

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

---

Кафедра технической эксплуатации авиационных  
электросистем и пилотажно-навигационных комплексов

С.А. Жнивин

# БОРТОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

**Учебно-методическое пособие**  
по выполнению контрольной работы

*для студентов III–IV курсов  
направления 25.03.02  
заочной формы обучения*

Москва  
ИД Академии Жуковского  
2021

УДК 681.32:629.7  
ББК 052-057  
Ж77

Рецензент:

*Перегудов Г.Е.* – канд. техн. наук, доцент

**Жнивин С.А.**

Ж77      Бортовые цифровые вычислительные устройства [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению контрольной работы / С.А. Жнивин. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 16 с.

Учебно-методическое пособие написано в соответствии с учебным планом дисциплины «Бортовые цифровые вычислительные устройства» направления 25.03.02 «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов». В нем изложено задание для студентов заочной формы обучения для выполнения контрольной работы с описанием математических основ построения и функционирования бортовых цифровых вычислительных устройств.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 30.08.2021 г. и методического совета 30.08.2021 г.

**УДК 681.32:629.7**  
**ББК 052-057**

*В авторской редакции*

Подписано в печать 27.10.2021 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 1 Усл. печ. л. 0,93

Заказ № 851/1004-УМП13 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический  
университет гражданской авиации, 2021

## Введение

Любая форма человеческой деятельности, функционирование любой из организованных систем немислимы без обработки информации. Понятие информации, в этом случае, означает совокупность данных, сведений подлежащих хранению, обработке и передаче.

Для управления современным самолетом используется разнообразная и в большинстве случаев быстроизменяющаяся информация. Возможности летчика по ее правильному восприятию и переработке ограничены.

В ходе изучения дисциплины БЦВУ инженерно-техническим персоналом, прививаются углубленные понятия в работе электронных систем, систем навигации и автоматического управления. В современном мире с быстрорастущими темпами развития электроники ЦВС (цифровые вычислительные системы) также имеют степень быстрого развития, что несет за собой требования к освоению работоспособности данных систем.

Практическая составляющая в этом вопросе является неотъемлемой частью в процессе изучения и освоения вопросов развития и применения бортовых цифровых вычислительных устройств на борту воздушных судов.

## Задание

на контрольную работу по дисциплине  
 «Бортовые цифровые вычислительные устройства и машины»  
 для студентов 3-4 курса направления подготовки 25.03.02  
 заочного обучения

## 1. Общие сведения.

Задание предусматривает построение фрагмента схемы электронных часов, включающего счетчик единиц секунд, преобразователь выходных сигналов счетчика в сигналы управления цифровым индикатором и цифровой индикатор (рис.1.).

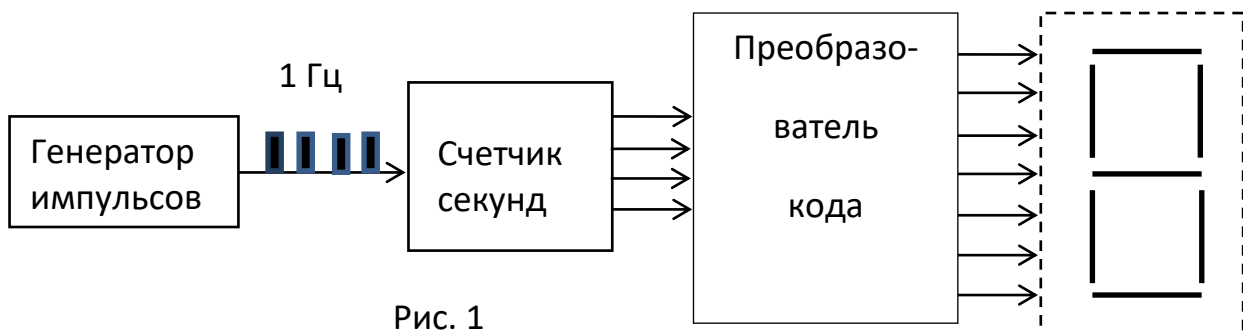


Рис. 1

С выхода генератора на счетчик единиц секунд (далее просто счетчик секунд) поступают импульсы с частотой 1 Гц. Счетчик подсчитывает количество импульсов с коэффициентом счета с  $K_{сч}=10$ , т.е. каждый десятый импульс переводит счетчик в начальное состояние, и счет повторяется сначала. С выходов счетчика сигналы в двоично-десятичном коде поступают на преобразователь кода, на выходах которого формируются сигналы управления сегментами цифрового индикатора. При этом индикатор отображает десятичную цифру, которая соответствует состоянию счетчика (количеству секунд).

