

## Структурный синтез автомата

В качестве элементов памяти структурного автомата обычно используются триггеры.

**Триггер** – это устройство, имеющее два устойчивых состояния, в которые он переходит под действием определённых входных сигналов.

Обычно в триггерах выделяют два вида входных сигналов (и соответственно входов): информационные и синхросигналы.

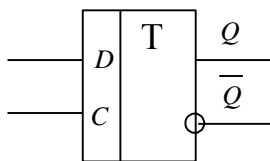
Информационные сигналы определяют новое состояние триггера и присутствуют в любых триггерах. По типу информационных сигналов осуществляется классификация триггеров: *D*, *T*, *RS*, *JK* и т.д.

На синхровход триггера поступают тактирующие импульсы задающего генератора, синхронизирующего работу А.

Рассмотрим основные типы триггеров, используемые для синтеза А: *D*, *T*, *RS*, *JK*.

**D-триггер** – элемент задержки – имеет один информационный вход *D* и один выход *Q* и осуществляет задержку поступившего на его вход сигнала на один такт.

Условное обозначение и таблица переходов *D*-триггера представлена на рис. .



*D*-триггер

<i>D</i>	$Q^t$	$Q^{t+1}$
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

Таблица переходов *D*-триггера.

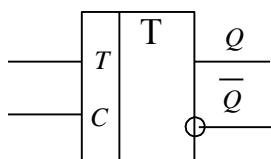
Из приведенной таблицы переходов для данного триггера  $Q^{t+1} = f(Q^t, D^t)$  можно получить таблицу функций его входов  $D^t = \phi(Q^t, Q^{t+1})$ .

$Q^t$	$Q^{t+1}$	$D^t$
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Таблица функции входов *D*-триггера.

Как видно из таблицы, состояние, в которое переходит триггер (средний столбец), совпадает с поступившим на его вход сигналом  $D(t)$  (правый столбец). В связи с этим таблица функций возбуждения памяти синтезируемого автомата с использованием *D*-триггеров будет полностью совпадать с кодированной таблицей переходов этого автомата.

**T-триггер** – триггер со счетным входом – имеет один информационный вход *T* и один выход *Q* и осуществляет суммирование по модулю два значений сигнала *T* и состояния *Q* в заданный момент времени.



*T*-триггер

<i>T</i>	$Q^t$	$Q^{t+1}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Таблица переходов *T*-триггера.

Таблица функций входов триггера  $T^t = f(Q^t, Q^{t+1})$  представлена в таблице.

$Q^t$	$Q^{t+1}$	$T^t$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Таблица функции входов  $T$ -триггера.

**$RS$ -триггер** – триггер с отдельными входами.

Данный триггер имеет два входных канала  $R$  и  $S$  и один выходной  $Q$ . Вход  $S$  (set) называется входом установки в единицу, вход  $R$  (reset) – входом установки в ноль. Условное обозначение и таблица переходов  $RS$ -триггера представлена на рис. 27.

В таблице переходов при подаче комбинации  $S = R = 1$  состояние перехода  $Q^{t+1}$  не определено и эта комбинация сигналов является запрещенной для  $RS$ -триггера.

$R$	$S$	$Q^t$	$Q^{t+1}$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	–
1	1	1	–

а)

$R$	$S$	$Q^{t+1}$
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	–

б)

Таблица переходов  $RS$ -триггера.

$Q^t$	$Q^{t+1}$	$R^t$	$S$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0

Таблица входов  $RS$ -триггера.

**$JK$ -триггер** – имеет два информационных входа  $J$  и  $K$  и один выход  $Q$ . Вход  $J$  – вход установки в 1, вход  $K$  – вход установки в 0, т.е. эти входы аналогичны соответствующим входам  $RS$ -триггера:  $J$  – соответствует  $S$ ,  $K$  – соответствует  $R$ . Однако, в отличие от  $RS$ -триггера, входная комбинация  $J = 1$ ,  $K = 1$  не является запрещенной.

