

УДК 621.396

Захарченко Н.В., д.т.н.; Корчинский В.В., д.т.н.;
Домрачева Е.А., аспирант; Шокотко А.А., аспирант

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ИМПУЛЬСНО-КОВОЙ МОДУЛЯЦИИ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Zaharchenko N.V., Korchinskiy V.V., Domracheva K.O., Shokotko A.A. Using of the timer signal constructions for pulse-code modulation of the voice signals.

The work represents the possibility of improving telecommunication systems characteristics by using timer-signal constructions. It's shown that the use of timer-signal constructions makes possible to achieve 2 fold decreasing of required radio-channel bandwidth in comparison with PCM method. The authors propose the telecommunication system scheme and shows transmission levels of digital voice signals in the multi-channel system based on timer-signal constructions, that allows to transmit standard information flows with 2-fold reduction of radio-channel bandwidth, which is important for satellites systems.

Keywords: voice signal, noise immunity, timer-signal constructions, Nyquist pulse, PCM.

Захарченко М.В., Корчинський В.В., Домрачева К.О., Шокотко А.А. Використання таймерної сигнальної конструкції при імпульсно-кодовій модуляції мовного сигналу.

У роботі показана можливість зменшення смуги пропускання каналу при передачі цифрового мовного сигналу в 2 рази і поліпшення його завадозахищеності в порівнянні з методом ІКМ шляхом застосування таймерних сигнальних конструкцій.

Ключові слова: мовний сигнал, завадозахищеність, таймерна сигнальна конструкція, найквістовий імпульс, імпульсно-кодова модуляція.

Захарченко Н.В., Корчинский В.В., Домрачева Е.А., Шокотко А.А. Использование таймерных сигнальных конструкций для импульсно-кодовой модуляции речевого сигнала.

В работе показана возможность уменьшения полосы пропускания канала при передачи цифрового речевого сигнала в 2 раза и улучшения его помехозащищенности по сравнению с методом ИКМ путем применения таймерной сигнальной конструкции.

Ключевые слова: речевой сигнал, помехозащищённость, таймерная сигнальная конструкция, найквістовий імпульс, імпульсно-кодова модуляція.

Введение

В настоящее время особый интерес представляют методы передачи, которые повышают эффективность использования канальных ресурсов сети и обеспечивают защиту информации от несанкционированного доступа на канальном и физическом уровнях модели OSI. В [1] показано, что решение указанных задач возможно за счет усложнения структуры сигнальных кодовых конструкций путем применения таймерных сигнальных конструкций (ТСК), которые были предложены в 80-е годы прошлого века для повышения скорости передачи информации в бинарном канале[1]. На их основе был создан новый принцип контроля верности кодовых комбинаций без проверочных символов. В [2] показано, что ТСК обладают также свойствами скрытности, что снижает эффективную работу средств по перехвату и распознаванию смыслового содержания сообщений.

В опубликованных работах по таймерным сигналам недостаточно освещены вопросы практического применения их в реальных системах связи. Данное исследование актуально, так как направлено на повышение как показателей помехозащищенности системы (помехоустойчивости и скрытности), так и на уменьшение полосы пропускания реального канала при заданной скорости передачи. Целью данной работы является повышение эффективности системы передачи сигнала в аппаратуре ИКМ-30 на основе применения ТСК.

© Захарченко М.В., Корчинський В.В., Домрачева К.О., Шокотко А.А., 2017

1. Создание цифрового речевого сигнала с использованием таймерной сигнальной конструкции

ТСК позволяют создавать большое количество реализаций при передаче импульсных сигналов, длительность которых не меньше найквистового интервала [1,2]

$$\tau_c \geq \frac{1}{\Delta f}, \quad (1)$$

где Δf – полоса пропускания канала, обеспечивающая минимальные межсимвольные искажения данного сигнала.

Информация в таких сигнальных конструкциях содержится в длительности нескольких отдельных временных отрезков и их взаимном положении.

В ТСК осуществляется увеличение числа реализаций сигнальных конструкций на интервале

$$T_c = m\tau, \quad (2)$$

где m – число найквистовых интервалов τ . Это возможно за счет введения модуляции информационных параметров сигнала в точках, не кратных τ , а кратных некоторому элементу

$$\Delta = \frac{\tau}{s}, (s \in 1, 2, \dots), \quad (3)$$

где s – число элементов Δ на интервале τ .

