1. Задание.

Спроектировать синхронный циклический счётчик в коде Грея с возможностью его реверса и сброса со следующими параметрами:

1) модуль счёта: 19;
2) тип триггера: *JK*-триггер;
3) базис логических элементов: Шеффера {И-НЕ}.

2. Формализованное описание работы счетчика. Определение функций возбуждения триггеров.

Счетчик с модулем счета 19 считает от 0 до 18, при P = 0 счёт идет в прямом порядке, при P = 1 – в обратном порядке.

Код Грея - двоичный код, в котором две «соседние» (в упорядоченном наборе) кодовые комбинации различаются только цифрой в одном двоичном разряде.

Таблицу состояний (кодирование чисел и переходы) и функции возбуждения триггеров удобно совмещать в одной таблице. В качестве элементов памяти используются *JK*-триггеры, таблица истинности представлена ниже (табл. 1).

Таблица 1

$Q_i \to Q_{i\,н}$	J	K
$0 \to 0$	0	*
$0 \to 1$	1	*
$1 \to 0$	*	1
$1 \to 1$	*	0

* – *значение не определено* (*может быть* 1 *или* 0).

Сформируем объединенную таблицу работы счетчика (табл. 2). Так как счет идет только до 18, то состояния с 19 по 31 являются недостижимыми и переходы из них не определены, поэтому переход в новое состояние отметим x.

Таблица 2

	Входн. управ. сигнал	Исходное состояние					Новое состояние					Функции возбуждения триггеров									
												Тр.4		Тр.3		Тр.2		Тр.1		Тр.0	
	P	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	$Q_{4н}$	$Q_{3н}$	$Q_{2н}$	$Q_{1н}$	$Q_{0н}$	J_4	K_4	J_3	K_3	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	*	0	*	0	*	0	*	1	*
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	*	0	*	0	*	1	*	*	0
2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	*	0	*	0	*	*	0	*	1
3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	*	0	*	1	*	*	0	0	*
4	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	*	0	*	*	0	*	0	1	*
5	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	*	0	*	*	0	*	1	*	0
6	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	*	0	*	*	0	0	*	*	1
7	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	*	1	*	*	0	0	*	0	*
8	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	*	*	0	*	0	0	*	1	*
9	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	*	*	0	*	0	1	*	*	0
10	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	*	*	0	*	0	*	0	*	1
11	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	*	*	0	*	1	*	0	0	*
12	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	*	*	0	0	*	*	0	1	*
13	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	*	*	0	0	*	*	1	*	0
14	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	*	*	0	0	*	0	*	*	1
15	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	*	*	0	0	*	0	*	0	*
16	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	*	0	*	0	0	*	0	*	1	*
17	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	*	0	*	0	0	*	1	*	*	0
18	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	*	1	*	1	0	*	*	1	*	1
19	0	1	1	0	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
20	0	1	1	1	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21	0	1	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22	0	1	1	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
23	0	1	1	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
24	0	1	0	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
25	0	1	0	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
26	0	1	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
27	0	1	0	1	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
28	0	1	0	0	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
29	0	1	0	0	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	0	1	0	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
31	0	1	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Таблица 2 (*продолжение*)

	Входн. управ. сигнал	Исходное состояние					Новое состояние					Функции возбуждения триггеров									
												Тр.4		Тр.3		Тр.2		Тр.1		Тр.0	
	P	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	$Q_{4н}$	$Q_{3н}$	$Q_{2н}$	$Q_{1н}$	$Q_{0н}$	J_4	K_4	J_3	K_3	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	*	1	*	0	*	1	*	1	*
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	*	0	*	0	*	0	*	*	1
2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	*	0	*	0	*	*	1	*	0
3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	*	0	*	0	*	*	0	1	*
4	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	*	0	*	*	1	*	0	0	*
5	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	*	0	*	*	0	*	0	*	1
6	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	*	0	*	*	0	1	*	*	0
7	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	*	0	*	*	0	0	*	1	*
8	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	*	*	1	*	0	0	*	0	*
9	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	*	*	0	*	0	0	*	*	1
10	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	*	*	0	*	0	*	1	*	0
11	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	*	*	0	*	0	*	0	1	*
12	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	*	*	0	1	*	*	0	0	*
13	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	*	*	0	0	*	*	0	*	1
14	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	*	*	0	0	*	1	*	*	0
15	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	*	*	0	0	*	0	*	1	*
16	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	*	1	*	0	0	*	0	*	0	*
17	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	*	0	*	0	0	*	0	*	*	1
18	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	*	0	*	0	0	*	*	1	*	0
19	1	1	1	0	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
20	1	1	1	1	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21	1	1	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22	1	1	1	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
23	1	1	1	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
24	1	1	0	1	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
25	1	1	0	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
26	1	1	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
27	1	1	0	1	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
28	1	1	0	0	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
29	1	1	0	0	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	1	1	0	0	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
31	1	1	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Построим граф (диаграмму состояний) автомата (рис. 1).

