

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 681.325.3

Н. П. ВАШКЕВИЧ, Л. Н. ПАНКОВ, В. Г. ПУЧКОВ

(Пенза)

СИНТЕЗ УРАВНОВЕШИВАЮЩЕГО АВТОМАТА  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЕ — КОД  
ПОРАЗРЯДНОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ

Применение методов теории конечных автоматов для анализа существующих структур преобразователей напряжение — код (ПНК) позволило установить большую избыточность классических вариантов этих структур. Так, замечено, что в ПНК поразрядного уравнивания, цифровая часть которого состоит из сдвигающего регистра и регистра линейного декодирующего преобразователя (ЛДП), из  $2^{2^n}$  возможных состояний цифровой части используется  $2^{n+1}$  состояний ( $n$  — разрядность преобразователя).

В [1—3] избыточность цифровой части исключается путем совмещений функций сдвигающего регистра и регистра ЛДП в одной схеме. Однако предложенные в [1, 2] структуры выполнены на импульсно-потенциальных и специальных элементах, использование которых в ПНК ограничено и микроминиатюризация которых сопряжена со значительными трудностями.

Структура развертывающего регистра [3] обладает тем недостатком, что для образования тактов работы преобразователя используется такое трудноконтролируемое явление, как задержка сигнала на время рассазывания неосновных носителей на выходе одного плеча триггера.

В настоящей работе проведен синтез уравнивающего автомата ПНК поразрядного уравнивания и предложены структуры этого автомата. Так как синтез цифровой части в целом затруднен из-за большого числа состояний и переменных, обычно преобразователь разбивают на функциональные блоки, синтез которых проводят отдельно. Так, в [4] предложено разбивать цифровую часть преобразователя на уравнивающий и кодирующий автоматы. Для преобразователя поразрядного уравнивания такое разбиение нецелесообразно ввиду простоты цифровой части, и имеет смысл рассматривать ее как совмещающую функцию уравнивания неизвестного напряжения и кодирования полученного цифрового эквивалента. С целью упрощения синтеза авторы рассматривают итеративную структуру цифровой части, независимую от разрядности ПНК. В некоторых случаях в целях большей определенности рассуждения проводятся для четырехразрядного ПНК.

В качестве исходного задания для синтеза цифровой части ПНК используем диаграмму изменения эталонных уровней на выходе ЛДП по тактам уравнивания. Если на этой диаграмме каждому эталонному уровню соотнести вершину графа, вершины отметить выходными сигналами, которые уравнивающий автомат выдает на каждом шаге уравнивания для образования текущего эталонного напряжения, и указать, под действием каких сигналов схемы сравнения  $x$  происходит изменение эталонных уровней, то диаграмма изменения уровней ЛДП будет одновременно являться и диаграммой переходов уравнивающего автомата. Время одного шага уравнивания определяется периодом следования сигналов синхронизации. Совмещение в одном устройстве уравнивающего и кодирующего автоматов резко ограничивает возможные способы кодирования внутренних состояний автомата. Например, в четырехразрядном ПНК состояния автомата кодируются так, чтобы код состояния в первых четырех разрядах совпадал с кодом выходного сигнала автомата. Так как некоторые состояния ЛДП достигаются при уравнивании дважды — в процессе уравнивания и в конце уравнивания, для отметки конца уравнивания используем дополнительный пятый разряд. Этот разряд кодируется нулем в промежуточных состояниях и единицей в каждом финальном состоянии.

В соответствии с алгоритмом измерения по методу поразрядного уравнивания значение каждого разряда в коде на выходе уравнивающего автомата устанавливается в разные моменты времени. Для первого (старшего) разряда переход в состоя-

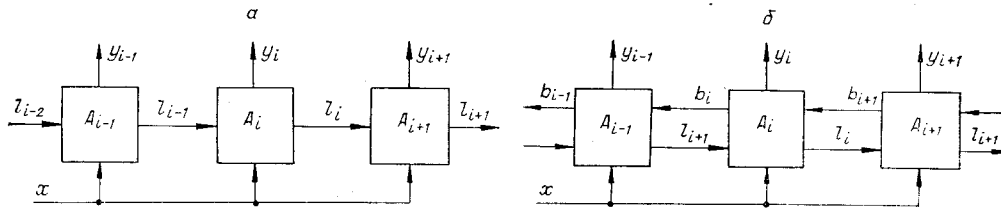


Рис. 1.

