

УДК 621.396

Н. В. ЗАХАРЧЕНКО¹, доктор техн. наук, професор;

А. И. СЕМЕНКО², доктор техн. наук, професор;

В. В. КОРЧИНСКИЙ¹, доктор техн. наук, професор;

Е. А. ДОМРАЧЕВА², аспірантка,

¹ Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова;

² Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СИГНАЛОВ АНАЛОГОВОГО ДАТЧИКА

Показана возможность уменьшения полосы пропускания радиоканала при передаче сигналов от аналогового датчика благодаря применению таймерных сигнальных конструкций.

Ключевые слова: аналоговый датчик; таймерная сигнальная конструкция; найквистовый импульс; импульсно-кодовая модуляция.

Введение

При передаче цифровых сигналов особый интерес представляют методы, повышающие эффективность использования канальных ресурсов сети. В современных измерительных системах аналоговые сигналы датчиков при помощи аналого-цифровых преобразователей превращаются в разрядно-цифровой код (РЦК) [1]. Точность измерения значений физической величины с применением аналогового датчика повышается, что приводит к увеличению количества разрядов двоичного сигнала, а следовательно, и увеличению количества измеряемых уровней:

$$N = 2^n, \quad (1)$$

где n — количество разрядов двоичного сигнала.

При этом необходимая полоса Δf пропускания радиоканала определяется найквистовой длительностью бита τ при данном количестве разрядов двоичного сигнала, чем обеспечивается практическое отсутствие межсимвольных искажений [2; 3]:

$$\Delta f = 1/\tau. \quad (2)$$

Длительность бита в соответствии с формулой (2) будет определяться имеющейся выделенной шириной полосы пропускания радиоканала

$$\tau = 1/\Delta f, \quad (3)$$

а длительность цикла составит

$$T_{\text{ц}} = n\tau. \quad (4)$$

Основная часть

Как показано в [4], для кодирования большего количества уровней сигнала на интервале времени $T_{\text{ц}}$ целесообразно использовать таймерные сигнальные конструкции (ТСК), основным условием построения которых является применение импульсных сигналов с длительностью не менее найквистового интервала:

$$\tau_c \geq \tau. \quad (5)$$

Увеличение числа реализаций ТСК на интервале $T_{\text{ц}}$ осуществляется за счет введения модуляции информационных параметров сигнала в точках, не кратных τ_c , а кратных некоторому элементу

$$\Delta = \frac{\tau}{s} (s = 1, 2, \dots), \quad (6)$$

где s — число элементов Δ на интервале τ .

Информация о передаваемом символе заложена в длительностях отрезков τ_c и количестве i значащих моментов модуляции (ЗММ). Таким образом, при наличии m элементов длительностью τ в канал передаются отрезки сигнала длительностью

$$\tau_c = \tau + k\Delta, \quad (7)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots, s(m-2)$.

Несколько реализаций ТСК для бинарного канала из $m = 4$ элементов длительностью τ приведены на рис. 1. На интервале T_c кодового слова можно сформировать несколько отрезков τ_c с определенными длительностями и положениями в пределах кодового слова. Например, для ТСК-1 длительность первого, второго и третьего импульса имеет соответственно следующие значения: $\tau_{c1} = 4\Delta$, $\tau_{c2} = 5\Delta$ 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, как уже отмечалось, заложена в длительностях отрезков τ_c и количестве i ЗММ.

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

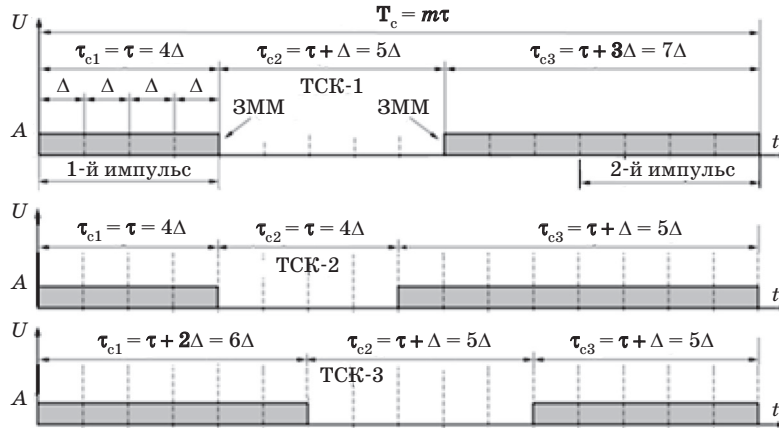


Рис. 1. Реализации ТСК на интервале $T_c = 4\tau$

В ТСК энергетическое расстояние между сигнальными конструкциями определяется значением $\Delta < \tau$, поэтому число L их реализаций на интервале T_c значительно больше по сравнению с разрядно-цифровым кодом [4]

$$L = C_{ms-i(s-1)}^i = C_u^i = \frac{u!}{i!(u-i)!}, \quad (8)$$

где $u = ms - i(s - 1)$.