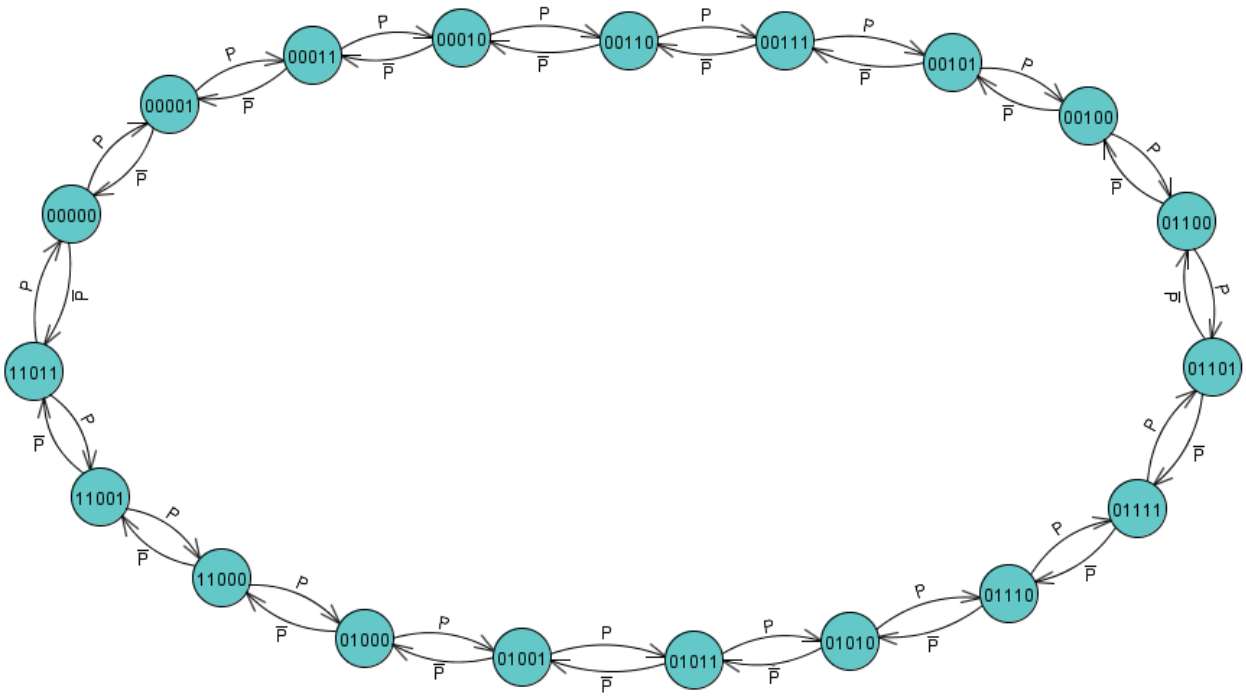

Рисунок 1 – Граф автомата

3. Минимизация функций возбуждения триггеров.

Для минимизации функций возбуждения триггеров используем карты Карно. При минимизации для получения минимальной ДНФ следует объединять ("склеивать") по 2, 4, 8, 16 и т. д. (по 2^k, где k = 1, 2, 3, ...) клеток, содержащих 1. При этом клетки, лежащие на границах карты, также являются соседними по отношению друг к другу. Клетки, в которых стоит x, доопределим так, чтобы получить максимальное покрытие.

