

$$P_{\text{пр}} = (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T}, \quad (24)$$

$$P_{\text{з.о.}} = \sum_{\gamma_T=1}^r C_{n_T}^{\gamma_T} p_{i0}^{\gamma_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \gamma_T} + \sum_{\xi_T=r+1}^{n_T} A_{\xi_T} p_{i0}^{\xi_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \xi_T}, \quad (25)$$

$$P_{\text{л.пр.}} = \sum_{\xi_T=r+1}^{n_T} B_{\xi_T} p_{i0}^{\xi_T} (1 - q_i^A p_{i0}^B - p_{i0}^A q_0^B)^{n_T - \xi_T}. \quad (26)$$

При этом справедливо соотношение (16).

Заключение

Разработанные варианты моделей приема информации в системах передачи информации с различными типами K -каналов без нуля для всех возможных режимов приема позволяют определить вероятности исходов приема информации и определить показатели систем по достоверности передачи. Анализ вариантов моделей исходов приема дает возможность не только количественно оценить статистику систем, но и предложить наиболее эффективные методы и алгоритмы повышения их информационной надежности.

Литература

1. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи / И.А. Голяницкий // Под ред. Ю.А. Громакова. – М.: Эко-трендз, 2005. – 440 с.
2. Васильев К. К., Глушков В. А., Дормидонтов А. В. Нестеренко А. Г. Теория электрической связи: учебное пособие / К. К. Васильев, В. А. Глушков, А. В. Дормидонтов, А. Г. Нестеренко; под общ. ред. К.К. Васильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 452 с.
3. Светлов М.С., Ульянина Ю.А. Оценка помехозащищенности сложных информационно-измерительных систем / М.С. Светлов, Ю.А. Ульянина // ММТТ-25 [текст]: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 6. Секция 10 / под общ. ред. А.А. Большакова. – Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012; Харьков: Национ. техн. ун-т «ХПИ», 2012. – С. 175-179.

Повышение информационной надежности цифровых систем передачи информации

д.т.н. проф. Львов А.А., д.т.н. доц. Светлов М.С., Руденко А.Е., Мартынов П.В.
Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.
8927153277, lordae@yandex.ru

Аннотация. В настоящей статье показано преимущество применения принципа самосинхронизации на базе динамических запоминающих устройств (ДЗУ). Предложены математическая модель и вариант реализации принципа самосинхронизации с использованием n -позиционного ДЗУ, позволяющий существенно повысить помехозащищенность цифровых систем.

Ключевые слова: цифровые сети, помехоустойчивые коды, синхронизация, самосинхронизирующиеся коды, динамическое запоминающее устройство.

Важнейшей задачей, стоящей перед разработчиками цифровых систем, 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 настоящее время, как правило, используются корректирующие коды в режимах исправления ошибок, позволяющие исправлять наиболее правдоподобные комбинации ошибок, возникающих в кодовых словах в результате воздействия на них определенного вида помех [1].

Для повышения информационной надежности при реализации процессов модуляции и демодуляции в настоящее время в большинстве систем используется COFDM модуляция (*Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – кодированное ортогональное частотное мультиплексирование) с применением при передаче информации квадратурно-амплитудно модулированного сигнала (QAM). Главная особенность такого вида модуляции заключается в том, что последовательный цифровой поток преобразуется в большое число параллельных потоков (субпотоков), каждый из которых характеризуется своей поднесущей частотой. Число поднесущих частот определяет режим модуляции. Переход к модуляционным режимам с большим количеством поднесущих частот (128-QAM и 256-QAM) потенциально снижает помехозащищенность систем. Однако при этом, что крайне важно с точки зрения эффективного использования каналов, увеличивается пропускная способность канала (до 33%), а также существенно уменьшается влияние эхо-сигналов, возникающих из-за отражений и множественных переотражений транслируемого сигнала в канале.

