

УДК 621.396

Семенко А. И., д.т.н.

(Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев. +380 (50) 385 20 36. setel@ukr.net)

Хомич С. В., к.т.н.

(Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова. +380 (97) 636 22 64)

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Семенко А. И., Хомич С. В. Оцінка пропускної здатності телекомунікаційних систем. Одержані формули для чіткого визначення швидкості передачі дискретних амплітудно-маніпульованих відеосигналів через кабельну мідну пару, а також амплітудно-маніпульованих і фазоманіпульованих радіосигналів через кабельну мідну пару, волоконнооптичну лінію і радіоканал. Використання цих формул прийнятне за умови зневаги шумами в каналі, коли відношення сигнал/шум складає 10 дБ і більш. Відзначається, що під впливом перешкод реальна пропускна здатність телекомунікаційної системи зменшується через втрати частини кількості інформації, викликані невизначеністю отриманого приймачем повідомлення від джерела.

Ключові слова: телекомунікаційна система, пропускна здатність, амплітудно-маніпульований сигнал, фазоманіпульований сигнал, завада

Семенко А. И., Хомич С. В. Оценка пропускной способности телекоммуникационных систем. Получены формулы для четкого определения скорости передачи дискретных амплитудно-манипулированных видеосигналов через кабельную медную пару, а также амплитудно-манипулированных и фазоманипулированных радиосигналов через кабельную медную пару, волоконнооптическую линию и радиоканал. Использование данных формул приемлемо при условии пренебрежения шумами в канале, когда отношение сигнал/шум составляет 10 дБ и более. Отмечается, что под воздействием помех реальная пропускная способность телекоммуникационной системы уменьшается из-за потери части количества информации, вызванной неопределенностью полученного приемником сообщения от источника.

Ключевые слова: телекоммуникационная система, пропускная способность, амплитудно-манипулированный сигнал, фазоманипулированный сигнал, помеха

Semenko A. I., Khomych S. V. Estimation of the telecommunication systems capacity. The formulas for the clear definition of the discrete amplitude manipulated video signals transmission through the cable copper pair, and also amplitude manipulated and phase manipulated radio signals through the cable copper pair, optic cable and radio channel are obtained. The usage of the given formulas is acceptable on the conditions of noise neglection in the channel, when the signal to noise ratio is 10 dB or more. It is noted that under the influence of interference real telecommunication system bandwidth decreases due to the loss of the amount of information by the receiver caused by the uncertainty of the message, which was send by transmitter.

Keywords: telecommunication systems, bandwidth, amplitude manipulated signal, phase manipulated signal, noise

Введение. При проектировании телекоммуникационных систем (ТКС) основной задачей является обеспечение необходимой пропускной способности систем C , которая характеризует скорость передачи информации по каналу связи. Это количество информации I , которую можно передать за время T [1]

$$C = \frac{I}{T}. \quad (1)$$

Представляет интерес оценки пропускной способности при различном подходе к определению ширины спектра сигнала и полосы пропускания канала.

Исследование пропускной способности ТКС. В 1928 г. американский инженер Р. Хартли [1, 2] предложил формулу, которая определяет количество информации, содержащееся в источнике сообщений, с количеством возможных амплитудных уровней двоичного сигнала M (состояний, кодовых слов, кодовых сигнальных конструкций и т.п.) в случае равновероятных событий генерации каждого из них

$$I = \log M = \log (1/p) = -\log p \text{ [бит]}, \quad (2)$$

где p – вероятность генерации уровней сообщения.

Учитывая, что $M = 2^n$ (n – количество разрядов двоичного сигнала), при условии двух возможных состояний $M = 2$ (двоичный сигнал) количество информации можно оценить как $I = \log 2 = 1$ бит (эквивалентно $p=0,5$).

Из формул (1), (2) и учитывая (4) получим выражение для скорости передачи дискретного сигнала C , которым аппроксимируется аналоговый сигнал согласно теореме В. О. Котельникова без учета шума [3]:

$$C = (1/T) \log M = 2\Delta F \log M \quad [\text{бит/с}], \quad (3)$$

где T – интервал следования импульсов:

$$T = 1/2\Delta F; \quad (4)$$

ΔF – ширина спектра аналогового сигнала (практически равняется верхней частоте аналогового сигнала).

