

УДК 004.312.02

Е.Н. Коробкова

Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова, Россия

СИНТЕЗ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ОДИНОЧНЫХ ДВУХ ИМПУЛЬСНЫХ СЕРИЙ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМИ ВРЕМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Предлагается метод синтеза формирователей серий импульсов с перестраиваемыми параметрами, основанный на представлении проектируемого автомата в виде функционально-блочной композиции нескольких взаимосвязанных отдельных блоков, каждый из которых определяет один из временных параметров формируемой импульсной последовательности.

Ключевые слова: цифровые автоматы, декомпозиция, логические функции, синтез, минимизация.

Введение

Постановка проблемы. В связи с бурным развитием программируемых интегральных схем и внедрением их в практику проектирования цифровых устройств [1] вновь возрос интерес к логическому синтезу, причём, не только на уровне автоматизированного проектирования, но и на более низком - «ручного синтеза». Работа посвящена синтезу формирователей серий импульсов с перестраиваемыми (программируемыми) параметрами, используемых при построении различных генераторов дискретных интервалов времени, устройств кодирования и декодирования, программируемых интервальных таймеров, устройств управления шаговыми двигателями, устройств управления микропрограммными автоматами с перестраиваемой длительностью микрокоманд, генераторов циклограмм и т.д.

Анализ исследований и публикации, посвящённых проблеме проектирования блоков и узлов, многие из которых вошли в библиотеку типовых, посвящено большое число работ, простое перечисление которых представляет собой далеко не тривиальную задачу [2].

Известные методы проектирования позволяют по заданному алгоритму построить любой конечный автомат. Построение конечного автомата с жёсткой логикой, не вызывает никаких проблем для случая фиксированных параметров выходных сигналов. При проектировании автомата с перестраиваемыми параметрами, появляются проблемы, связанные даже не с синтезом схемы автомата как такового, а с нахождением оптимального варианта схемы с минимальным числом межэлементных связей и минимальной сложностью представления функций, определяющих настройку автомата на заданные параметры.

В работах [3, 4] предложен метод синтеза цифровых автоматов, основанный на представлении логических функций в обобщённой форме, позволивший упростить процедуру синтеза автоматов с перестраиваемыми временными параметрами.

Цель статьи – продолжить исследования, направленные на совершенствование нетрадиционных методов синтеза цифровых автоматов и их применение к проектированию конкретных цифровых автоматов, в частности формирователей одиночных двух импульсных серий с перестраиваемыми временными параметрами.

Метод решения

В [5] предложен метод, основанный на представлении проектируемого автомата в виде функционально-блочной композиции нескольких взаимосвязанных отдельных блоков, каждый из которых, не зависимо от числа разрядов позволяет трактовать входящие в композицию блоки как простейшие элементы памяти, имеющие два состояния: состояние нуля (если значение во всех разрядах блока равно нулю) и состояние единицы (если хотя бы в одном разряде блока значение равно единице), а проектируемый автомат в целом – как устройство, состоящее из двух (или более) таких элементов. Число блоков равно числу временных параметров формируемой выходной последовательности. Каждый блок представляет собой конечный цифровой циклический автомат.

В качестве типовых блоков могут быть использованы: любые двоичные, двоично-десятичные суммирующие, вычитающие или реверсивные счётчики, пересчётные схемы с любым коэффициентом пересчёта и с любым кодированием состояний; циклические автоматы, выполненные на сдвигающих регистрах (счётчики с унитарным кодированием, счётчики Джонсона, линейные счётчики), типовые триггеры.

При воздействии тактового импульса один или несколько блоков могут оставаться в прежнем состоянии (режим хранения), могут перейти в следующее состояние в соответствии с алгоритмом функционирования данного блока (режим последовательного перехода), могут изменить направление последовательного перехода (реверс), могут перейти в любое состояние из его множества, задаваемое внешним управляющим словом (режим параллель-

ной загрузки), могут перейти в начальное (нулевое) состояние (режим установки нуля). Для обеспечения возможности этих переходов каждый из блоков должен иметь соответствующие входы, формирование активного сигнала (равного 0 или 1 в зависимости от выбранной схемы) на одном из которых обеспечивает выбранный режим.

