

РЕАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО ПОЛНЫХ СИСТЕМ В ДЕСЯТИЗНАЧНОЙ ЛОГИКЕ

Ю. А. Василенко, Н. Я. Какурин

Харьков

Большинство современных дискретных преобразователей информации построено при помощи двоичной системы счисления. Это объясняется наличием надежных элементов с двумя устойчивыми состояниями, также хорошо разработанного аппарата булевой алгебры. Однако десятичная система не является оптимальной с точки зрения как выполнения арифметических операций человеком, так и экономного использования оборудования в дискретных устройствах переработки информации. Так, например, при основании, равном десяти, количество оборудования в четыре раза меньше, чем при использовании комбинационных элементов в двоично-кодированной системе счисления. За последние годы намечается тенденция к конструированию дискретных устройств, работающих в десятичной системе счисления. Примерно половина общего количества универсальных вычислительных машин строится по десятичной системе, причем с каждым годом это соотношение возрастает [1].

Подобные машины требуют для своей реализации элементов со многими устойчивыми состояниями, которые можно получить двумя способами: путем последовательного соединения m двоичных элементов и созданием функциональных элементов с многими устойчивыми состояниями.

Первый способ позволяет иметь 2^m различных состояний. Минимальное количество двоичных элементов $\lambda(n)$, необходимое для представления одной цифры системы счисления с основанием n , определяется следующим выражением:

$$\log_2 n \leq \lambda(n) < \log_2 n + 1$$

Для десятичной системы $\lambda(n) = 4$. При этом из шестнадцати состояний здесь используется только десять, что позволяет применять различные варианты двоично-кодированных десятичных систем, обладающих теми или иными преимуществами.

При втором способе используются различные физические принципы.

В связи с этим возникают следующие задачи в области теории синтеза многозначных систем:

- 1) разработка функционально полных систем многозначных логических элементов с использованием различных физических принципов;
- 2) разработка принципов построения устройств переработки информации на многозначных элементах;
- 3) разработка структурной теории синтеза цифровых автоматов многозначных элементов.

Для решения этих задач необходимо иметь некоторую полную систему функций в k -значной логике (в частности, в десятизначной).

Следует отметить, что для общего случая эта проблема не решена, т. е. не существует теоремы, дающей критерий полноты для произвольной системы функций. С. В. Яблонским дан критерий полноты лишь для случая трехзначной логики (в двухзначной логике соответствующий критерий дается теоремой Поста — Яблонского).

Ряд авторов дали полные системы функций в k -значной логике. Важнейшие и наиболее интересные, с точки зрения практики, следующие [2]:

- а) Система Поста, состоящая из дизъюнкций и цикла;
- б) Система Россера и Тьюкетта, включающая характеристические функции, функции конъюнкции и дизъюнкции и функции константы;
- в) Модульная система. Если k — простое число, то функция сложения и умножения по модулю k образуют в k -значной логике полную систему.

Ранее была получена новая полная система функций в k -значной логике [3].

Эта система состоит из следующих четырех функций:

$$\bar{x} = k - 1 - x, \quad x \vee y = \max(x, y), \\ x \oplus 1, \quad q(x),$$

где

$$x \oplus y = \begin{cases} x - y, & \text{если } x \geq y \\ 0, & \text{если } x < y. \end{cases}$$

Функция $q(x)$ определяется следующим образом:

$$q(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ \vdots \\ k-2 \\ k-1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ k-1 \end{pmatrix}.$$

В данном случае одноместная функция k -значной логики представлена как функция, которая преобразует k -мерный столбец аргументов в некоторый k -мерный столбец. Доказана независимость предложенной системы.

При $k = 10$ указанная полная система обращается в следующую:

$$\bar{x} = 9 - x, \quad x \vee y = \max(x, y), \\ x \oplus 1 \quad \text{и} \quad q(x),$$

где

$$q(x) = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 9 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} x = (0, 1, 2, \dots, 9) \\ y = (0, 1, 2, \dots, 9), \end{matrix}$$

т. е. $q(x)$ — характеристическая функция $q_9(9)$ в десятичной логике. Функция $x \oplus 1$ является функцией сдвига.

Для построения сложных дискретных преобразователей на базе рассмотренной полной системы функций необходимо найти надежную и простую реализацию функций полной системы.

Для понимания принципа работы таких схем рассмотрим вначале реализацию полной системы на простых диодно-транзисторных схемах; некоторые из них используются при построении двоичных устройств.

В дальнейшем рассмотрим вопрос о реализации полной системы функций на базе фазоимпульсных многоустойчивых элементов дискретной техники.

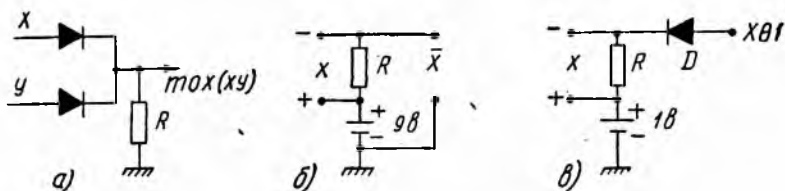


Рис. 1.

