

УДК 621.396

В.Б. Швайченко, канд. техн. наук, В.Н. Бакико, В.В. Пилинский, канд. техн. наук, Шахрияр Шалилех

Анализ влияния разных видов модуляции на спектральный состав кондуктивных помех

Проанализированы основные особенности электромагнитной совместимости при использовании в телекоммуникационных системах разных типов модуляции. Разработаны модели M-FSK, M-PSK модуляции и демодуляции. По результатам моделирования приведены рекомендации по выбору оптимальных параметров методов модуляции и демодуляции для обеспечения критерия помехоустойчивости.

The basic features of electromagnetic compatibility are analysed at use in telecommunication systems of different types of modulation. Models M-FSK, M-PSK modulations and demodulations are developed. By results of modelling recommendations for choice optimum parameters of methods of modulation and demodulation for maintenance of criterion of a noise-immunity are indicated.

Ключевые слова: модуляция, электромагнитная совместимость, сеть, помеха, фильтр.

Введение

Развитие современных систем обработки и передачи звуковой информации неразрывно связано с телекоммуникационными системами, которые работают в ограниченной частотной области и в условиях постоянного влияния разного рода помех, как кондуктивного характера, так и излучений. Следует отметить, что в каналах передачи информации полезные сигналы одних телекоммуникационных систем создают помехи для других систем связи [1].

Для разработки новых систем, которые могут эффективно использовать ограниченный частотный ресурс при низких мощностях передачи, целесообразно провести анализ особенностей электромагнитной обстановки при использовании разных типов модуляции. Критерием оценки является помехозащищенность канала передачи.

Эта цель требует, во-первых определить основные источники и приемники электромагнитных помех, проанализировать влияния характера помехи, вида цифровой манипуляции, особенностей процедур демодуляции на помехозащищенность телекоммуникационного канала. Во-вторых, особое внимание необходимо обратить на зависимости между отношением

сигнал-шум и частотой появления битовой ошибки. Решение поставленных задач возможно с помощью моделирования процессов передачи информации по каналу связи, подверженному влиянию разных типов помех, с последующим анализом результатов и разработкой рекомендаций по выбору типа и параметров модуляции и обеспечения электромагнитной совместимости звукотехнических систем в телекоммуникационных сетях.

1. Особенности источников и приемников электромагнитных помех

Любая звукотехническая система в телекоммуникационной сети участвует в процессе соединения абонентов на время передачи сообщения и последующего их разъединения независимо от способов и средств осуществления этого соединения. В этот комплекс входят следующие узлы и устройства, которые также могут быть источником и приемником электромагнитных помех:

- оборудование ввода кабельных (или воздушных) линий – абонентских и соединительных (кабельные шахты);
- устройства защиты линий от грозовых разрядов и перенапряжений;
- устройства, позволяющие производить переключения этих линий (кросс), а также соединения и разъединения абонентов (коммутатор);
- устройства энергоснабжения и электропитания.

Представление информации в цифровой форме, то есть в виде последовательности символов с малым числом разрешенных уровней (обычно не более трех) и детерминированной частотой следования, позволяет осуществлять регенерацию (восстановление) этих символов при передаче их по линии связи, что резко снижает влияние помех и искажений на качество передачи информации [2]. Цифровые методы передачи весьма эффективны при передаче звуковой информации [3].

2. Критерий выбора вида модуляции как компромисс между полосой и мощностью

К системам с ограниченной полосой пропускания относят, например, сотовую связь, систе-

мы передачи звуковой информации по низковольтной электрической сети, транкинговые системы, для которых характерны небольшие скорости передачи данных. Для таких систем используют модуляцию типа GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying – Гауссовская частотная модуляция с минимальным сдвигом), когерентную M-PSK (Multiple Phase Shift Keying – M-арная фазовая манипуляция) и когерентную M-QAM (Multiple Quadrature Amplitude Modulation – M-арная квадратурная амплитудная модуляция).

Полосу частот, занимаемую модулированным сигналом в таких системах, можно определить по выражению [4]:

$$\Delta F = \frac{1}{T_s} = R_s, \quad (1)$$

где T_s – время символьного интервала; $R_s = R/\log_2 M$ – скорость передачи символов, R – скорость передачи данных, M – величина M-арного алфавита.