Проектирование заданного конечного автомата, как и в случае классических методов, начинается с его словесного описания с последующим составлением таблицы переходов. При классических методах проектирования полное число переменных определяется суммой всех разрядов автомата в целом и числа настроечных переменных, следовательно, число наборов таблицы (с учётом неиспользуемых) равно 2^{k+v} , где k – число элементов памяти (триггеров, разрядов) проектируемого автомата в целом, v – число настроечных переменных. В предлагаемом методе полное число наборов таблицы (равное 2^n , n – число блоков) зависит только лишь от числа используемых блоков и от числа групп настроечных переменных независимо от числа разрядов используемых блоков и от числа разрядов в группах настроечных переменных, что существенно уменьшает общее число наборов таблицы переходов, по сравнению с классическим её представлением.

Граф переходов автомата представляют в виде замкнутых колец, равных числу входящих в композицию блоков, с общей вершиной, соответствующей начальному (нулевому) состоянию каждого блока. При таком представлении каждое последующее состояние S^{t+1} отдельного блока в $(t+1)$ -м такте зависит не от конкретного его состояния S^t в рассматриваемом такте, а от состояния всех блоков. Состояние блока характеризуется значением сигнала F_i на его выходе (в частности, на выходе переноса в случае использования вычитающего счётчика), а состояние автомата в целом в $(t+1)$ -м такте определяется значениями сигналов на выходах всех блоков в t -м такте.

После выбора необходимого числа и типа блоков, определяемых в соответствии с описательным алгоритмом (приведенными эпюрами, графом), составляется таблица переходов и совмещённая с ней таблицы режимов и функций возбуждения (значений управляющих сигналов, обеспечивающих переход из рассматриваемого состояния в следующее) в соответствии с приведенным графом. Таблица переходов содержит $2n$ столбцов (n – число блоков). В первых n столбцах перечислены все комбинации значений сигналов (переменных) на выходах блоков (даже если некоторые комбинации в процессе функционирования автомата не используются) в t -м такте и n столбцов, в которых приведены значений сигналов (переменных) на выходах блоков в $(t+1)$ -м такте.

Таблица режимов настройки содержит n столбцов, в каждой строке которых комментируется режим настройки блока на данную комбинацию значений сигналов в t -м такте. В соответствии табли-

цей режимов настройки заполняется таблица функций возбуждения (управления), которая содержит число столбцов, равное числу требуемых управляющих сигналов формируемых на входах из множества $L, D_0 - D_{n-1}, P, R, U$: L – вход разрешения параллельной загрузки; $(D_0 - D_{n-1})$ – входы подачи загружаемых данных; P – вход разрешения режима счёта (последовательного перехода); R – вход установки в нулевое состояние; U – вход управления направлением перехода (реверса). Число и тип управляющих входов в каждом из блоков зависит от конкретного алгоритма функционирования автомата в целом и способа разбиения его на блоки.

Таблица заполняется в соответствии с приведенным графом и комментарием реакции блоков (режимов настройки) на каждую из комбинаций, при этом следует иметь в виду, что если управляющим входам присвоен приоритет, поэтому и в некоторой строке таблицы для какого-то блока проставлено активное значение управляющего сигнала (функции возбуждения) на входе с более высоким приоритетом, то для сигналов на остальных входах этого блока, имеющих меньший приоритет, можно проставлять значение 0 или 1 (знак избыточности). Полученная таким образом таблица позволяет найти необходимые функции возбуждения (управления), определяющие сигналы, подаваемые на управляющие входы каждого блока. При нахождении функций возбуждения неиспользуемые и избыточные комбинации доопределяются значением 0 или 1, исходя из требования минимизации структуры автомата или устранения риска. Выходной сигнал чаще всего снимается с выхода одного из блоков, или является некоторой функцией сигналов с выходов нескольких блоков. Значение выходного сигнала равно нулю, если во всех разрядах блока значения равны нулю, в противном случае значение выходного сигнала равно единице.

