрядов счетчика m :

Так же как и при расчёте синхронного счётчика (с теми же оговорками и тем же вариантом) будем считать, что, согласно техническим заданиям (вариантам), **разрядность счётчика** (число триггеров) для каждого варианта задана и **определяется количеством цифр кода**, т.е. в нашем случае $m=4$.

2. Составим табл. 6 функционирования счетчика для четырех разрядов на настоящем и последующем тактах. Таблица функционирования дополняется справа столбцами (их количество равно числу m разрядов счётчика).

Таблица 6

Функционирование и задания сигналов на синхронизирующих входах С

Номер такт. импульс n	Ном. клет. карты Карно	Q_4^n	Q_3^n	Q_2^n	Q_1^n	Q_4^{n+1}	Q_3^{n+1}	Q_2^{n+1}	Q_1^{n+1}	C_4^n	C_3^n	C_2^n	C_1^n
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-	-	-	1
1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	-	-	1	1
2	2	0	0	1	0	0	0	1	1	-	-	-	1
3	3	0	0	1	1	0	1	0	0	-	1	1	1
4	4	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	-	-
5	8	1	0	0	0	1	0	0	1	-	-	-	1
6	9	1	0	0	1	1	0	1	0	-	-	1	1
7	10	1	0	1	0	1	0	1	1	-	-	-	1
8	11	1	0	1	1	1	1	0	0	-	1	1	1
9	12	1	1	0	0	1	1	0	1	-	-	-	1
10	13	1	1	0	1	1	1	1	0	-	-	1	1
11	14	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	-

3. Определяем сигналы, подаваемые на тактирующие входы С триггеров. При заполнении в таблице сигнала С отмечаются строки, в которых разрешающий сигнал на входах С должен иметь место ($C=1$). Разрешающий сигнал «1» на входе С должен быть тогда, когда триггер меняет свое состояние.

Поясним заполнение единицами дополненных столбцов этой таблицы. Например, в нулевой строке таблицы $C_1^n = 1$, так как триггер младшего разряда асинхронного счётчика меняет своё состояние с $Q_1^n = 0$ на $Q_1^{n+1}=1$. В первой строке так же $C_1^n = 1$, так как этот триггер меняет своё состояние с $Q_1^n = 1$ на $Q_1^{n+1}=0$ и т.д. В четвёртой строке этот триггер не меняет своё состояние: $Q_1^n = 0$ и $Q_1^{n+1}=0$, поэтому разрешающий сигнал «1» на входе C_1^n не должен быть (стоит прочерк) и т.д. Аналогично заполняем таблицу для остальных разрядов счётчика.

В соответствии с таблицей 6 выбираем сигналы на счётных входах триггеров. В качестве таких сигналов могут использоваться сигналы со счётного входа T_C , а также с прямых или инверсных выходов триггеров. При использовании JK-триггеров разрешающим сигналом на тактирующем входе будет отрицательный перепад ($1 \rightarrow 0$) (для триггера SN74112). Именно такой сигнал необходимо подобрать с прямых или инверсных выходов триггеров или со входа T_C в правой части табл. 6. Также необходимо помнить, что триггер не может сам себя синхронизировать, т.е., например, синхросигнал C_4^n нельзя брать с Q_4 или \bar{Q}_4 .

Для тактирующего входа четвёртого триггера из всех возможных вариантов подбора сигнала C_4^n в момент времени прихода (после обнуления счётчика) четвёртого и одиннадцатого импульсов только прямой выход третьего триггера (Q_3^n) формирует необходимый разрешающий сигнал (отрицательный перепад $1 \rightarrow 0$), т. е. тактирующие сигналы для четвёртого триггера (C_4^n) берём с прямого выхода третьего триггера (Q_3^n). Для тактирующих входов остальных триггеров из всех возможных вариантов подходит только сигнал поступающий на счётный вход первого триггера T_C . Т.е. сигналы на счётных входах триггеров проектируемого асинхронного счётчика:

$$C_1 \rightarrow T_C; \quad C_2 \rightarrow T_C; \quad C_3 \rightarrow T_C; \quad C_4 \rightarrow Q_3.$$

4. Заполняем карты Карно (рис. 14) для каждого разряда по полученной таблице функционирования по правилам, аналогичным как при синтезе синхронных счетчиков (рис.1 методических указаний), в которых часть ячеек, соответствующих исключаемым комбинациям, осталась незаполненной. Это ячейки 5, 6, 7, 15, которые мы оставили пустыми.

