

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДВОИЧНОГО КОДА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ СМЕННОКАЧЕСТВЕННЫЙ КОД

*Т. А. Костельны*

Киевский институт автоматики

Одной из важных проблем телемеханики является повышение помехоустойчивости при передаче информации. Применение последовательного сменнокачественного кода позволяет повысить помехоустойчивость передачи информации на расстояние и, кроме того, обеспечить пошаговую синхронизацию.

Принцип кодирования заключается в том, что информация передается с помощью трех величин: 1, 0, П. Это могут быть, допустим, три частоты — частота «единиц», частота «нулей» и промежуточная частота. Если в канал связи поступит последовательно несколько единиц, нечетные из них передаются на соответствующей частоте, четные — на промежуточной. То же самое касается нулей. Например, зашифрованная в двоичном коде информация 1111010001 будет представлена в сменнокачественном коде как 1П1П010П01.

Для этого кода был разработан преобразователь на импульсных элементах. Во время разработки контролируемого пункта для системы сбора информации возник вопрос о построении преобразователя на потенциальных элементах. С помощью теории цифровых автоматов [1] был проведен синтез преобразователя.

На вход поступают переменные величины:  $X$  (1 или 0),  $T$  и  $\bar{T}$ ; причем  $\bar{T}$  и  $T$  являются синхронизирующими потенциалами, поступающими, например, с выходов задающего мультивибратора. На выходе мы должны получить переменные 1, 0, П, появляющиеся в соответствии с принципом преобразования двоичного кода в сменнокачественный. Учитывая все возможные входы и состояния автомата в момент времени  $(t - 1)$ , определяем все состояния и выходы автомата в момент времени  $t$  (см. табл. 1). Прочерком обозначены неопределенные состояния автомата.

Для наглядности вводим обозначения:

$$0\bar{T} = 1; 0T = 2; 1T = 3; 1\bar{T} = 4; ПT = 5; П\bar{T} = 6;$$

Теперь используем то свойство, что неопределенные состояния автомата можно заменить любым из определенных состояний. Дополняем табл. 1 таким образом, что столбцы 1 и 4, а также 2 и 3 станут идентичными. Эту операцию проводим как в таблице переходов, так и в таблице выходов. Обозначая столбцы 1, 4 как 1, а столбцы 2, 3 как 2, получаем минимизированные таблицы переходов и выходов автомата (см. табл. 2). Из табл. 2 видно, что есть возможные четыре состояния автомата, которые можем реализовать с помощью двух триггеров.

Таблица 1

|      | Таблица переходов |     |     |     |     |     | Таблица выходов |     |    |     |    |     |
|------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|-----|----|-----|----|-----|
|      | ОТ                | ОТ̄ | 1Т  | 1Т̄ | ПТ  | ПТ̄ | ОТ              | ОТ̄ | 1Т | 1Т̄ | ПТ | ПТ̄ |
| ХТ   | —                 | 1Т  | 1Т  | ПТ  | ПТ  | 1Т  | —               | —   | 1  | —   | П  | —   |
| ХТ̄  | 1Т̄               | —   | ПТ̄ | 1Т̄ | 1Т̄ | ПТ̄ | —               | —   | —  | 1   | —  | П   |
| Х̄Т  | ОТ                | ПТ  | —   | ОТ  | ПТ  | ОТ  | 0               | —   | —  | —   | П  | —   |
| Х̄Т̄ | ПТ̄               | ОТ̄ | ОТ̄ | —   | ОТ̄ | ПТ̄ | —               | 0   | —  | —   | —  | П   |

Рассматриваем таблицу переходов автомата. Кодуем состояния автомата, соблюдая условие, что в момент времени  $t$  изменяется состояние триггера, входы которого зависят от триггера, не изменяющего своего состояния в этот момент времени. Первое состояние кодируем произвольно:

$$1 \rightarrow 11;$$

тогда состояния 5 и 6 не могут быть 00, значит:

$$5 \rightarrow 10; 6 \rightarrow 01; 2 \rightarrow 00.$$

В итоге получаем закодированную таблицу переходов автомата (см. табл. 3).

