

# УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Карпович П.И., Солонович Д.А.

Малевич И. Ю. – д-р. техн. наук, проф.

Было разработано устройство формирования широкополосных сигналов на базе отладочной платы компании NXP DAC1408D750W1.

Особенности распространения радиоволн дециметрового диапазона такие как: слабое затухание в атмосфере, большой диапазон частот, небольшая длина волны, создают предпосылки построения эффективных систем передачи информации в данном диапазоне. Действительно, в настоящее время дециметровый диапазон широко используется для систем мобильной, космической и радиорелейной связи. Таким образом загруженность данного диапазона в наши дни предъясвляет особые требования к спектральной плотности мощности излучения (как полосного так и вне полосного) радиотехнических систем передачи информации. Решением вопросов электромагнитной совместимости в дециметровом диапазоне может стать снижение спектральной плотности мощности передаваемого сигнала.

Одним из методов снижения спектральной мощности является распределение мощности сигнала вдоль большой полосы частот. Системы с расширенным спектром могут быть использованы для скрытой передачи информации, так же системы с расширенным спектром имеют большую помехозащищенность. Их немаловажным достоинством является возможность уплотнения в частотной области, использование кодового разделения каналов позволяет нескольким передатчикам работать в одном частотном диапазоне.

Существуют несколько способов построения радиотехнических систем с расширенным спектром. Однако наиболее широкое распространение получили системы со псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ) и системы с расширением спектра методом прямой последовательности (ПРС).

Системы с ППРЧ проще в реализации, однако имеет существенный недостаток — задержка в потоке данных при каждом скачке. Метод ППРЧ используется в таких системах передачи информации как Bluetooth, системе сотовой связи стандарта GSM.

Метод ПРС по эффективности превосходит ППРЧ, но он сложнее в реализации так как возникает необходимость повышать частоту дискретизации при увеличении длины модулирующей псевдослучайной последовательности. Данный метод используется в системах связи стандарта CDMA.

Как отмечалось выше, системы с распределенным спектром имеют большую помехозащищенность. Рассмотрим ансамбль сигналов передатчика до расширения спектра как элементы D-разрядного пространства с энергиями  $E_s$ . Таким образом можно показать что вне зависимости от закона распределения мощности помехи в спектральной области (при условии что помеха имеет конечную мощность), отношение сигнал-шум на выходе устройства обработки можно определить исходя из выражения

$$SNR = \frac{E_s}{E_j} \cdot n/D \quad (1)$$

,где  $E_j$  — суммарная энергия помехи,  $n$  — разрядность пространства ансамбля сигналов после расширения спектра. Второй множитель выражения (1) называется коэффициент усиления обработкой,  $G_p$ , и в более простой форме может быть записан как

$$G_p = B_{ss}/B_d \quad (2)$$

,где  $B_{ss}$  — ширина спектра после расширения,  $B_d$  — ширина спектра до расширения. Коэффициент усиления обработкой позволяет «вытаскивать» сигналы из под шумов.

Оценим верхнюю границу вероятности ошибки  $P_e$ , при условии что цифровая последовательность кодируется как  $\pm\sqrt{Eb/T}$ , тогда при условии что передается «минус»

$$P_e \leq 2^{-n[H(\alpha)]}, 1/2 < \alpha \leq 1 \quad (3)$$

,где  $\alpha$ - коэффициент равный  $\alpha = \frac{1}{2}(1 + \sqrt{(Eb/E_j)})$ ,  $H(x)$  — функция энтропии двоичного источника информации.

Рассмотрим работу системы ПРС в условия действия широкополосной помехи, можно показать что вероятность ошибки в таких условиях можно вычислить так

$$P_e = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{2Eb}{\sqrt{(\eta_0 + \eta_j)}} \left( \frac{1}{2\pi} e^{(-y^2/2)} \right) dy \quad (4)$$

где  $y$ - параметр учитывающий матожидание и дисперсию шума,  $\eta_0$ ,  $\eta_j$  — спектральная плотность

мощности шума и спектральная плотность мощности помехи соответственно. На рисунке 1 приведены кривые вероятности ошибок в зависимости от отношения сигнал-помеха коэффициентов усиления обработкой 511 и 1000. Используя вышеприведенные соотношения можно оценить работу системы с расширенным спектром.