J_4

PQ_4Q_3 \ $Q_2Q_1Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	0	0	0	0	0	0	0
001	1	0	0	0	0	0	0	0
011	*	*	*	x	x	x	x	x
010	x	x	x	x	x	x	x	x
110	x	x	x	x	x	x	x	x
111	*	*	*	x	x	x	x	x
101	0	0	0	0	0	0	0	0
100	1	0	0	0	0	0	0	0

$$J_4 = \overline{P}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0} + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}$$

K_4

$P\,Q_4\,Q_3$ \ $Q_2\,Q_1\,Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	*	*	*	*	*	*	*	*
001	*	*	*	*	*	*	*	*
011	0	0	1	x	x	x	x	x
010	x	x	x	x	x	x	x	x
110	x	x	x	x	x	x	x	x
111	1	0	0	x	x	x	x	x
101	*	*	*	*	*	*	*	*
100	*	*	*	*	*	*	*	*

$$K_4 = \overline{P}Q_1 + P\overline{Q_0}$$

J_3

$P\,Q_4\,Q_3$ \ $Q_2\,Q_1\,Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	0	0	0	0	0	0	1
001	*	*	*	*	*	*	*	*
011	*	*	*	x	x	x	x	x
010	x	x	x	x	x	x	x	x
110	x	x	x	x	x	x	x	x
111	*	*	*	x	x	x	x	x
101	*	*	*	*	*	*	*	*
100	1	0	0	0	0	0	0	0

$$J_3 = \overline{P}Q_2\overline{Q_1}\,\overline{Q_0} + P\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}$$

K_3

$P\,Q_4\,Q_3$ \ $Q_2\,Q_1\,Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	*	*	*	*	*	*	*	*
001	0	0	0	0	0	0	0	0
011	0	0	1	x	x	x	x	x
010	x	x	x	x	x	x	x	x
110	x	x	x	x	x	x	x	x
111	0	0	0	x	x	x	x	x
101	0	0	0	0	0	0	0	1
100	*	*	*	*	*	*	*	*

$$K_3 = \overline{P}Q_4Q_1 + PQ_2\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}$$

J_2

$P\,Q_4\,Q_3$ \ $Q_2\,Q_1\,Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	0	0	1	*	*	*	*
001	0	0	0	0	*	*	*	*
011	0	0	0	x	x	x	x	x
010	x	x	x	x	x	x	x	x
110	x	x	x	x	x	x	x	x
111	0	0	0	x	x	x	x	x
101	0	0	0	1	*	*	*	*
100	0	0	0	0	*	*	*	*

$$J_2 = \overline{P}\,\overline{Q_3}\,Q_1\,\overline{Q_0} + P\,Q_3\,Q_1\,\overline{Q_0}$$

K_2

$P\,Q_4\,Q_3$ \ $Q_2\,Q_1\,Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	*	*	*	*	0	0	0	0
001	*	*	*	*	1	0	0	0
011	*	*	*	x	x	x	x	x
010	x	x	x	x	x	x	x	x
110	x	x	x	x	x	x	x	x
111	*	*	*	x	x	x	x	x
101	*	*	*	*	0	0	0	0
100	*	*	*	*	1	0	0	0

$$K_2 = \overline{P}\,Q_3\,Q_1\,\overline{Q_0} + P\,\overline{Q_3}\,Q_1\,\overline{Q_0}$$

J_1

$P\,Q_4\,Q_3$ \ $Q_2\,Q_1\,Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	0	1	*	*	*	*	0	0
001	0	0	*	*	*	*	1	0
011	0	1	*	x	x	x	x	x
010	x	x	x	x	x	x	x	x
110	x	x	x	x	x	x	x	x
111	0	0	*	x	x	x	x	x
101	0	1	*	*	*	*	0	0
100	1	0	*	*	*	*	1	0

$$J_1 = \overline{P}\,\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,Q_0 + \overline{P}\,Q_3\,Q_2\,Q_0 + \overline{P}\,Q_4\,Q_0 + P\,\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_0} + P\,\overline{Q_4}\,Q_3\,\overline{Q_2}\,Q_0 + P\,\overline{Q_3}\,Q_2\,Q_0$$

K_1

PQ_4Q_3 \ $Q_2Q_1Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	*	*	0	0	0	1	*	*
001	*	*	1	0	0	0	*	*
011	*	*	1	X	X	X	X	X
010	X	X	X	X	X	X	X	X
110	X	X	X	X	X	X	X	X
111	*	*	1	X	X	X	X	X
101	*	*	0	0	0	1	*	*
100	*	*	1	0	0	0	*	*

$$K_1 = \overline{P}Q_3\overline{Q_2}Q_0 + \overline{P}\overline{Q_3}Q_2Q_0 + Q_4 + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_0 + PQ_3Q_2Q_0$$