$J$	$K$	$Q^t$	$Q^{t+1}$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

а)

$J$	$K$	$Q^{t+1}$
0	0	$Q^t$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{Q}^t$

б)

Таблица переходов  $JK$ -триггера.

Как следует из таблиц переходов, для комбинаций входных сигналов  $JK = 00 \div 10$  триггер ведет себя как  $RS$ -триггер, а при комбинации  $JK = 11$  – как  $T$ -триггер.

### Использование триггеров.

При большом числе состояний автомата обычно выгоднее использовать D — триггеры.

Если граф переходов автомата имеет относительно небольшое число состояний и почти не содержит петель, предпочтение можно отдать использованию T—триггера.

При большом количестве петель или требовании установки автомата в начальное состояние потребуется использовать RS-триггер.

Наиболее известным методом решения данной задачи является канонический метод структурного синтеза, предусматривающий выполнение следующих шагов:

**Шаг 1.** Выбор набора элементов памяти (ЭП) (триггеров) и системы логических элементов;

В качестве системы логических элементов используются элементы булева базиса – И ИЛИ НЕ и их комбинации.

**Шаг 2.** Кодирование входных, выходных сигналов и внутренних состояний автомата. Для этого первоначально необходимо определить наименьшее количество букв для кодирования полученных на этапе абстрактного синтеза входных и выходных сигналов.

Наименьшее число ЭП определяется величиной  $N_{ЭП} = \lceil \log_2 n \rceil$ , где  $n$  — число внутренних состояний автомата. Эта же формула используется и для определения количества букв для кодирования входных и выходных сигналов:

$N_{вх.букв} = \lceil \log_2 n \rceil$ , где  $n$  — число входных сигналов (букв входного алфавита X).

$N_{вых.букв} = \lceil \log_2 n \rceil$ , где  $n$  — число выходных сигналов (букв выходного алфавита Y).

Для борьбы с «состязаниями»/гонками ЭП применяется методика противогоночного кодирования, предотвращая любую возможность перехода в «чужое» состояние под воздействием входных сигналов.

С точки зрения упрощения входной КЛС определенный эффект может дать следующий прием. Наиболее «популярные» состояния (по числу заходящих дуг) абстрактного автомата предлагается кодировать наименьшим числом единиц.

В результате строится кодированная таблица (или кодированный граф) переходов и выходов.

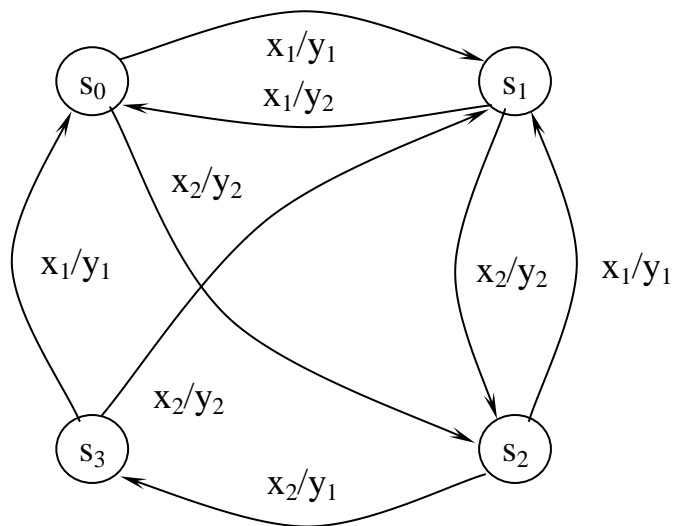
**Шаг 3.** Формирование по имеющейся кодированной таблице (графу) переходов и выходов функций возбуждения для каждого ЭП и выходных функций в виде соответствующих ФАЛ;

**Шаг 3.** Синтез входной и выходной КЛС; для этой цели применяются классические методы минимизации ФАЛ.

### Пример проведения структурного синтеза по графу автомата

Синтезировать структурный автомат, представленный таблично и графом.

