

**П.В. Мартынов, М.С. Светлов**

### **ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С РАДИОКАНАЛАМИ**

*Проводится анализ принципа тактовой синхронизации для одночастотных сетей. Показано преимущество применения принципа самосинхронизации на базе корректирующих самосинхронизирующихся кодов и на базе динамических запоминающих устройств (ДЗУ). Предложен вариант реализации принципа самосинхронизации с использованием n-позиционного ДЗУ, позволяющий существенно повысить помехозащищенность сетей.*

Цифровые сети, помехоустойчивые коды, синхронизация, самосинхронизирующиеся коды, динамическое запоминающее устройство

**P.V. Martynov, M.S. Svetlov**

### **INCREASING OF ANTIJAMMING ABILITY IN DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS WITH RADIO CHANNELS**

*This article analyzes the principle of clock synchronization for single-frequency networks. It is demonstrated the advantage of application of the principle of self-synchronization based on self-synchronizing correcting codes and of the principle based on the dynamic memory devices. For increasing the immunity of networks it is suggested a variant of the principle of self-synchronization using n-positional dynamic memory device.*

Digital networks, jam-resistant codes, synchronization, self-synchronizing codes, dynamic memory device

Важнейшей задачей разработчиков информационных сетей является повышение уровня помехозащищенности передаваемой информации. При подготовке потока данных к передаче по каналу связи информация подвергается различным видам обработки, основными из которых являются кодирование и модуляция. В современных цифровых сетях и системах с радиоканалами для повышения помехоустойчивости широко используются корректирующие коды в режимах исправления ошибок. Эти коды способны исправлять наиболее правдоподобные комбинации ошибок, возникающих в кодовых словах в результате воздействия на них определенного вида помех [1]. Кроме того, широкое распространение получили множественные методы кодирования, реализуемые применением нескольких корректирующих кодов, как правило, разных классов (каскадное кодирование).

Для увеличения помехозащищенности сетей с радиоканалами все чаще используются недвоичные коды. Однако использование таких кодов в ряде случаев затруднено вследствие ограниченных возможностей элементной базы, находящейся в распоряжении разработчиков.

Одним из основных способов повышения помехозащищенности цифровых сетей с радиоканалами является использование одночастотных сетей (SFN – *Single Frequency Network*), преимуществом которых является возможность передачи сигнала несколькими или многими передатчиками передающих терминалов на одной несущей частоте, что позволяет экономить предоставляемый радиочастотный ресурс. Применение COFDM модуляции (*Coded*

*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – кодированное ортогональное частотное мультиплексирование) в подобных системах одновременно позволяет уменьшить и влияние эхосигналов, возникающих из-за отражений и переотражений сигнала в радиоканале.

Ключевой задачей при передаче и приеме сигналов в одночастотной сети является обеспечение синхронной работы передатчиков. Синхронизация является основным средством обеспечения корректной работы сети. Задача обеспечения надежной синхронизации в сетях с последовательным интерфейсом является одной из наиболее важных и сложных при синтезе и построении цифровых сетей.

При объединении нескольких цифровых одночастотных сетей в единую информационную сеть возникает необходимость в обеспечении стабильности синхронизирующего сигнала, управляющего элементами цифровой телекоммуникационной сети. Так, при тактовой частоте, равной 10 МГц, отклонение значения частоты сигнала должно иметь величину не более 1 Гц. При частоте колебания фазы синхронизирующего сигнала более 10 Гц происходит дрожание синхросигнала (джиттер), а менее 10 Гц – блуждание (вандер), что существенно ухудшает качество приема информации.

Если в передающих и приемных терминалах сети частоты источников тактовой синхронизации не совпадают, то за определенное время накапливается ошибка, равная разности моментов прихода ( $t_n$ )  $n$ -го импульса цифровой последовательности и генерации ( $t_s$ )  $n$ -го импульса источником тактовой синхронизации принимающего терминала. Когда ошибка становится соизмеримой с длительностью тактового интервала, происходит пропадание импульса, либо формирование лишнего (слип-эффект, или проскальзывание), что приводит к срыву синхронизации.

Качество синхронизации можно оценить периодом времени, за который накопленная ошибка приводит к срыву тактовой синхронизации, или частотой проскальзываний в единицу времени. Учитывая, что отдельные участки сложной сети могут синхронизироваться от источников различной точности, важно определить предельно допустимые значения частоты слипов. В соответствии с руководящими техническими материалами Министерства связи и массовых коммуникаций РФ системы тактовой синхронизации классифицируются по четырем режимам: синхронный – слипов фактически нет; псевдосинхронный – допускается 1 слип/70 дней; плезиохронный – 1 слип/17 часов; асинхронный – 1 слип/7 с.