При этом с целью исключения межсимвольных искажений расстояние между значащими моментами модуляции - ЗММ (длительность импульсов в ТСК) выбирается

$$\tau_c \geq \tau. \quad (4)$$

На рис. 1. представлено несколько реализаций ТСК для бинарного канала из $m = 4$ элементов длительностью τ . На интервале кодового слова T_c можно сформировать несколько отрезков τ_c с определёнными длительностями и положениями в пределах кодового слова. Например, для ТСК-1 длительности первого, второго и третьего импульсов соответственно будут: $\tau_{c1} = 4\Delta$, $\tau_{c2} = 5\Delta$ и $\tau_{c3} = 7\Delta$. Для ТСК-2: $\tau_{c1} = 4\Delta$, $\tau_{c2} = 4\Delta$ и $\tau_{c3} = 8\Delta$. Для ТСК-3: $\tau_{c1} = 6\Delta$, $\tau_{c2} = 5\Delta$ и $\tau_{c3} = 5\Delta$. Информация о передаваемом символе заложена в длительностях отрезков τ_c и количестве ЗММ.

Конкретные реализации ТСК создаются путем поочередного добавления к первому импульсу длительностью τ единичного элемента Δ при постоянной длительности второго импульса, размещенного в конце интервала T_c . Затем, такая же операция производится и над вторым импульсом при сохранении длительности первого импульса. При одновременном изменении длительности первого и второго импульсов необходимо обеспечить минимальный временной интервал между ними величиной τ .

Таким образом, в канал передаются отрезки сигнала длительностью

$$\tau_c = \tau + k\Delta, [k = 0, 1, 2, \dots, s \cdot (m - 2)]. \quad (5)$$

В ТСК энергетическое расстояние между сигнальными конструкциями определяется величиной $\Delta < \tau$, поэтому, число их реализаций L на интервале T_c значительно больше по сравнению с разрядно-цифровым кодом [1] и в общем виде определяется как

$$L = \sum_{i=1}^m C_{ms-i(s-1)}^i, \quad (6)$$

где i – число ЗММ.

Таким образом, основная задача при синтезе ТСК состоит в том, чтобы при заданных параметрах m , s и i сформировать необходимое множество реализаций.

Важным достоинством применения ТСК является повышенная структурная скрытность передачи информации по сравнению с позиционными кодами, которая зависит от числа реализаций L и определяется формулой Шеннона [3]

$$S_{\text{тск}} = \log_2 L. \quad (7)$$

Из этой формулы следует, что чем больше количество реализаций L , тем сложнее методом перебора распознать структуру сигнала.

Причем, так как системы с ТСК свободны от шумов квантования, их помехозащищенность будет выше, чем в системах с импульсно-кодовой манипуляцией (ИКМ).

Создание цифрового речевого сигнала на основе ТСК возможно при соответствующем выборе параметров таймерного кодирования, которые должны быть согласованы с временными параметрами каналаобразования ИКМ. Рассмотрим параметры преобразования сигнала, которые производятся в аппаратуре ИКМ-30 [4]:

- 1) частота дискретизации речевого сигнала со спектром 0,3-3,4 кГц

$$f_g = 8 \text{ кГц};$$

- 2) длительность цикла импульсного сигнала $T_{\text{ц}}=125\text{мкс}$;

- 3) количество каналов $N_z=32$ (30 информационных каналов);

- 4) интервал передачи сигнала в одном канале $T_z=3,9(\approx 4)$ мкс;

- 5) количество разрядов двоичного сигнала при квантовании сигнала в одном канале $n=8$;

- 6) длительность одного кванта $t_k=0,4906(\approx 0,5)$ мкс;

- 7) количество уровней квантового сигнала $z=2^n=256$;

- 8) частота следования канальных интервалов $F_k=256$ кГц ;

- 9) частота следования символов в цикле передачи

$$f_c = f_g \cdot n \cdot N_k = 2048 \text{ кГц} (\approx 2 \text{ МГц});$$

- 10) необходимая полоса пропускания радиоканала $\Delta f = 2,038$ (≈ 2) МГц при найквистовой длительности импульса $t_k=0,49(\approx 0,5)$ мкс.

В работе [4] определено, что для качественного воспроизведения речи, преобразованной в импульсные сигналы, достаточно реализовать $L=256$ уровней квантования амплитуд.