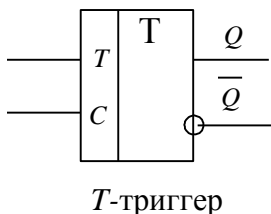
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
X <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> Y <sub>1</sub>	S <sub>0</sub> Y <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> Y <sub>1</sub>	S <sub>0</sub> Y <sub>1</sub>
X <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> Y <sub>2</sub>	S <sub>2</sub> Y <sub>2</sub>	S <sub>3</sub> Y <sub>1</sub>	S <sub>1</sub> Y <sub>2</sub>



## 1. Выбор элементного базиса

– логические элементы И ИЛИ НЕ

– В качестве элементов памяти выбран Т-триггер, т.к. число состояний графа небольшое и нет петель.



$T$	$Q^t$	$Q^{t+1}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

## 2. Кодирование

– входные сигналы  $N_{\text{вх.букв}} = \lceil \log_2 n \rceil$ ,

$N_{\text{вх.букв}} = \lceil \log_2 2 \rceil = 1$  - потребуется минимум 1 буква для кодирования

– выходные сигналы  $N_{\text{вых.букв}} = \lceil \log_2 n \rceil$

$N_{\text{вых.букв}} = \lceil \log_2 2 \rceil = 1$  - потребуется минимум 1 буква для кодирования

– внутренние состояния  $N_{\text{эп}} = \lceil \log_2 n \rceil$

$N_{\text{эп}} = \lceil \log_2 4 \rceil = 2$  - потребуется минимум 2 Т-триггера

<b>X</b>	<b>a</b>
X <sub>1</sub>	0
X <sub>2</sub>	1

<b>Y</b>	<b>b</b>
Y <sub>1</sub>	0
Y <sub>2</sub>	1

<b>S</b>	<b>Z<sub>1</sub></b>	<b>Z<sub>2</sub></b>
S <sub>0</sub>	0	1
S <sub>1</sub>	0	0
S <sub>2</sub>	1	0
S <sub>3</sub>	1	1

Данный вариант кодирования основан на следующем: состояние автомата с наибольшим числом заходящих дуг кодируется нулями, т.о. состояние, куда заходит наименьшее число дуг кодируется единицами. Остальные – промежуточными вариантами.

### Построение кодированной таблицы переходов и выходов.

	Код вх.букв	Код сост в момент Т		Код сост в момент Т+1		Функции возбуждения		Код вых.букв
	а	$Z_1(t)$	$Z_2(t)$	$Z_1(t+1)$	$Z_2(t+1)$	$V_1$	$V_2$	б
$X_1$ {	0	0	1	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	1	0	1	1
	0	1	0	0	0	1	0	0
	0	1	1	0	1	1	0	0
$X_2$ {	1	0	1	1	0	1	1	1
	1	0	0	1	0	1	0	1
	1	1	0	1	1	0	1	0
	1	1	1	0	0	1	1	1

Запись кодов состояний.

В столбцы  $Z_1(t)$  и  $Z_2(t)$  записывается набор кодов состояний автомата последовательно для всех вариантов кодов входных букв. Для данного примера – сначала перечислены все коды состояний (01; 00; 10; 11) для кода входной буквы  $X_1$ , затем записываются все коды состояний для кода входной буквы  $X_2$ .

В столбцы  $Z_1(t+1)$  и  $Z_2(t+1)$  записываются коды состояний автомата, в которые по соответствующей букве происходит переход. Происходит анализ переходов по графу или таблице автомата. Например (1-я строка кодированной таблицы переходов), из состояния  $S_0$  (код 01) по входной букве  $X_1$  (код 0) происходит переход в состояние  $S_1$  (код 00), в столбец «код вых.буквы» (б) этой же строки будет записан код выходной буквы  $Y_1$  (код 0), т.е. выходная реакция, соответствующая этому переходу. На рисунке ниже представлен рассмотренный переход графа автомата.

