

РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОТОКОЛА ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПАКЕТНОЙ РАДИОСВЯЗИ AX.25 УНИВЕРСИТЕТСКОГО МИКРОСПУТНИКА

Д. А. Бучинский, С. Н. Семенович

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

e-mail: izmer@bsu.by

Описывается физический уровень протокола любительской пакетной радиосвязи AX.25. Приводится последовательность выполняемых этапов и краткое их описание. Представленные этапы реализованы с помощью управляющего микроконтроллера и GMSK-модема.

Ключевые слова: бортовая система связи; радиосвязь; GMSK; физический уровень.

IMPLEMENTATION OF THE PHYSICAL LAYER FOR AMATEUR PACKET RADIO PROTOCOL AX.25 FOR UNIVERSITY MICROSATELLITE

D. A. Buchinski, S. N. Semenovich

Belarusian State University

Minsk, Belarus

Describes the physical layer for amateur packet radio protocol AX.25. Presents a sequence of steps performed and a brief description of each. Presented stages are implemented by the control of the microcontroller and GMSK modem.

Keywords: onboard communication system; radio communication; GMSK; physical layer.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из важнейших задач в рамках проекта Белорусского государственного университета по запуску образовательного микроспутника – разработка бортовой системы связи космического аппарата (КА), которая и была успешно реализована.

Бортовая система связи современных сверхмалых КА осуществляет передачу сигналов радиомаяка, прием команд управления с наземного комплекса и передачу телеметрической и научной информации. Формат принимаемых со спутника данных обычно открыт для широкой аудитории, что позволяет радиолюбителям следить за спутником по всему миру. Для достижения этой цели связь КА с наземными станциями осуществляется с помощью протокола любительской пакетной радиосвязи AX.25 [1]. Стандарт AX.25 предусматривает реализацию физического уровня.

Физический уровень в передаче данных отвечает за процесс формирования изменений уровней напряжения из исходного потока данных на передатчике для последующей модуляции. Прием сообщений представляет собой обратный процесс преобразования изменения уровней напряжения от передатчика в поток исходных данных. На рис. 1 представлены действия, производимые над данными в процессе передачи и приема.



Рис. 1. Действия, производимые над данными в процессе передачи и приема

Физический уровень реализован согласно широко распространенному стандарту G3RUH [2] для скорости передачи данных 9600 bps. Все представленные ниже этапы реализованы программно с помощью управляющего 8-битного AVR-микроконтроллера [3], за исключением последнего этапа, реализованного на аппаратной платформе GMSK-модема [4].

Далее рассмотрим этапы, относящиеся только к физическому уровню протокола при передаче информации с микроспутника.

NRZ-I-КОДИРОВАНИЕ

При передаче данных используется NRZ-I-кодирование [2]. В NRZ-I-кодированном сигнале каждое логическое состояние «0» интерпретируется как изменение уровня напряжения, в то время как состояние «1» – как отсутствие изменений. Таким образом приемнику легче синхронизироваться и восстановить тактовую частоту.

СКРЕМБЛИРОВАНИЕ

Функция скремблирования используется во избежание длинных последовательностей нулей и единиц, представляя сигнал как последовательность случайных дан-

ных. Эта функция позволяет получить более гладкий спектр в распределении спектральной мощности радиосигнала. Полином, который используется в этой функции, имеет вид [2]

$$X(Y) = X(1) \wedge X(12) \wedge X(17),$$

где $X(Y)$ – псевдослучайное значение.

Текущий бит передается, как простое применение операции исключающего ИЛИ к текущему значению бита и битов, отправленных 12 и 17 битами ранее. Со стороны приемника используется тот же полином, где к текущему биту применяется операция исключающего ИЛИ с битами, полученными 12 и 17 битами ранее.

При передаче псевдослучайных данных приемник выдаст дескремблированные данные из дескремблирующей функции с задержкой в 17 бит. Потому важно, чтобы сдвиговые регистры в отправителе и передатчике были синхронизированы одинаковым набором данных. Это достигается с помощью отправки дополнительных семнадцати бит определенного значения. В качестве такой последовательности могут использоваться три флага (значение $0 \times 7E$ в стандарте протокола AX.25).

ПРЕАМБУЛА

В пакетном радио передача начинается с преамбулы, идущей перед кадрами данных. Этот поток бит произвольной длины представляет собой повторяющуюся последовательность нулей и единиц, которая гарантирует, что приемник будет синхронизирован с центральной частотой. Зачастую рекомендованная длина преамбулы указывается в документации к трансиверам. Преамбула не подвергается скремблированию, чтобы повторяющаяся последовательность оставалась неизменной.

ГАУССОВСКАЯ ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ С МИНИМАЛЬНЫМ СДВИГОМ

Данный этап реализован на базе GMSK-модема [5] CMX990 фирмы CML Microcircuits.

В связи с постоянным уплотнением радиочастотного спектра необходимо уменьшать ширину канала. MSK (минимальная частотная манипуляция) – это частный случай сигналов с частотной манипуляцией с непрерывной фазой (CPFSK) с минимальным индексом частотной манипуляции $m = 0,5$, поэтому ширина главного лепестка спектра MSK-сигналов – минимальная из всех возможных сигналов с частотной манипуляцией.

Для дополнительного уменьшения уровня боковых лепестков спектра сигнала необходимо сгладить фронты импульсов модулирующего цифрового сигнала, поскольку прямоугольный фронт приводит к тому, что фазовая диаграмма MSK модуляции $\Phi_0(t)$ (рис. 2) имеет точки перелома в моменты времени, соответствующие фронтам импульсов входного цифрового сигнала $b_0(t)$. Но если сгладить фронты входного цифрового сигнала, как это показано на рис. 3, то получится сглаженный входной сигнал $b_g(t)$, которому будет соответствовать фазовая диаграмма $\Phi_g(t)$, не имеющая точек перелома.