Выражение (3) известно как формула Г. Найквиста, которую в литературе рекомендуют использовать для определения пропускной способности системы при ширине полосы частот канала $\Delta F_k = \Delta F$. При этом отсутствует четкое объяснение физического смысла параметра ΔF . Поэтому использование этой формулы для практического определения скорости передачи импульсного многопозиционного амплитудно-манипулированного видеосигнала через медную кабельную пару с физической точки зрения является неудобным.

Известно [4], что практическая ширина спектра импульсного видеосигнала продолжительностью τ будет

$$\Delta f_b = 1/\tau. \quad (5)$$

Тогда скорость передачи видеосигнала через канал связи в виде двухпроводной медной линии (однополосный сигнал) с учетом (5) можно выразить следующей формулой [6]:

$$C_1 = (\log M)/\tau(1+r) = \Delta f_b \log M / (1+r) \quad [\text{бит/с}], \quad (6)$$

где r – коэффициент сглаживания фильтра.

Величина τ рассматривается как Найквистовый интервал, прием которого осуществляется практически без межсимвольной интерференции [4].

Практическая ширина спектра импульсного радиосигнала продолжительностью τ при амплитудной и фазовой манипуляции сигнала несущей частоты (двухполосный сигнал) будет [4]

$$\Delta f_p = 2/\tau. \quad (7)$$

Тогда скорость передачи радиосигнала канала с шириной полосы пропускания $\Delta f_k = \Delta f_p$ с учетом (7) можно выразить формулой [6]

$$C_2 = (2 \log M)/\tau(1+r) = (\Delta f_p \log M) / (1+r) \quad [\text{бит/с}]. \quad (8)$$

Для наиболее эффективного использования канала выбирают $r=0$, пренебрегая некоторым увеличением межсимвольной интерференции в связи с повышением чувствительности к ошибкам синхронизации [5].

Тогда формулы (6) и (8) примут вид

$$C_1 = (1/\tau) \log M = \Delta f_b \log M \quad [\text{бит/с}]. \quad (9)$$

$$C_2 = (2/\tau) \log M = \Delta f_p \log M = 2\Delta f_b \log M \quad [\text{бит/с}]. \quad (10)$$

Очевидно, что пропускная способность системы при передаче радиосигналов длительностью τ будет в 2 раза большей, учитывая использование в 2 раза большей необходимой полосы пропускания радиоканала.

При условиях использования фильтра с характеристикой приподнятого косинуса (в передатчике и приемнике корень квадратный с приподнятого косинуса) будет осуществляться передача сигнала практически с приемлемой межсимвольной интерференцией [4].

Следует отметить, что в классической системе с импульсно-кодовой модуляцией в канал связи передается импульсная последовательность продолжительностью импульсов τ , которая представляет собой код квантуемых по амплитуде аппроксимирующих аналоговый сигнал по теореме В. А. Котельникова импульсов с периодом T .

Для последовательности амплитудно-манипулированных импульсов, которые содержат M позиций с продолжительностью элементарного импульса τ при длине слова (кадра) T (Рис. 1) количество информации можно определить по формуле [5]

$$I = \frac{T}{\tau} \log M = T \Delta f_b \log M \text{ [бит]}. \quad (11)$$

Тогда из формул (11) и (1) получим скорость передачи многопозиционного амплитудно-манипулированного импульсного видеосигнала с практической шириной спектра Δf_b в канале связи на основе медных линий, полоса пропускания которого $\Delta f_k = \Delta f_b$ [4, 6]

$$C_1 = (1/\tau) \log M = \Delta f_b \log M \text{ [бит/с]}. \quad (12)$$

Скорость передачи многопозиционного амплитудно-манипулированного и фазоманипулированного импульсного радиосигнала с практической шириной спектра Δf_p в канале на основе кабельной медной пары, волоконнооптической линии и радиоканале, полоса пропускания которого $\Delta f_k = \Delta f_p$, будет [4, 6]

$$C_2 = (2/\tau) \log M = \Delta f_p \log M = 2 \Delta f_b \log M \text{ [бит/с]}. \quad (13)$$

Очевидно, что формулы (9, 10) совпадают с полученными по другой методике формулами (12, 13), что подтверждает их достоверность.

