

СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО АВТОМАТА МУРА

Цель работы

Приобрести практический опыт синтеза для заданного варианта граф-схемы цифрового автомата Мура, реализации его программным путем и на реальных логических элементах.

Содержание работы

Для заданного варианта задания необходимо:

1. Изобразить граф переходов автомата Мура.
2. Составить кодированную таблицу переходов, выходных сигналов и сигналов возбуждения триггеров автомата Мура с указанием номеров наборов.
3. Подготовить диаграмму Вейча с выделением клеток, не влияющих на работу автомата.
4. Записать минимизированные логические уравнения для сигналов возбуждения триггеров и выходных сигналов.

Дополнительно (не обязательно, но желательно):

5. С использованием программы Logisim составить схему автомата и при изменении сочетания входных сигналов добиться его работоспособности.

Пояснения к работе

В качестве примера на рис. 1 представлена граф-схема алгоритма цифрового автомата.

Автомат имеет шесть состояний $a_0...a_5$, двоичные коды которых соответственно 000 ... 101. Граф переходов представлен на рис. 2. Состояние a_0 принято за исходное. Входные сигналы x_1 и x_2 изменяют последовательность переходов из одного состояния в другое. Автомат в состояниях a_1 и a_2 формирует выходной сигнал y_1 , а в состояниях a_3 и a_5 – выходные сигналы y_2 и y_3 соответственно.