Проектируемое устройство предназначено для формирования одиночных серий, содержащих два импульса, первый из которых фиксированной длительности, равной периоду тактирующих импульсов, подаваемых на вход формирователя с выхода внешнего генератора тактовых импульсов (T). Длительность второго импульса (перестраиваемая), кратная периоду тактирующих импульсов, определяется значением двоичного слова $V = b_{n-1}b_{n-2} \dots b_1b_0$, подаваемого на входы настройки. Длительность паузы (также перестраиваемая) определяется значением двоичного слова $N = n_{r-1}n_{r-2} \dots n_1n_0$, подаваемого на вторую группу входов настройки. Временные диаграммы (эпюры), иллюстрирующие алгоритм функционирования проектируемого формирователя, для варианта настройки, обеспечивающего длительность, второго импульса равную $5T$ и длительность паузы, равную $10T$, приведены на рис. 1.

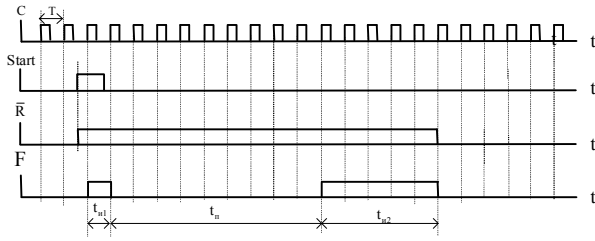


Рис. 1. Эпюры (формирователь)

Анализируя приведенные эпюры, можно заключить, что проектируемый автомат характеризуется тремя параметрами: начало и окончание процесса формирования, определяемые поступлением импульса запуска и окончанием процесса; длительность паузы между импульсами, определяемая значением двоичного слова $N = n_{r-1}n_{r-2} \dots n_1n_0$; длительность второго импульса, определяемая значением двоичного слова $V = b_{n-1}b_{n-2} \dots b_1b_0$.

Функции обнаружения включения источника питания и переход в начальное (нулевое) состояние, запуск и возврат в исходное состояние возлагаются на старт-стопное устройство, один из вариантов которого приведен [6]. Функции, определяющие перестраиваемые параметры, можно возложить на два блока: блок, определяющий длительность импульсов и блок, определяющий длительность паузы между импульсами.

Оптимальным вариантом блоков, определяющих длительность импульсов и паузы будут типовые реверсивные двоичные счётчики со входом разрешения синхронной параллельной загрузки L , входами подачи загружаемых данных $D_0 - D_{n-1}$, входом разрешения счёта и входом асинхронной установки нуля. Число разрядов счётчиков определяет диапазон перестройки соответствующей длительности.

После выбора числа и типа блоков для детального восприятия алгоритма функционирования автомата и составления таблицы переходов с последующим нахождением функций возбуждения рекомендуется представить более подробно временные диаграммы и граф переходов, иллюстрирующие алгоритм функционирования. На рис. 2 приведены временные диаграммы, а на рис. 3 – граф переходов для варианта настройки, обеспечивающей формирование импульсов длительностью, равной T и $5T$ и паузой, равной $10T$.

Из приведенных эпюр видно, что наиболее оптимальным вариантом реализации выходного сигнала будет представление его в форме функции XOR:

$$F = \bar{P}_4^2 \oplus \bar{P}_4^1.$$

Обобщённый граф переходов, приведенный на рис. 3, состоит из двух колец с общей вершиной, соответствующей начальному (нулевому) состоянию блоков (счётчиков), определяющих перестраиваемые параметры: нижнее кольцо – граф переходов первого счётчика; верхнее кольцо – граф переходов второго счётчика.