J_0

PQ_4Q_3 \ $Q_2Q_1Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	1	*	*	0	1	*	*	0
001	0	*	*	1	0	*	*	1
011	1	*	*	X	X	X	X	X
010	X	X	X	X	X	X	X	X
110	X	X	X	X	X	X	X	X
111	0	*	*	X	X	X	X	X
101	1	*	*	0	1	*	*	0
100	1	*	*	1	0	*	*	1

$$J_0 = \overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1} + \overline{P}Q_3\overline{Q_2}Q_1 + \overline{P}\overline{Q_3}Q_2Q_1 + \overline{P}Q_3Q_2\overline{Q_1} + \overline{P}Q_4 +$$
$$+P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2} + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_1} + P\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1} + PQ_3Q_2Q_1$$

K_0

PQ_4Q_3 \ $Q_2Q_1Q_0$	000	001	011	010	110	111	101	100
000	*	0	1	*	*	0	1	*
001	*	1	0	*	*	1	0	*
011	*	0	1	X	X	X	X	X
010	X	X	X	X	X	X	X	X
110	X	X	X	X	X	X	X	X
111	*	1	0	X	X	X	X	X
101	*	0	1	*	*	0	1	*
100	*	1	0	*	*	1	0	*

$$K_0 = \overline{P}\,\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1} + \overline{P}\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_1 + \overline{P}Q_3Q_2Q_1 + \overline{P}Q_4Q_1 + \overline{P}\overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1} +$$
$$+P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1} + PQ_4Q_3\overline{Q_1} + P\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}Q_1 + P\overline{Q_3}Q_2Q_1 + PQ_3Q_2\overline{Q_1}$$

4. Переход к заданному базису логических элементов.

Базис Шеффера (И-НЕ). Для представления функции в базисе И-НЕ необходимо произвести двойную инверсию над всей функцией, и используя теорему де Моргана ($\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$), преобразовать инверсию дизъюнкций в конъюнкцию инверсий.

$$J_4 = \overline{\overline{\overline{P}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0} + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}}} = \overline{\overline{\overline{P}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}} \cdot \overline{P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}}};$$

$$K_4 = \overline{\overline{\overline{P}Q_1 + P\overline{Q_0}}} = \overline{\overline{\overline{P}Q_1} \cdot \overline{P\overline{Q_0}}};$$

$$J_3 = \overline{\overline{\overline{P}Q_2\overline{Q_1}\,\overline{Q_0} + P\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}}} = \overline{\overline{\overline{P}Q_2\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}} \cdot \overline{P\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}}};$$

$$K_3 = \overline{\overline{\overline{P}Q_4Q_1 + PQ_2\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}}} = \overline{\overline{\overline{P}Q_4Q_1} \cdot \overline{PQ_2\overline{Q_1}\,\overline{Q_0}}};$$

$$J_2 = \overline{\overline{\overline{P}\,\overline{Q_3}Q_1\overline{Q_0} + PQ_3Q_1\overline{Q_0}}} = \overline{\overline{\overline{P}\,\overline{Q_3}Q_1\overline{Q_0}} \cdot \overline{PQ_3Q_1\overline{Q_0}}};$$

$$K_2 = \overline{\overline{\overline{P}Q_3Q_1\overline{Q_0} + P\overline{Q_3}Q_1\overline{Q_0}}} = \overline{\overline{\overline{P}Q_3Q_1\overline{Q_0}} \cdot \overline{P\overline{Q_3}Q_1\overline{Q_0}}};$$

$$J_1 = \overline{\overline{\overline{P}\,\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_0 + \overline{P}Q_3Q_2Q_0 + \overline{P}Q_4Q_0 + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_0} + P\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}Q_0 + P\overline{Q_3}Q_2Q_0}} =$$

$$= \overline{\overline{\overline{P}\,\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_0} \cdot \overline{\overline{P}Q_3Q_2Q_0} \cdot \overline{\overline{P}Q_4Q_0} \cdot \overline{P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_0}} \cdot \overline{P\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}Q_0} \cdot \overline{P\overline{Q_3}Q_2Q_0}};$$

$$K_1 = \overline{\overline{\overline{P}Q_3\overline{Q_2}Q_0 + \overline{P}\,\overline{Q_3}Q_2Q_0 + Q_4 + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_0 + PQ_3Q_2Q_0}} =$$