Существенный выигрыш в надежности информационных сетей дает применение самосинхронизирующихся кодов. Кодирование с использованием самосинхронизирующихся кодов заключается в том, чтобы обеспечить регулярные и частые изменения (переходы) уровней информационного сигнала в канале. Каждый переход уровня сигнала от высокого к низкому или наоборот используется для подстройки приемника. Лучшими считаются самосинхронизирующиеся коды, которые обеспечивают переход уровня сигнала не менее одного раза в течение интервала времени, необходимого на прием одного символа кодовой последовательности. Чем чаще переходы уровня сигнала, тем надежнее осуществляется синхронизация приемника и увереннее производится идентификация принимаемых символов данных в заданном канальном алфавите.

При использовании самосинхронизирующихся кодов в системах и сетях с последовательным интерфейсом отпадает необходимость в специальных синхросигналах. К сожалению, реализация самосинхронизирующихся кодов и систем на их основе имеет целый ряд ограничений, сдерживающих их применение. Как показал анализ возможных способов обеспечения самосинхронизации, лучшие результаты обеспечивает применение принципа самосинхронизации с распределителями на базе динамических запоминающих устройств (ДЗУ), что приводит к существенному повышению уровня помехозащищенности систем и сетей. Использование такого способа кодирования позволяет представить двоичные символы, подлежащие передаче по радиоканалу, в виде серий (кодовых импульсных последовательностей) жестко связанных между собой временными задержками бесконечно малых по длительности импульсов, величины интервалов между которыми кратны значению  $\Delta t$  (как правило, в наносекундном диапазоне).

Структурная схема кодирующего устройства с n-позиционным распределителем на базе ДЗУ приведена на рис. 1. Блок управления в данной схеме выполняет следующие функции: определение моментов подачи кодовых символов на вход ДЗУ; определение закона коммутации выходов ДЗУ; осуществление коммутации элементов &<sub>1</sub> и &<sub>0</sub> формированием сигнала I<sub>1r</sub> или I<sub>0r</sub> в зависимости от текущего входного символа.

Сигнал на нулевом выходе ДЗУ формируется с задержкой Δt<sub>0</sub> по отношению к входному сигналу ДЗУ. Для обеспечения корректной работы ДЗУ интервалы Δt должны быть строго постоянными, и при этом должно выполняться условие не кратности величины задержки Δt<sub>0</sub> интервалу времени Δt [2]. Сигналы с выходов ДЗУ проходят через коммутатор. Сигналы с выходов коммутатора в соответствии с законом, задаваемым блоком управления, управляют схемами, формирующими кодовые серии для «0» и «1» на выходе кодирующего устройства.

Структурная схема декодирующего устройства представлена на рис. 2. Управляющий сигнал, входящий в состав принимаемого сигнала, подается на блок управления, обеспечивающий закон коммутации, аналогичный, реализованному в схеме кодирующего устройства.

Полином выходного сигнала кодирующего устройства относительно фиктивной переменной x может быть записан в виде:

$$y(x) = \sum_{i=1}^n a_{n-i} x^{n-i} = a_{n-1} x^{n-1} + a_{n-2} x^{n-2} + \dots + a_0. \quad (1)$$

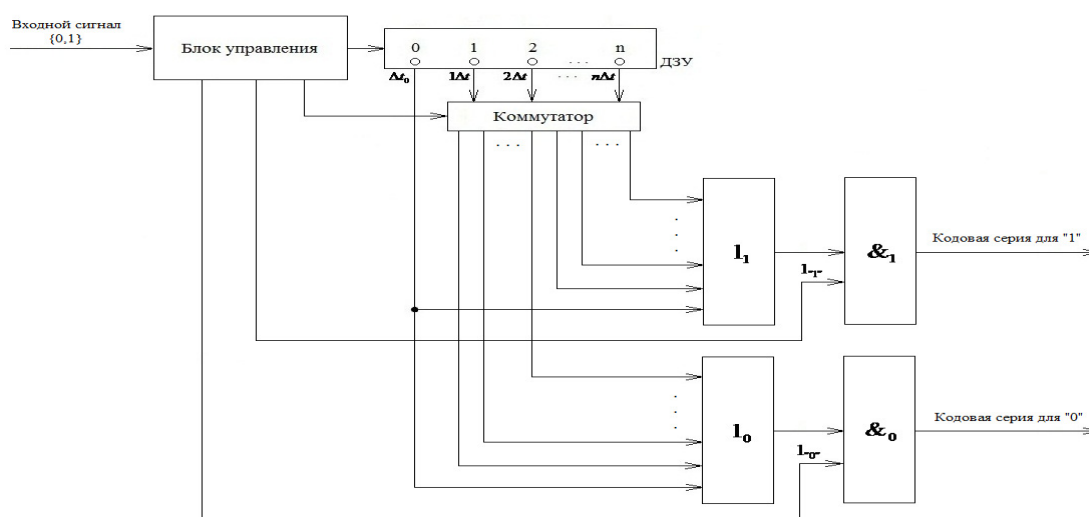


Рис. 1. Реализация кодирующего устройства с n-позиционным распределителем на базе ДЗУ