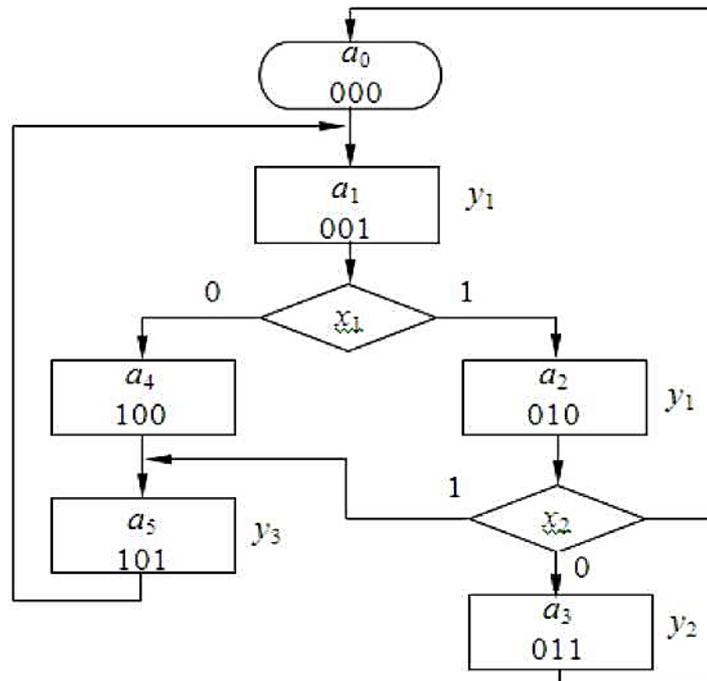


Рис. 1. Граф-схема автомата Мура с закодированными состояниями

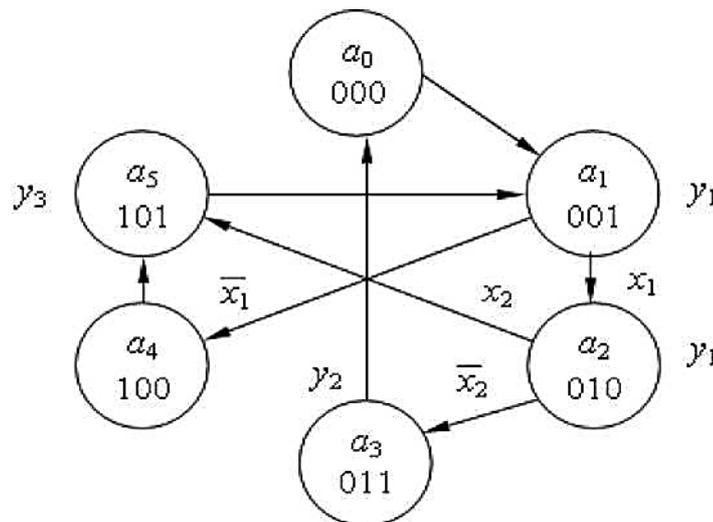


Рис. 2. Граф переходов автомата Мура

На рис. 3 приведены переходы, выходные и входные сигналы, сигналы возбуждения триггеров и схемы маршрутов автомата. На указанном рисунке $Q_2(t)$, $Q_1(t)$ и $Q_0(t)$ – состояния триггеров до переключения, а $Q_2(t+1)$, $Q_1(t+1)$ и $Q_0(t+1)$ – после переключения. В случае синтеза автомата на D -триггерах $Q(t+1) = D(t)$, поэтому колонки для $Q_i(t+1)$ и $D_i(t)$ (где $i = 0, 1, 2$), совмещены.

Номера наборов	Входные сигналы (условия)		Состояния триггеров						Выходные сигналы		
			Q ₂ (t)	Q ₁ (t)	Q ₀ (t)	Q ₂ (t+1)	Q ₁ (t+1)	Q ₀ (t+1)			
	Сигналы возбужд. D-тригг.										
	D ₂ (t)	D ₁ (t)				D ₀ (t)	y ₂ (t)	y ₁ (t)	y ₀ (t)		
x ₁ (t)	x ₂ (t)										
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
4	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
5	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0
8	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1
12	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
13	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0
16	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
17	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
18	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
19	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
24	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
25	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1
26	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1
29	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0

Рис. 3. Кодированная таблица переходов, выходных сигналов и сигналов возбуждения автомата Мура

Если, например, автомат находится в состоянии $a_1 = \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0 = 0 0 1$, а входные сигналы $x_1 = 1$ и $x_2 = 0$, то при подаче импульса синхронизации автомат должен перейти в состояние $a_2 = \bar{Q}_2 Q_1 \bar{Q}_0 = 0 1 0$ (смотрите номер набора 17 в таблице переходов). Это означает, что триггер 2 должен остаться в состоянии «0», триггер 1 перейти из «0» в «1», а нулевой триггер – из «1» в «0». Для сохранения триггера 2 в состоянии «0» на его вход $D_2(t)$, надо в момент t подать «0», Переключение триггера 1 из «0» в «1» можно выполнить подачей сигнала «1» на его вход $D_1(t)$. Переключение нулевого триггера из «1» в «0» – сигналом $D_0(t) = 0$. Под номером набора на рис. 3 понимается десятичный эквивалент двоичного числа, образованного значениями аргументов x_1, x_2, Q_2, Q_1, Q_0 в указанной последовательности. Например, 17-му набору соответствует $x_1 = 1, x_2 = 0, Q_2 = 0, Q_1 = 0, Q_0 = 1$, а, следовательно, двоичное число 10001 равно десятичному числу 17.

В картах Карно, которые будут использоваться ниже, бывает затруднительно отыскивать клетку карты, соответствующую заданной комбинации переменных. Поэтому используются диаграммы (карты) Вейча, в которых каждая клетка карты Карно обозначается цифрой, соответствующей ее набору переменных. В рассматриваемой задаче такая карта имеет вид, представленный на рис. 4.

		x_1								
x_2	{	24	25	29	28	12	13	9	8	}
	26	27	31	30	14	15	11	10		
	18	19	23	22	6	7	3	2		
	16	17	21	20	4	5	1	0		
		}				Q_2		}		
		Q_0		Q_2		Q_0				