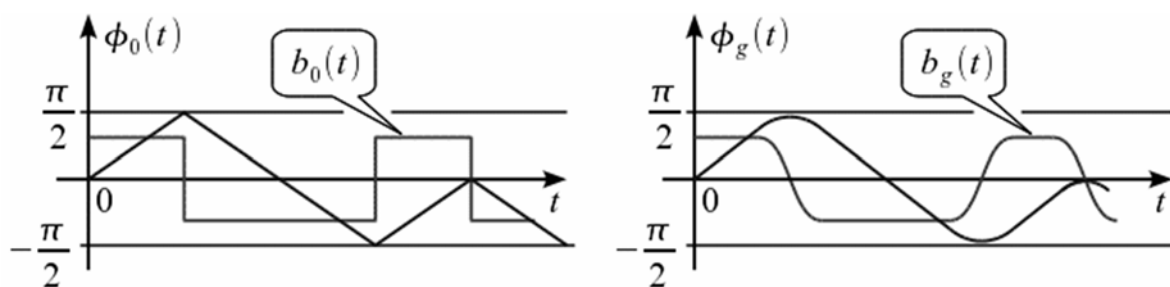


Рис. 2. Фазовая диаграмма MSK без сглаживания
и со сглаживанием фронтов входного цифрового сигнала

Применение Гауссова фильтра при MSK модуляции приводит к GMSK-модуляции (Гауссова минимальная частотная манипуляция). Фильтр нижних частот (ФНЧ) Гаусса обладает характеристикой BT – безразмерной величиной, равной

$$BT = B_{-3\text{дБ}} \cdot T,$$

где $B_{-3\text{дБ}}$ – полоса фильтра Гаусса по уровню -3дБ ;

$$T = 1/Br,$$

где T – длительность единичного импульса цифровой информации, передаваемой со скоростью Br бит/с. Таким образом, параметр BT показывает, во сколько раз полоса фильтра Гаусса $B_{-3\text{дБ}}$ отличается от скорости передачи информации Br , выраженной в единицах измерения частоты.

Однако применение Гауссова фильтра приводит к межсимвольной интерференции тем больше, чем меньше BT . Для визуальной оценки межсимвольной интерференции удобно использовать глазковые диаграммы, представленные на рис. 3.

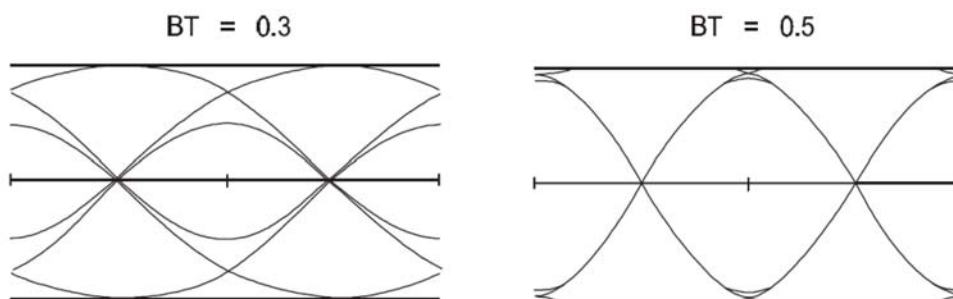


Рис. 3. Глазковые диаграммы

В спектре GMSK при уменьшении BT уменьшаются уровни боковых лепестков. Кроме того, значительно возрастает скорость убывания спектра. Так, максимальный уровень бокового лепестка GMSK при $BT = 0,3$ на 15 дБ меньше, чем у MSK-сигнала, а скорость убывания линейно зависит от частоты, что обусловлено применением Гауссова фильтра (рис. 4).

После выполнения всех этапов данные передаются на наземные центры приема информации по каналу радиосвязи. Действия, необходимые для извлечения исходных данных из принятого сигнала, представляют собой обратный процесс, изображенный на рис. 1.

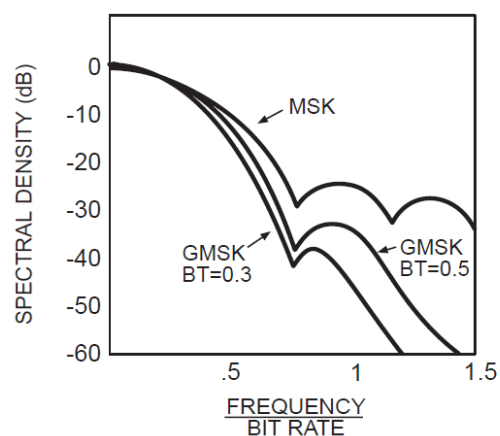


Рис. 4. Спектральная плотность для MSK и GMSK

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Beech A., Nielsen E., Taylor J. AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio // 1998. P. 143.
2. Gronstad M. Implementation of a communication protocol for CubeSTAR. University of Oslo. Oslo, 2010. P. 33.
3. AT90CAN128 // Atmel Corporation [Electronic resource]. Mode of access: <http://www.atmel.com/devices/AT90CAN128.aspx>
4. GMSK Packet Modem. CMX990 // CML Microcircuits [Electronic resource]. Mode of access: http://www.cmlmicro.com/products/CMX990_GMSK_Modem_and_RF_Transceiver/
5. Kostedt F., Kemerling J. Practical GMSK Data Transmission. 1998. P. 8.