

Nikolaj V. Zakharchenko,
ScD (Doctor of Technical Sciences), professor;

Vladimir V. Korchinskiy,
ScD (Doctor of Technical Sciences);

Bronislav K. Radzimovsky,
ScD, assoaiate professor;

Danijar N. Bektursunov,
post-graduate;

Yurij S. Gorokhov,
post-graduate,
Odessa National Academy of Telecommunications

Assessing the Impact of the Noise on the Throughput Communication Channel with Timing Signals

Key words: Information, estimate, interference, bandwidth, City Telephone Station

Annotation: The functional dependence between the channel capacity of City Telephone Station, noise level and parameters of timing signals m , s , i . Substantiates the physical causes of the displacement of the maximum bandwidth of the noise level.

С возрастанием объемов информации обоснованным является повышение скорости передачи в системах связи с каналами ограниченной полосой пропускания и мощностью. Теория и практика построения телекоммуникационных систем показывает, что более 95% избыточности на один передаваемый информационный элемент позиционного кода определяется в основном проверочными разрядами. Высокий процент кодовой избыточности объясняется необходимостью использования в канале коротких сигнальных конструкций для высокодинамичных систем связи с ограниченным временем старения информации, а также группирования ошибок в реальных каналах связи. Большинство таких каналов можно описать кусочно-стационарной модели Гильберта с двумя состояниями канала (1):

- «хорошим» состоянием канала, для которого (96 ... 99)% времени вероятность ошибочного приема элемента $p_0 < 10^{-8}$;

- «плохим» состоянием канала с вероятностью ошибки, которая стремится к значению 0,5.

Характерно, что при этом средняя вероятность ошибочного приема элемента стремится к значению 10^{-3} и зависит в основном от «плохого» состояния канала. Такие статистические характеристики канала позволяют сделать вывод о большом запасе

надежности передаваемых элементов кода в «хороших» состоянии канала и обоснованности обмена показателя качества приема на число передаваемых элементов на этих интервалах с последующим обменом на качество. Это утверждение обосновывает актуальность проведения исследований в данном направлении. Поэтому целью работы является оценка влияния уровня помех на пропускную способность канала связи с таймерными сигналами.

Принцип построения таймерных сигналов (ТСК) заключается в следующем. Сигнальный алфавит бинарных ТСК формируется на интервале времени $T_c = mt_0$ (t_0 – величина, обратная полосе пропускания канала ΔF) при базовом элементе Δ ($\Delta = t_0/s$ $s \in 1; 2; 3; \dots k$ – целые числа) (рис. 1).

Тогда на интервале $T_c = mt_0$ расположено $n = t_0 \cdot s$ точек.

Из всего множества 2^n возможных на интервале времени T_c сигналов разрешенными считаются только те, в которых соседние значащие моменты модуляции (ЗММ) отстоят друг от друга на время, не меньшее, чем t_0 . Это условие обеспечивает минимум межсимвольных искажений. Информация о передаваемом сообщении, переносимая ТСК, содержится в номере временной позиции, занимаемой ЗММ, причем первый информационный ЗММ может появиться не раньше, чем через $s - 1$ позицию от момента начала сигнала (нулевой позиции). Так как величина $\Delta < t_0$, то увеличение пропускной способности возможно, если число реализаций сигнала N на интервале (mt_0) больше 2^m . Можно показать, что при заданном s ($s = t_0/\Delta$) на интервале m единичных элементов мощность сигнального алфавита бинарных ТСК определяется как

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

$$C_m^i = \frac{m!}{i!(m-i)!}, \quad (2)$$

где i – число информационных ЗММ в сигнале. Среди разрешенных сигналов могут быть реализации с одним ЗММ, двумя, тремя и т.д. С максимальным числом моментов модуляции m возможна только одна реализация.