Таблица 2

|      | Таблица переходов |   |   |   | Таблица выходов |   |   |   |
|------|-------------------|---|---|---|-----------------|---|---|---|
|      | 1                 | 2 | 5 | 6 | 1               | 2 | 5 | 6 |
| ХТ   | 5                 | 2 | 5 | 2 | —               | 1 | П | — |
| ХТ̄  | 1                 | 6 | 1 | 6 | 1               | — | — | П |
| Х̄Т  | 1                 | 5 | 5 | 1 | 0               | — | П | — |
| Х̄Т̄ | 6                 | 2 | 2 | 6 | —               | 0 | — | П |

Таблица 3

|      | Таблица переходов |    |    |    |
|------|-------------------|----|----|----|
|      | 11                | 00 | 10 | 01 |
| ХТ   | 10                | 00 | 10 | 00 |
| ХТ̄  | 11                | 01 | 11 | 01 |
| Х̄Т  | 11                | 10 | 10 | 11 |
| Х̄Т̄ | 01                | 00 | 00 | 01 |

Чтобы триггер перебрисился из состояния 0 в 1, надо на нулевой вход подать 0, а на единичный — 1. Это запишем:

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow (01).$$

Соответственно

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow (10); \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \rightarrow (-0); \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow (0-),$$

причем прочерк соответствует неопределенному сигналу (0 или 1).

Таблица 4

|   |                  | 12        | 0                     | 4               | 8               |
|---|------------------|-----------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|   |                  | $K_1 K_2$ | $\bar{K}_1 \bar{K}_2$ | $K_1 \bar{K}_2$ | $\bar{K}_1 K_2$ |
|   |                  | 11        | 00                    | 10              | 01              |
| 3 | $X\bar{T}$       | 0—10      | —0—0                  | 0——0            | —010            |
| 1 | $X\bar{T}$       | 0—0—      | —001                  | 0—01            | —00—            |
| 2 | $\bar{X}T$       | 0—0—      | 01—0                  | 0——0            | 010—            |
| 0 | $\bar{X}\bar{T}$ | 100—      | —0—0                  | 10—0            | —00—            |

Находим:

$$\begin{aligned}
 A_{01} &= (3^*, 11^*, 1^*, 9^*, 12, 0^*, 4^*, 8^*); \\
 A_{11} &= (15^*, 7^*, 13^*, 5^*, 14^*, 2, 6^*, 10); \\
 A_{02} &= (15, 3^*, 7^*, 11, 2^*, 6^*, 0^*, 4^*); \\
 A_{12} &= (13^*, 1, 5, 9^*, 14^*, 10^*, 12^*, 8^*).
 \end{aligned}$$

Таблица 5

|   |     |            |                      |
|---|-----|------------|----------------------|
| 0 | 0*  | (0,1)(1)*  | (0, 4, 8, 12)(4)(8)  |
| 1 | 1*  | (0,4)(4)*  | (0, 1, 8, 9)(1)(8)*  |
|   | 4*  | (0,8)(8)*  | (1, 9, 3, 11)(2)(8)* |
|   | 8*  | (1,3)(2)*  |                      |
| 2 | 3*  | (1,9)(8)*  |                      |
|   | 9*  | (4,12)(8)* |                      |
|   | 12* | (8,9)(1)*  |                      |
| 3 | 11* | (8,12)(4)* |                      |
|   |     | (3,11)(8)* |                      |
|   |     | (9,11)(2)* |                      |

Эти функции минимизируем методом Квайна-Мак-Класки. В табл. 5 показана минимизация функции  $A_{01}$ . После минимизации получаем простую импликанту, обозначенную множеством (0, 4, 8, 12). Для этой импликанты выписываем какую-нибудь конституэнту единицы, номер которой входит в обозначающее множество импликанты (напр.  $\bar{X}\bar{T}\bar{K}_1\bar{K}_2$ ). По разностям (4) (8), (см. 4-й столбец табл. 5), соответствующим импликанте, определяем переменные, которые отсутствуют в представляющем ее элементарном произведении, и вычеркиваем эти переменные из конституэнты единицы. В итоге получаем

$$A_{01} = \bar{X}\bar{T}. \quad (1)$$

Таким же методом получаем остальные входные функции:

$$A_{11} = \bar{X}T; \quad (2)$$

$$A_{02} = XT; \quad (3)$$

$$A_{12} = X\bar{T}. \quad (4)$$

Используя этот способ записи, получаем из закодированной таблицы переходов (табл. 3) таблицу возбуждений (см. табл. 4). Обозначаем:

$A_{01}, A_{02}$  — нулевые входы триггеров;

$A_{11}, A_{12}$  — единичные входы триггеров;

$\bar{K}_1, \bar{K}_2$  — нулевые выходы триггеров;

$K_1, K_2$  — единичные выходы триггеров.

По таблице возбуждений ищем функцию, при подаче которой на вход триггера получим на соответствующем выходе единицу.