Для двоичного сигнала формулы (12) и (13) примут вид

$$C_1 = (1/\tau) n = \Delta f_b n \text{ [бит/с]}, \quad (14)$$

$$C_2 = (2/\tau) n = \Delta f_p n = 2 \Delta f_b n \text{ [бит/с]}. \quad (15)$$

Важной характеристикой ТКС является их спектральная эффективность

$$S = C/\Delta f \text{ [бит/с*Гц]}. \quad (16)$$

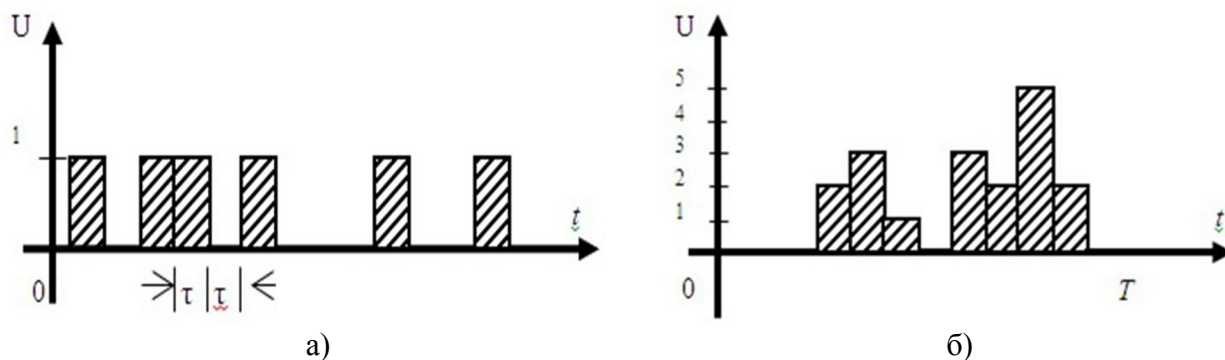


Рис. 1. Виды импульсных последовательностей:

- а) стандартная двоичная последовательность импульсов с одинаковыми амплитудами;
- б) последовательность импульсов, амплитуды которых принимают одно из M значений

Тогда спектральную эффективность ТКС для рассматриваемых двух случаев при использовании двоичного сигнала получим из формул (14-16):

$$S_1 = C_1/\Delta f_b = n \text{ [бит/с*Гц]},$$

$$S_2 = C_2/\Delta f_p = n \text{ [бит/с*Гц]}.$$

Формула (13) в виде

$$C = 2\Delta f_b \log M \text{ [бит/с]}$$

аналогична классической формуле Г. Найквиста для пропускной способности канала.

Однако формулой (13) можно воспользоваться для определения скорости передачи импульсного многопозиционного амплитудно-манипулированного и фазоманипулированного радиосигналов (двухполосных сигналов) при передаче их по кабельной медной паре, волоконнооптической линии и радиоканалу с шириной полосы пропускания канала $\Delta f_k = \Delta f_p = 2\Delta f_b$ при использовании не фактической практической ширины спектра передаваемого в канал радиосигнала Δf_p , а расчетной величины практической ширины спектра видеосигнала Δf_b .

В связи с неопределенностью полученного приемником сообщения от источника из-за воздействия помех будет иметь место потеря части информации $I_{\text{пот}}$ [3, 7, 8], то есть реальное количество верной информации, принятой приемником, будет меньшим

$$I = \log M - I_{\text{пот}} \text{ [бит]}.$$

Тогда и скорость передачи информации будет уменьшаться;

$$C = (1/T) (\log M - I_{\text{пот}}) \text{ [бит/с]}.$$

Реальная скорость передачи многопозиционного амплитудно-манипулированного и фазоманипулированного импульсного радиосигнала при длительности бита τ и практической шириной спектра сигнала $\Delta f_{\text{пр}} = 2/\tau$ в канале на основе кабельной медной пары, волоконнооптической линии и в радиоканале, полоса пропускания которых $\Delta f_k = \Delta f_{\text{пр}}$, при наличии помех в канале будет

$$C_2 = (2/\tau) (\log M - I_{\text{пот}}) \text{ [бит/с]}. \quad (17)$$

В общем случае $I_{\text{пот}}$ зависит от числа позиций сигнала и интенсивности воздействия помех [8, 9]

$$I_{\text{пот}} = - \left[p_0 \log_2 p_0 + (1 - p_0) \log_2 \frac{p_0}{M - 1} \right],$$

где p_0 – вероятность возникновения ошибки.