ние, отмеченное выходным сигналом  $y_1=1$ , осуществляется в первом такте уравновешивания. Для каждого  $i$ -го разряда переход в состояние, отмеченное выходным сигналом  $y_i=1$ , осуществляется на такт позже, чем для  $(i-1)$ -го разряда, т. е. через  $i-1$  такт после начала работы.

Если разряды уравновешивающего автомата рассматривать работающими независимо друг от друга, то это ведет к усложнению схемы.

Значительно более экономичные структуры уравновешивающего автомата могут быть получены, если рассматривать его отдельные разряды не как изолированные, а как связанные друг с другом. Для получения этих структур в каждом разряде необходимо ввести дополнительные входные и выходные сигналы и соответствующие линии связи с соседними разрядами, по которым осуществляется обмен этими сигналами. Можно предложить два вида таких связей (рис. 1).

В итеративную структуру рис. 1, а введены один дополнительный входной сигнал и один выходной сигнал для каждого разряда с номером  $i$ , обозначенные соответственно  $l_{i-1}$  и  $l_i$ .

Граф переходов соответствующего автомата Мура в этом случае будет иметь вид, показанный на рис. 2, а, б. На этом рисунке первая цифра кодированного входного сигнала соответствует  $x$ , вторая —  $l_{i-1}$ , через  $\lambda$  обозначен пустой выходной сигнал, означающий отсутствие сигналов  $y_i$  и  $l_i$ . Состояния, отмеченные выходными сигналами  $y_i=1$ , обведены двойным кругом. Состояние  $a_0$  — начальное состояние  $i$ -й ячейки. В состоянии  $a_1$  определяется  $i$ -я цифра кода. После определения значения  $i$ -го разряда автомат попадает в одно из финальных состояний  $a_2$  или  $a_3$  и остается в них до конца уравновешивания. Эта структура соответствует широко распространенной структуре, состоящей из сдвигающего регистра и регистра ЛДП. Причем в диаграмме рис. 2, а по регистру распространяется «волна» единиц, а в диаграмме рис. 2, б по регистру распространяется одна единица.

В диаграмме рис. 2, а сигнал  $l_{i-1}$ , один раз поступив на вход элементарной ячейки (ЭЯ), больше не исчезает, поэтому переходы из состояний  $a_1, a_2, a_3$  под действием сигналов 00 и 10 можно определить произвольно. В диаграмме рис. 2, б сигнал  $l_{i-1}$  поступает только один раз на вход, поэтому переходы под действием сигналов 01 и 11 из состояний  $a_1$  и  $a_2$  тоже могут быть определены произвольно. По этой же причине, перейдя из состояния  $a_1$  в состояние  $a_2$ , автомат больше не выйдет из него в данном цикле уравновешивания. Наконец, следует отметить, что поскольку в каждой элементарной ячейке итеративной структуры рис. 1, а есть свои финальные состояния, то необходимость в последней (пятой в случае четырехразрядного ПНК) ячейке отпадает. Недостатком такой структуры является большое количество состояний в одной элементарной ячейке. Для построения ее всегда требуется два элемента памяти на разряд.

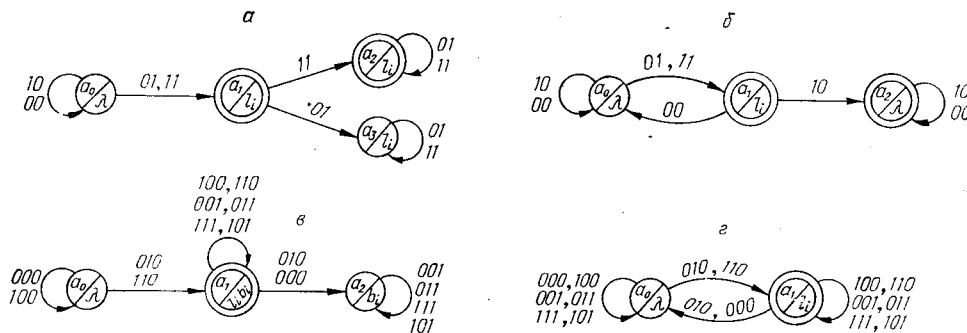


Рис. 2.