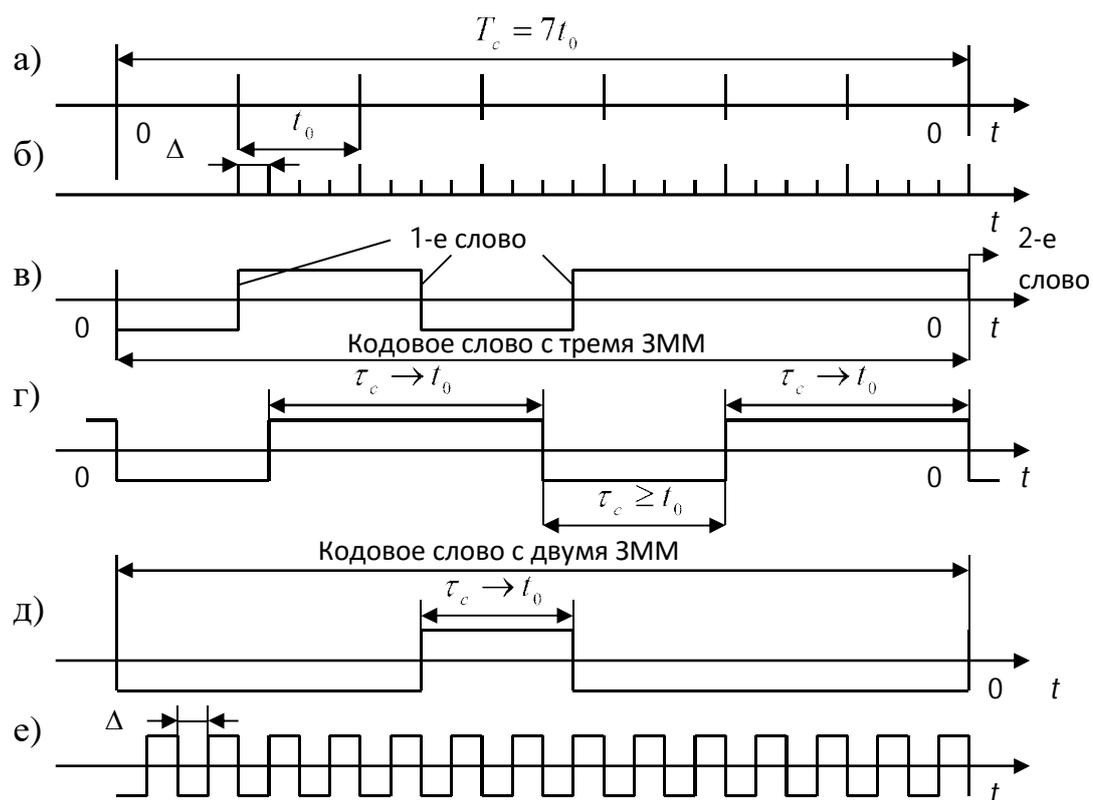


Рис. 1. Формирование сигнального алфавита бинарных ТСК на интервале времени $T_c = mt_0$ при базовом элементе Δ .

Для примера в табл. 1 приведено количество реализаций ТСК и среднее значение ЗММ для некоторых величин $T_c = mt_0 \cdot S$; $N = 2^m$.

Таблица 1

Количество реализаций ТСК и среднее значение ЗММ для некоторых величин $T_c = mt_0 \cdot S$; $N = 2^m$

S	$T_c = 3t_0,$ $N = 8$	$T_c = 4t_0,$ $N = 16$	$T_c = 5t_0,$ $N = 32$	$T_c = 6t_0,$ $N = 64$	$T_c = 7t_0,$ $N = 128$	$T_c = 8t_0,$ $N = 256$
2	12/1,67	33/2,15	88/2,67	232/3,21	609/3,75	1596/4,3
3	18/1,69	59/2,2	188/2,76	594/3,34	1872/3,96	5895/4,5
4	25/1,7	94/2,3	344/2,9	1251/3,52	4543/4,12	16000/4,72

Примечание. В числителе приведено количество реализаций ТСК, в знаменателе – среднее значение ЗММ.

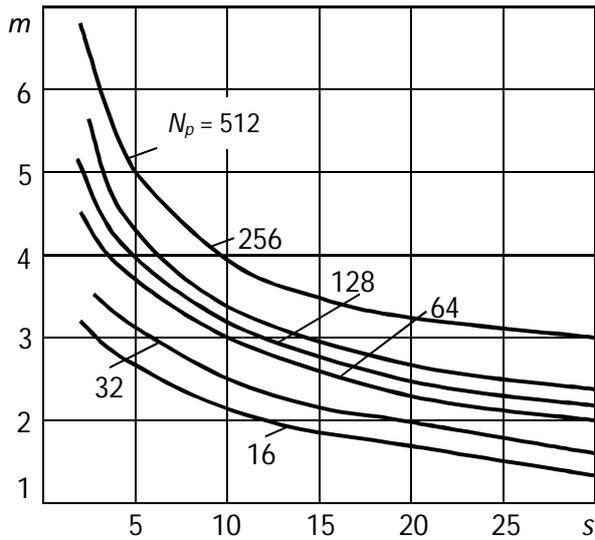


Рис. 2. Зависимости длительности сигнальной конструкции при заданной мощности кодового множества и параметра s