Переходим теперь к выходам автомата. В таблице выходов (см. табл. 2) отмечаем состояния автомата ( $i - 1$ ) соответствующими наборами кодов, а вместо неопределенных выходов автомата в таблицу вписываем 1, 0 или П таким образом, чтобы получить минимальные функции выхода. После этих операций получаем табл. 6, по которой находим эти функции:

$$1 = (15, 13, 3, 1);$$

$$0 = (14, 12, 2, 0).$$

После минимизации получаем:

$$1 = X(K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2); \quad (5)$$

$$0 = \bar{X}(K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2). \quad (6)$$

Так как П появляется только тогда, когда нет ни 1, ни 0, можем записать:

$$\begin{aligned} \Pi &= 1 \cdot 0 = \overline{X(K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2)} \cdot \overline{\bar{X}(K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2)} = \\ &= |\bar{X} \vee (K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2)| \cdot |X \vee (K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2)| = \\ &= \overline{X(K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2) \vee X(K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2) \vee (K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2)}. \end{aligned}$$

Таблица 6

|   |                  | 12       | 0                    | 4              | 8              |
|---|------------------|----------|----------------------|----------------|----------------|
|   |                  | $K_1K_2$ | $\bar{K}_1\bar{K}_2$ | $K_1\bar{K}_2$ | $\bar{K}_1K_2$ |
|   |                  | 11       | 00                   | 10             | 01             |
| 3 | ХТ               | 1        | 1                    | П              | П              |
| 1 | $X\bar{T}$       | 1        | 1                    | П              | П              |
| 2 | $\bar{X}T$       | 0        | 0                    | П              | П              |
| 0 | $\bar{X}\bar{T}$ | 0        | 0                    | П              | П              |

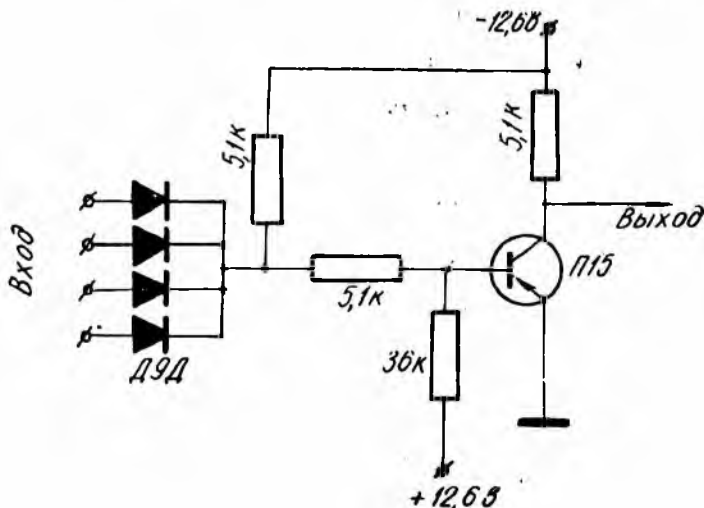


Рис. 1.

Член  $(K_1K_2 \vee \bar{K}_1\bar{K}_2)$  обозначаем буквой Г и применяем операцию поглощения:

$$\Pi = \bar{X}\Gamma \vee X\Gamma \vee \Gamma = \Gamma,$$

значит,

$$\Pi = \overline{K_1K_2 \vee K_1\bar{K}_2}. \quad (7)$$

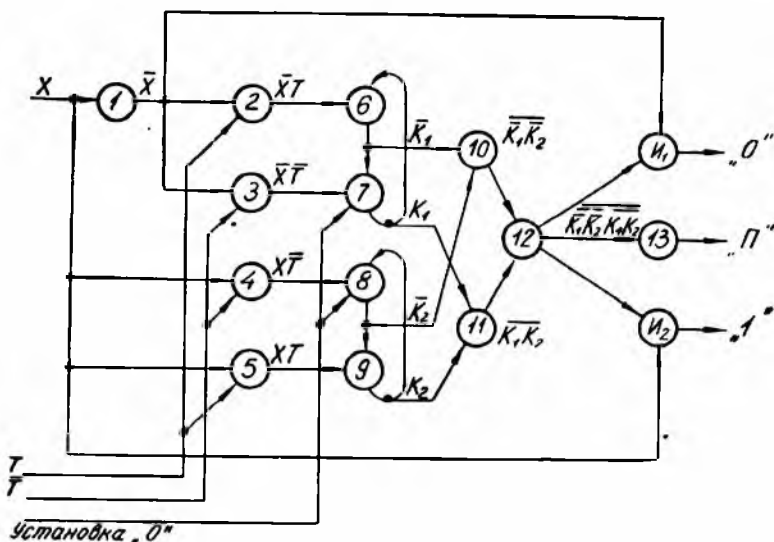


Рис. 2.

Полученные функции входа (1) ÷ (4) и выхода (5) ÷ (7) описывают работу преобразователя. Эти функции можем свести к конъюнктивной форме записи и реализовать их с помощью универсальных логических элементов (УЛЭ) [2]. Схема такого элемента приведена на рис. 1.