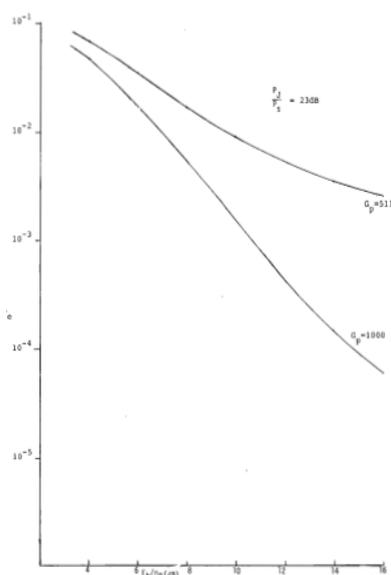


Рисунок 1

Таким образом на базе отладочной платы DAC1408D750W1 было построено устройство формирования широкополосных сигналов, источником сигнала служила последовательность бит загружаемая по USB интерфейсу. Отладочная плата включает в себя систему ФАПЧ AD9520\_3BCPZ для генерации несущей, ПЛИС Virtex5 VLX50T, 2 двуканальных 14-битных ЦАП с максимальной частотой выборки 750 МГц DAC1408D750 и 2 квадратурных модулятора TRF370317IRGET.

Структурная схема устройства приведена на рисунке 2.

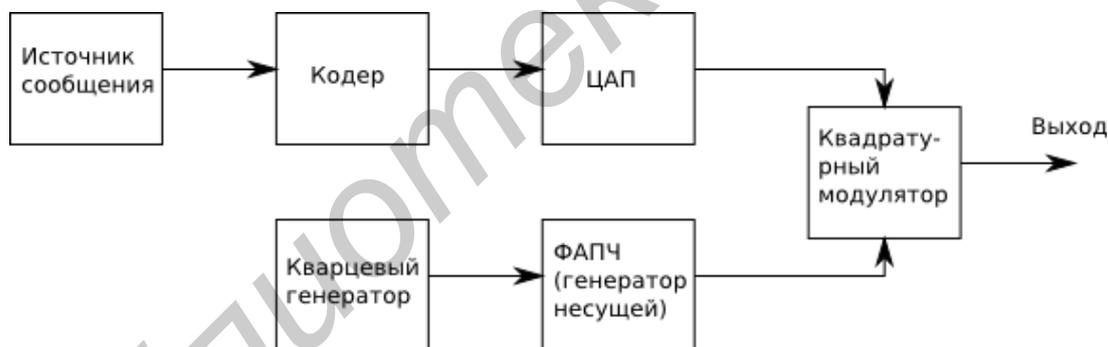


Рисунок 2

Источник сообщения генерирует в цифровом виде последовательность бит для передачи. Данная последовательность поступает на кодер. Кодер кодирует данные от источника используя псевдослучайные последовательности. При кодирования происходит увеличение частоты дискретизации сигнала в том смысле, что на один информационный бит приходится несколько бит кодирующей последовательности, именно в кодере происходит расширение спектра. Процесс кодирования изображен на рисунке 3. На рисунке 4 схематично представлены спектр сигнала на входе  $p(t)$  и входе кодера  $d(t)$ . Далее данные поступают на ЦАП и квадратурный модулятор на второй вход которого поступает несущая.

На рисунке 5 изображен пример - фотография спектра выходного сигнала на промежуточной частоте 28 МГц и ограниченного цифровым с полосой пропускания 20 МГц. На рисунке 6 – этот же сигнал во временной области.

