

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЙ ПЕРЕДАТЧИК РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

К. т. н. В. И. Старцев, К. А. Бабенко

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
vist@irt.opu.ua

*Предложена схемная реализация беспроводной системы передачи речевой информации с двухчастотной модуляцией и кодированием кодом Хемминга (15,11) каждой выборки аналогового сигнала. Система содержит серийно выпускаемые FSK (Frequency Shift Keying) трансиверы HC-12, работающие в безлицензионном диапазоне частот 433 МГц и обеспечивающие дальность связи до 1000 м в условиях прямой видимости. Устройство содержит Bluetooth-модуль для беспроводной конфигурации с помощью приложения, установленного на мобильном телефоне либо планшетном ПК с операционной системой Android.*

*Ключевые слова: FSK трансивер, код Хемминга, Bluetooth-модуль, измеритель выходной мощности.*

В настоящее время популярность беспроводных систем передачи речи на небольшие расстояния достигла своего пика, благодаря растущим потребностям организаторов концертной деятельности в студийных и сценических радиомикрофонах. Также следует отметить активное применение технологии беспроводной передачи низкочастотных акустических сигналов в системах охраны, вибро-диагностики подвижных частей двигателей и т. д.

В большинстве существующих недорогих систем передачи акустических сигналов используется аналоговая частотная либо амплитудная модуляция, что негативно сказывается на их помехоустойчивости. Беспроводные системы передачи с цифровыми видами модуляции [1] обладают высокой стоимостью, сложностью в эксплуатации и ремонте.

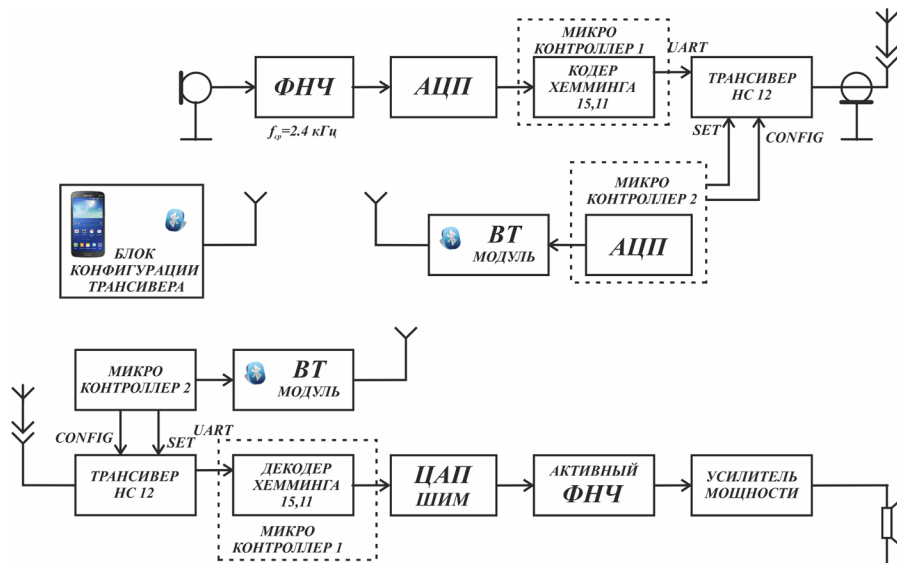
Целью настоящей работы является разработка недорогих помехоустойчивых передающей и приемной частей аудио-модема с цифровой модуляцией.

Структурная схема предлагаемой системы передачи аудио-сигнала представлена на рисунке.

Аналоговый сигнал поступает со входа микрофона на активный фильтр низкой частоты (ФНЧ) с частотой среза 2,4 кГц и далее подается на вход 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера (ATTiny13). Микроконтроллер кодирует принятое значение кодом Хемминга (15,11) и передает на радиомодуль HC-12 [2] по протоколу UART. Так как протокол UART предполагает побайтную передачу данных, на каждую выборку с учетом кодирования отводится 2 байта. Передатчик также содержит блок начальной конфигурации, в состав которого входит измеритель выходной мощности. Конфигурация трансивера HC-12 заключается в установке скорости передачи данных по каналу связи, настройке частотного канала и выходной мощности передатчика. Настройка осуществляется благодаря подключению с помощью Bluetooth-модуля к внешнему мобильному телефону либо планшетному ПК с операционной системой Android. После выполнения начальной конфигурации все данные заносятся в энергонезависимую память трансивера HC-12, и потребность во внешнем устройстве отпадает.

Приемная часть также содержит трансивер HC-12 и два микроконтроллера для приема и декодирования амплитуды выборки исходного акустического сигнала и для конфигурации режима работы трансивера. Особенностью приемника является реализация цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) в виде широтно-импульсного модулятора (ШИМ) с выходным активным фильтром низкой частоты 6-го порядка. После восстановления акустический сигнал поступает на усилитель низкой частоты.

Определим требования к частоте дискретизации АЦП, скорости последовательного интерфейса и частоте широтно-импульсного модулятора, входящего в состав ЦАП.



Структурная схема беспроводной системы передачи аудио сигнала

Скорость UART-интерфейса стандартизирована и составляет  $V_{UART} = 115200$  бит/с. Так как согласно стандартному протоколу одно слово состоит из 10 битов, на передачу 1-й выборки с учетом кодирования кодом Хемминга (15, 11) потребуется 20 битов. Следовательно, скорость передачи выборок в канале связи, совпадающая с частотой дискретизации АЦП, составит

$$V_k = F_d = \frac{V_{UART}}{20} = \frac{115200}{20} = 5760 \text{ бит/с.}$$

Тогда согласно теореме о восстановлении сигнала [1], частота среза ФНЧ, совпадающая с верхней частотой спектра сообщения, составит  $F_c = F_d / 2 = 5760 / 2 = 2900$  Гц. Полученная ширина полосы канала связи соответствует стандартам телефонии и вполне достаточна для обеспечения хорошей разборчивости речи. При выборе частоты преобразования широтно-импульсного модулятора ЦАП с целью снижения требований к крутизне спада амплитудно-частотной характеристики ЦАП обычно принимают 10-кратный запас, т. е.  $F_{ЦАП} = 10F_d = 57600$  Гц.

Предложенное схемное решение, которое базируется на недорогих серийно-выпускаемых трансиверах, работающих в диапазоне 433 МГц, позволило реализовать помехоустойчивую систему передачи акустических сигналов в речевом диапазоне частот. Отличительной чертой системы является блок диагностики и начальной настройки с помощью мобильного приложения.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение.— Москва: Вильямс, 2003.
2. Обзор беспроводных модулей HC-12 [Электронный ресурс] // СХЕМ.NET СМИ "Сайт Паяльник".— Режим доступа: <http://cxem.net/review/review26.php> (дата обращения: 07.06.2016).

V. I. Startsev, K. A. Babenko

#### Interference-free speech transmitter

*The authors propose a circuit realization of a wireless system for transmitting voice information from two-frequency modulation and encoding with the Hamming code 15.11 of each sample of an analog signal. The system contains commercially available FSK (Frequency Shift Keying) HC-12 transceivers operating in the license-free frequency range of 433 MHz and providing communication range up to 1000 m in direct visibility. The device contains a Bluetooth module for wireless configuration using an application installed on a mobile phone or tablet with the Android operating system.*

*Keywords: FSK transceiver, Hamming code, Bluetooth module, output power meter.*