Как видно из табл. 1, на одном и том же вале T_c можно образовать большее количество ТСК, чем сигналов простого двоичного кода ($N = 2^m$). Следовательно, эффективная скорость передачи, т.е. количество передаваемой информации на интервале T_c увеличивается. Так как минимальное расстояние между ЗММ двух ближайших кодовых слов равно $\Delta < t_0$, а прием значащих моментов воспроизведения (ЗМВ) осуществляется методом анализа в отдельных зонах Δ то, естественно, вероятность ошибочного приема такого сигнала выше, чем элемента при разрядно-цифровом коде.

Из приведенной выше информации о методе формирования ТСК на m -элементном интервале времени T_c следует, что за счет значения $\Delta(S)$ одно и то же число реализаций можно получить на различных интервалах времени. Для примера на рис. 2 представлены зависимости длительности сигнальной конструкции при заданной мощности кодового множества и параметра s . Из этих зависимостей следует, что при $s \geq 2$ для получения $N_p = 2^m$ можно затратить время $\tau_c < m\tau_0$. При этом это неравенство тем сильнее, чем больше значение s . При работе по каналам с гауссовым шумом неточность ошибочного приема кодовой конструкции ТСК P_{oui} определяется величиной зоны Δ , среднеквадратичным отклонением ЗМВ, что в свою очередь зависит от соотношения сигнал/помеха, а также числом переходов в слове i

$$P_{oui} = 1 - \left[F\left(\frac{\Delta}{2\sigma}\right) \right]^{\bar{i}}, \quad (3)$$

где \bar{i} – среднее число ЗММ в кодовом слове,

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (4)$$

– интеграл вероятностей.

Среднее число переходов i в сигнальной конструкции можно представить как

$$\bar{i} = \sum_{n=1}^m \frac{n C_{ms-n}^2(s-1)}{C_{ms-n}^n(s-1)}. \quad (5)$$

Потери в канале за счет неопределенности в приеме кодовой сигнальной конструкции определяются как

$$H_n = - \left[p_B \log p_B + \left((1 - p_B) \log \frac{1 - p_B}{N_{p\Sigma-1}} \right) \right]; \quad (6)$$

$$p_b = \left[2F\left(\frac{\Delta}{2\sigma}\right) \right]^i, \quad (7)$$

где p_b – вероятность правильного приема сигнальной конструкции.

Учитывая, что с увеличением s растет не только $N_{p\Sigma}$, но и $P_{ош}$ для каждого канала можно определить свое значение Δ , при котором реализуется максимальная пропускная способность системы. При этом каждая из реализаций сигнала на интервале $T_c = mt_0$ представляет собой одну из реализаций ТСК. Так как значение пропускной способности C_m определяется числом реализаций сигналов с учетом потерь, то можно записать выражение для полученного количества информации на переданный один бит:

$$C_m = \frac{1}{m} [\log_2 N_{p\Sigma} - H_n], \text{ бит/с.} \quad (8)$$

На рис. 3 приведены зависимости пропускной способности каналов с различным

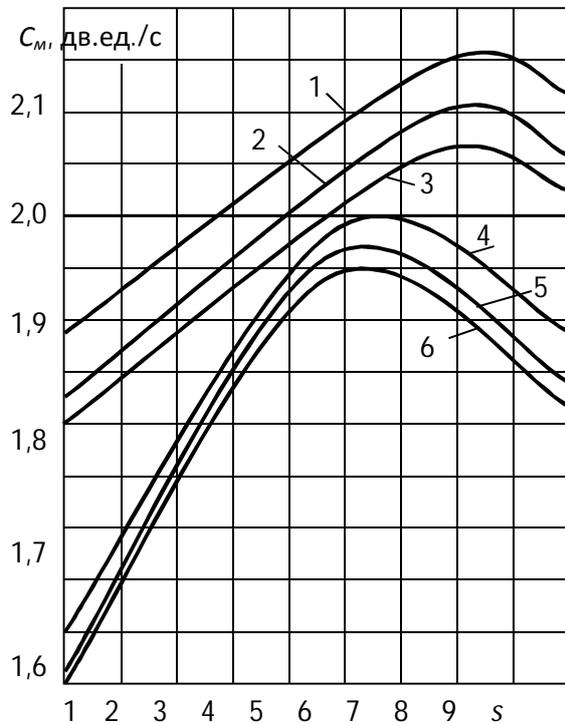


Рис. 3. Зависимости пропускной способности каналов с различным уровнем флуктуационных шумов

уровнем флуктуационных шумов (задано $h = u_c/u_n$ как функции s (кривые 1–3 для $h = 7,5$ и $m = 8, 6, 5$ соответственно, кривые 4–6 для $h = 5,5$ и $m = 8, 6, 5$ соответственно)). Из рис. 3 следует, что для каждого значения h имеется значение зоны, при котором C_m будут максимальными.

На практике оптимальное значение Δ_{opt} определяется среднеквадратичным отклонением σ_k , смещения фронта огибающей сигнала

$$\Delta_{opt} = (4 \div 5) \sigma_k; \quad \sigma_k = \frac{1}{4h}.$$

При этом подразумевается, что в канале используется частотная модуляция, для которой справедливо соотношение

$$\left. \begin{aligned} \sigma_k &= 1/4h; \\ h &= u_c/u_n. \end{aligned} \right\}$$

Из зависимостей на рис. 3 следует, что значение оптимальной величины зоны Δ определяется уровнем помех в канале h . Из рис. 3 видно, что в бинарном канале можно получить скорость, близкую к скорости при восьмипозиционных сигналах. Дополнительно пропускную способность при ТСК можно повысить на 25–30 % за счет использования сигнальных конструкций неравной длительности.

Такой подход к формированию сигналов позволяет обменивать верность передачи информации в «хорошем» состоянии канала на скорость (за меньшее время передачи T_c , передать больший объем информации, но с потерей качества).

Вместе с тем, для компенсации потерь помехоустойчивости и обеспечения необходимого качества передачи информации полученный выигрыш во времени можно использовать для формирования избыточности, необходимой для обеспечения заданной вероятности ошибки на переданный знак $p_{озн}$.

Для простоты реализаций приемных устройств целесообразно использовать конструкции равной длительности при $i = \text{const}$. В этом случае дробления легко обнаружить подсчетом числа переходов.

При необходимости передавать короткие блоки (в каналах со средней длительностью хорошего состояния, равной 8–12 элементам) можно построить ТСК, у которых ЗММ расположены на местах, удовлетворяющих определенным соотношениям:

$$A_1x_1 + A_2x_2 + \dots + A_nx_n = 0 \pmod{A_0}, \quad (9)$$

где x_i – места нахождения ЗММ в пределах сигнальных конструкций; A_i – целые числа, определяющие свойства разрешенных сигнальных конструкций.

Выводы

1. Пропускная способность канала при ТСК определяется разницей числа реализаций сигнальных конструкций на элемент Найквиста и потерь в канале за счет неопределенности в приеме каждой ТСК.
2. Максимальная скорость достигается при таком значении зоны Δ , когда прирост числа реализаций меньше потерь в канале за счет помех.

References:

1. Bokker P. *Data Transfer. Volume 1. Fundamentals. Moscow, Communications, 1980; 264.*
2. Zakharchenko NV, Nudelman PO. *Selecting equipment nodes data transfer. Part 1. Tutorial: Odessa Electrotechnical Institute of Communications A.S. Popov. Odessa, 1980; 92.*
3. Zakharchenko NV, Uleyev AP, Lipchansky AI. *The effectiveness of error correction offset systems with ROS-based MBC: Bulletin of the Kharkov Polytechnic Technical University. Kharkov, KhSPU, 1999, Issue 35; 85-91.*
4. Zakharchenko VN, Draganov AV, Grin AA. *The effectiveness of syndromic dynamic decoding of redundant signal designs ERM. ONAT A.S. Popov. Odessa, 2000, № 1; 61-66.*