В этом случае:

$$1 = X\bar{K}_1\bar{K}_2K_1K_2; \quad (5')$$

$$0 = \bar{X}\bar{K}_1\bar{K}_2K_1K_2; \quad (6')$$

$$\Pi = \bar{K}_1\bar{K}_2K_1K_2. \quad (7')$$

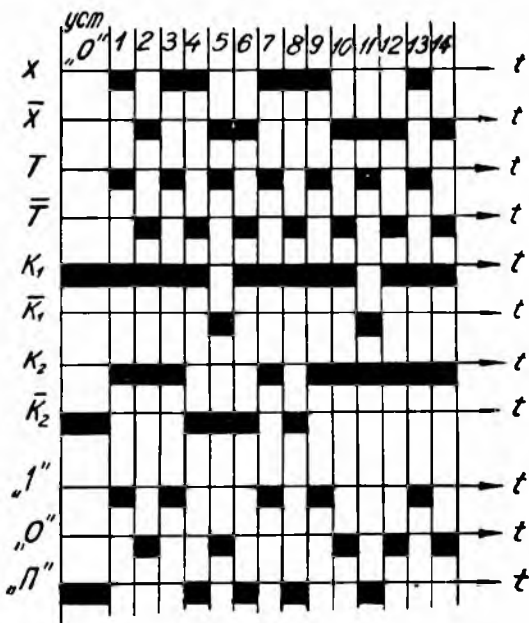


Рис. 3.

Преобразователь, построенный на УЛЭ, показан на рис. 2, а временная диаграмма работы — на рис. 3. В схеме используется 13 УЛЭ и две потенциальные схемы совпадения. Установка нуля на триггерах зависит от того, какой потенциал ( $T$  или  $\bar{T}$ ) первым поступит в начале работы преобразователя. Если первым будет поступать  $T$ , установку нуля будем производить подачей положительного перепада напряжения (сигнал  $0$ ) на УЛЭ<sub>7</sub> и УЛЭ<sub>8</sub>. При поступлении первым потенциала  $\bar{T}$  установку нуля производим на элементах УЛЭ<sub>6</sub> и УЛЭ<sub>9</sub>.

Можно аналогичным образом произвести синтез преобразователя последовательного сменного качественного кода в двоичный код. Принципиальная схема этого преобразователя приведена на рис. 4, а временная диаграмма его работы — на рис. 5. Здесь элементы УЛЭ<sub>а</sub> и ИЛИ использованы для выработки потенциала разделения слов. Во время передачи информацию снимаем с выхода  $X$ , а на выходе  $Y$  держится нуль. Когда на все три входа поступит пауза («конец слова» или «конец передачи»), на выходах  $X$  и  $Y$  появится единица.

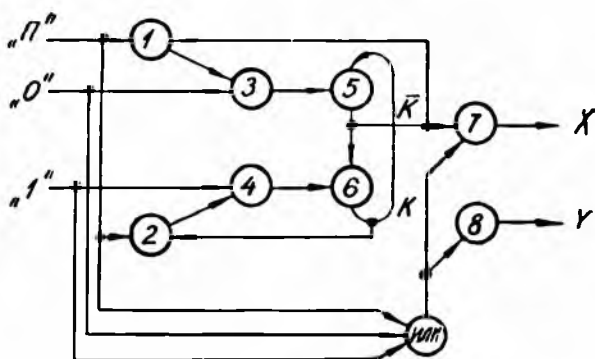


Рис. 4.

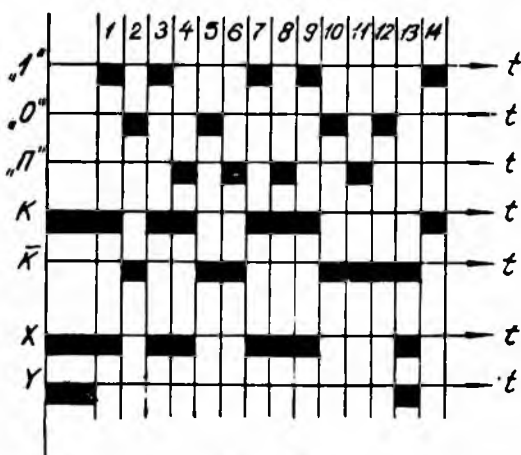


Рис. 5.

Благодаря синтезу, схемы преобразователей получились простыми, а использование потенциальных элементов обеспечивает высокую надежность работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Глушков. Синтез цифровых автоматов, Физматгиз, М., 1962.
2. Э. Л. Рабинович, Л. В. Мацевитый, В. И. Карташев. Универсальный логический элемент и его применение, «Автоматика и приборостроение», 1963, № 2.