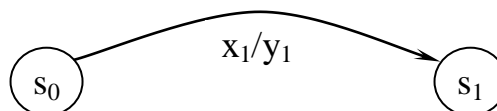


Рис. Переход графа автомата

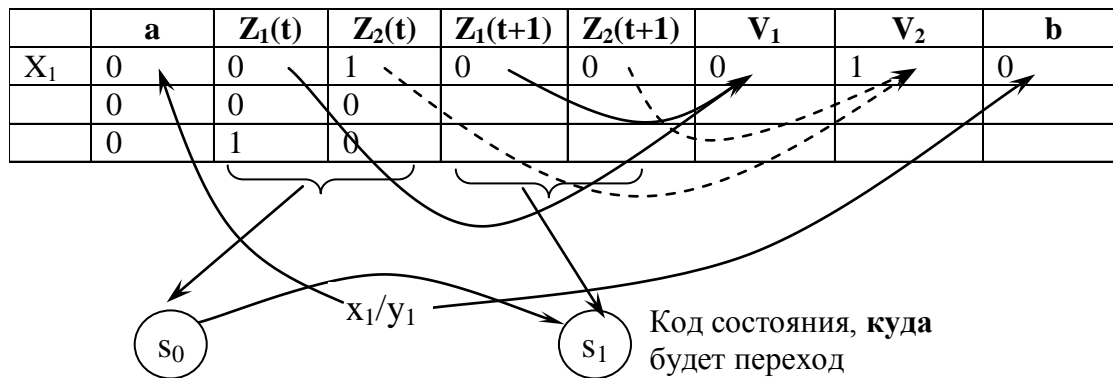
Если из текущего состояния перехода по указанной входной букве нет, то начиная со столбцов  $Z_1(t+1)$  и  $Z_2(t+1)$  и до конца в текущей строке записываются прочерки и в последующем строка исключается из рассмотрения.

При заполнении столбцов функций возбуждения. Потребуется анализ таблицы переходов Т-триггера.

$T$	$Q^t$	$Q^{t+1}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Для заполнения столбца  $V_1$  проводится анализ столбцов  $Z_1(t)$  и  $Z_1(t+1)$ . Столбец  $Z_1(t)$  сопоставляется со столбцом  $Q^t$  таблицы переходов Т-триггера, а  $Z_1(t+1)$  с  $Q^{t+1}$  таблицы переходов Т-триггера. Например, в рассматриваемой 1-й строке кодированной таблицы в столбцах  $Z_1(t)$  и  $Z_1(t+1)$  стоят 0 и 0 соответственно, далее в таблице переходов Т-триггера в столбцах  $Q^t$  и  $Q^{t+1}$  ищется такая же комбинация 0 и 0 и соответствующее значение столбца Т записывается в ячейку столбца  $V_1$ . Выполнив такие же действия с данными столбцов  $Z_2(t)$  и  $Z_2(t+1)$  (имеем 1 и 0) в ячейку столбца  $V_2$  будет записана 1, соответствующая комбинации 10 для  $Q^t$  и  $Q^{t+1}$  таблицы переходов Т-триггера.

На нижеследующем рисунке схематично представлено заполнение строки кодированной таблицы переходов.



Код состояния, **откуда**  
будет переход

Рис. Схема заполнения кодированной таблицы переходов

Запись функций возбуждения.