При выполнении контрольной работы необходимо построить схемы счетчика и преобразователя кода в соответствии с вариантом задания.. Для каждого варианта задания в таблице приведены следующие исходные данные:

- Вид двоично-десятичного кода (веса каждого из четырех разрядов кода);
- Тип триггера (Т-, RS- или JK-триггер);
- Тип цифрового индикатора (семисегментный, девятиsegmentный, светодиодный 4x7, светодиодный 5x9 или светодиодный 6x11).

Варианты задания приведены в табл. 1. Номер варианта выбирается по двум последним цифрам номера зачетной книжки. Если полученное число больше 50, из него нужно вычесть число 50.

Таблица 1

№ вар.	Двоично-дес. код	Тип триггера	Тип индикат	№ вар.	Двоично-дес. код	Тип триггера	Тип индикат
1	4271	1	1	26	4221	2	1
2	3321	2	2	27	3312	3	2
3	5211	3	3	28	6321	1	3
4	6421	1	4	29	4271	2	4
5	7421	2	5	30	5211	3	5
6	4221	3	1	31	3321	1	1
7	5421	1	2	32	6421	2	2
8	6311	2	3	33	4221	3	3
9	7321	3	4	34	5421	1	4
10	4421	1	5	35	6321	2	5
11	5121	2	1	36	4321	3	1
12	6321	3	2	37	4421	1	2
13	4311	1	3	38	5121	2	3
14	5321	2	4	39	4311	3	4
15	6221	3	5	40	3221	1	5
16	4321	1	1	41	3121	2	1
17	5311	2	2	42	5321	3	2
18	1521	3	3	43	5211	1	3
19	5221	1	4	44	4271	2	4
20	4621	2	5	45	5211	3	5
21	4271	3	1	46	3321	1	1
22	2621	1	2	47	6421	2	2
23	6421	2	3	48	4221	3	3
24	7421	3	4	49	5421	1	4
25	5211	1	5	50	6311	2	5

В табл.1 приняты следующие обозначения:

**Тип триггера:**

- 1 - Т –триггер;
- 2 – RS- триггер;
- 3 – JK – триггер.

**Тип индикатора:**

- 1 – семисегментный индикатор;
- 2 – девятисегментный индикатор;
- 3 - светодиодный индикатор 4x7;

4 - светодиодный индикатор 5x9;

5 - светодиодный индикатор 6x11.

**Тип логических элементов – И-НЕ для всех вариантов.**

Внешний вид индикаторов приведен на рис 2.

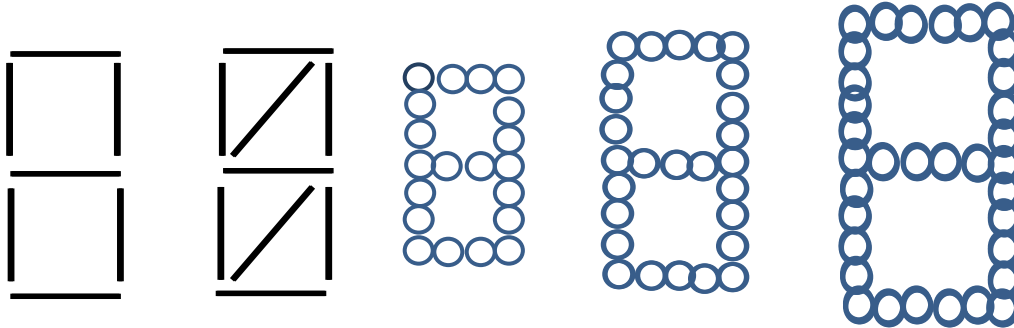


Рис. 2

В светодиодных индикаторах диоды объединяются в группы. В группу входят диоды, которые всегда включаются одновременно. Количество групп зависит от принятой формы отображения цифр. Группа может состоять из одного диода (например, в углах индикаторов). Количество выходов преобразователя равно количеству групп.

## 2. Порядок выполнения работы.

Работа выполняется в следующем порядке:

- 2.1. Построение схемы счетчика.
- 2.2. Построение схемы преобразователя кода.

### 2.1. Построение схемы счетчика:

Последовательность действий при синтезе двоично-десятичного счетчика следующая:

- Построение таблицы кодирования десятичных цифр в заданном двоично-десятичном коде.
- Построение таблицы переходов счетчика, определяющей новые состояния его разрядов с приходом в очередном такте счѐтного импульса.
- Построение диаграмм Карно, описывающих переходы каждого разряда счетчика в новое состояние в очередном такте.
- Построение диаграмм Карно для функций, описывающих логику формирования управляющих сигналов на входах каждого разряда счетчика.