$$= \overline{\overline{\overline{P}Q_3\overline{Q_2}Q_0} \cdot \overline{\overline{P}\,\overline{Q_3}Q_2Q_0} \cdot \overline{\overline{Q_4}} \cdot \overline{P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_0} \cdot \overline{PQ_3Q_2Q_0}};$$

$$J_0 = \overline{\overline{\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1} + \overline{P}Q_3\overline{Q_2}Q_1 + \overline{P}\,\overline{Q_3}Q_2Q_1 + \overline{P}Q_3Q_2\overline{Q_1} + \overline{P}Q_4 + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2} + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_1} +}}$$

$$\overline{\overline{+P\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1} + PQ_3Q_2Q_1}} =$$

$$= \overline{\overline{\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}} \cdot \overline{\overline{P}Q_3\overline{Q_2}Q_1} \cdot \overline{\overline{P}\,\overline{Q_3}Q_2Q_1} \cdot \overline{\overline{P}Q_3Q_2\overline{Q_1}} \cdot \overline{\overline{P}Q_4} \cdot \overline{P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}} \cdot \overline{P\overline{Q_3}\,\overline{Q_1}} \cdot}$$

$$\overline{\overline{\cdot P\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}} \cdot \overline{PQ_3Q_2Q_1}};$$

$$K_0 = \overline{\overline{\overline{P}\,\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1} + \overline{P}\,\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_1 + \overline{P}Q_3Q_2Q_1 + \overline{P}Q_4Q_1 + \overline{P}\,\overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1} + P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1} +}}$$

$$\overline{\overline{+PQ_4Q_3\overline{Q_1} + P\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}Q_1 + P\overline{Q_3}Q_2Q_1 + PQ_3Q_2\overline{Q_1}}} =$$

$$= \overline{\overline{\overline{P}\,\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}} \cdot \overline{\overline{P}\,\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_1} \cdot \overline{\overline{P}Q_3Q_2Q_1} \cdot \overline{\overline{P}Q_4Q_1} \cdot \overline{\overline{P}\,\overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1}} \cdot \overline{P\overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}} \cdot}$$

$$\overline{\overline{\cdot PQ_4Q_3\overline{Q_1}} \cdot \overline{P\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}Q_1} \cdot \overline{P\overline{Q_3}Q_2Q_1} \cdot \overline{PQ_3Q_2\overline{Q_1}}}.$$

5. Составление логической схемы.

Схему автомата соберем в среде MultiSim (*NI Circuit Design Suite v10*), используя логические элементы И-НЕ (*NAND*) и *JK*-триггеры.

Для обеспечения синхронности автомата поставим генератор прямоугольных тактовых импульсов (зададим частоту 20Гц) и выберем триггеры тактируемые синхроимпульсом *C* (тактовым импульсом). Сброс автомата в 0 (счет начинается заново) обеспечивает вход сброса (*Reset*) триггеров. Сигнал сброса подадим переключателем (*Switch*) *Key=R* (клавиша).

Переключать сигнал *P* между 0 и 1 будем с помощью переключателя (*Switch*) *Key=P*. При *P* = 0 числа на индикаторе должны идти в прямом порядке, а при *P* = 1 – в обратном.

Для отображения текущего состояния автомата к выходам триггеров подключим пробные индикаторы (*probe*).

Для наглядности счета используем два семисегментных индикатора с внутренним преобразователем кодов (*DCD_HEX*). На одном будут отображаться единицы (от 0 до 9), на втором – десятки (0 или 1). Так как счетчик работает в коде Грея, то для отображения счета на семисегментном индикаторе нужно преобразовать код Грея в двоичный код (табл.3).

Таблица 3

№	код Грея					двоичный код				
						Инд.2	Индикатор 1			
	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Z_4	Z_3	Z_2	Z_1	Z_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1
4	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
5	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1
6	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0
7	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
8	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
9	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1
10	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
11	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
12	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
13	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1
14	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
15	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
16	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
17	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
18	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0

Выполним минимизацию функций с помощью карт Карно.