Вполне очевидно, что если мы выбрали сигналы C_1, C_2, C_3 с счётного входа T_C , то карты Карно для этих разрядов счётчика останутся без изменений. Изменению подвергнется лишь карта Карно четвёртого разряда асинхронного счётчика, так как тактирующий сигнал для этого разряда отличается от синхронного счётчика ($C_4 \rightarrow Q_3$). Т.е. дополнительно к пустым ячейкам 5, 6, 7, 15 этой карты оставляем пустыми (или ставим X) ячейки, где триггер четвёртого разряда совершает переход $0 \rightarrow 0$ или $1 \rightarrow 1$ без разрешающего сигнала на входе, это ячейки 0, 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, которые, как и ячейки 5, 6, 7, 15, также относятся к исключаемым комбинациям, и при минимизации уравнений входов их можно доопределить удобным образом, поскольку для данного разряда счетчика они являются нерабочими или запрещёнными.

В диаграмме $Q_4^n Q_4^{n+1}$ останутся лишь те номера клеток (4 и 14), в ячейках синхронизирующего входа которых есть единица (комбинации разрядов, в которых триггер меняет своё состояние в связи с подачей синхронизирующего сигнала C_4 с выхода Q_3 , т. е. $C_4 \rightarrow Q_3$). Т. е. оставляем пустыми (или ставим X) на номера клеток исключаемых комбинаций согласно таблице функционирования счётчика: 5, 6, 7, 15 и номера клеток, комбинации которых не изменяются в связи с отсутствием в этот момент синхронизирующего сигнала, т. е. все остальные: 0, 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13.

В диаграммах $Q_1^n Q_1^{n+1}, Q_2^n Q_2^{n+1}, Q_3^n Q_3^{n+1}$ остаются пустыми только номера клеток исключаемых комбинаций: 5, 6, 7, 15, а номера клеток, где триггеры совершают переход $0 \rightarrow 0$ или $1 \rightarrow 1$, не помечаются крестиком (X), так как эти переходы совершаются при наличии синхро-

сигнала, поступающего от T_c . Вид полученных карт Карно для всех разрядов асинхронного счётчика представлен на рис. 14.

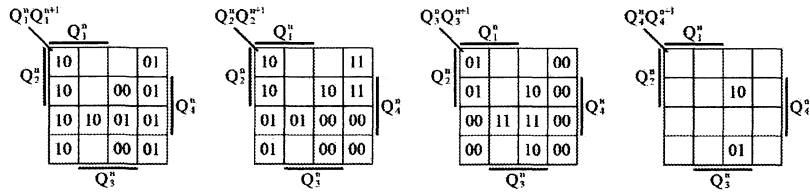


Рис. 14. Карты Карно для разрядов счётчика

Замечаем, что диаграммы для первого, второго, третьего разрядов не изменились по сравнению с синтезом синхронного счетчика (синхронизирующий сигнал для 1-го, 2-го и 3-го триггеров является таким же T_c , как и в синхронном счётчике, т. е. $T_c \rightarrow C_1 = C_2 = C_3$), поэтому воспользуемся ранее полученными в п.1 уравнениями входов:

$$J_1 = \overline{Q_4^n \cdot Q_2^n \cdot Q_3^n}; \quad J_2 = Q_1^n; \quad J_3 = Q_1^n \cdot Q_3^n;$$

$$K_1 = 1; \quad K_2 = \overline{Q_1^n \cdot Q_3^n}; \quad K_3 = \overline{Q_2^n \cdot Q_4^n};$$

5. Заполняем карты Карно (рис. 15) для уравнений входов четвертого триггера и считываем с карт Карно уравнения входов в минимизированном виде: $J_4=1, K_4=1$.