- Минимизация логических функций, описывающих логику формирования управляющих сигналов на входах каждого разряда счетчика.
- Приведение логических функций к базису заданной системы элементов.
- Построение функциональной схемы счетчика.
- Проверка правильности работы счетчика.

*Построение таблицы кодирования десятичных цифр в заданном двоично-десятичном коде.*

Таблица 2

Десятичная цифра	Цифры кода 5-3-2-1	Десятичная цифра	Цифры кода 8-4-2-1
0	0000	0	0000
1	0001	1	0001
2	0010	2	0010
3	0011	3	0011
4	0101	4	0100
5	0110	5	0101
6	0111	6	0110
7	1010	7	0111
8	1011	8	1000
9	1101	9	1001
Неиспользуемые коды	0100	10	1010
	1000	11	1011
	1001	12	1100
	1100	13	1101
	1110	14	1110
	1111	15	1111

Пусть необходимо синтезировать двоично-десятичный счетчик, работающий в коде 8-4-2-1 и имеющий элементы памяти в виде JK-триггеров.

Таблица кодирования десятичных цифр в заданном коде имеет вид табл. 2. Как видно из таблицы, коды десятичных цифр совпадают с их двоичными эквивалентами. Если же заданный внутренний

код счетчика имеет другие веса разрядов, например 2-3-3-1, то таблица будет выглядеть по другому. Для цифры 3 в коде 8-4-2-1 имеет место двоичный код 0011, а для кода 2-3-3-1 десятичной цифре 3 соответствует двоичные коды 1001, 0100 или 0010. Выбирается обычно тот код, который отличается от предшествующего кода ( $2_{10}=1000_2$ ) на меньшее число разрядов. Таким образом, целесообразно цифру 3 представлять кодом 1001.

*Построение таблиц переходов счетчика.*

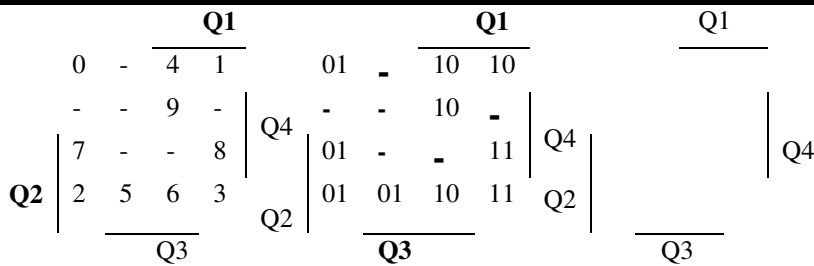
Счетчик секунд в электронных часах представляет собой двоичный суммирующий счетчик с коэффициентом счета с  $K_{сч}=10$ .

Таблица 3 представляет собой таблицу переходов для суммирующего счетчика, в таблицах указаны состояния от 0 до 9. Каждое из этих состояний представлено в виде десятичной цифры, которая в дальнейшем будет выведена на индикатор. Так как используется внутренний код 8-4-2-1, то

номера состояний совпадают с соответствующими эквивалентами двоичных кодов на выходах счётчика  $Q_4Q_3Q_2Q_1$ . Для других внутренних кодов счётчика номера состояний могут не совпадать с двоичными кодами, отображающих десятичные номера состояний. Например, для кода 3-3-2-1 состояние 7 представлено кодом 1101, что не совпадает с двоичным эквивалентом числа 7 (код 0111). Это положение необходимо учитывать при построении диаграмм (или карт) Карно.

Таблица 3

Такт	Q	Номера состояний счётчика									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t	$Q_1$	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1
	$Q_2$	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0
	$Q_3$	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
	$Q_4$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
t+1	$Q_1$	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
	$Q_2$	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0
	$Q_3$	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0
	$Q_4$	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0



*Построение диаграмм Карно, описывающих переходы каждого разряда счётчика в новом такте.*

Диаграммы Карно строятся для каждого разряда счётчика и заполняются на основании данных табл. 3. и описывают логику переключения этого разряда в каждом такте с приходом очередного импульса. Диаграммы.