Рассмотрим алгоритм построения ТСК для импульсного речевого сигнала, который обеспечивает $L=276$ уровней [1]. Увеличение числа уровней позволяет повысить качество передачи речевого сигнала по сравнению с ИКМ-30. Данное количество реализаций можно получить для ТСК, имеющей согласно табл. 3.4 [1] количество ЗММ $i=2$ при величине параметра $m=4$

$$m = \frac{T_c}{\tau} \quad (8)$$

и количестве единичных элементов $s=11$

$$s = \frac{\tau}{\Delta}, \quad (9)$$

где Δ – длительность единичного элемента, которая определяется величиной среднеквадратического значения помехи в канале δ

$$\Delta = (2 - 4)\delta. \quad (10)$$

Реализацию ТСК в данном случае целесообразно произвести на интервале $T_c = 4\tau$ [5]. На рис.2 приведена структура ТСК, обеспечивающая $L=276$ реализаций для преобразования аналогового речевого сигнала в импульсный цифровой с параметрами

$$T_k = 4\text{ мкс}, \tau = 1\text{ мкс}, s = 11, \Delta = 0,09\text{ мкс}.$$

После увеличения длительности первого и второго импульсов путем поочередного добавления отрезка Δ их максимальная длительность будет составлять 2τ .

При построении системы целесообразно осуществлять квантование по нелинейному закону как в ИКМ-30 [4].

Практическое число реализаций ТСК при заданном количестве ЗММ для данного случая удобно определить по формуле [1]

$$L = C_{ms-i(s-1)}^i = C_u^i = \frac{u!}{i!(u-i)!}, \quad (11)$$

где $u = ms - i(s-1)$.

После подстановки параметров в формулу (11) получим

$$L = C_{4 \cdot 11 - 2 \cdot 10}^2 = C_{24}^2 = \frac{24!}{2! \cdot 22!} = 23 \cdot 12 = 276.$$

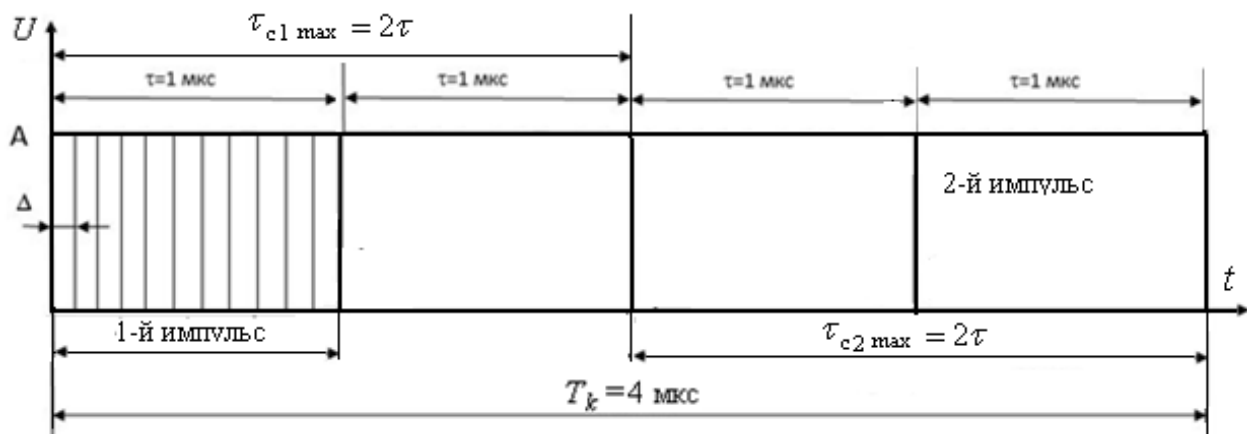


Рис 2. Структура ТСК для цифрового речевого сигнала

Блок-схема приемо-передающей системы для цифрового речевого сигнала с применением ТСК приведена на рис. 3.

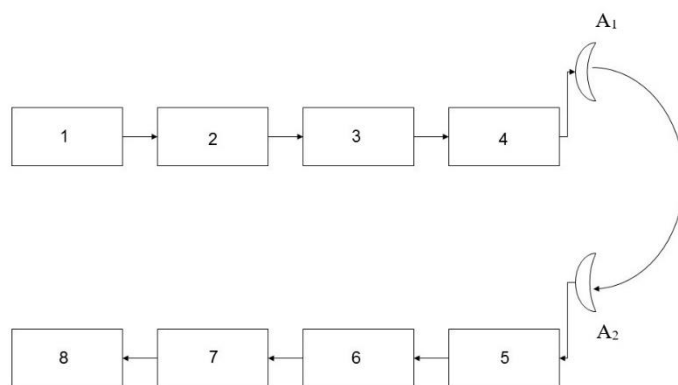


Рис. 3. Блок-схема приемо-передающей системы для цифрового речевого сигнала с применением ТСК: 1 – формирователь сигнала с ТСК (кодер); 2 – модулятор; 3, 6 – преобразователи частоты; 4 – выходной усилитель; A_1 , A_2 – антенны передатчика и приемника; 5 – малошумный усилитель; 7 – демодулятор; 8 – декодер ТСК

Формирование и обработка ТСК производится с помощью программно-аппаратных средств – кодера и декодера ТСК.