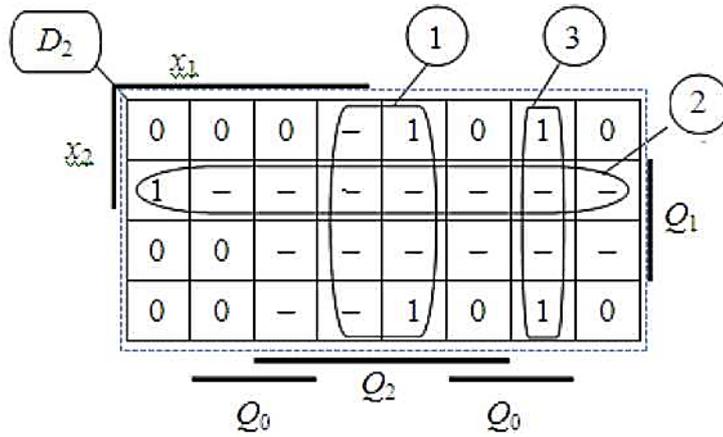
Рис. 4. Диаграмма (карта) Вейча для рассматриваемых пяти переменных

Если проанализировать граф-схему рис. 1, то можно заметить, что при $x_1 = 0$ состояние переменной x_2 никак не будет сказываться на работе схемы и номера наборов 8, 9, 12 и 18 однозначно соответствуют наборам 0, 1, 4, 5. Остальные наборы 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 20-23, 27, 28, 30 могут иметь любое значение и им можно придать значение 0 или 1 по своему усмотрению при минимизации уравнений по карте Карно. В соответствии с этим диаграмма Вейча принимает вид рис. 5.

		x_1								
x_2	{	24	25	29	—	12	13	9	8	}
	26	—	—	—	—	—	—	—		
	18	19	—	—	—	—	—	—		
	16	17	—	—	4	5	1	0		
		}				Q_2		}		
		Q_0		Q_2		Q_0				

Рис. 5. Скорректированная диаграмма Вейча

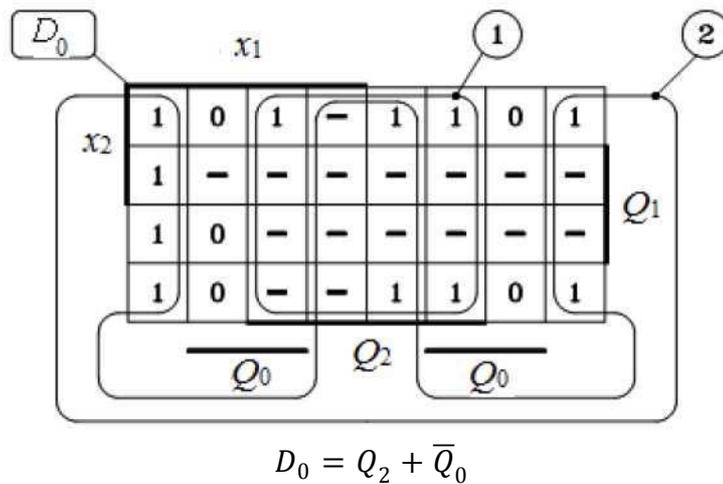
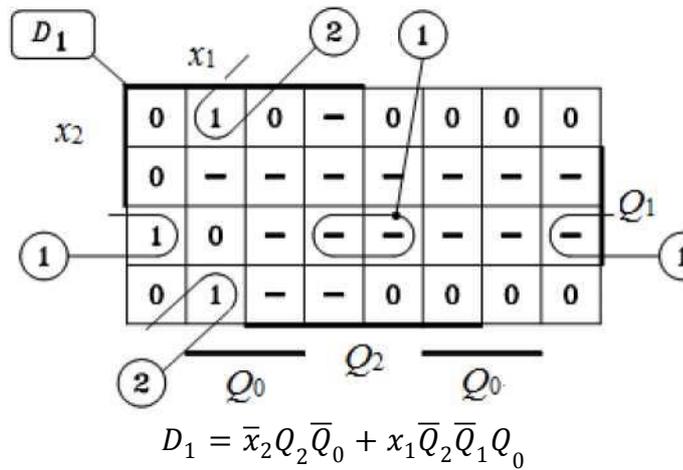
В соответствии с таблицей переходов рис. 3 переменная D_2 имеет значение «1» при наборах 1, 9, 4, 12 и 26. Тогда карта Карно имеет вид следующий вид:

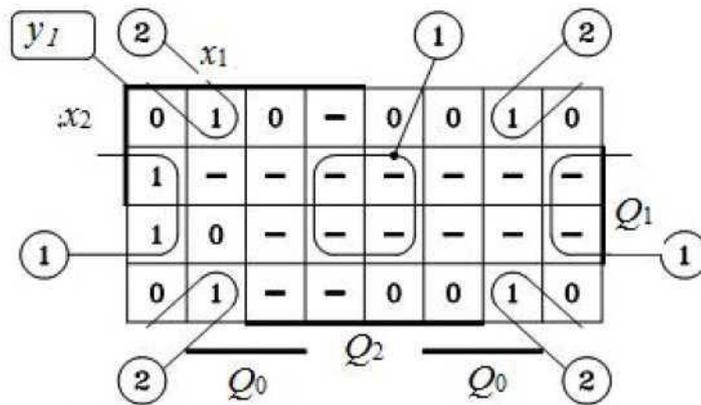


Минимизированное по карте Карно уравнение переменной D_2 имеет вид:

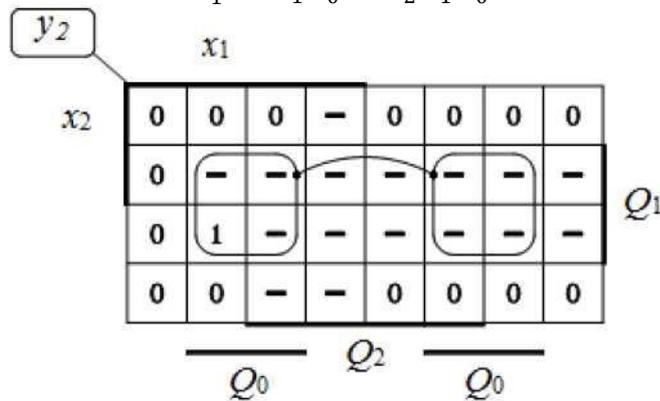
$$D_2 = Q_2 \bar{Q}_0 + x_2 Q_1 + \bar{x}_1 \bar{Q}_2 Q_0$$

Аналогично составляются карты Карно и записываются минимизированные уравнения для переменных D_1 и D_0 .

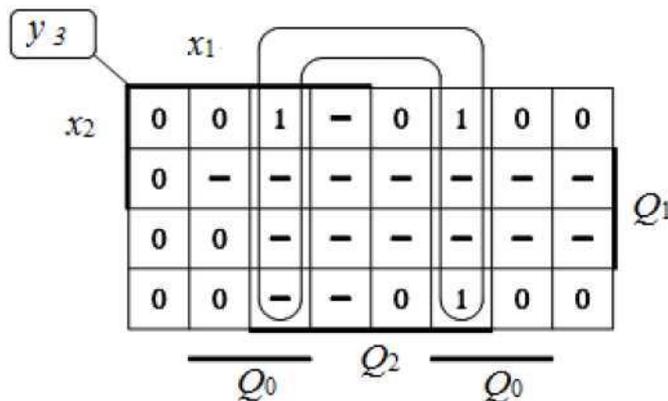




$$y_1 = Q_1 \bar{Q}_0 + \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 Q_0$$



$$y_2 = Q_1 Q_0$$



$$y_3 = Q_2 Q_0$$

Дополнительно:

На рис. 6 представлена схема разрабатываемого автомата, построенная в программе Logisim-win-2.7.1. Эта программа специально создана для проверки правильности работы разрабатываемых схем. Если конкретные элементы, например, элементы И имеют ограниченное число, то в этой программе можно задать число входов такого виртуального элемента до 32.