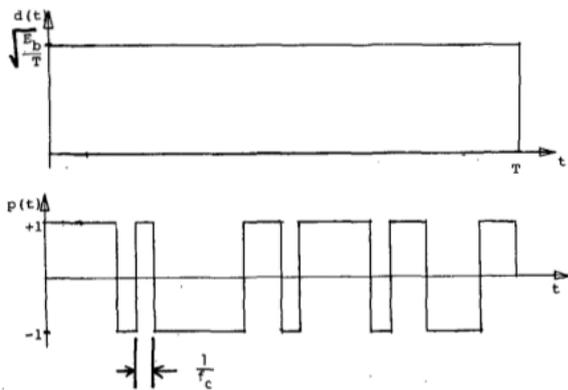


Рисунок 3

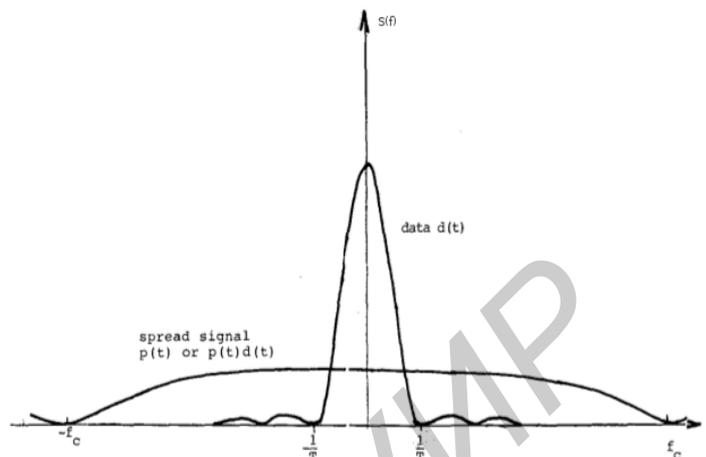


Рисунок 4

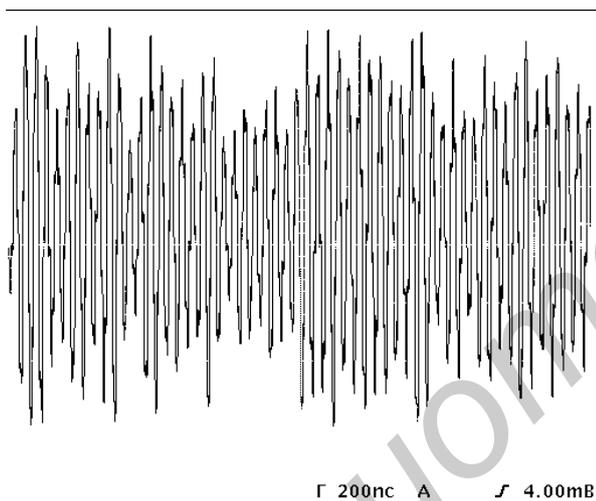


Рисунок 5

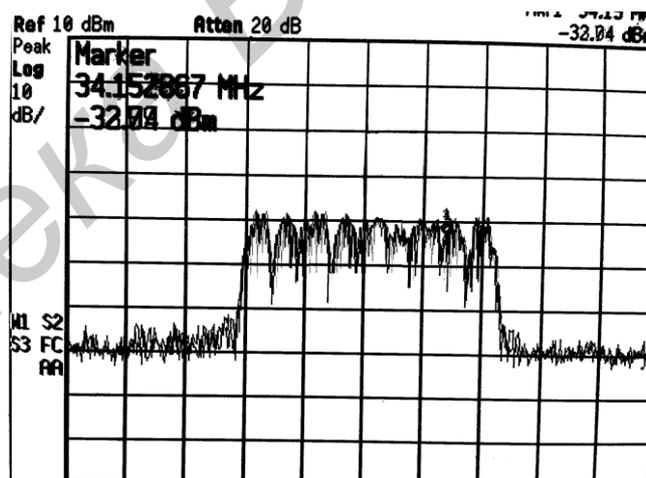


Рисунок 6

Список использованных источников:

- [1] IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS Theory of Spread-Spectrum Communications-A Tutorial - 1982г.
- [2] Чердынцев В.А. Системы передачи информации с расширением спектра сигналов / В.А. Чердынцев, В.В. Дубровский. — Минск: БГУИР, 2009. — 130 с.