Моделирование в среде Matlab показывает, что полоса частот, занимаемая сигналом, модулированным с помощью M-PSK и M-QAM, зависит не от плотности сигналов в группе M , а от скорости передачи сигналов R_s (рис. 1). Для систем с ограниченной мощностью, где нет ограничения на полосу частот, но существует нехватка мощности (например, системы персональной спутниковой связи), вариантом выбора модуляции может быть M-FSK (Multiple Frequency Shift Keying – M-арная частотная манипуляция). Полоса частот, занимаемая модулированным сигналом, в таких системах определяется выражением:

$$\Delta F = \frac{M}{T_s} = MR_s. \quad (2)$$

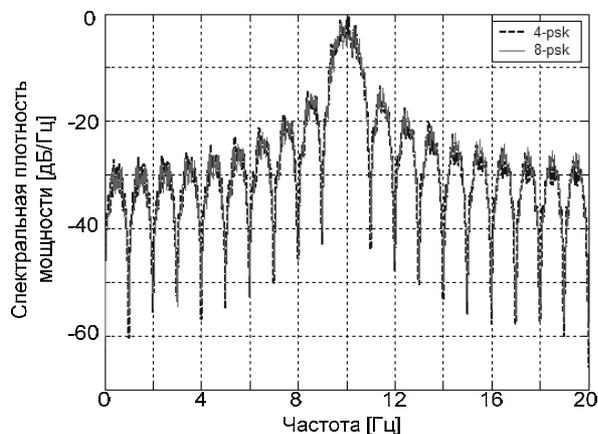


Рис. 1. Спектр сигнала на выходе M-PSK модулятора

Таким образом, при использовании M-FSK модуляции полоса частот, которую занимает сигнал, в M раз больше по сравнению с бинарной FSK, так как существует M разных ортогональных сигналов [5], каждому из которых необходима полоса частот шириной $1/T_s$ (рис. 2).

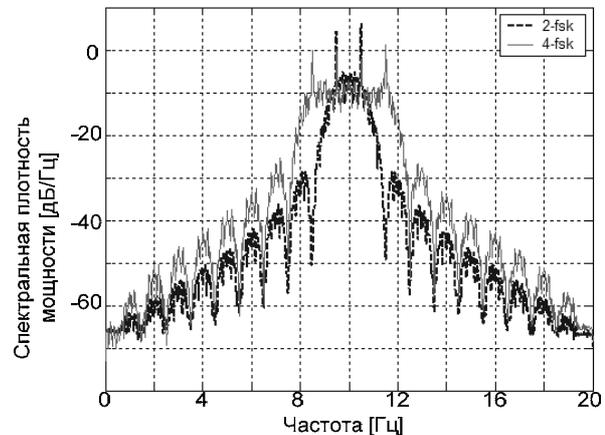


Рис. 2. Спектр сигнала на выходе M-FSK модулятора

На рис. 2 показано, что спектр M-FSK сигнала имеет основной лепесток и медленно убывающие боковые лепестки. Увеличение размерности M-арного алфавита в два раза приводит к увеличению ширины полосы частот, занимаемую основным лепестком, и к росту уровня боковых лепестков на 10 дБ (рис. 2), что негативно сказывается на электромагнитной обстановке в канале связи. При этом M-FSK модуляция позволяет, не меняя мощности сигнала, увеличить его энергию за счет увеличения длительности, что дает дополнительные возможности в построении помехоустойчивых систем связи.

При проектировании телекоммуникационных систем необходимо обращать внимание не только на помехоустойчивость системы, где важной характеристикой является вероятность появления битовой ошибки, но и находить компромисс между эффективностью использования частотного ресурса и мощностью передаваемого сигнала, минимизируя его вклад в существующую электромагнитную обстановку.

3. Помехоустойчивость M-PSK модуляции

Поскольку вероятность появления битовой ошибки определяет помехоустойчивость телекоммуникационной системы, то проведем анализ фазовой манипуляции. Получены зависимости частоты появления ошибочных битов (BER – Bit Error Rate) от отношения сигнал/шум (SNR – Signal-to-noise ratio) (рис. 3).