Z_4

$Q_4 Q_3 Q_2$ \ $Q_1 Q_0$	00	01	11	10
000	0	0	0	0
001	0	0	0	0
011	0	0	1	1
010	1	1	1	1
110	1	1	1	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	-	-	-	-

Z_3

$Q_4 Q_3 Q_2$ \ $Q_1 Q_0$	00	01	11	10
000	0	0	0	0
001	0	0	0	0
011	1	1	0	0
010	0	0	0	0
110	0	0	1	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	-	-	-	-

Z_2

$Q_4 Q_3 Q_2$ \ $Q_1 Q_0$	00	01	11	10
000	0	0	0	0
001	1	1	1	1
011	0	0	0	0
010	1	1	0	0
110	1	1	0	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	-	-	-	-

Z_1

$Q_4 Q_3 Q_2$ \ $Q_1 Q_0$	00	01	11	10
000	0	0	1	1
001	1	1	0	0
011	0	0	0	0
010	0	0	1	1
110	1	1	0	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	-	-	-	-

Z_0

$Q_4 Q_3 Q_2$ \ $Q_1 Q_0$	00	01	11	10
000	0	1	0	1
001	1	0	1	0
011	0	1	0	1
010	1	0	1	0
110	0	1	0	-
111	-	-	-	-
101	-	-	-	-
100	-	-	-	-

Получили:

$$Z_4 = Q_3\overline{Q_2} + Q_3Q_1;$$

$$Z_3 = Q_3Q_2\overline{Q_1} + Q_4Q_1;$$

$$Z_2 = \overline{Q_4}\,\overline{Q_3}Q_2 + Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1};$$

$$Z_1 = \overline{Q_4}\,\overline{Q_2}Q_1 + \overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1} + Q_4\overline{Q_1};$$

$$Z_0 = \overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1}\,\overline{Q_0} + \overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}\,\overline{Q_0} + \overline{Q_3}\,\overline{Q_2}\,\overline{Q_1}Q_0 + Q_3Q_2\overline{Q_1}Q_0 + Q_4\overline{Q_1}Q_0 + \overline{Q_3}Q_2Q_1Q_0 +$$
$$+\overline{Q_4}Q_3\overline{Q_2}Q_1Q_0 + \overline{Q_3}\,\overline{Q_2}Q_1\overline{Q_0} + Q_3Q_2Q_1\overline{Q_0}.$$

Преобразуем полученные выражения в базис Шеффера:

$$Z_4 = \overline{\overline{Q_3\overline{\overline{Q_2}}} \cdot \overline{Q_3Q_1}};$$

$$Z_3 = \overline{\overline{Q_3Q_2\overline{\overline{Q_1}}} \cdot \overline{Q_4Q_1}};$$

$$Z_2 = \overline{\overline{\overline{\overline{Q_4}\,\overline{\overline{Q_3}}Q_2}} \cdot \overline{Q_3\overline{\overline{Q_2}}\,\overline{\overline{Q_1}}}};$$

$$Z_1 = \overline{\overline{\overline{\overline{Q_4}\,\overline{\overline{Q_2}}Q_1}} \cdot \overline{\overline{\overline{Q_3}Q_2\overline{\overline{Q_1}}}} \cdot \overline{Q_4\overline{\overline{Q_1}}}};$$

$$Z_0 = \overline{\overline{\overline{\overline{Q_3}Q_2\overline{\overline{Q_1}}\,\overline{\overline{Q_0}}}} \cdot \overline{\overline{\overline{Q_4}Q_3\overline{\overline{Q_2}}\,\overline{\overline{Q_1}}\,\overline{\overline{Q_0}}}} \cdot \overline{\overline{\overline{Q_3}\,\overline{\overline{Q_2}}\,\overline{\overline{Q_1}}Q_0}} \cdot \overline{Q_3Q_2\overline{\overline{Q_1}}Q_0} \cdot \overline{Q_4\overline{\overline{Q_1}}Q_0} \cdot \overline{\overline{\overline{Q_3}}Q_2Q_1Q_0}} \cdot$$
$$\cdot\overline{\overline{\overline{\overline{Q_4}}Q_3\overline{\overline{Q_2}}Q_1Q_0}} \cdot \overline{\overline{\overline{Q_3}\,\overline{\overline{Q_2}}Q_1\overline{\overline{Q_0}}}} \cdot \overline{Q_3Q_2Q_1\overline{\overline{Q_0}}}.$$

Соединим все устройства в цепи нужным образом через шину и получим схему счетчика (рис. 2).