В стационарных каналах связи характер потерь тесно связан с вероятностью ошибок p_0 , которая характеризуется нормальным законом распределения вероятности случайной величины и может быть определена по формуле [5, 8, 9]

$$p_0 = 1 - 2\Phi \left(\frac{z_p}{\sigma} \right),$$

где Φ – функция ошибок; z_p – величина исправляющей способности системы; σ – среднеквадратическое значение мощности помехи.

Для определения реальной пропускной способности телекоммуникационной системы при наличии помех в соответствии с формулой (17) необходимо провести исследования и найти значение потерь информации в данной системе, вызванной воздействием помех.

Выводы

1. Полученная формула (3) совпадает с формулой Г. Найквиста для определения пропускной способности канала при отсутствии шумов. В данной формуле ширина полосы пропускания канала не связана с практической шириной спектра импульсного сигнала. Поэтому использование формулы для определения скорости передачи импульсного многопозиционного амплитудно-манипулированного видеосигнала по кабельной медной паре с физической точки зрения является неудобным.

2. Полученные формулы (9, 12) позволяют четко определить скорость передачи импульсного многопозиционного амплитудно-манипулированного видеосигнала по кабельной медной паре, то есть определить пропускную способность канала при передаче данного сигнала в условиях отсутствия шумов, когда практическая ширины спектра сигнала и ширина полосы пропускания канала равны.

3. Полученные формулы (10, 13) позволяют четко определить скорость передачи импульсного многопозиционного амплитудно-манипулированного и фазоманипулированного радиосигналов (двухполосных сигналов) при передаче их по кабельной медной паре, волоконнооптической линии и радиоканалу, то есть определить пропускную способность каналов при передаче данного сигнала в условиях отсутствия шумов, когда практическая ширины спектра сигнала и ширина полосы пропускания канала равны.

4. Использование формул (9, 10, 12, 13) приемлемо для определения скорости передачи сигналов в телекоммуникационных системах при условии пренебрежения шумами в канале, когда отношение сигнал/шум составляет 10 дБ и более.

5. Под воздействием помех реальная пропускная способность телекоммуникационной системы уменьшается из-за потери части количества информации, вызванной неопределенностью полученного приемником сообщения от источника.

Литература

1. Лев А. Ю. Теоретические основы многоканальной связи. / А. Ю. Лев. – Москва : Связь, 1978. –189 с.
2. Hartley, R.V.L., "Transmission of Information", Bell System Technical Journal, July 1928, pp. 535–563.
3. Котельников В. А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи – Всесоюзный энергетический комитет / В. А. Котельников // Материалы к Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1933.
4. Скляр Б. Цифровая связь / Б. Скляр. – Москва, Санкт-Петербург, Киев : Вильямс, 2004. – 1104 с.
5. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы / И. С. Гоноровский. – Москва : Радио и связь, 1994. – 480 с.
6. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети / В. Столлингс. – Москва, Санкт-Петербург : Вильямс, 2003 – 639 с.
7. Захарченко М. В. Системы передавання даних. – Т.1: Завадостійке кодування: підручник [для студ. вищ. техн. навч. закл.] / М. В. Захарченко. – Одеса «Фенікс», 2009. – 448 с.
8. Элементы теории передачи дискретной информации ; под ред. Л. П. Пуртова. – Москва : Связь, 1972. – 232 с.
9. Хомич С. В. Характер спотворень сигналів ТСК в стаціонарних і нестаціонарних каналах зв'язку / С. В. Хомич, К. О. Осадчук, Ю. В. Белова // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – Вип. 645. – С. 103-107.