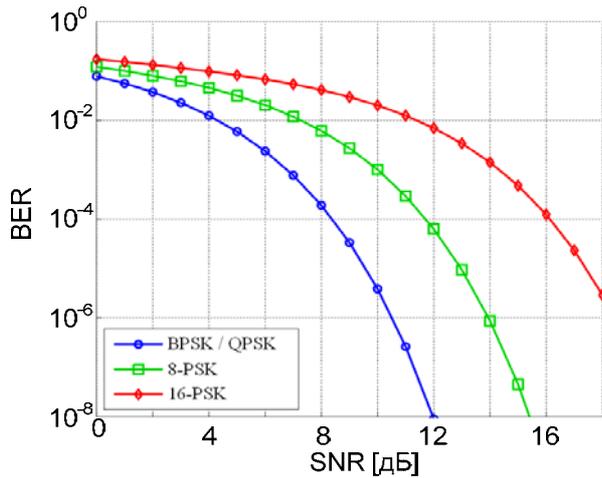


Рис. 3. Эффективность помехоподавления M-PSK

Двоичная фазовая манипуляция (BPSK — Binary Phase-Shift Keying) — самая простая форма фазовой манипуляции. Как следует из результатов моделирования, представленных на рис. 3, она является самой помехоустойчивой из всех видов M-PSK, то есть при использовании бинарной PSK вероятность ошибки при приеме данных наименьшая. Однако каждый символ несет только 1 бит информации, что обуславливает наименьшую в этом методе модуляции скорость передачи информации. Следует отметить, что при когерентном детектировании вероятность ошибки на бит для квадратурной PSK манипуляции (QPSK — Quadrature Phase Shift Keying или 4-PSK) такая же, как и для BPSK.

4. Влияние электромагнитной обстановки на M-FSK сигналы

Моделирование процесса детектирования FSK сигналов при воздействии на полезный сигнал разного типа помех проводилось в среде Matlab.

Среди методов демодуляции FSK выделяют две основные категории [4]:

- демодуляция на основе частотного детектора;
- демодуляция на основе фильтров.

Классический демодулятор на основе полосовых фильтров является оптимальным для когерентной FSK в условиях помех в виде белого гауссовского шума [4].

На рис. 4 приведена зависимость частоты появления ошибочных битов (BER) от отношения сигнал/шум (SNR) при влиянии белого шума на канал передачи информации.

При попадании, например, узкополосной помехи в полосу пропускания фильтров помехозащищенность резко снижается, когда уровень шума достигает значения уровня FSK сиг-

нала. На рис. 5 показана зависимость частоты появления ошибочных битов от частоты узкополосной помехи при ее уровнях 0.5 В и 1 В. При этом уровень FSK сигналов равен 1 В.