Для записи ФВ используются строки, содержащие 1 в столбце, соответствующем рассматриваемой ФВ. Для анализа потребуются столбцы **a**, **Z<sub>1</sub>(t)** и **Z<sub>2</sub>(t)**. 1 соответствует истинному значению столбца, 0 – его отрицанию, т.е., если в анализируемой строке столбца **a** записан 0, то в выражение для ФВ будет записано « $\bar{a}$ », если стоит 1, то будет записано « $a$ ». Логическое произведение значений столбцов **a**, **Z<sub>1</sub>(t)** и **Z<sub>2</sub>(t)** для строк, содержащих 1 записывается через логическое ИЛИ.

Если в столбце ФВ находятся все 0, то ФВ равна 0 ( $V=0$ ) и в КЛС на вход триггера, которому соответствует данная ФВ подается 0.

$$V_1 = \bar{a} \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2 \vee \bar{a} \cdot \bar{z}_1 \cdot z_2 \vee \bar{a} \cdot z_1 \cdot \bar{z}_2 \vee \bar{a} \cdot z_1 \cdot z_2 \vee a \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2 \vee a \cdot \bar{z}_1 \cdot z_2 \vee a \cdot z_1 \cdot \bar{z}_2 \vee a \cdot z_1 \cdot z_2 = z_1 \cdot z_2 (\bar{a} \vee a) \vee a \cdot \bar{z}_1 (z_2 \vee \bar{z}_2) \vee \bar{a} \cdot z_1 \cdot \bar{z}_2$$

$$V_1 = z_1 \cdot z_2 \vee a \cdot \bar{z}_1 \vee \bar{a} \cdot z_1 \cdot \bar{z}_2$$

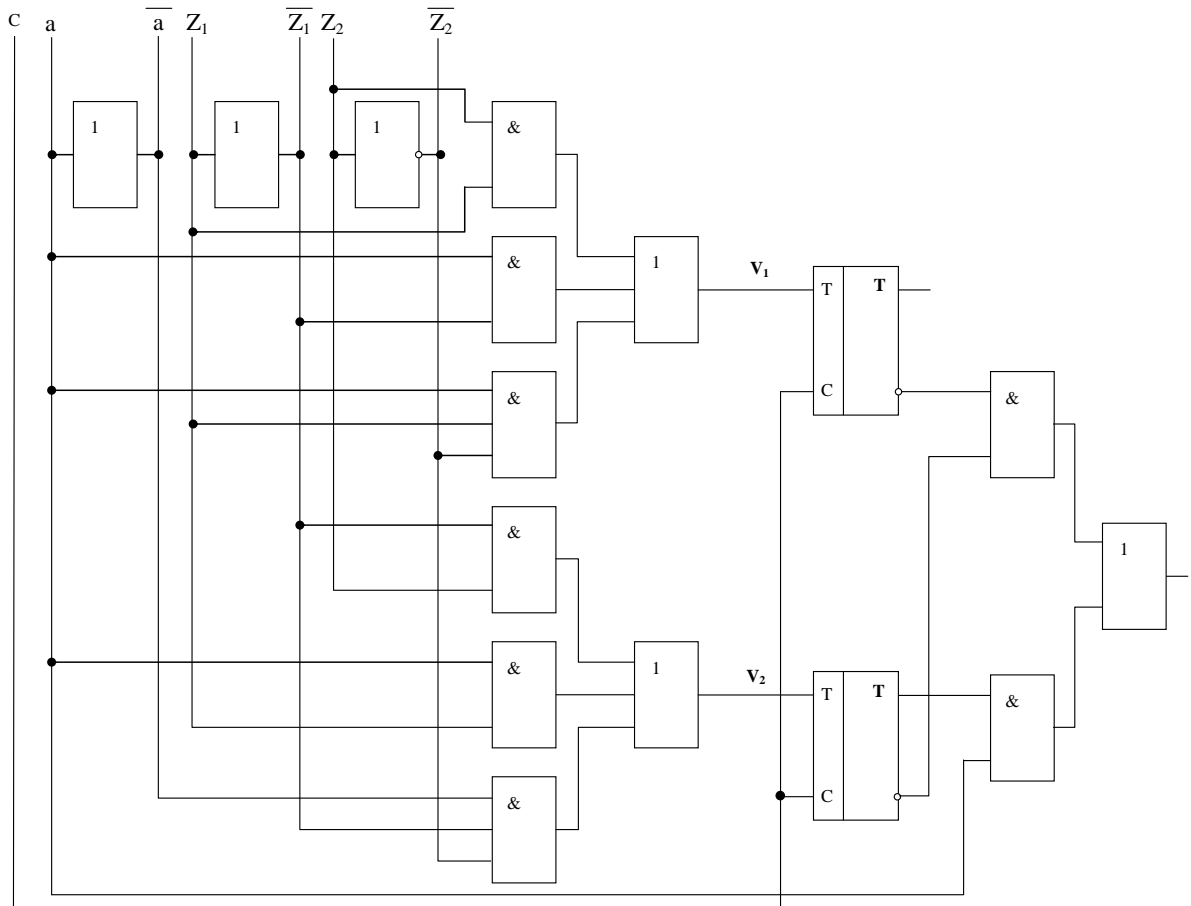
$$V_2 = \bar{a} \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2 \vee \bar{a} \cdot \bar{z}_1 \cdot z_2 \vee \bar{a} \cdot z_1 \cdot \bar{z}_2 \vee \bar{a} \cdot z_1 \cdot z_2 \vee a \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2 \vee a \cdot \bar{z}_1 \cdot z_2 \vee a \cdot z_1 \cdot \bar{z}_2 \vee a \cdot z_1 \cdot z_2 = \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2 \vee a \cdot \bar{z}_1 \vee \bar{a} \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2$$