Эталонная карта      Карта для 1 триггера      Карта для 2 триггера      Карта для 3 триггера      Карта для 4 триггера

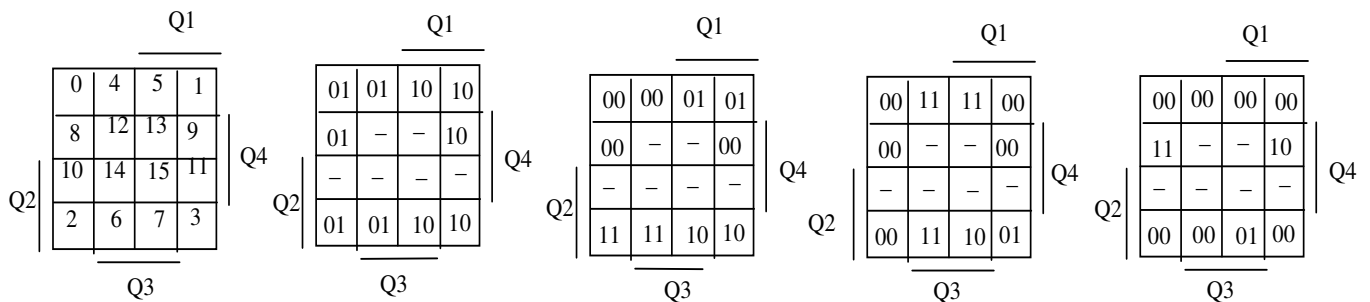


Рис. 3

диаграммы Карно для суммирующего счётчика приведены на рис. 3. В каждой клетке таблицы записывается текущее состояние разрядного триггера



Q в момент времени  $t$  и очередное состояние в момент времени  $t+1$ . Например, если суммирующий счетчик находится в состоянии 3 (код 0011), то триггер 2 с приходом следующего импульса перейдет из состояния 1 в состояние 0 ( $1 \rightarrow 0$ ). Следовательно, в соответствующей клетке карты записывается код 10.

Так как шесть состояний из возможных шестнадцати не используются, в соответствующих клетках карт проставлены прочерки.

Эталонная карта Карно на рис.3 составлена только для кода 8-4-2-1. Для других двоично-десятичных кодов эталонная карта выглядит иначе.

Таблица 4.

Состояние триггера		Управляющие сигналы	
Текущее	Следующее	Вход J	Вход K
0	0	0	*
0	1	1	*
1	0	*	1
1	1	*	0

*Построение карт Карно, описывающих логику формирования управляющих сигналов на входах каждого разряда счетчика.*

Переходы триггеров из одного состояния в другое осуществляются под воздействием сигналов на управляющих входах J и K. Поэтому следующим шагом синтеза счетчика является получение системы логических уравнений для каждого входа всех разрядов.

Для этого используется характеристическая таблица JK-триггера, представленная в виде табл. 4. (Характеристические таблицы для T-триггера и JK-триггеров JK-триггеров приведены в виде табл. 5 и 6 соответственно).

Таблица 5

Характеристическая таблица T-триггера		
Состояние триггера		Входные сигналы
Текущее	Следующее	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Таблица 6

Характеристическая таблица RS-триггера			
Состояние триггера		Входные сигналы	
Текущее	Следующее	S	R
0	0	0	*

0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	*	0

Характеристическая таблица отражает логику переключения JK-триггера. Если, например, триггер находится в состоянии 0, то для перевода его в состояние 1 необходимо на вход J подать сигнал 1, а на вход К либо сигнал 1, либо сигнал 0. В таблице такое состояние входа К обозначено (\*). Подставляя вместо переходов 00, 01, 10 и 11 значение соответствующих входных сигналов J и K, получим карты Карно для каждого триггера. Полученные карты Карно для суммирующего счетчика представлены на рис. 4.