В связи с этим при таких режимах модуляции в цифровых системах обязательно используют каскадное кодирование, при котором первый каскад кодирования (внешнее кодирование) реализуется на базе того или иного блочного кода (чаще всего – циклического), второй каскад кодирования (внутреннее кодирование) реализуется с применением непрерывного кода (например, сверточного).

Процедуры кодирования-декодирования и модуляции-демодуляции в таких системах характеризуются использованием последовательного синхронного интерфейса, и одной из ключевых задач при разработке цифровых систем является задача обеспечения надежной синхронизации работы всех ее элементов, в первую очередь кодеков и модемов.

Существенное повышение информационной надежности систем может быть обеспечено в результате применения самосинхронизирующихся кодов. Как показал анализ возможных способов обеспечения самосинхронизации, наилучшие результаты может дать применение принципа самосинхронизации с распределителями на базе динамических запоминающих устройств (ДЗУ). Использование такого способа позволяет представить двоичные символы, подлежащие передаче по каналу, в виде серий жестко связанных между собой временными задержками бесконечно малых по длительности импульсов, величины интервалов между которыми кратны некоторому значению Δt , находящемуся желательным в наносекундном диапазоне. По сути, такое представление кодовых сигналов может рассматриваться как вторичное (защитное) кодирование.

Структурная схема кодирующего устройства с n -позиционным распределителем на базе ДЗУ приведена на рисунке 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 $\&_1$ и $\&_0$ посредством формирования управляющих сигналов $1_{\text{н1}}$ или $1_{\text{н0}}$, в зависимости от текущего входного двоичного символа.

Входная последовательность символов длиной m может быть представлена в полиномиальной форме относительно некоторой фиктивной переменной x :

$$f(x) = a_m x^{m-1} + a_{m-1} x^{m-2} + \dots + a_2 x + a_1. \quad (1)$$

Характерной особенностью такой полиномиальной записи является условие, чтобы степень полинома была на единицу меньше числа его членов.

Сигнал на нулевом выходе ДЗУ формируется с задержкой Δt_0 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_0 интервалу времени Δt [2]. Сигналы с выходов ДЗУ проходят через коммутатор,

реализующий закон формирования кодовых последовательностей, соответствующих сигналам 1_{n1} и 1_{n0} , который задается блоком управления.