В итеративную структуру рис. 1, б введены два дополнительных входных и два выходных сигнала в каждой элементарной ячейке. Сигналы прямой связи  $i$ -го разряда обозначены через  $l_i$ , а сигналы обратной связи —  $b_i$ . Граф переходов соответствующего автомата Мура будет иметь вид, показанный на рис. 2, в. На этом рисунке первая цифра кодированного входного сигнала соответствует  $x$ , вторая —  $l_{i-1}$ , третья —  $b_{i+1}$ . По условиям работы автомата сигнал обратной связи  $b_{i+1}$  не может поступить, если все последующие ячейки находятся в состоянии  $a_0$ . Но, с другой стороны, ячейка не включается в работу, пока не поступит сигнал  $l_{i-1}$ . Следовательно, если автомат находится в состоянии  $a_0$ , то на его вход не могут поступать сигналы  $b_{i+1} = 1$  (001, 011, 111, 101). Если же ячейка закончила работу и находится в состоянии  $a_2$  или  $a_1$ , то следующая ячейка уже включилась и с ее выхода будет всегда идти сигнал  $b_{i+1} = 1$ . Поэтому переходы из  $a_2$  под действием сигналов 000, 010, 110, 100 ( $b_{i+1} = 0$ ) могут быть определены произвольно. Исходя из этого, состояния  $a_0$  и  $a_2$  можно было бы объединить, если бы они были отмечены одинаковыми выходными сигналами. Состояние  $a_2$  можно отметить пустым выходным сигналом, если сделать отдельную линию для передачи сигнала обратной связи  $b$  от одного разряда к другому. Это возможно, если считать, что  $b_i = \bar{b}_{i+1} \vee y_i$ . Диаграмма переходов для такого случая изображена на рис. 2, г.

Для предотвращения изменения кода после уравнивания необходимо добавить дополнительный разряд, сигнал с выхода которого по шине обратной связи блокирует все элементарные ячейки после определения значения самого младшего разряда. Диаграмма переходов элементарной ячейки, соответствующей этому разряду, получается из диаграммы рис. 2, в, г подстановкой  $x = 1, b_{i+1} = 0$ . Отметим также, что на диаграмме рис. 2, в состояние  $a_2$  может быть отмечено сигналом  $lib_i$ .

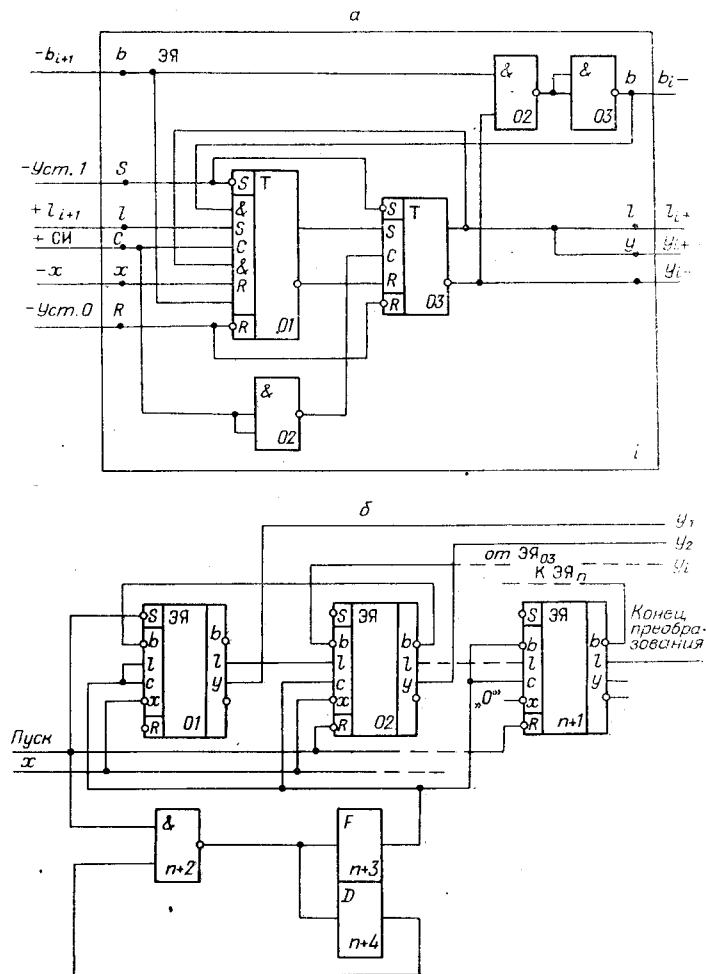


Рис. 3.