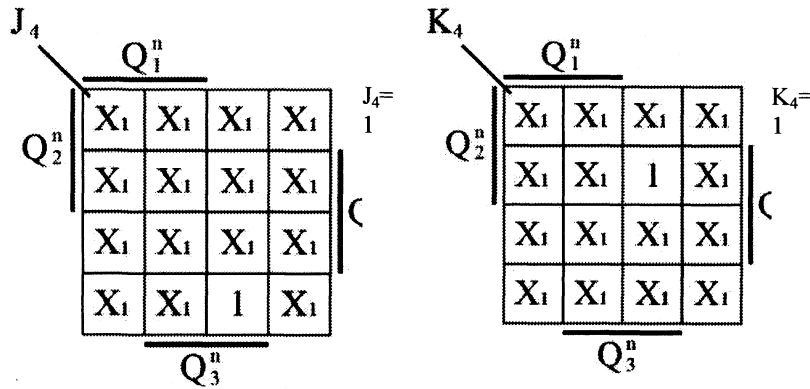


Рис. 15. Карты Карно и уравнения входов для четвертого триггера

На основании уравнений входов разрабатываем схему модели асинхронного счетчика в программе EWB 5.12. В счётчике применены четыре микросхемы: две SN74112, одна SN7400 и одна SN7408. Микросхема SN74112 содержит два отдельных JK-триггера с входами сброса *Clear* и установки *Preset*. Запуск триггеров происходит по отрицательному фронту тактового импульса. При разработке схемы учтём свойства счетчика ввиду того, что микросхема SN74112 имеет два JK-триггера, но по одному входу J и K. Четыре разряда обеспечат 2 микросхемы JK-триггера SN74112, функцию И-НЕ выполнит микросхема SN7400, функцию И — микросхема SN7408. Схема модели асинхронного счётчика представлена на рис. 16.

Временные диаграммы на выходах триггеров, полученные с помощью модели логического анализатора, представлены на рис. 17.

Триггеры переключаются по заднему фронту тактового сигнала. На диаграммах отсутствуют исключаемые кодовые комбинации, и все числа счёта получены в соответствии с таблицей истинности в техническом задании (табл. 3 и табл. 4).

Разрешающая способность $T_{сч}$ и быстродействие счетчика, определяемое временем установления кода $T_{уст}$ асинхронного счётчика, определяются так же, как и для синхронного счётчика.