При кодировании чисел в десятичной системе уровнями напряжений получаются достаточно простые схемы.

Рассмотрим случай реализации функционально полной системы в десятизначной логике при представлении десятичного алфавита уровнями напряжения.

Дизъюнкция в десятичной логике для двухместных операций может быть реализована при помощи известной диодной схемы ИЛИ (рис. 1, а), используемой в двоичной технике и предложенной для реализации R-дизъюнкции в работе [4].

В данном случае используется та особенность этой схемы, что при одновременном поступлении двух уровней напряжения на входы схемы x и y на выходе получается уровень напряжения, равный наибольшему из уровней на входе. Функция отрицания может быть реализована при помощи схемы, показанной на рис. 1, б).

В данной схеме десятизначному алфавиту соответствует линейка напряжений от 0 до 9 в соответственно. Выходное напряжение равно алгебраической сумме напряжения батареи и входного напряжения. При указанной полярности напряжение на выходе всегда является дополнением значения напряжения на входе до девяти.

Характеристическая функция $q(x)$ обладает той особенностью, что при аргументе $k = 1$ она равна $k = 1$. При всех остальных значениях аргумента она равна 0. Эта функция может быть реализована на основе триггера Шмидта, у которого порог срабатывания выбран равным 8,5 в, а напряжение коллекторной батареи ≈ 9 в. Триггер выдает напряжение 9 в при входном напряжении, равном также 9 в.

Операция сдвига показана на схеме, (рис. 1, в). Диод D необходим для того, чтобы при $x = 0$ выходное напряжение также было равно 0.

Все приведенные схемы с достаточной точностью могут моделировать функции полной системы. Однако все они имеют некоторые недостатки:

а) схемы не имеют активных элементов и поэтому обладают некоторым затуханием;

б) источники, имитирующие входной сигнал x , не имеют соединения с землей, что усложняет построение схем из указанных элементов..

Целесообразно строить указанные схемы на фазо-импульсных многоустойчивых элементах, рассмотренных в работе [1].

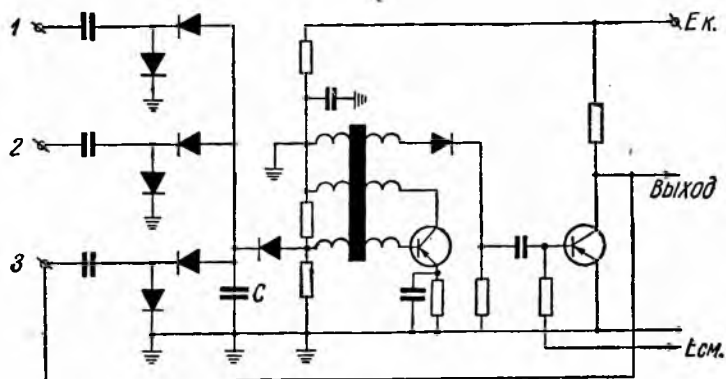


Рис. 2.

В качестве признака состояния в фазо-импульсных элементах используется фаза последовательности импульсов на выходе элемента по отношению к последовательности импульсов на выходе опорной ячейки. В основе работы этих элементов лежит явление регенеративного деления частоты последовательности импульсов. Принципиальная схема фазо-импульсного многоустойчивого элемента приведена на рис. 2. Из-за отсутствия интегрирующего звена, характерного для других типов многоустойчивых элементов, фазо-импульсный многоустойчивый элемент является наиболее быстродействующим.

Рассмотрим реализацию функционально полной системы десятизначной логики на фазо-импульсных элементах (ФИЭ).

Структурная схема устройства, реализующего функцию логического отрицания $\bar{x} = 9 - x$, приведена на рис. 3. Функция логического отрицания реализована на двух ФИЭ, динамическом триггере и импульсно-потенциальной схеме И. Элемент десятизначного отрицания работает следующим образом. Тактовые импульсы опорной последовательности $ТИ_1$ подаются на входы 1 обоих ФИЭ, имеющих коэффициент деления $n = 10$. Тактовые импульсы последовательности $ТИ_2$, задержанные на незначительное время по отношению к $ТИ_1$, подаются на тактовый вход динамического триггера (рис. 4, а; 4, б).

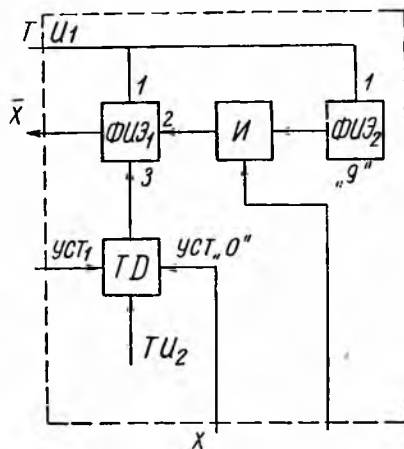


Рис. 3.