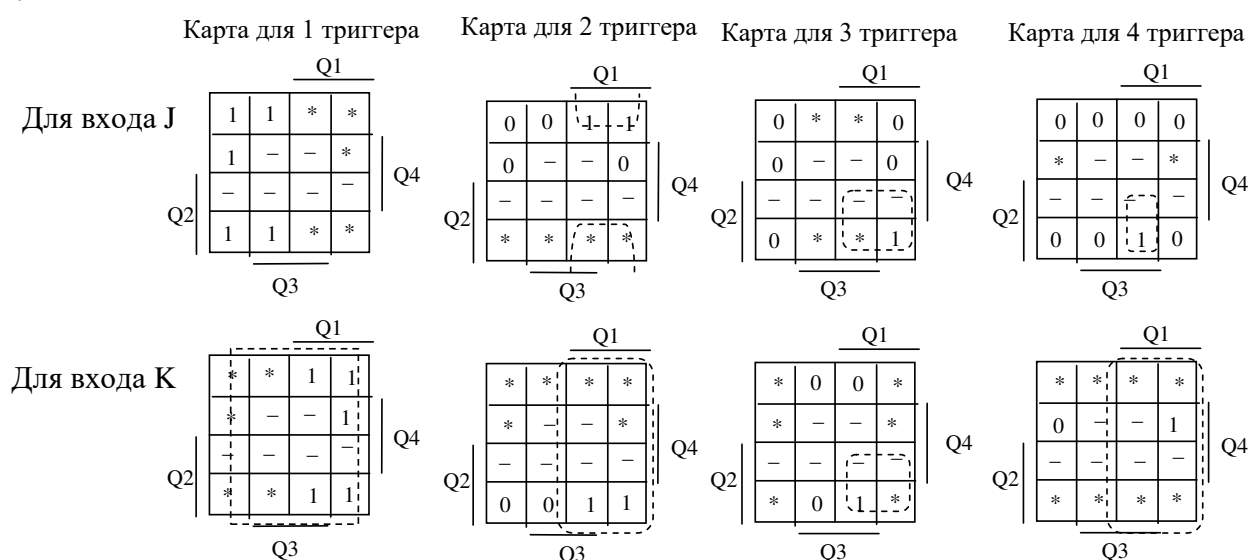


Рис. 4

*Минимизация логических функций, описывающих логику формирования управляющих сигналов на входах каждого разряда счетчика.*

Минимизация логических функций состоит в склеивании конъюнкций, представленных на картах в виде номеров наборов, на которых функция принимает значение 1. Объединения единичных значений с учётом неиспользуемых состояний показаны на картах пунктирными линиями.

В результате минимизации для суммирующего счетчика можно получить следующие уравнения:

$$J_1 = 1; \quad J_2 = Q_1 Q_4; \quad J_3 = Q_1 Q_2; \quad J_4 = Q_1 Q_2 Q_3;$$

$$K_1 = 1; \quad K_2 = Q_1; \quad K_3 = Q_1 Q_2; \quad K_4 = Q_1;$$

*Приведение логических функций к базису заданной системы элементов.*

При использовании элементов серии 155 полученные уравнения требуется преобразовать к базису И-НЕ путём применения правила де Моргана. В результате исходная система уравнений предстанет в следующем виде:

$$\begin{array}{l} \overline{J_1} = 1; \quad J_2 = \overline{\overline{Q_1 Q_4}}; \quad J_3 = \overline{\overline{Q_1 Q_2}}; \quad J_4 = \overline{\overline{\overline{Q_1 Q_2 Q_3}}}; \\ K_1 = 1; \quad K_2 = Q_1; \quad \text{---} \quad K_3 = \overline{\overline{Q_1 Q_2}}; \quad K_4 = Q_1; \\ \text{---} \end{array}$$

*Построение функциональной схемы счетчика.*

Функциональная схема счетчика строится по преобразованным логическим функциям. Для каждой конъюнкции (логического произведения) требуется элемент И-НЕ на соответствующее количество входов. Полученная схема представлена на рис. 5.

