

ПОДВИЖНАЯ СВЯЗЬ

УДК 621.396.67

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВИДА МОДУЛЯЦИИ
ДЛЯ СИСТЕМ КОРПОРАТИВНОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

А.М. Шингарев, аспирант НГТУ

А.В. Микушин, доцент СибГУТИ, к.т.н.

Введение. Развитие современных систем связи различного назначения влечет за собой использование большого количества стационарных и мобильных радиоэлектронных средств. Наряду с мобильными системами общего пользования — сотовыми системами, в настоящее время активно развиваются профессиональные — корпоративные (ведомственные) мобильные системы связи, позволяющие работать как в обычном режиме, так и в экстремальных ситуациях, например, при выходе из строя или отсутствии на заданной территории систем сотовой связи.

Основными параметрами мобильных средств связи являются уровень внеполосного излучения и электромагнитная совместимость с радиосредствами на соседних каналах. Поэтому исследование различных видов модуляции, обеспечивающих минимальную полосу рабочих частот, — актуальная и практически полезная задача.

При построении систем цифровой радиосвязи могут преследоваться три различных цели: занимать в эфире как можно меньший диапазон частот, получить наиболее экономичный приемопередатчик, построить наиболее доступную по цене систему цифровой радиосвязи.

Важной характеристикой канала передачи данных является его полоса частот. Цифровые модулированные данные с резкими переходами из нуля в единицу и из единицы в ноль приводят к спектру с богатым содержанием гармоник, что неприемлемо для радиосигнала. Следовательно, предпочтительны виды цифровой модуляции, занимающие минимальную полосу частот.

С этой точки зрения представляет интерес семейство видов модуляции, называемое сигналами с непрерывной фазой (Continuous Phase Modulation, CPM), которые минимизируют спектр передаваемого сигнала за счет исключения разрыва фазы. Изменение состояния сигналов с непрерывной фазой характеризуется плавным изменением фазы и частоты, в то время как амплитуда несущей остается постоянной, т. е. это фазовая (ФМ) или частотная модуляция (ЧМ).

Для решения проблемы частотного ресурса требуется применять сигналы с минимальной полосой. Поэтому необходимо обеспечить минимальный разнос частот при использовании несущего колебания с частотной модуляцией.

Математическое описание сигнала MSK. При реализации цифрового радиоканала для повышения помехоустойчивости приема ЧМ сигнала необходимо, чтобы отрезки синусоид, соответствующие разным символам, были не коррелированы между собой. При этом типе модуляции полезный сигнал формируется из отрезков двух синусоид:

$$S_1(t) = \cos(\omega_1 t); \quad S_2(t) = \cos(\omega_2 t),$$

где сигнал S_1 используется для передачи логического нуля, а сигнал S_2 — для передачи логической единицы.

Отсутствие корреляции между сигналами $x(t)$ и $y(t)$ определяется выражением:

$$\int_0^T x(t)y(t)dt = 0. \quad (1)$$

Подставив сигналы посылок для частотной модуляции в (1) и выполнив соответствующее интегрирование, получим формулу для ЧМ сигналов с нулевой взаимной корреляцией:

$$\frac{\sin(\omega_1 - \omega_2)T}{2(\omega_1 - \omega_2)} + \frac{\sin(\omega_1 + \omega_2)T}{2(\omega_1 + \omega_2)} = 0. \quad (2)$$

Анализ выражения (2) показывает, что при выборе частот передачи нуля и единицы таким образом, что разнос частот $f_d = k/(2T)$, взаимная корреляция этих сигналов будет равна нулю. Минимальный разнос частот при этом будет $1/2T$. Модуляция с таким разномом частот передачи нуля и единицы получила название MSK.

ЧМ сигнал с непрерывной фазой может быть записан в виде:

$$e(t) = A \sum_{-\infty}^{+\infty} \cos[\omega_c t + \phi_c + K S_n \frac{t}{2T}]. \quad (3)$$

В (3) пиковая девиация частоты генератора, управляемого напряжением, определяется коэффициентом пропорциональности K . Найдем связь между коэффициентом K и разномом частот передачи нуля и единицы. Для этого запишем коэффициент пропорциональности в виде:

$$K = 2\pi f_d T,$$

где $f_d = |f_2 - f_1|$ — разность частот передачи нуля и единицы; T — длительность передачи одного символа.