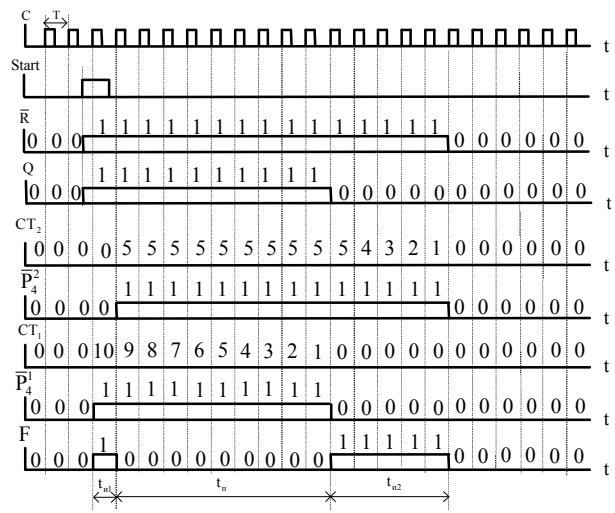


Рис. 2. Временные диаграммы

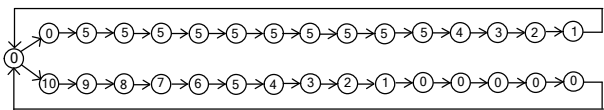


Рис.3. Граф переходов

Полагаем, что после включения источника питания в течение некоторого промежутка времени, определяемого быстродействием элементной базы, произошла установка блоков в начальное (нулевое) состояние. Сигналы на выходах счётчиков $\bar{P}_4^1 = \bar{P}_4^2 = 0$. Значение этих сигналов, (т.е. нулевой набор переменных $\bar{P}_4^2\bar{P}_4^1 = 00$) обеспечивает настройку первого и второго счётчиков на режим синхронной параллельной загрузки, а второго на режим хранения. Это состояние должно оставаться неизменным, до тех пор, пока не поступит стартовый импульс. Эта функция возлагается на третий блок (старт-стопное устройство), формирующий активный сигнал $\bar{R} = 0$ на входах асинхронной установки 0 счётчиков, блокируя нулевое состояние счётчиков.

Поступление стартового импульса на вход старт-стопного устройства снимает блокировку (формирует сигнал $\bar{R} = 1$) и тогда в момент прихода первого (после снятия блокировки) тактового импульса C первый счётчик переходит в состояние, определяемое значением $N = n_{r-1}n_{r-2} \dots n_1n_0$ (в нашем примере $N=10$), нулевое состояние второго счётчика остаётся неизменным. В результате этого перехода режим счёта (вычитания) первого счётчика остаётся неизменным, второй счётчик настраивается на режим загрузки. С поступлением следующего тактового импульса снова происходит уменьшение содержимого первого счётчика на единицу, Второй счётчик переходит в состояние, определяемое значением $V = b_{n-1}b_{n-2} \dots b_1b_0$ (в нашем примере $V = 5$). В результате этого перехода режим счёта (вычитания) первого счётчика остаётся неизменным,

второй счётчик настраивается на режим хранения. С поступлением каждого следующего тактового импульса происходит уменьшение содержимого первого счётчика на единицу, содержимое второго счётчика остаётся неизменным до тех пор, пока содержимое первого счётчика не станет равным 0. В результате происходит переход триггера стартстопного устройства в нулевое состояние и настройка первого счётчика на режим хранения, а второго счётчика на режим вычитания, и тогда с поступлением каждого следующего тактового импульса происходит уменьшение содержимого второго счётчика на единицу, нулевое содержимое первого счётчика остаётся неизменным до тех пор, пока содержимое второго счётчика не станет равным 0, в результате чего происходит формирование активного сигнала (равного 0) на выходе старт-стопного устройстве, подсоединённого ко входам асинхронной установки счётчиков в нулевое состояние, что ведёт к самоблокировке их нулевого состояния, т.е. формирователь возвращается в исходное состояние, которое было до прихода стартового импульса. С приходом следующего стартового импульса процессы повторяются. Результаты этих рассуждений представляем в виде таблицы переходов (первые четыре столбца, совмещённой с ней таблицы режимов (следующие два столбца) и таблицы функций возбуждения (последние четыре столбца), табл. 1.

При изображении таблицы режимы и соответствующие им значения функций возбуждения (управления) для безразличных комбинаций наборов отмечаем знаком #.

Таблица 1

Таблица переходов и режимов

| \bar{P}_4^2 | \bar{P}_4^1 | \bar{P}_4^2 | \bar{P}_4^1 | СТ ₂ | СТ ₁ | \bar{L}_2 | \bar{P}_2 | \bar{L}_1 | \bar{P}_1 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 0 | 0 | 1 | Хр | Заг | 1 | 1 | 0 | # |
| 0 | 1 | 1 | 1 | Заг | — | 0 | # | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | — | Хр | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | Хр | — | 1 | 1 | 1 | 0 |

При заполнении таблицы приняты сокращения: «Заг» – режим загрузки; «Хр» – хранение; «—» – режим вычитания; «#» – значение безразлично.

Для нахождения минимальной формы функций возбуждения (управления режимами) представляем их в картах Карно с соседним кодированием.

Карты функций разрешения загрузки второго счётчика (\bar{L}_2) и счёта (\bar{P}_2) приведены на рис. 4, а и 4, б соответственно.