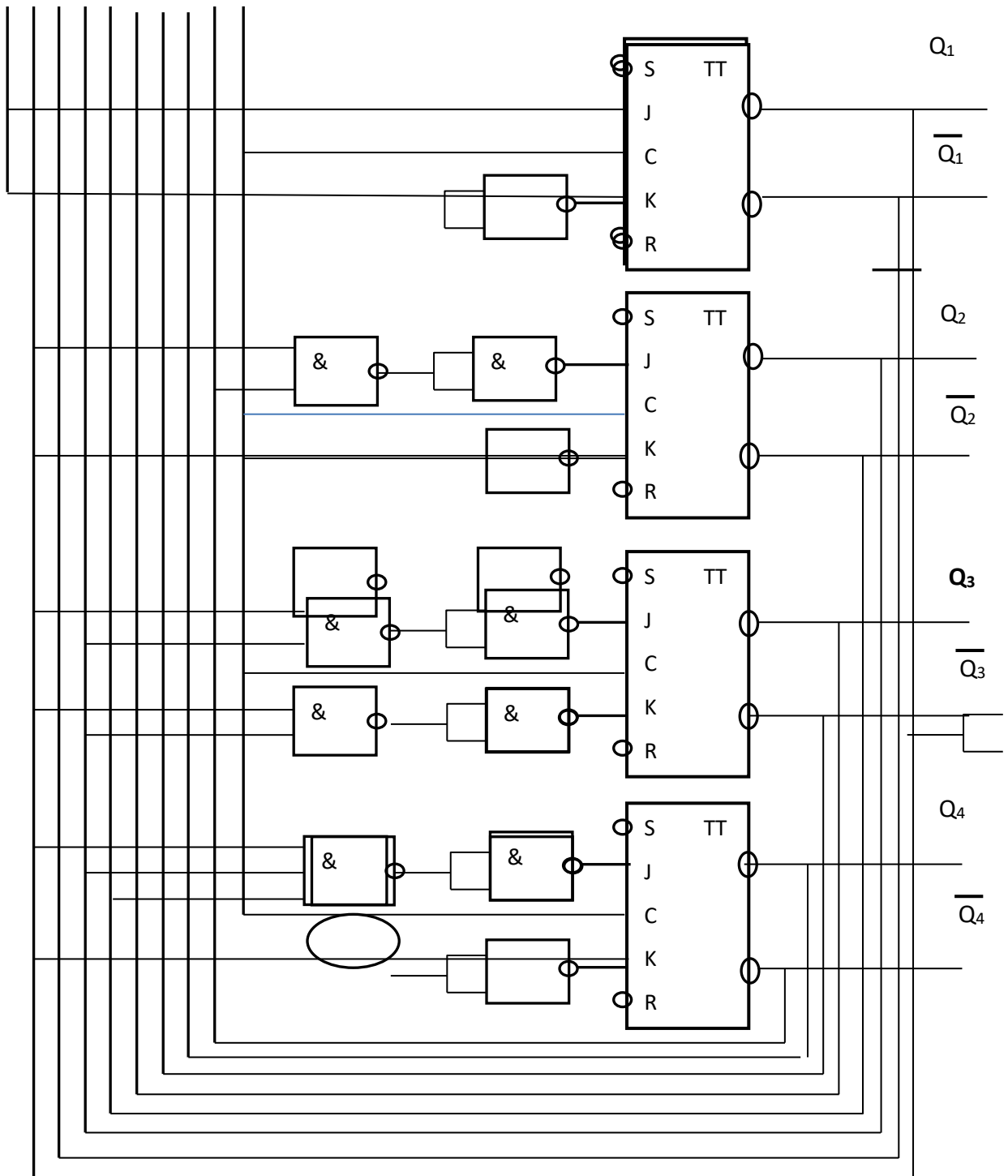
1  $\bar{Q}_1\bar{Q}_1$   $\bar{Q}_2\bar{Q}_2$   $\bar{Q}_3\bar{Q}_3$   $\bar{Q}_4\bar{Q}_4$  C

Рис. 5

На рис. 5 показаны синхронные JK-триггеры с дополнительными входами S и R, которые используются для принудительной установки счетчика в определенное состояние, например для установки в «0».

Выходные сигналы счетчика поступают как на вход самого счетчика, так и на вход преобразователя кодов.

## 2.2. Синтез преобразователя кода двоично-десятичного счетчика с $K_{сч}=10$ в 13-разрядный код цифрового индикатора

Синтез преобразователя кода проводится в следующей последовательности:

- Для заданного типа индикатора определяется количество сегментов и форма отображения десятичных цифр.
- Составляется таблица истинности, в которой функцией является сегмент индикатора, а переменными - разряды счетчика.
- Записывается система логических функций, определяющая условия формирования единичных сигналов для включения соответствующего сегмента в зависимости от состояния счетчика.
- Осуществляется минимизация функций при помощи карт Карно.
- Производится приведение функций к заданной системе элементов.
- Строится объединённая функциональная схема преобразователя.

*Определение количества сегментов и формы отображения десятичных цифр.*

В качестве примера рассмотрим светодиодный индикатор 6x11.