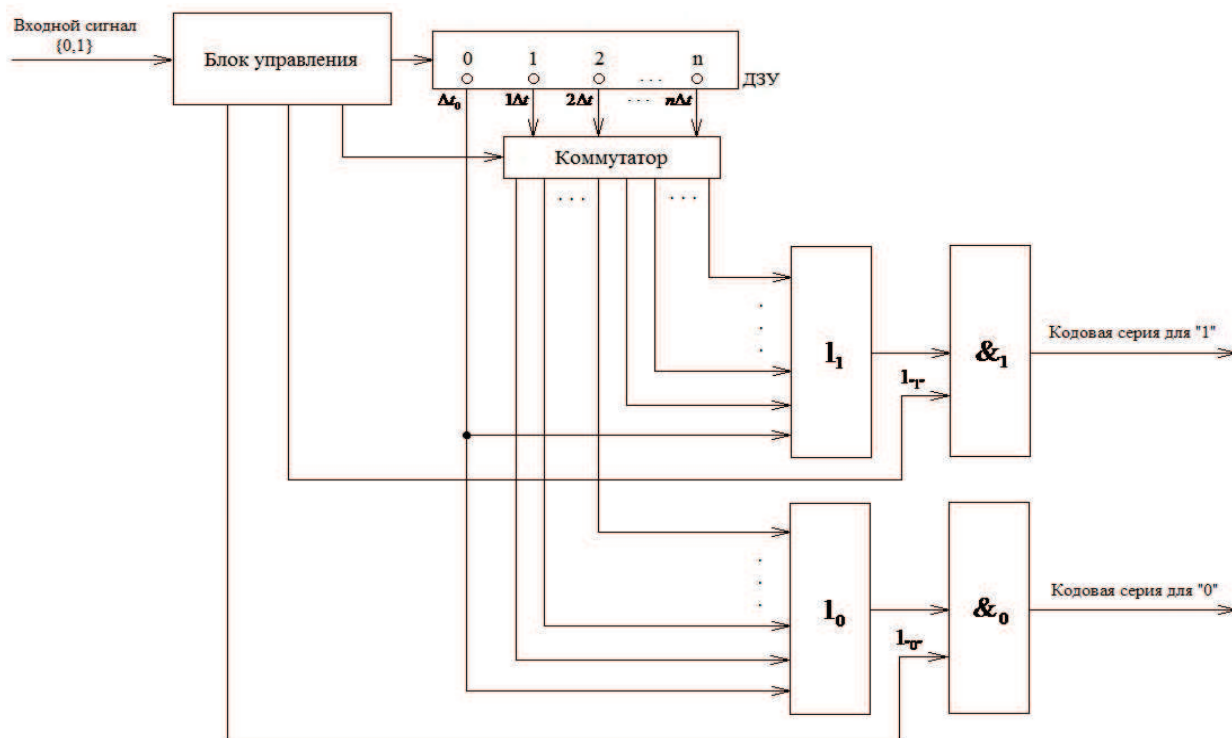


Рисунок 1. Реализация кодирующего устройства с n -позиционным распределителем на базе ДЗУ

Последовательность символов на выходе кодирующего устройства на базе n -позиционного ДЗУ может быть представлена в полиномиальной форме:

$$y(x) = a_n x^{n-1} + a_{n-1} x^{n-2} + \dots + a_2 x + a_1. \quad (2)$$

Коэффициенты данного полинома могут быть представлены как функции задержек ДЗУ:

$$a_i = f(\Delta t_0 + (n-i)\Delta t), \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Таким образом, полином, описывающий кодовую серию для одного символа, поступающего в канал связи с выхода кодирующего устройства ДЗУ, примет вид:

$$y(x, t) = f(\Delta t_0) x^{n-1} + f(\Delta t_0 + \Delta t) x^{n-2} + \dots + f(\Delta t_0 + (n-2)\Delta t) x + f(\Delta t_0 + (n-1)\Delta t). \quad (4)$$

Структурная схема декодирующего устройства представлена на рис. 2. На его вход поступают кодовые серии, пришедшие из канала, описываемые полиномами вида:

$$y_1(x, t) = b_n x^{n-1} + b_{n-1} x^{n-2} + \dots + b_2 x + b_1, \quad (5)$$

где $b_i = f(\Delta t_0 + (n-i)\Delta t + t_k)$ ($i = \overline{1, n}$), t_k – временная задержка, возникающая при передаче кодовой серии по каналу.

В состав входного сигнала декодирующего устройства, помимо кодовых серий, входит управляющий сигнал, обеспечивающий закон коммутации, аналогичный закону, реализованному в схеме кодирующего устройства. В соответствии с данным законом осуществляется коммутация импульсов с выходов ДЗУ с входами логических элементов $\&_1$ и $\&_0$. Эти сигналы могут быть представлены в виде:

$$c_i = f_1(b_i), \quad (6)$$

где f_1 – функция, описывающая преобразование сигналов с выходов ДЗУ.