Произведение $f_d T$ обычно называется индексом модуляции h . Подставив $K = 2\pi h$ в (3), получим

$$e(t) = A \sum_{-\infty}^{+\infty} \cos[2\pi f_c t + \phi_c + \frac{\pi h S_n}{T} t]. \quad (4)$$

В случае формирования сигнала с MSK индекс модуляции $h = 0,5$, т. е. выражение (4) примет вид:

$$e(t) = A \sum_{-\infty}^{+\infty} \cos[2\pi(f_c t + \frac{S_n}{4T})t + \phi_c].$$

Отсюда можно определить частоту передачи единицы ($S_n = +1$). При этом несущее колебание сдвигается вверх по частоте на величину $1/4T$:

$$f_2 = f_c + \frac{1}{4T}. \quad (5)$$

Точно так же определяется частота передачи нуля ($S_n = -1$). При этом несущее колебание сдвигается на величину $1/4T$ вниз по частоте:

$$f_1 = f_c - \frac{1}{4T}. \tag{6}$$

Выражения (5) и (6) обращают в нуль первую составляющую уравнения (2), так как:

$$f_2 - f_1 = \frac{1}{2T} \Leftrightarrow \omega_2 - \omega_1 = \frac{\pi}{T} \Rightarrow \Rightarrow \frac{\sin(\omega_1 - \omega_2)T}{2(\omega_1 - \omega_2)} = \frac{\sin \frac{\pi}{T} T}{2 \frac{\pi}{T}} = 0. \tag{7}$$

Определим, каким должно быть значение несущей частоты для получения нулевого значения взаимной корреляции между сигналами. Для этого запишем выражение для несущей частоты MSK сигнала:

$$\omega_c = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}. \tag{8}$$

Подставив (7) и (8) в уравнение (2) и решив его относительно несущей частоты MSK, получим:

$$\omega_c = \frac{k\pi}{2T}, \tag{9}$$

где k — целое число.

Выражение (9) означает, что модуляция MSK является синхронным форматом передачи данных. Это обусловлено тем, что несущая частота MSK сигнала жестко синхронизирована с модулирующим сигналом. В результате на приемном конце можно из несущего колебания выделить частоту синхронизации передаваемых символов.

Частотная модуляция с MSK позволяет уменьшить ширину полосы частот, занимаемой цифровым радиосигналом в эфире. Однако даже этот вид модуляции не удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к современным профессиональным системам мобильной связи.

Дальнейшее сужение полосы занимаемых частот достигается за счет предварительной фильтрации модулирующего сигнала фильтром с гауссовской импульсной (и частотной) характеристикой.

Формирование сигнала GMSK. На рис. 1 показана схема работы GMSK фильтра при подаче на его вход прямоугольного импульса. Пример импульсной характеристики фильтра, используемого в тракте модуляции GMSK, приведен на рис. 2.

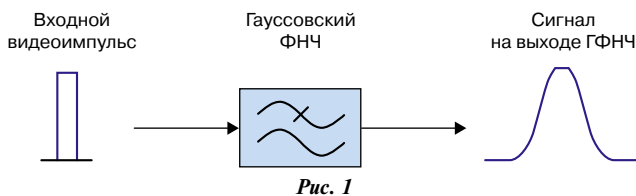


Рис. 1

Ширина спектра сигнала GMSK определяется произведением BT . Импульсная характеристика гауссовского фильтра описывается выражением:

$$h(t) = B \sqrt{\frac{2\pi}{\ln(2)}} \exp\left\{ \frac{-(BT\pi)^2}{\ln(2)} \right\},$$

где B — полоса пропускания фильтра по уровню 3 дБ, T — длительность символа.

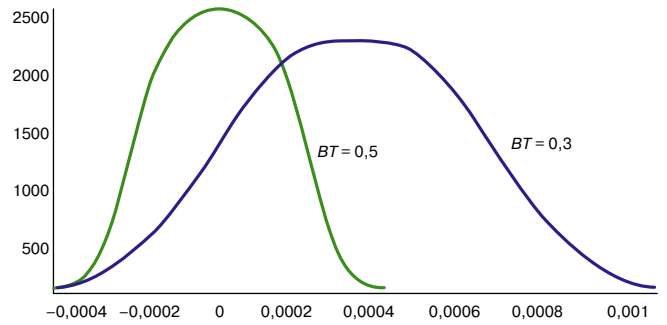


Рис. 2

Чем меньше полоса пропускания гауссовского фильтра, тем уже полоса радиосигнала, но при этом возрастают межсимвольные искажения в GMSK радиосигнале. Схема GMSK модулятора представлена на рис. 3.