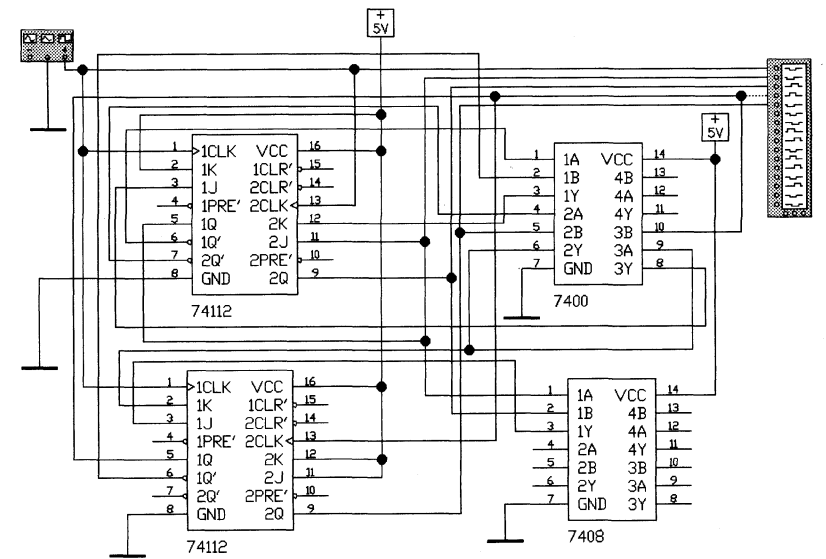


Рис. 16. Схема модели асинхронного счетчика на компонентах программы EWB 5.12

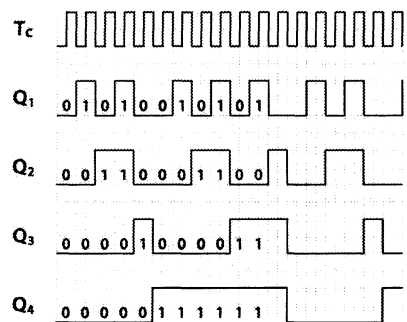


Рис. 17. Временные диаграммы с выходов триггеров асинхронного счётчика на лицевой панели логического анализатора

Оформление отчёта

Отчет должен содержать:

1. Описание всех этапов синтеза асинхронного счетчика и нахождения уравнений входов для каждого разряда.
2. Схема модели синхронного счетчика на компонентах программы EWB 5.12.
3. Описание экспериментального исследования с приведением временных диаграмм, подтверждающих правильность работы счетчика.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Объяснить методику синтеза асинхронных счётчиков.
2. Объяснить принцип работы асинхронного суммирующего счётчика с произвольным модулем счёта.
3. Рассказать о классификации счётчиков.
4. Изобразить временные диаграммы работы счётчика
5. Где применяются такие счётчики?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Угрюмов, Е. П. Цифровая схемотехника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 528 с.
2. Новожилов, О. П. Основы цифровой техники. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 528 с.
3. Цифровые устройства: уч. пособие для вузов, авторы: Пухальский Г. И., Новосельцева Т. Я. – СПб.: Политехника, 1996. – 885 с.