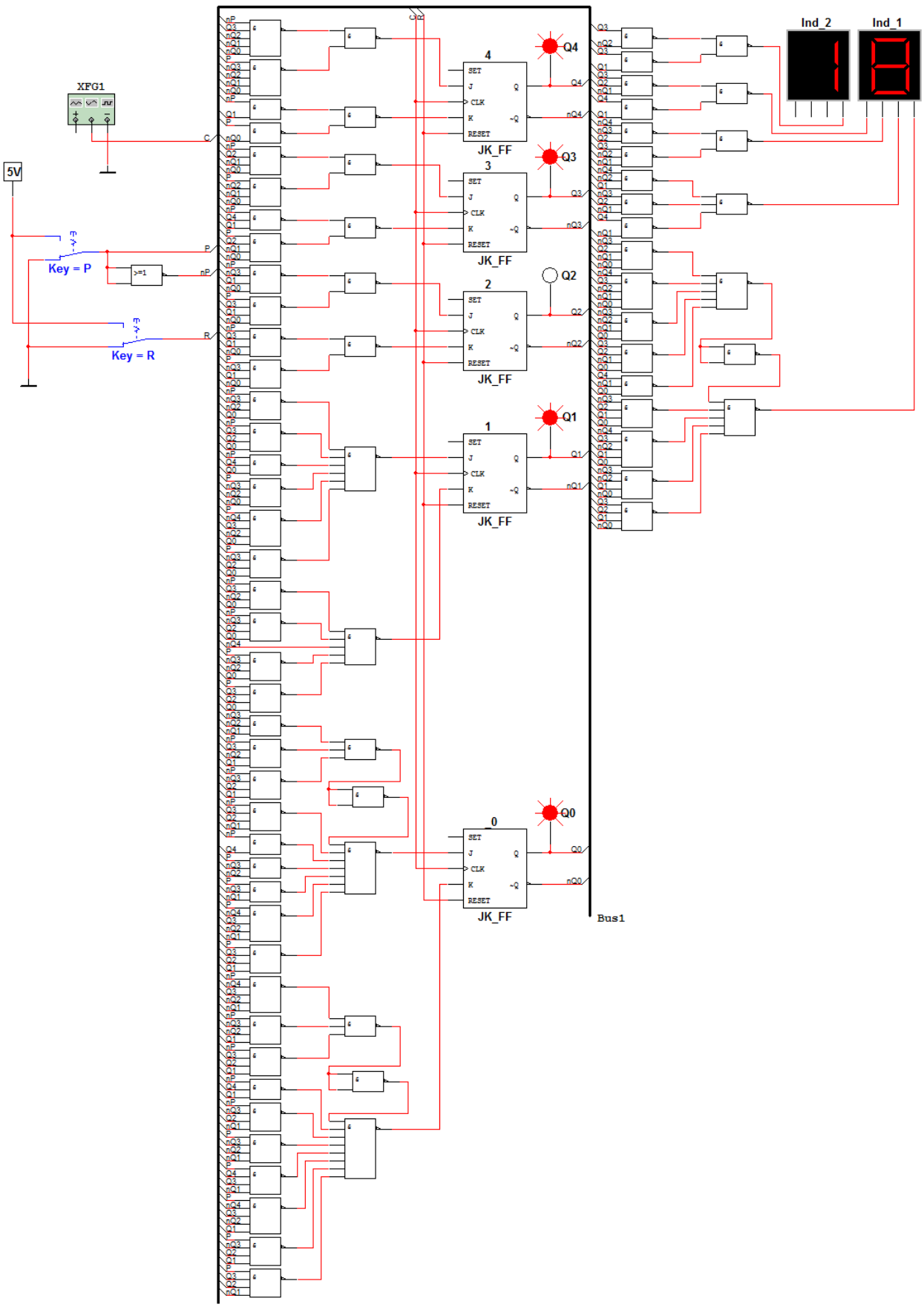

Рисунок 2 – Схема счетчика с индикацией

6. Выводы.

В ходе выполнения лабораторной работы был спроектирован синхронный циклический счётчик с модулем счета 19 в коде Грея с возможностью его реверса и сброса. Схема реализована на *JK*-триггерах и элементах заданного базиса Шеффера (И-НЕ). Для отображения счета десятичными цифрами были использованы два индикатора. Результаты моделирования работы счетчика в среде MultiSim (NI Circuit Design Suite, *v10*) показывают, что при $P = 0$ числа на индикаторе идут в прямом порядке, а при $P = 1$ – в обратном. При R=1 происходит сброс счетчика в 0, счет начинается заново.