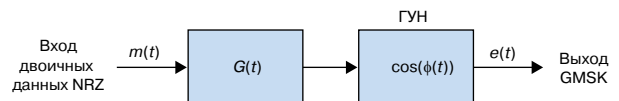


Рис. 3

Работу GMSK модема для входной последовательности 1 1 0 1 1 1 1 при двух различных настройках фильтра отражают рис. 4 и 5, взятые из [2]. На графиках видны различия в форме выходных сигналов, а также прослеживается возрастание эффекта межсимвольных искажений в зависимости от значения BT .

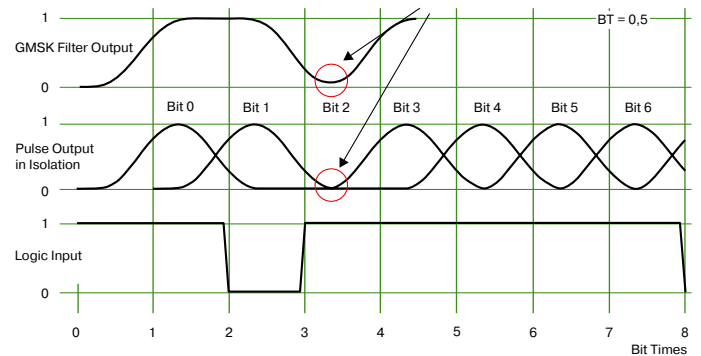


Рис. 4

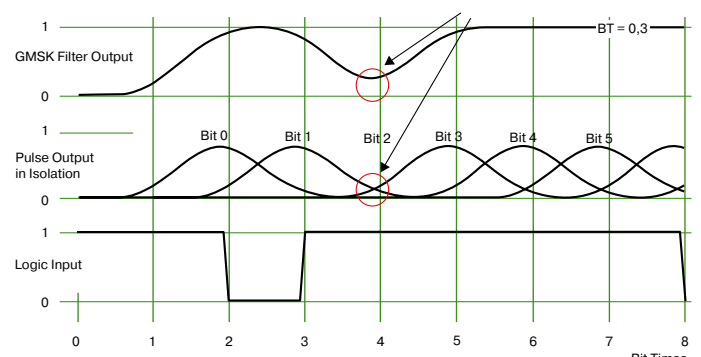


Рис. 5

На рис. 6 представлены спектры MSK сигналов без фильтрации и с применением дополнительных гауссовских фильтров при тех же вариантах настройки.

К сожалению, в точках взятия отсчетов сигнал GMSK зависит от предыдущих значений передаваемого сигнала. Это вызвано действием гауссовского фильтра, формирующего

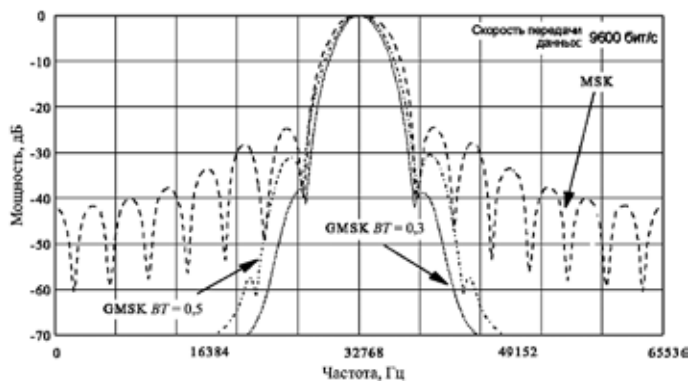


Рис. 6

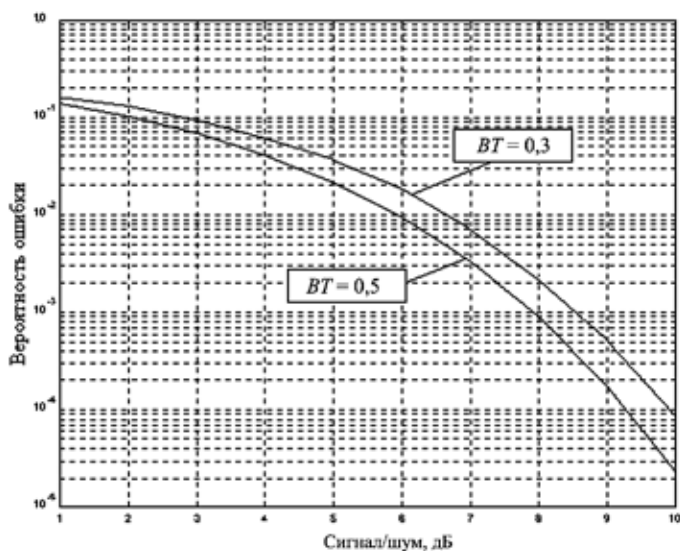


Рис. 7

спектр сигнала. В результате помехоустойчивость сигнала GMSK ниже по сравнению даже с помехоустойчивостью сигнала MSK. Конкретное значение помехоустойчивости сигналов GMSK сильно зависит от произведения BT .