Выделяя булевы прямоугольники, записываем минимальную ДНФ функции разрешения загрузки $\bar{L}_2 = \bar{P}_4^2 \vee P_4^1$ и функции разрешения счёта второго счётчика $\bar{P}_2 = \bar{P}_4^2 \oplus \bar{P}_4^1$.

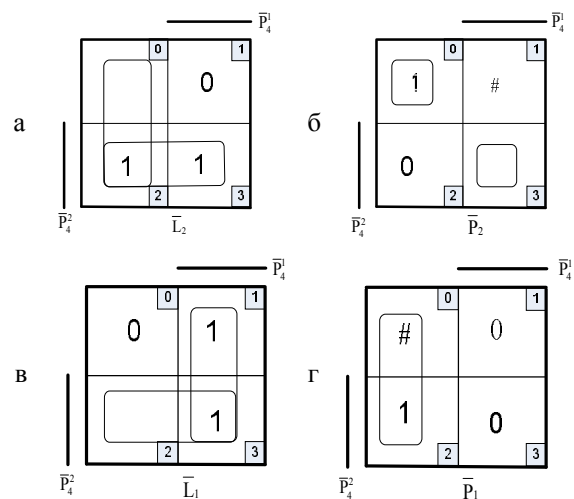


Рис. 4. Карты Карно

Карты функций разрешения загрузки первого счётчика (\bar{L}_1) и счёта (\bar{P}_1) приведены на рис. 4, в, г.

Выделяя булевы прямоугольники записываем минимальную ДНФ функции разрешения загрузки $\bar{L}_1 = \bar{P}_4^2 \vee \bar{P}_4^1$ и функции разрешения счёта первого $\bar{P}_1 = P_4^1$. Как уже было отмечено, схема, построенная в соответствии с полученными выражениями, требует наличия цепи обнаружения включения источника питания, обеспечивающей переход в начальное (нулевое) состояние, наличия входа запуска и обеспечение возврата в начальное состояние по окончании формирования заданной серии. Все эти функции выполняет старт-стопное устройство, предложенное в [6].

Старт/стопное устройство содержит последовательную цепочку из резистора и конденсатора, подсоединённую к источнику питания, синхронный D – триггер со входом асинхронной установки в нулевое состояние, два двухвходовых элемента И, двухвходовый элемент ИЛИ, при этом общая точка последовательно соединённых резистора и конденсатора соединена с информационным входом D-триггера и с одним входом первого и второго двухвходовых элементов И; второй вход первого элемента И образует вход подачи импульсов остановки процесса формирования выходных импульсов; выход первого элемента И соединён со входом асинхронной установки D-триггера в нулевое состояние; второй вход второго элемента И соединён с выходом двухвходового элемента ИЛИ, один из входов которого соединён с выходом переполнения второго счётчика, соединён с выходом D-триггера; выход второго элемента И соединён со входами асинхронной установки счётчиков в нулевое состояние, тактирующий вход D-триггера образует вход подачи импульсов запуска.

Схема формирователя, построенная в соответствии с приведенным в [6,7] описанием старт-стопного устройства и полученными выше представлениями функций управления $\bar{L}_1, \bar{P}_1, \bar{L}_2, \bar{P}_2, U$, приведена на рис. 5.