В ФИЭ-2 записано число $K-1$ для десятизначной логики, равное 9. Этот ФИЭ предназначен для хранения константы 9. Перед каждым новым циклом получения дополнения до девяти числа x , поступившего на

вход схемы, необходимо в *ФИЭ-1* записать число 9. Это осуществляется подачей разрешающего потенциала на схему И. Тем самым импульс с выхода *ФИЭ-2* запускает блокинг-генератор *ФИЭ-1*; происходит разряд накопительной емкости *С*. Следующий сброс произойдет автоматически через n -импульсов.

В *ФИЭ-1* к моменту получения отрицания x записано число 9 (рис. 4, в; 4, г). Число x подается на нулевой вход динамического триггера.

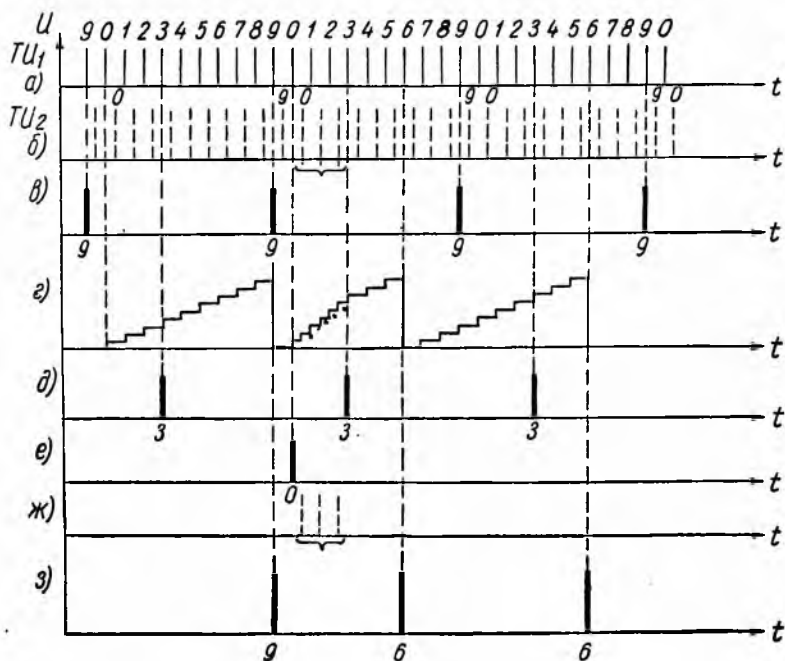


Рис. 4.

Для получения дополнения надо на единичный вход динамического триггера подать импульс с фазой, соответствующей числу 0. С приходом этого импульса на выход триггера проходят импульсы с частотой, равной тактовой. Количество импульсов на выходе триггера будет равно числу x , поданному на вход, так как в момент прихода импульса, соответствующего x на входе, триггер устанавливается в нуль (рис. 4, ж; 4, д).

Если напряжение на накопительной емкости *ФИЭ-1* получит дополнительно x приращений, то импульс с выхода *ФИЭ-1* появится не через n импульсов, а через $n - x$ импульсов. На временной диаграмме показан случай, когда $x = 3$ (рис. 4, д). В данном случае импульс на выходе *ФИЭ-1* появится во время, соответствующее цифре 6, и в дальнейшем фаза выходного импульса останется неизменной, так как коэффициент деления *ФИЭ* остается постоянным при изменении частоты следования тактовых импульсов в несколько десятков раз.

Характеристическая функция в десятизначной логике может быть реализована при помощи импульсной схемы совпадения И на два входа (рис. 5, а). На вход 2 схемы подается константа «9», которую можно

чем появится импульс с выхода динамического триггера, так как тактовые импульсы $ТИ_2$ запаздывают по отношению к тактовым импульсам $ТИ_1$.

Надежность рассмотренных фазо-импульсных многоустойчивых элементов превышает надежность других типов многоустойчивых элементов. Коэффициент деления n фазо-импульсного многоустойчивого элемента по данным литературы [1] не изменяется при изменении частоты тактовых импульсов в 40 раз. Устойчивость работы $ФИЭ$ не нарушается также при изменении напряжения питания в $1,5 \div 2$ раза, а также при изменении температуры в большом диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Сигорский, Л. С. Ситников, Л. П. Утяков. Многоустойчивые элементы дискретной техники. Изд-во «Энергия», 1966.
 2. Д. А. Поспелов. Логические методы анализа и синтеза схем. Изд-во «Энергия», 1964.
 3. Ю. А. Василенко. Об одной полной системе функций в k -значной логике. Труды симпозиума по многозначным элементам и структурам. Изд-во «Радио», Киев 1966.
 4. И. Б. Сироджа, Ю. А. Василенко. Об одном способе физической реализации R — операций. Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 3. Изд-во ХГУ Харьков. 1966.
-