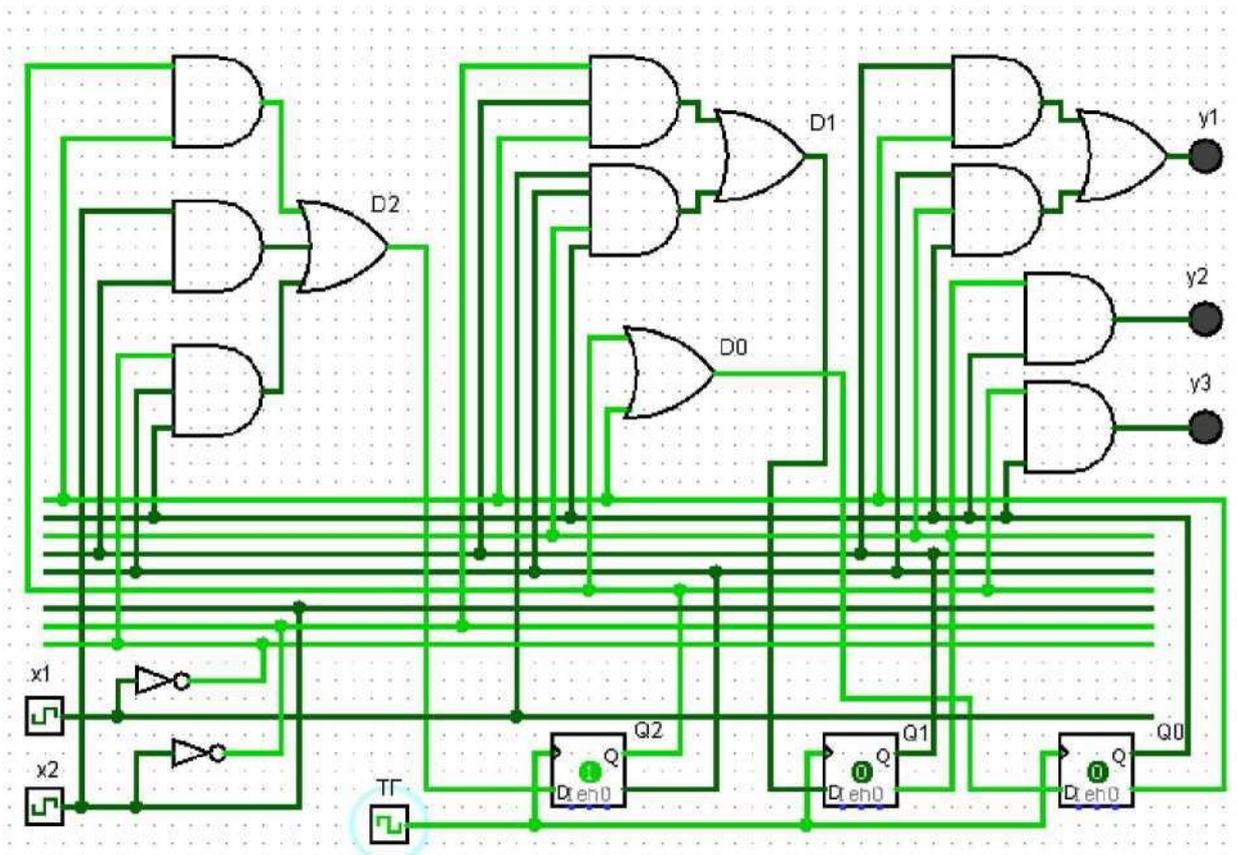


Рис. 6. Схема разрабатываемого автомата в программе Logisim-win-2.7.1.

На рис. 7. представлены графические обозначения, использованные на схеме рис. 6.

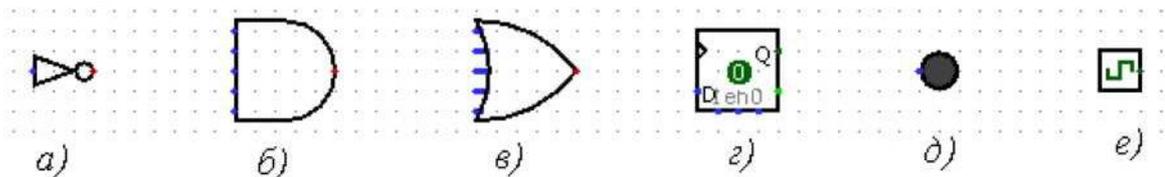


Рис. 7. Графические обозначения элементов: а) элемент **НЕ**, б) элемент **И**, в) элемент **ИЛИ**, г) D-триггер, д) светодиод, е) тактовый генератор

При проверке работы схемы рис. 6 переключения автомата выполнять одиночными импульсами тактового генератора импульсов синхронизации. Состояние входных сигналов включено/отключено с фиксацией осуществляется также одиночными импульсами тактовых генераторов x_1 и x_2 .