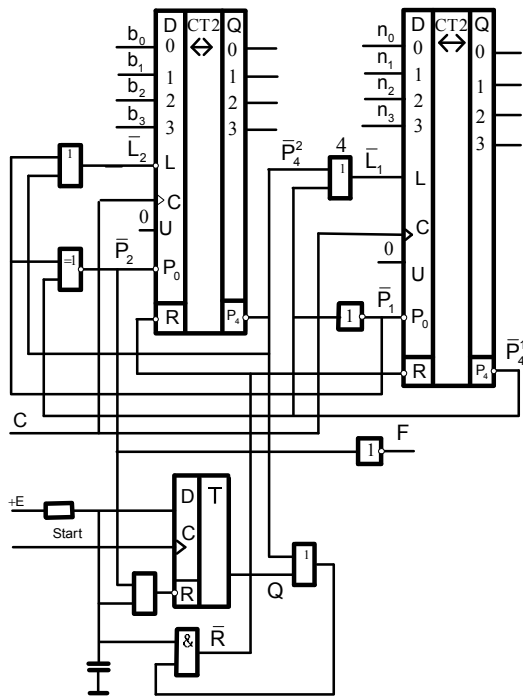


Рис. 5. Схема формувача

Заключення

Схема формувача одиночної двох імпульсної серії з перестраиваємих часовими параметрами получена в результаті проведеного синтезу, ґрунтованого на представленні проектуємого автомата в вигляді функціонально-блокової композиції трьох основних взаємозв'язаних блоків, початковий стан яких приймається як стан логічного 0, а будь-яке інше стан кожного з входять в композицію блоків приймається як стан логічної одиниці, трактує входять в композицію блоки як простейші елементи пам'яті, мають два стани: стан нуля і стан одиниці, а проектуємый формувач в цілому – як пристрій, що складається з трьох елементів, що забезпечило тим самим незалежність числа наборів від числа разрядів використовуваних блоків, т.е. від діапазону перестройки параметрів формуємої серії. Це дозволило, в отли-

чє від відомих підходів, скоротити загальне число наборів таблиці станів, що суттєво упростило процедуру синтезу порівняно з відомими класическими методами.

Полученная при этом схема, выполненная на типовых элементах, по сложности выгодно отличается от известных, кроме того, представленная статья преследует ещё одну цель – на примере проектирования рассмотренного конкретного формирователя проиллюстрировать возможности и достоинства предложенного аппарата синтеза и дать навыки синтеза других схем цифровых автоматов.

Список литературы

1. Уэйкерли Дж. Ф. Проектирование цифровых устройств / Дж. Уэйкерли. – М.: Постмаркет, 2002. – 544 с.
2. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем / В.В. Соловьев. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 636 с.
3. Обобщенные логические функции и системы на программируемой логике. Монография / Н.Г. Коробков, Е.Н. Коробкова, В.Г. Рубанов, В.С. Харченко; под общ. ред. Харченко В.С. – К.: МОН України, Х.: Национальний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», 2008. – 351 с.
4. Рубанов В.Г. Логическое проектирование цифровых устройств, основанное на представлении функций в обобщенной форме. Монография / В.Г. Рубанов, Е.Н. Коробкова. – Белгород: БГТУ, 2009.
5. Rubanov V.G. Application of Decomposition Method to Cyclic Finite State Machine Synthesis with Reconfigurable Time Parameters of Output Signals / V.G. Rubanov, E.N. Korobkova, E.P. Dobrinskiy // World Applied Sciences Journal. – 2013. – 25 (1). – P: 69-77.
6. Коробкова Е.Н. Формирователь тактовых импульсов. Патент Украины на полезную модель №53542 / Н.Г. Коробков, Е.Н. Коробкова, В.С. Харченко – Бюл. № 19, 2010.
7. Коробкова Е.Н. Формирователь пачки импульсов с перестраиваемой длительностью, скважностью, равною целому числу, и числом импульсов в пачке. Патент Украины на изобретение №104920. Бюл. №6. 2014. Авторы: Н.Г. Коробков, Е.Н. Коробкова, В.Г. Рубанов, В.С. Харченко.

Поступила в редколлегию 28.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Е. Федорович, Национальный аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харьков.

СИНТЕЗ ФОРМУВАЧУ ОДИНОЧНОМУ ДВОХ ІМПУЛЬСНИХ СЕРІЙ З ПЕРЕБУДОВУЄТЬСЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ

О.М. Коробкова

Пропонується метод синтезу формувачу серії імпульсів з перебудовується параметрами, заснований на представленні проектуємого автомата у вигляді функціонально-блокової композиції декількох взаємопов'язаних окремих блоків, кожен з яких визначає один з часових параметрів формуємої імпульсної послідовності.

Ключові слова: цифрові автомати, декомпозиція, логічні функції, синтез, мінімізація.

SYNTHESIS OF TWO PULSE SHAPER SINGLE SERIES TUNABLE TEMPORAL PARAMETERS

E.N. Korobkova

We propose a method of synthesis of the shapers of the pulse series with tunable parameters, based on the representation of the designed machine as a functional block composition several interrelated separate units, each of which defines one of timing parameters generated pulse sequence.

Keywords: digital machines, decomposition, logic functions, synthesis, minimization.