Зависимость вероятности ошибки приема сигнала GMSK от отношения сигнал/шум на входе решающего устройства приемника GMSK сигнала приведена на рис. 7.

Выводы. Модуляция GMSK, используемая в цифровых системах подвижной связи, по сравнению с другими видами частотной манипуляции имеет следующие преимущества:

- возможность использования эффективных передающих устройств с нелинейными усилителями мощности в режиме класса С, Е, F;
- низкий уровень внеполосного излучения благодаря компактному спектру на выходе усилителя мощности передающего устройства;
- хорошая помехоустойчивость канала связи;
- простота реализации модулятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. EN 300 95 European Standard: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Modulation (GSM 05.04, version 8.1.2, Release 1999). ETSI, 2001.
2. FX589 GMSK Modem Application Notes. CML Semiconductor, AN/Data/589/ November 1997.
3. **Аблов Ю.И. и др.** Обеспечение управления и организации взаимодействия подразделений Росатома и МВД России в период проведения учений// Связь и автоматизация МВД России. — 2004. — №1.
4. **Голуб В.** Модуляция GMSK в современных системах радиосвязи// Chip News. — 2001. — № 8.
5. **Сединин В.И. и др.** Исследование методов построения цифровых радиотрактов мобильных систем связи/ Отчет по НИР. — Новосибирск: Изд-во СибГУТИ, 2006.
6. **Сердюков П.Н. и др.** Основные характеристики системы профессиональной мобильной радиосвязи // Специальная техника. — 2005. — № 6.
7. **Сердюков П.Н., Шевцов И.Ф.** Выбор методов модуляции в цифровых радиоканалах// Специальная техника. — 1998. — № 4—5.
8. **Феер К.** Беспроводная цифровая связь. — М.: Радио и связь, 2000.
9. **Mikushin V.A., Shingarev A.M.** The analysis of parameters of frequency modulation with minimal shift keying. In: Electronic Devices and Materials — 2007 // IEEE Proc. of VIII International Siberian school-seminar. — Novosibirsk, 2007, P. 205—206. <http://www.p3c.ru/gmsk/>
- 10.

Получено 4.03.08

ИНФОРМАЦИЯ

НОВОСТИ ФГУП МГРС

ФГУП МГРС заключило договор с компанией ОАО «Мостелеком» на построение цифровой сети передачи данных ФГУП МГРС, включающий предоставление в аренду каналов связи в г. Москве, приобретение, установку и запуск оборудования на 412 объектах сети ФГУП МГРС сроком до 5 лет.

Договор был заключен по результатам тендера «Технологическая сеть ФГУП МГРС», проводившегося с 8 сентября по 10 октября 2008. В тендере также принимали участие ЗАО «Макомнет», ОАО «КОМСТАР-ОТС» и ОАО «Центральный телеграф».

Создаваемая цифровая технологическая сеть ФГУП МГРС предназначена для передачи сигналов оповещения при возникновении чрезвычайных ситуаций, трансляции трех программ проводного вещания, контроля и мониторинга объектов сети проводного вещания ФГУП МГРС, а также иных вспомогательных сервисов.

Как отмечает генеральный директор ФГУП МГРС **В.В.Иванюк**, «построение цифровой технологической сети — важный этап в развитии проводного вещания и системы оповещения г. Москвы, являющийся элементом реализации «Концепции развития и совершенствования системы централизованно-

го оповещения населения г. Москвы по сети проводного радиовещания ФГУП МГРС», разработанной ФГУП МГРС совместно с Правительством Москвы и ГУ МЧС России по г. Москве».

Концепция включает в себя разработку и внедрение проекта «Социальная розетка», предусматривающего установку специализированных устройств в жилых и общественных зданиях, обеспечивающих гарантированное оповещение населения при возникновении чрезвычайных ситуаций и обратную связь жителей города с аварийно-спасательными службами (пожарная служба, милиция, скорая помощь) через единый диспетчерский центр.