Коэффициенты данного полинома, исходя из принципа работы устройства, могут быть вычислены по формуле:

$$a_i = \Delta t_0 + (n - i)\Delta t. \quad (2)$$

Полином выходного сигнала декодирующего устройства:

$$y'(x) = \sum_{i=1}^n b_{n-i} x^{n-i} = b_{n-1} x^{n-1} + b_{n-2} x^{n-2} + \dots + b_0. \quad (3)$$

Коэффициенты данного полинома, исходя из принципа работы устройства, могут быть вычислены по формуле:

$$b_i = \Delta t_0 + i\Delta t. \quad (4)$$

Исходя из того, что выходы ДЗУ декодирующего устройства нумеруются в последовательности, обратной последовательности номеров выходов ДЗУ кодирующего устройства, справедливы соотношения:

$$a_{n-k} = b_k, \quad k = \overline{0, n-1}. \quad (5)$$

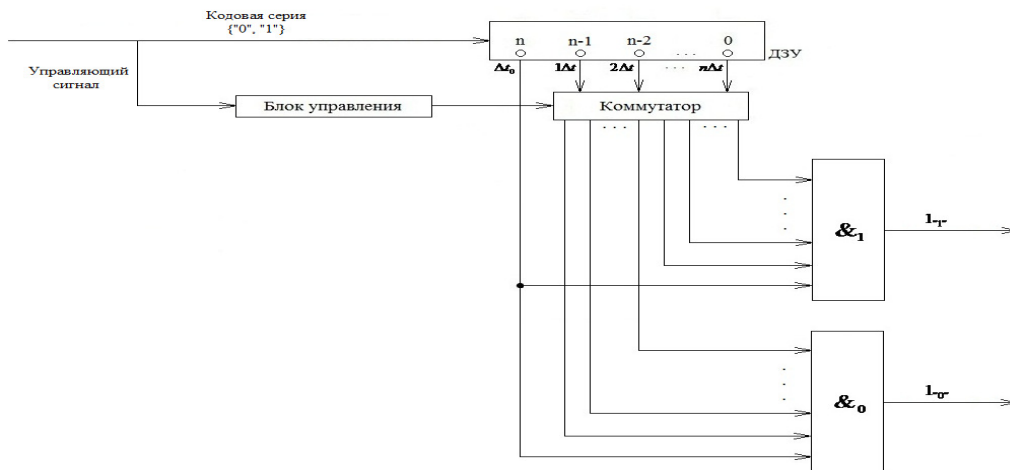


Рис. 2. Реализация декодирующего устройства с n-позиционным распределителем на базе ДЗУ

Срабатывание логического элемента «И» на выходе декодирующего устройства (рис. 2) происходит в моменты совпадения импульсов с выходов ДЗУ, номера которых в кодовой импульсной последовательности совпадают с номерами выходов ДЗУ, на которых они появляются. Таким образом, использование устройств кодирования и декодирования на базе ДЗУ позволяет осуществлять передачу информации по радиоканалам в одночастотных сетях без использования специальных синхросигналов, что позволяет существенно повысить помехозащищенность системы.

При использовании кодов с повышенным основанием, когда канальный алфавит содержит, в общем случае,  $K$  рабочих символов, кодирующее устройство формирует соответственно  $K$  кодовых серий (каждая с выхода соответствующей цепи «ИЛИ» – «И»); блок управления формирует  $K$  управляющих воздействий; в соответствии с этим преобразуется и схема декодирующего устройства.

Как показало моделирование таких систем, они способны надежно работать в условиях действия в радиоканалах помех большой интенсивности, когда число импульсов помех за базовое время формирования рабочих кодовых слов информационного сигнала существенно превышает 1.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки / У. Питерсон, Э. Уэлдон, пер. с англ.; под ред. Р.Л. Добрушина и С.И. Самойленко. М.: Мир, 1976.
2. Светлов М.С., Спиридонов С.В. Об одном способе исключения защитных интервалов в системах цифрового телерадиовещания стандарта DVB // Проблемы управления, передачи и обработки информации АТМ-2011 : сб. трудов II Межд. науч. конф. Т.2. 2012. С.43-46.

#### Светлов Михаил Семенович –

кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая кибернетика и информатика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

#### Мартынов Павел Владимирович –

аспирант кафедры «Техническая кибернетика и информатика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Статья поступила в редакцию 7.03.12, принята к опубликованию 12.03.12