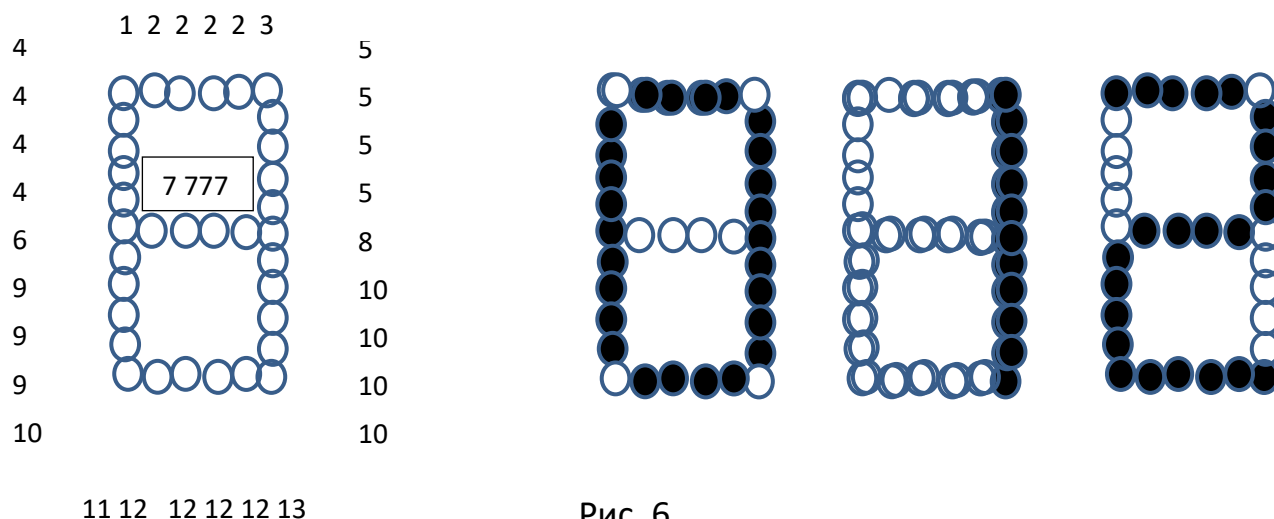


Рис. 6

Номера сегментов и примеры отображения некоторых цифр на данном индикаторе показаны на рис. 6.

### Составление таблицы истинности

Таблица истинности составляется на основе принятой формы отображения десятичных цифр на индикаторе. В таблице для каждой цифры символом «1» отмечаются сегменты индикатора, которые должны включены. Кроме того, символами «-» отмечены неиспользуемые коды, которые учитываются в дальнейшем при минимизации. Для данного примера таблица истинности имеет вид табл. 7.

Таблица 7

Десятичные цифры	Цифры кода 8-4-2-1 Q <sub>4</sub> Q <sub>3</sub> Q <sub>2</sub> Q <sub>1</sub>	Сегменты цифрового индикатора												
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	S <sub>13</sub>
0	0000	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
1	0001	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
2	0010	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1
3	0011	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0
4	0100	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
5	0101	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0
6	0110	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0
7	0111	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
8	1000	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0
9	1001	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
Неиспользу- емые коды	1010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1101	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### Запись системы логических функций.

Система логических функций включает 13 логических функций (по числу сегментов). Каждая функция логическая записывается по табл.7 в СДНФ (совершенной дизъюнктивной нормальной форме). Например, для сегмента S<sub>1</sub> получим следующее выражение:

$$S_1 = \bar{Q}_4 \bar{Q}_3 \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 \vee \bar{Q}_4 \bar{Q}_3 \bar{Q}_2 Q_1 \vee \bar{Q}_4 \bar{Q}_3 \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 \vee \bar{Q}_4 \bar{Q}_3 \bar{Q}_2 Q_1 \vee \bar{Q}_4 \bar{Q}_3 Q_2 Q_1;$$

При записи этого выражения в цифровом виде как функции от номеров наборов, на которых она принимает значение 1, получим более компактную запись: S<sub>1</sub> = (2,3,4,5,7).

Номер набора - это десятичное число, являющееся эквивалентом двоичного числа, которое формируется из значений разрядов кода счетчика и после подстановки в конъюнкции логической функции и обращает их в 1. Например, для конъюнкции с номером 2

$$\bar{Q}_4 \bar{Q}_3 \bar{Q}_2 Q_1 = 1 \_$$

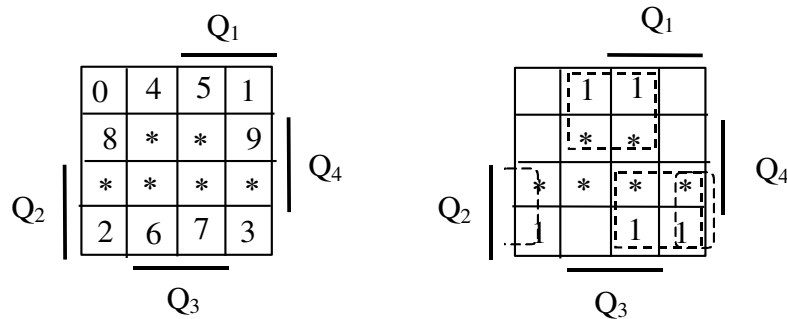
значения разрядов счетчика должны быть Q<sub>4</sub>Q<sub>3</sub>Q<sub>2</sub>Q<sub>1</sub>==0010, что соответствует десятичному коду “2”.