Карты Карно

карты Карно вариант 1	Таблицы истинности	карты Карно вариант 2																																																																																																																													
<p><i>M=2</i></p> <table border="1"> <tr><td colspan="2">Q₁</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td></tr> </table> <p>Q₂</p>	Q ₁		0	1	2	3	<table border="1"> <tr><th>№</th><th>Q₂</th><th>Q₁</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	№	Q ₂	Q ₁	0	0	0	1	0	1	2	1	0	3	1	1	<p><i>M=2</i></p> <table border="1"> <tr><td colspan="2">Q₁</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table> <p>Q₂</p>	Q ₁		3	2	1	0																																																																																																		
Q ₁																																																																																																																															
0	1																																																																																																																														
2	3																																																																																																																														
№	Q ₂	Q ₁																																																																																																																													
0	0	0																																																																																																																													
1	0	1																																																																																																																													
2	1	0																																																																																																																													
3	1	1																																																																																																																													
Q ₁																																																																																																																															
3	2																																																																																																																														
1	0																																																																																																																														
<p><i>M=3</i></p> <table border="1"> <tr><td colspan="4">Q₂</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>7</td><td>6</td></tr> </table> <p>Q₁</p>	Q ₂				0	1	3	2	4	5	7	6	<table border="1"> <tr><th>№</th><th>Q₃</th><th>Q₂</th><th>Q₁</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	№	Q ₃	Q ₂	Q ₁	0	0	0	0	1	0	0	1	2	0	1	0	3	0	1	1	4	1	0	0	5	1	0	1	6	1	1	0	7	1	1	1	<p><i>M=3</i></p> <table border="1"> <tr><td colspan="4">Q₁</td></tr> <tr><td>3</td><td>7</td><td>6</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>5</td><td>4</td><td>0</td></tr> </table> <p>Q₃</p>	Q ₁				3	7	6	2	1	5	4	0																																																																	
Q ₂																																																																																																																															
0	1	3	2																																																																																																																												
4	5	7	6																																																																																																																												
№	Q ₃	Q ₂	Q ₁																																																																																																																												
0	0	0	0																																																																																																																												
1	0	0	1																																																																																																																												
2	0	1	0																																																																																																																												
3	0	1	1																																																																																																																												
4	1	0	0																																																																																																																												
5	1	0	1																																																																																																																												
6	1	1	0																																																																																																																												
7	1	1	1																																																																																																																												
Q ₁																																																																																																																															
3	7	6	2																																																																																																																												
1	5	4	0																																																																																																																												
<p><i>M=4</i></p> <table border="1"> <tr><td colspan="4">Q₂</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>7</td><td>6</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>15</td><td>14</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>11</td><td>10</td></tr> </table> <p>Q₁</p>	Q ₂				0	1	3	2	4	5	7	6	12	13	15	14	8	9	11	10	<table border="1"> <tr><th>№</th><th>Q₄</th><th>Q₃</th><th>Q₂</th><th>Q₁</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>7</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>8</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>9</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>10</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>11</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>12</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>13</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>14</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>15</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	№	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	1	0	3	0	0	1	1	4	0	1	0	0	5	0	1	0	1	6	0	1	1	0	7	0	1	1	1	8	1	0	0	0	9	1	0	0	1	10	1	0	1	0	11	1	0	1	1	12	1	1	0	0	13	1	1	0	1	14	1	1	1	0	15	1	1	1	1	<p><i>M=4</i></p> <table border="1"> <tr><td colspan="4">Q₁</td></tr> <tr><td>3</td><td>7</td><td>6</td><td>2</td></tr> <tr><td>11</td><td>15</td><td>14</td><td>10</td></tr> <tr><td>9</td><td>13</td><td>12</td><td>8</td></tr> <tr><td>1</td><td>5</td><td>4</td><td>0</td></tr> </table> <p>Q₃</p>	Q ₁				3	7	6	2	11	15	14	10	9	13	12	8	1	5	4	0
Q ₂																																																																																																																															
0	1	3	2																																																																																																																												
4	5	7	6																																																																																																																												
12	13	15	14																																																																																																																												
8	9	11	10																																																																																																																												
№	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁																																																																																																																											
0	0	0	0	0																																																																																																																											
1	0	0	0	1																																																																																																																											
2	0	0	1	0																																																																																																																											
3	0	0	1	1																																																																																																																											
4	0	1	0	0																																																																																																																											
5	0	1	0	1																																																																																																																											
6	0	1	1	0																																																																																																																											
7	0	1	1	1																																																																																																																											
8	1	0	0	0																																																																																																																											
9	1	0	0	1																																																																																																																											
10	1	0	1	0																																																																																																																											
11	1	0	1	1																																																																																																																											
12	1	1	0	0																																																																																																																											
13	1	1	0	1																																																																																																																											
14	1	1	1	0																																																																																																																											
15	1	1	1	1																																																																																																																											
Q ₁																																																																																																																															
3	7	6	2																																																																																																																												
11	15	14	10																																																																																																																												
9	13	12	8																																																																																																																												
1	5	4	0																																																																																																																												

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Синтез и исследование синхронных счётчиков.....	3
Задание к работе.....	3
Синтез синхронного счётчика.....	5
Оформление отчёта.....	15
Контрольные вопросы.....	15
Лабораторная работа № 2. Синтез и исследование асинхронных счётчиков.....	15
Задание к работе.....	15
Синтез асинхронного счётчика.....	15
Оформление отчёта.....	20
Контрольные вопросы.....	20
Библиографический список.....	20
Приложение. Карты Карно.....	21

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОИЧНЫХ СЧЁТЧИКОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
для студентов направления подготовки 11.03.01 «Радиотехника»
(профиль «Радиотехнические средства передачи,
приема и обработки сигналов»)
всех форм обучения

Составители:

Кондусов Василий Ананьевич

Алперин Евгений Данилович

Редактор Ю.А. Ярцева

Подписано в печать 07.12.2021.

Формат 60x84 1/16. Бумага для множительных аппаратов.

Уч.-изд. л. 1,4. Усл. печ. л. 1,3. Тираж 63 экз.

Заказ № 185

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394026 Воронеж, Московский просп., 14