Запись функций выходов выполняется аналогично записи ФВ, т.е. анализируются строки, содержащие 1 в рассматриваемом столбце.

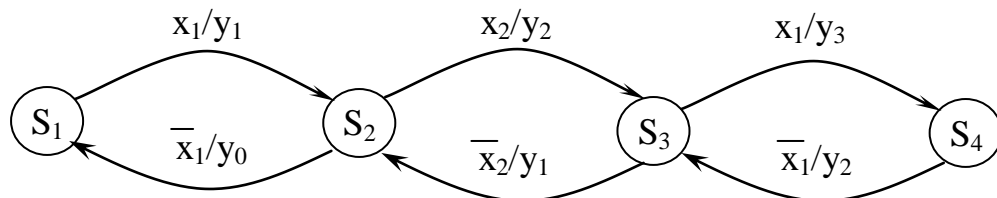
$$b = \bar{a} \cdot \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2 \vee \bar{a} \cdot \bar{z}_1 \cdot z_2 \vee \bar{a} \cdot z_1 \cdot \bar{z}_2 \vee \bar{a} \cdot z_1 \cdot z_2 = \bar{z}_1 \cdot \bar{z}_2 \vee a \cdot z_2$$

Построение КЛС на основе логических выражений для ФВ и функций выходов.

Сначала логическими элементами формируются ФВ



**Пример 2.** Провести структурный синтез по заданному графу автомата



$$X = \{x_1, \bar{x}_1, x_2, \bar{x}_2\}; \quad Y = \{y_1, y_2, y_3\}$$

Решение.

1. Выбор элементов памяти и логических элементов.

В качестве ЭП выбирается RS-триггер. Логические элементы – элементы булева базиса. В данном случае выбор триггера сделан для демонстрации примера использования RS-триггера.

$Q^t$	$Q^{t+1}$	$R^t$	$S$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0

Таблица входов RS-триггера.

2. Кодирование входных, выходных букв и состояний автомата.