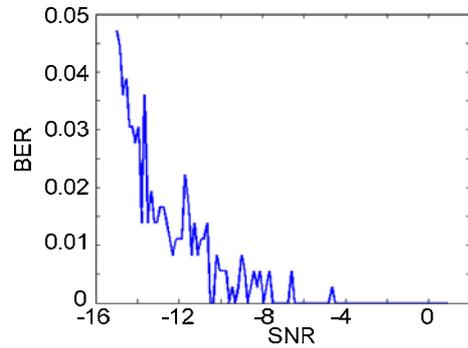


Рис. 4. Оценка влияния белого гауссовского шума

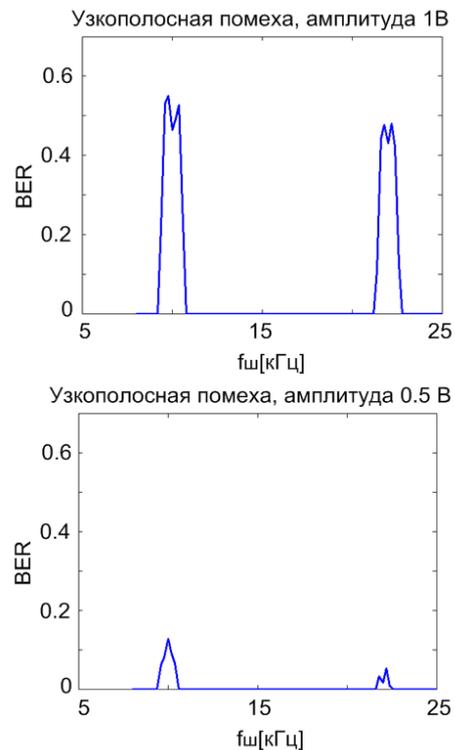


Рис. 5. Оценка влияния узкополосной помехи

Аналогично влияние импульсной помехи описывают такими важными параметрами, которые влияют на помехозащищенность, как коэффициент заполнения и уровень. На рис. 6 приведены зависимости частоты появления ошибочных битов от коэффициента заполнения импульсной помехи при разных амплитудах.

Чем выше уровень и чем больше коэффициент заполнения помехи, тем больше количество ошибок при передаче информации и тем менее устойчив канал передачи к влиянию данного типа помехи.

Если полоса пропускания слишком широкая, то будет восприниматься излишняя энергия шумовых помех. Если же полоса пропускания слишком узкая, то возникают межсимвольные

помехи. При анализе фильтров с нормализованной полосой пропускания, полученной умножением полосы пропускания по уровню -3 дБ (В) на длину элемента можно изобразить одиночную кривую качества фильтра для каждой формы АЧХ, не зависящую от скорости передачи данных. На рис.7 показаны зависимости нормализованной полосы пропускания от отношения сигнал/шум для постоянной вероятности ошибки в условиях белого шума. Оптимальная нормализованная полоса пропускания для каждого фильтра находится в точке минимума отношения сигнал/шум [6].

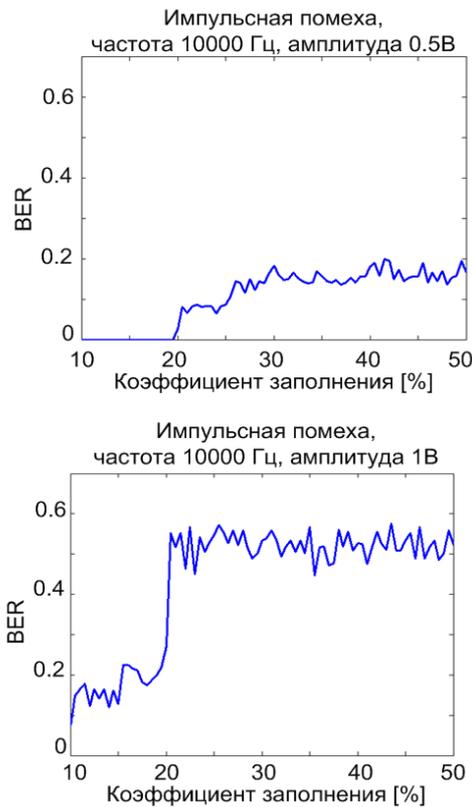


Рис. 6. Оценка влияния импульсной помехи

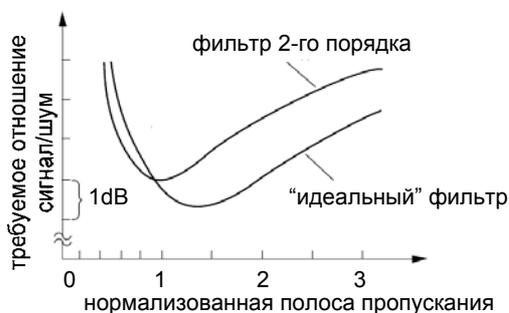


Рис. 7. Кривые для систематической ошибки для двух типов FSK фильтров

Моделирование в среде Matlab позволило оценить зависимость частоты появления ошибочных битов от отношения сигнал/шум (SNR) при разных скоростях передачи информации в канале с белым гауссовским шумом (рис. 8).