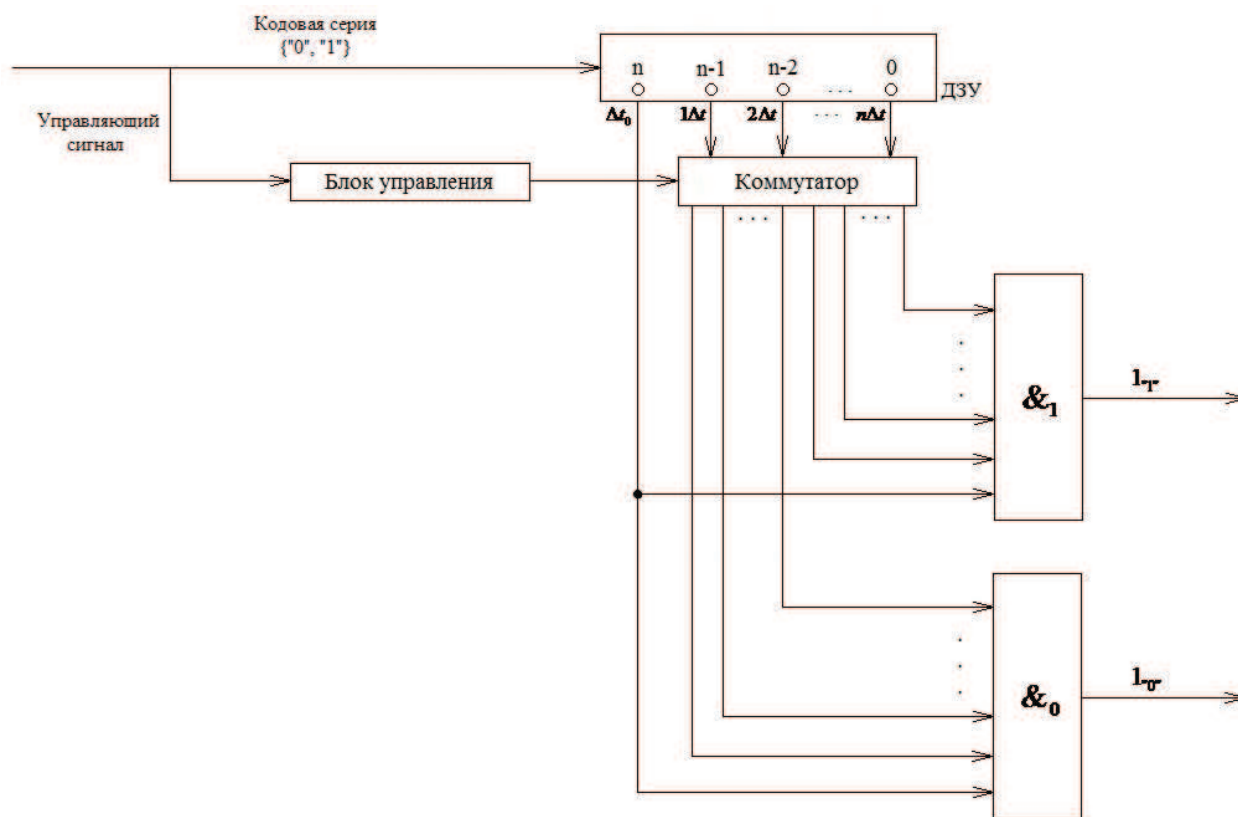


Рисунок 2. Реализация декодирующего устройства с n-позиционным распределителем на базе ДЗУ

Срабатывание логического элемента «И» на выходе декодирующего устройства (рисунок 2) происходит в моменты совпадения импульсов c_i , номера которых в кодовой импульсной последовательности совпадают с номерами выходов ДЗУ, на которых они появляются.

Таким образом, применение устройств кодирования и декодирования на базе ДЗУ позволяет осуществлять передачу информации в цифровых системах с радиоканалами (в том числе и в одночастотных сетях) с модуляцией QAM/COFDM без использования каких-либо специальных синхросигналов, что позволяет существенно повысить информационную надежность систем с последовательным синхронным интерфейсом.

Литература

1. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки / У. Питерсон, Э. Уэлдон, пер. с англ. под редакцией Р.Л. Добрушина и С.И. Самойленко // М.: Мир, 1976.
2. Светлов М.С. Об одном способе исключения защитных интервалов в системах цифрового телерадиовещания стандарта DVB / М.С. Светлов, С.В. Спиридонов // Сб. трудов II Международной научной конференции «Проблемы управления, передачи и обработки информации» (АТМ-2011), т. 2, секция 2, 2012. – С. 43-46.