Очевидно, что более выгодно строить уравнивающий автомат в виде итеративной структуры рис. 1, б, элементарные ячейки которой функционируют согласно диаграмме переходов рис. 2, г. В этом случае при сохранении итеративности структуры используется минимально возможное количество элементов памяти, равное  $n+1$ , где  $n$  — разрядность преобразователя.

Опуская классическую процедуру структурного синтеза схемы элементарной ячейки [5], приведем окончательные результаты. Функции возбуждения для синхронных триггеров различных типов имеют вид:

1) RS-триггер

$$R_i = \bar{x}\bar{b}_{i+1}Q_i; \quad S_i = l_{i-1}\bar{b}_i;$$

2) JK-триггер

$$K_i = \bar{x}\bar{b}_{i+1}; \quad I_i = l_{i-1}\bar{b}_{i+1};$$

3) DF-триггер

$$D_i = \bar{Q}_i\bar{x}; \quad F_i = \bar{b}_{i+1}l_{i-1} \vee \bar{b}_{i+1}Q_i;$$

4) D-триггер

$$D_i = b_{i+1}Q_i \vee xQ_i \vee l_{i-1}\bar{b}_{i+1}\bar{Q}_i;$$

5) T-триггер

$$T_i = \bar{b}_i l_{i-1} \vee \bar{x}\bar{b}_{i+1}Q_i.$$

Эти уравнения получаются, если закодировать состояние  $a_0$  нулем, а состояние  $a_1$  — единицей. Тогда независимо от типа триггера  $l_i = Q_i$ ,  $y_i = Q_i$ ,  $b_i = Q_i \vee b_{i+1}$ , где  $Q_i$  — выход триггера. Из уравнений видно, что наиболее простые функции возбуждения получились для триггеров RS, JK, T. Схема элементарной ячейки на основе RS-триггера приведена на рис. 3, а. В схему добавлены сигналы установки в исходное состояние. Для простоты при синтезе эти сигналы не учитывались. Выражения для JK-триггера описывают схему, аналогичную приведенной в [6].

Один из возможных вариантов построения уравнивающего автомата четырехразрядного ПНК на основе этих элементарных ячеек приведен на рис. 3, б. Длительность импульса «Пуск» должна быть не меньше половины периода сигналов с генератора импульсов (элементы  $n+2$ ,  $n+4$ ). Преобразование начинается по перепаду сигнала «Пуск» с нуля на единицу. Результат преобразования может быть использован с момента появления сигнала «Конец преобразования».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Н. Соколов. Регистр цифрового автоматического прибора с поразрядным взвешиванием. Авторское свидетельство № 277019.— ОИПОТЗ, 1970, № 17.
2. К. А. Нетребенко. Развертывающие регистры для поразрядных цифровых автокомпенсаторов.— Приборы и системы управления, 1971, № 5.
3. В. Б. Реутов. Развертывающий регистр для аналого-цифрового преобразователя поразрядного уравнивания. Авторское свидетельство № 271132.— ОИПОТЗ, 1970, № 24.
4. Г. И. Краснов, Н. П. Вашкевич. Методика построения алгоритмов функционирования кодирующих преобразователей высокого быстродействия.— В сб. «Вычислительная техника», вып. 3. Пенза, ППИ, 1969.
5. В. М. Глушков. Синтез цифровых автоматов. М., Физматгиз, 1962.
6. R. J. Mapp. Flip-flop Sequences Conversion Register.— Electronics, 1971, v. 44, № 24.

Поступило в редакцию 12 июля 1972 г.,  
окончательный вариант — 28 мая 1973 г.