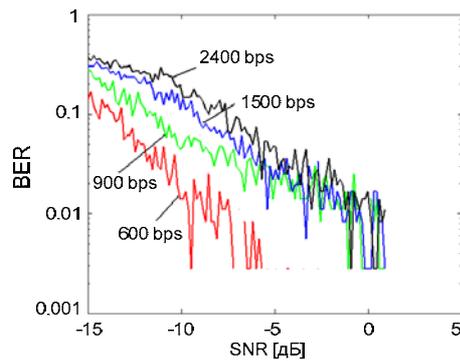


Рис. 8. Зависимость BER от SNR при разных скоростях передачи информации

На рис. 8 показано, что увеличение скорости передачи информации ухудшает помехозащищенность канала передачи.

5. Спектр FSK сигнала в канале передачи

Минимальная длительность условия mark или space называют длиной элемента. Типовое значение длины элемента лежит между 5 и 22 мс, однако, может использоваться длина элемента меньшая, чем 1 мкс, или большая, чем 1 с. Используемая полоса частот должна «умещаться» в используемом канале передачи, при условиях распространения сигнала в ВЧ каналах обычно требуют длину элемента, большую 0.5 мс.

Для передачи информации по сети электропитания частотой 50 Гц 220 В нужно использовать следующие параметры бинарной FSK модуляции $f_{mark} = 10$ кГц, $f_{space} = 22$ кГц, $A_{mark} = A_{space} = 1$ В. Частоты сигналов «mark» и «space» разнесены на 12 кГц. Такой сдвиг исключает возможность взаимного влияния несущих сигналов друг на друга даже при скоростях передачи 2400 бит/с (рис.11). Анализ был проведен для разных скоростей.

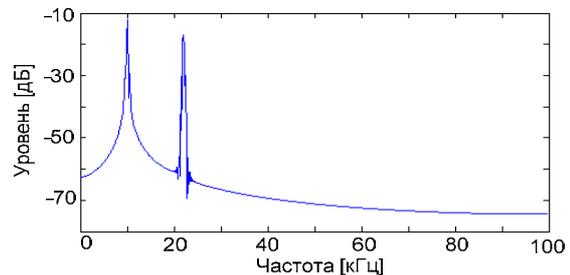


Рис. 9. Скорость передачи 600 бит/с

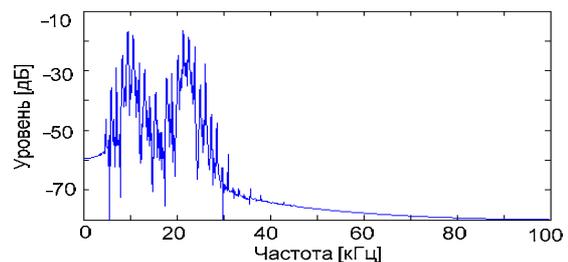


Рис. 10. Скорость передачи 2400 бит/с

Аналогичные зависимости были получены и для других видов модуляции.

Выводы

Учет вида модуляции полезного сигнала, скорости передачи и характера помех в канале связи позволяет улучшить электромагнитную совместимость телекоммуникационных систем.

Важным параметром является уровень помехи, независимо от ее типа и способа демодуляции сигнала. Полученные спектральные характеристики показывают, что на минимальной скорости передачи уровень кондуктивных помех в канале существенно (до 20 дБ) уменьшается.

Литература

1. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Г.С. Векслер, В.С. Недочетов, В. В. Пилинский и др.— К.: Тэхника, 1990. — 167 с.
2. *Конюхова Е.А.* Электроснабжение объектов. — М.: Изд. центр "Академия", 2004. — 320 с.
3. *Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г.* Сети связи. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010, - 400 с.
4. *Бакіко В.М., Попович П.В., Швайченко В.Б.* Особливості каналного кодування сучасних стандартів мобільного зв'язку// *Електроника и связь. Тем. Вып. "Проблемы электроники" Часть 2.* — 2006. — с.99 — 104.
5. *Скляр Бернард.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. — 1104 с.
6. *Bob Watson FSK: signals and demodulation* [Electronic resource]// *Watkins-Johnson Company* — Mode of access: WWW.URL: www.wj.com — Last access: 2011. - Title from the screen.

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*