– входные сигналы  $N_{вх.букв} = \lceil \log_2 n \rceil$ ,

$$N_{вх.букв} = \lceil \log_2 4 \rceil = 2 - \text{потребуется минимум 2 буквы для кодирования}$$

– выходные сигналы  $N_{вых.букв} = \lceil \log_2 n \rceil$

$N_{\text{вых.букв}} = \lceil \log_2 4 \rceil = 2$  - потребуется минимум 2 буквы для кодирования

– внутренние состояния  $N_{\text{эл}} = \lceil \log_2 n \rceil$

$N_{\text{эл}} = \lceil \log_2 4 \rceil = 2$  - потребуется минимум 2 RS-триггера

X	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>
X <sub>1</sub>	0	0
$\overline{X_1}$	0	1
X <sub>2</sub>	1	0
$\overline{X_2}$	1	1

Y	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
Y <sub>1</sub>	0	0
Y <sub>2</sub>	0	1
Y <sub>3</sub>	1	0
Y <sub>4</sub>	1	1

S	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>
S <sub>1</sub>	0	0
S <sub>2</sub>	0	1
S <sub>3</sub>	1	0
S <sub>4</sub>	1	1

### 3. Построение кодированной таблицы переходов и выходов.

	Код вх.букв		Код сост в момент T		Код сост в момент T+1		Функции возбуждения				Код вых.букв	
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub> (t)	Z <sub>2</sub> (t)	Z <sub>1</sub> (t+1)	Z <sub>2</sub> (t+1)	Vr <sub>1</sub>	Vs <sub>1</sub>	Vr <sub>2</sub>	Vs <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
X <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
$\overline{X_1}$	0	0	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X <sub>2</sub>	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1
$\overline{X_2}$	0	0	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X <sub>1</sub>	0	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
$\overline{X_1}$	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
X <sub>2</sub>	0	1	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-
$\overline{X_2}$	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
X <sub>1</sub>	1	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
$\overline{X_1}$	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
X <sub>2</sub>	1	0	1	0	-	-	-	-	-	-	-	-
$\overline{X_2}$	1	0	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X <sub>1</sub>	1	1	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
$\overline{X_1}$	1	1	0	1	-	-	-	-	-	-	-	-
X <sub>2</sub>	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
$\overline{X_2}$	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-

Кодированную таблицу переходов можно сократить, исключив строки с прочерками.

	Код вх.букв		Код сост в момент T		Код сост в момент T+1		Функции возбуждения				Код вых.букв	
	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub> (t)	Z <sub>2</sub> (t)	Z <sub>1</sub> (t+1)	Z <sub>2</sub> (t+1)	Vr <sub>1</sub>	Vs <sub>1</sub>	Vr <sub>2</sub>	Vs <sub>2</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
X <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
$\overline{X_1}$	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1
X <sub>2</sub>	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
$\overline{X_2}$	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
X <sub>1</sub>	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0
$\overline{X_1}$	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1



### Функции возбуждения.

$$V_{R1} = a_1 \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot z_2$$

$$V_{S1} = a_1 \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot z_2$$

$$V_{R2} = \overline{a_1} \cdot \overline{a_2} \cdot \overline{z_1} \cdot \overline{z_2} \vee \overline{a_1} \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot \overline{a_2} \cdot \overline{z_1} \cdot \overline{z_2} = \overline{a_1} \cdot \overline{a_2} \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot \overline{a_2} \cdot \overline{z_1} \cdot \overline{z_2}$$

$$V_{S2} = a_1 \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot a_2 \cdot \overline{z_1} \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot z_2 = a_1 \cdot a_2 \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot z_2$$

### Функции выходов.

$$b_1 = \overline{a_1} \cdot \overline{a_2} \cdot z_1 \cdot \overline{z_2} \vee \overline{a_1} \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot \overline{a_2} \cdot \overline{z_1} \cdot \overline{z_2}$$

$$b_2 = a_1 \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot a_2 \cdot \overline{z_1} \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot z_2 = a_1 \cdot a_2 \cdot \overline{z_2} \vee a_1 \cdot a_2 \cdot z_1 \cdot z_2$$

### КЛС