Остальные логические функции сегментов, выписанные из таблицы истинности, представлены ниже:

$$\begin{aligned}
 S_2 &= (0,2,3,5,6,7,8,9); & S_3 &= (1,4,5,6,7); & S_4 &= (0,4,5,6,8,9); \\
 S_5 &= (0,1,2,3,4,6,7,8,9); & S_6 &= (0,3,4,6); & S_7 &= (2,3,4,5,6,8,9); \\
 S_8 &= (0,1,4,7,9); & S_9 &= (0,2,6,8); & S_{10} &= (0,1,3,4,5,6,7,8,9); \\
 S_{11} &= (3,5,9); & S_{12} &= (0,2,3,5,6,8,9); & S_{13} &= (1,2,4,7).
 \end{aligned}$$

*Минимизация функций*

Полученные функции представляют собой запись в дизъюнктивной нормальной форме и подлежат упрощению (минимизации). Для количества переменных не более 4-х удобно воспользоваться картами Карно. Для минимизации функции  $S_1 = (2,3,4,5,7)$  применяется эталонная карта, где неиспользуемые наборы отмечены “\*”. Эталонная карта и карта для функции  $S_1$  показаны ниже:



После минимизации функция  $S_1$  примет вид:  $S_1 = Q_1Q_2 \vee \overline{Q_2}Q_3 \vee Q_2\overline{Q_3}$

или после приведения к базису И-НЕ :  $S_1 = \overline{\overline{Q_1} \overline{Q_2}} \vee \overline{\overline{Q_2} \overline{Q_3}} \vee \overline{\overline{Q_2} Q_3}$

Функциональная схема, построенная по этому уравнению, показана на рис. 7. Аналогично осуществляется минимизация остальных функций, входящих в систему.

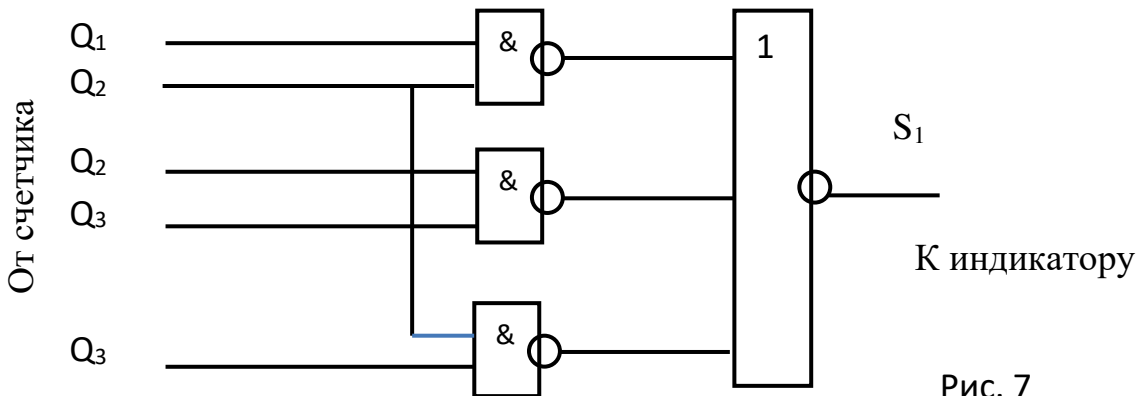


Рис. 7

Функциональная схема, построенная по этому уравнению, показана на рис. 7. Аналогично осуществляется минимизация остальных функций, входящих в систему.

Для построения объединённой функциональной схемы преобразователя кодов необходимо построить функциональные схемы для каждой логической функции с учётом общих конъюнкций, встречающихся в выражениях функций. Условное графическое обозначение преобразователя кодов, предназначенного для преобразования кода 8-4-2-1 в 13-ти разрядный код цифрового индикатора, изображено на рис. 8. Условное графическое обозначение преобразователя используется на функциональных схемах.

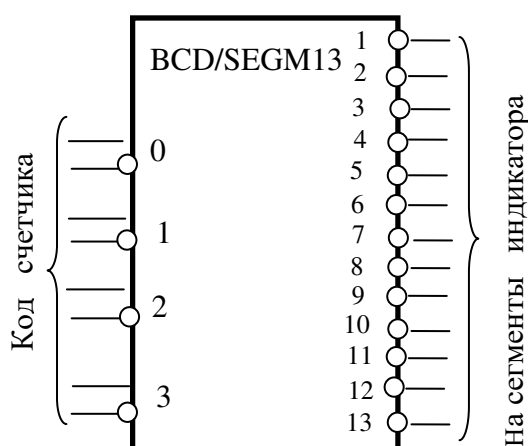


Рис. 8

### К защите представить:

- Цель задания
- Краткую теорию об узлах БЦВУ
- Вариант задания и исходные данные;
- Фрагмент схемы электронных часов;
- Материалы по синтезу счетчика;
- Материалы по синтезу преобразователя кода (для одного из выходов);
- Общую функциональную схему счетчика и преобразователя кодов.

### Литература

1. Горнец Н.Н., Рошин А.Г., Соломенцев В.В. «Организация ЭВМ и систем», 2008.
2. Рошин А.Г. «Теория автоматов: учебное пособие», 2007.