Важным преимуществом применения ТСК является повышенная по сравнению с позиционными кодами структурная скрытность передачи информации, зависящая от числа L реализаций и определяющаяся формулой Шеннона [5], согласно которой количество эквивалентных разрядов сложного псевдошумового сигнала

$$S_{\text{ТСК}} = \log_2 L. \quad (9)$$

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

Расчитанные по формуле (8) значения числа реализаций ТСК для $i = 2$ в зависимости от параметров s и m приведены в таблице [4].

Число реализаций ТСК для $i = 2$ в зависимости от параметров s и m

$s \backslash m$	4	5	6	7	8	9	10
2	15	28	45	66	91	120	153
3	28	55	91	136	190	253	325
4	45	91	153	231	325	435	561
5	66	136	231	351	496	666	861
6	91	190	325	496	703	946	1225
7	120	253	435	666	946	1275	1653
8	153	325	561	861	1225	1653	2145
9	190	406	703	1081	1540	2080	2701
10	231	496	861	1326	1891	2556	3321
11	276	595	1035	1596	2278	3081	4005
12	325	703	1225	1891	2701	3655	4753

При разработке телекоммуникационной системы с ТСК важной задачей является обеспечение минимальной ширины необходимой полосы пропускания радиоканала. Как следует из таблицы, для этого целесообразно использовать конструкцию при $m = 4$, для которой выбором значений s и i можно осуществить мониторинг практически необходимого количества уровней сигнала. При этом будет достигнуто уменьшение в $n/4$ раза при $n > 4$ необходимой ширины полосы пропускания радиоканала по сравнению со случаем использования импульсно-кодовой модуляции (ИКМ).

Следует заметить, что с увеличением s ухудшается помехоустойчивость системы с ТСК. Поэтому практически следует использовать $s \leq 7$.

Рассмотрим пример использования датчика температуры в технологическом процессе выплавки стали. Требуется измерять температуру 1000...2000 °С с интервалом 10 °С и передавать по радиоканалу показания о 100 уровнях состояния процесса. При использовании ИКМ потребуется 7-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для отображения информации о 128 уровнях сигнала. Длительность бита на выходе АЦП (найквистового импульса, который будет передаваться в канале без межсимвольных искажений) определяется заданной шириной Δf полосы пропускания радиоканала. Длительность цикла импульсной последовательности $T_{\text{ц}} = 7\tau$.

Согласно таблице за счет применения ТСК с параметрами $i = 2$, $m = 4$ и $s = 7$ можно получить информацию о 120 уровнях состояния сигнала. Следовательно, необходимое количество реализаций будет обеспечено при количестве найквистовых интервалов $m = 4$, а длительность найквистового интервала будет

$$\tau' = T_{\text{ц}}/m = 7\tau/4. \quad (10)$$

Увеличение длительности найквистового интервала позволит достичь того, чтобы самые короткие из передаваемых импульсов были в 1,75 раза длиннее, чем при ИКМ, и, соответственно, необходимая полоса пропускания радиоканала уменьшилась в 1,75 раза.

Допустим, что выделенная полоса радиоканала составляет 1 МГц, тогда длительность найквистового интервала $\tau = 1$ мкс. Структура ТСК для данного примера приведена на рис. 2, где A — амплитуда импульса.

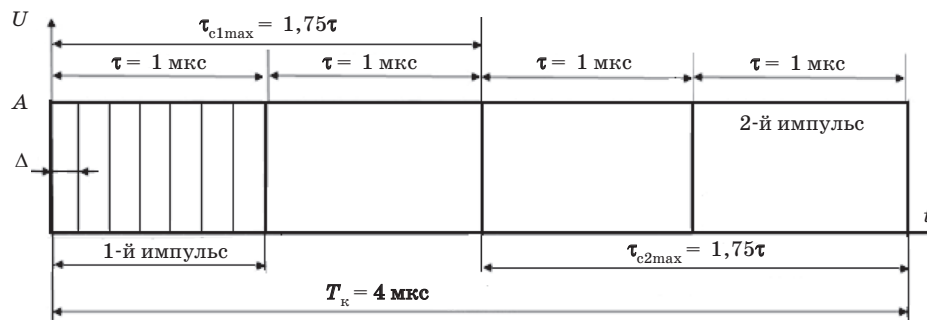


Рис. 2. Структура ТСК при $\tau = 1$ мкс

Известно, что вероятность ошибки в системе с ИКМ можно определить по формуле для амплитудной манипуляции [2]

$$P_0 = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right), \quad (11)$$

где $Q(x)$ — интеграл вероятности; E_b — энергия бита; N_0 — спектральная плотность помехи,

$$N_0 = \frac{P_{\text{ш}}}{\Delta f}, \quad (12)$$

где $P_{\text{ш}}$ — мощность шума в приемнике.