Полученные выше логические уравнения можно преобразовать таким образом, чтобы их можно было реализовать на реальных элементах. Например, логическое уравнение для D_2 преобразуется следующим образом:

$$D_2 = Q_2 \bar{Q}_0 + x_2 Q_1 + \bar{x}_1 \bar{Q}_2 Q_0 = \overline{\overline{Q_2 \bar{Q}_0 + x_2 Q_1 + \bar{x}_1 \bar{Q}_2 Q_0}} = \overline{\overline{Q_2 \bar{Q}_0} + \overline{\overline{x_2 Q_1} + \overline{\overline{\bar{x}_1 \bar{Q}_2 Q_0}}}}$$

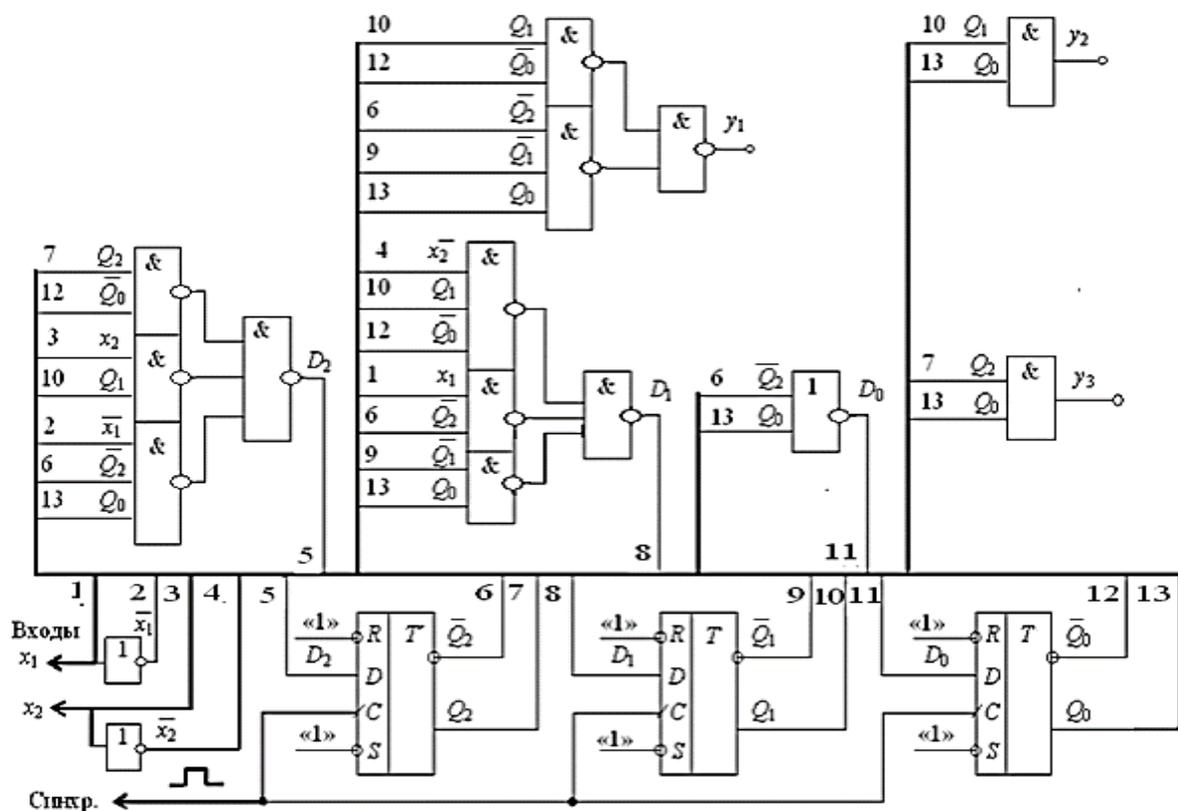


Рис. 8. Автомат Мура на реальных логических микросхемах (в т.ч. D-триггерах)