Таким образом, применение ТСК позволяет создать новую приемо-передающую систему связи для цифрового речевого сигнала, имеющего при сохранении параметров 1-4 классической системы следующие новые параметры:

- длительность найквистового импульса $\tau = 1$ мкс;
- количество реализаций (уровней сигнала) $L = 276$;
- частота следования символов в цикле $f_c = 1$ МГц.

Следовательно, использование ТСК при передаче речевого цифрового сигнала позволяет использовать в 2 раза меньшую полосу пропускания радиоканала по сравнению с классическим методом, используемым ИКМ–30.

Цифровые потоки для стандартных цифровых каналов с применением ТСК по аналогии с классической ИКМ 30 можно обозначить Е1 ТСК, Е2 ТСК, Е3 ТСК, Е4 ТСК (табл.1). Такие потоки позволяют уменьшить в 2 раза необходимую полосу пропускания радиоканала по сравнению с использованием ИКМ, что особенно важно при передаче сигнала в спутниковой системе.

В табл. 1 скорость передачи сигнала при использовании ТСК определена с учетом служебной информации, как в ИКМ 30.

Таблица 1. Скорость передачи цифровой информации в системах с ИКМ и ТСК

№ п/п	Количество стандартных каналов	Скорость передачи при классической ИКМ, Мбит/с	Скорость передачи при использовании ТСК, Мбит/с
1	30	Е1 2,048	Е1 ТСК 1
2	120	Е2 8,448	Е2 ТСК 4,125
3	480	Е3 34,368	Е3 ТСК 16,78
4	1920	Е4 139,264	Е4 ТСК 67,99

Выводы

Применение таймерных сигнальных конструкций для создания цифрового речевого сигнала позволяет уменьшить полосу пропускания радиоканала в 2 раза по сравнению с применением классического метода ИКМ. Это особенно важно при передаче стандартных потоков в спутниковых системах.

Список использованной литературы

1. Захарченко М.В. Системы передавання даних. – Т. 1: Завадостійке кодування: підручник [для студентів вищих технічних навчальних закладів] / М.В. Захарченко. – Одеса: Фенікс. 2009. – 448с.
2. Склад Б. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Zakharchenko N. Information security of Time-Controlled Signals in Confidential Communication Systems / N. Zakharchenko, V. Korchinsky, B. Radzimovsky // Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science: XI International Conference TCSET 2012, (Lviv-Slavske, 21-24 february 2012). – Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2012. – С. 317.
4. Иванов Ю.П. Аппаратура ИКМ.30. / Под. ред. Ю.П. Иванова. – М.: Радио и связь. 1983. – 185с.
5. Захарченко Н.В., Семенко А.И., Корчинский В.В., Домрачева Е.А. Использование таймерных сигнальных конструкций для мониторинга сигналов аналогового датчика// Зв'язок. – 2016. - №6.- С.40-43.

Автори статті

Захарченко Микола Васильович - доктор технічних наук, професор, Одеська національна академія зв'язку ім О.С. Попова, Одеса, Україна. Тел. +38 068 292 27 65. E-mail: albrona@mail.ru

Корчинський Володимир Вікторович - доктор технічних наук, професор, Одеська національна академія зв'язку ім О.С. Попова, Одеса, Україна. Тел. +38 095 208 27 10. E-mail: vladkorchin@ukr.net

Домрачева Катерина Олексіївна - аспірант, асистент кафедри Телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +38 063 579 50 80. E-mail: katyscha@ukr.net

Шокотько Андрій Андрійович - аспірант кафедри Телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел. +38 093 567 20 19. E-mail: postbox78@ya.ru

Authors of the article

Zakharchenko Mikola Vasilovich - doctor of technical sciences, professor, Odessa National Academy of Telecommunications named after A.S. Popova, Odessa, Ukraine. Tel. +38 068 292 27 65. E-mail: albrona@mail.ru

Korchinsky Volodymyr Vitovich - doctor of technical sciences, professor, Odessa National Academy of Telecommunications Popova, Odessa, Ukraine. Tel. +38 095 208 27 10. E-mail: vladkorchin@ukr.net

Domracheva Katerina Oleksiivna - post-graduate student, assistant of department of Telecommunication systems and networks, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 063 579 50 80. E-mail: katyscha@ukr.net.

Shokotko Andriy Andriyovich - post-graduate student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. +38 093 567 20 19. E-mail: postbox78@ya.ru

Дата надходження в редакцію: 25.01.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. А.І. Семенко