При ИКМ кроме тепловых шумов $P_{\text{ш.т}}$ следует учитывать шумы квантования $P_{\text{ш.к}}$:

$$P_{\text{ш}} = P_{\text{ш.т}} + P_{\text{ш.к}}. \quad (13)$$

Шумы квантования приближенно можно оценить как [6]

$$P_{\text{ш.к}} = \frac{\delta^2}{12}. \quad (14)$$

Здесь δ — интервал квантования ($\delta = A/128$), а тепловые шумы представляются в виде

$$P_{\text{ш.т}} = kT\Delta f, \quad (15)$$

где k — постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T — приведенная ко входу эффективная шумовая температура, К. Тогда из формулы (13) получим суммарную мощность шумов

$$P_{\text{ш}} = kT\Delta f + \delta^2/12. \quad (16)$$

Очевидно, что так как системы с ТСК свободны от шумов квантования, их помехоустойчивость будет выше, чем у систем с ИКМ.

При сопротивлении нагрузки $R_{\text{н}} = 1$ Ом энергию бита определим как

$$E_b = A^2\tau/2, \quad (17)$$

где A — амплитуда импульса.

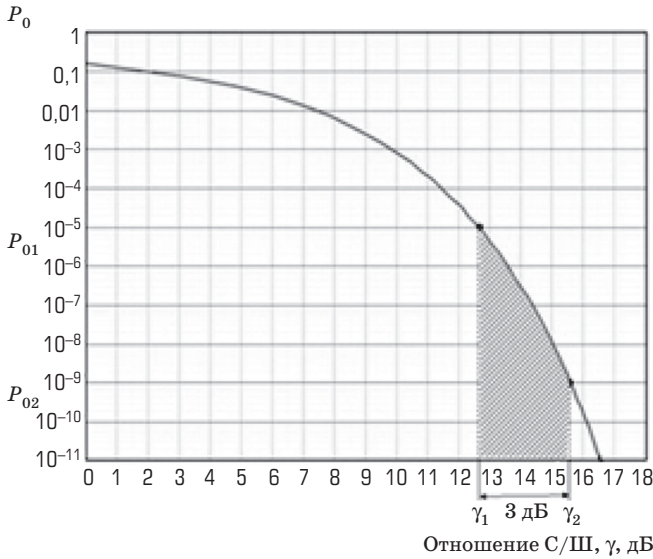


Рис. 3. Кривая помехоустойчивости системы связи с ТСК

двойного сигнала, по сравнению с системой с ИКМ уменьшить необходимую полосу пропускания радиоканала.

2. Системы с ТСК, свободные от шумов квантования, обладают лучшей помехоустойчивостью, чем системы с ИКМ.

3. Помехоустойчивость системы с ТСК зависит от количества реализаций и улучшается при его увеличении.

Список использованной литературы

1. *Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП* / [К. Марцинкявичус, Э. А. Багданскис, Р. Л. Пашюнас, Б. В. Драган].— М.: Радио и связь, 1988.— 224 с.
2. *Скляр, Б. Цифровая связь: Теоретические основы и практическое применение* / Б. Скляр.— М.: Изд. дом «Вильямс», 2003.— 1104 с.
3. *Сукачев, Э. А. Введение в теорию сигналов Найквиста* / Э. А. Сукачев.— Одесса: Освіта України, 2016.— 108 с.
4. *Захарченко, М. В. Системы передачи данных. Т. 1: Завадостійке кодування: підручник [для студентів вищих технічних навчальних закладів]* / М. В. Захарченко.— Одеса: Фенікс, 2009.— 448 с.
5. *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.
6. *Иванов, Ю. П. Аппаратура ИКМ-30* / Ю. П. Иванов; под. ред. Ю. П. Иванова.— М.: Радио и связь. 1983.— 185 с.

Рецензент: доктор техн. наук, профессор **В. Г. Сайко**, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

М. В. Захарченко, А. І. Семенко, В. В. Корчинський, О. А. Домрачева

ВИКОРИСТАННЯ ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГУ СИГНАЛІВ АНАЛОГОВОГО ДАТЧИКА

Доведено можливість зменшення смуги пропускання радіоканалу при передаванні сигналів аналогового датчика завдяки застосуванню таймерних сигнальних конструкцій.

Ключові слова: аналоговий датчик; таймерна сигнальна конструкція; найквістовий імпульс; імпульсно-кодова модуляція.

N. Zakharchenko, A. Semenko, V. Korchinskiy, E. Domracheva

USING OF THE TIMER SIGNAL CONSTRUCTIONS FOR ANALOG SENSOR SIGNALS MONITORING

In this paper authors represent the possibility of reducing the required bandwidth of the radio channel in order to transmit the signal from analog sensor by using the timer signal construction.

Keywords: analog sensor; signal timer construction; Nyquist pulse; pulse code modulation.