

## ИНТЕРПОЛЯЦИЯ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

А.Д. АНТОНЕНКО

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь  
bsuir-507@mail.ru

Процессы модуляции, демодуляции и преобразования частот неизбежны в любой радиосистеме передачи информации. Если эти процессы выполняются в цифровой форме, что характерно для большинства современных систем связи, то возникает проблема согласования скоростей (тактовых частот) входного сигнала и несущего колебания. Эта же задача актуальна и при математическом моделировании систем связи, использующих какое-либо преобразование частоты. Рассматривается способ решения проблемы при помощи различных видов интерполяции и определяются требования к блоку интерполяции.

*Ключевые слова:* интерполяция, многоскоростная обработка сигналов, согласование скоростей, тактовая частота.

При построении систем радиосвязи в настоящее время стремятся к максимальному использованию цифровой обработки сигналов. В результате низкочастотный (НЧ) тракт и тракт промежуточной частоты (ПЧ) являются цифровыми, и только ВЧ-тракт – аналоговый. При подобной реализации (рис. 1) модулятор, формирующий комплексную огибающую радиосигнала, работает на тактовой частоте  $f_{T,1}$ , совпадающей с тактовой частотой входного потока данных. Цифровой гетеродин, формирующий отсчеты поднесущего колебания ПЧ, использует свою тактовую частоту  $f_{T,2}$ , превышающую более чем в 2 раза (в соответствии с теоремой Котельникова) значение  $f_{ПЧ}$ . С учетом того, что значение  $f_{ПЧ}$  превышает (иногда в десятки раз) верхнюю граничную частоту  $F_B$  спектра модулирующего сигнала (потока данных), значения тактовых частот  $f_{T,1}$  и  $f_{T,2}$  будут также различными. Соответственно, система становится многоскоростной и встает проблема согласования тактовых частот сигналов, подаваемых на входы преобразователя частоты.

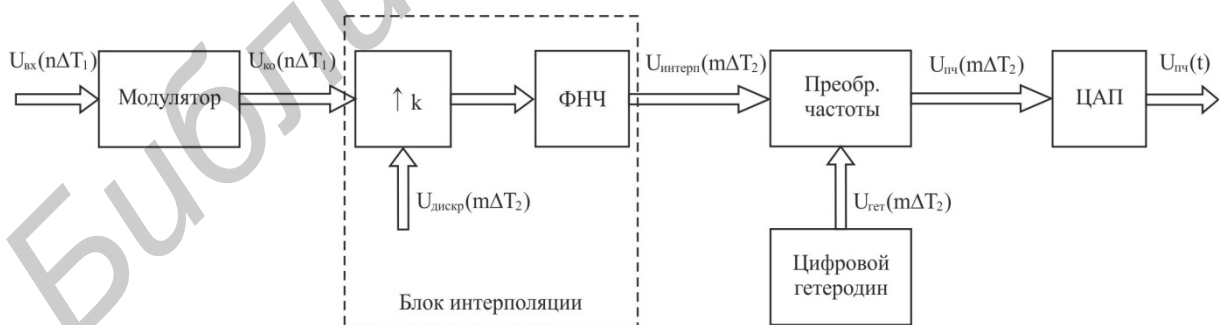


Рис.1. Обобщенная структурная схема передающего тракта ПЧ системы цифровой радиосвязи

Многоскоростная обработка сигналов (multirate processing) предполагает, что в процессе линейного преобразования цифровых сигналов возможно изменение частоты дискретизации в сторону уменьшения или увеличения [1]. Выполнение этой операции возложено на блок интерполяции, включающий в себя собственно интерполятор, обес-

печивающий вставку дополнительных отсчетов, и фильтр нижних частот (ФНЧ), подавляющий нежелательные компоненты в спектре преобразуемого сигнала.

В зависимости от значения интерполирующего множителя  $k$  рассматриваются два типа интерполяции:

а) интерполяция с целым шагом. Интерполятор увеличивает частоту дискретизации входного сигнала  $U_{ВХ}(n\Delta T_1)$  с  $f_{Т.1}$  до  $f_{Т.2} = k \cdot f_{Т.1}$  путем введения  $(k-1)$  отсчетов (нулевых либо аппроксимированных) после каждого отсчета входного сигнала;

б) интерполяция с нецелым шагом. На практике такое преобразование частоты дискретизации выполняют представлением нецелого множителя  $k$  максимально близким приближением рациональными числами вида  $l/m$ . Это позволяет выполнять преобразование частоты дискретизации последовательными операциями - интерполяцией с шагом  $l$  и затем децимацией с шагом  $m$ . Поскольку при этом низкочастотные фильтры интерполятора и дециматора следуют друг за другом и работают на одной тактовой частоте, то вместо двух фильтров можно применять один, имеющий меньшую (из двух) частоту среза [2].

В любом из перечисленных случаев спектр сигнала на выходе блока интерполяции будет определяться как произведение свертки спектров входного сигнала  $U_{ВХ}(f)$  и дискретизирующей последовательности  $U_{ДИСКР}(f)$  на комплексный коэффициент передачи интерполятора  $K_{ИНТ}(f)$ , а затем - на комплексный коэффициент передачи  $K_{ФНЧ}(f)$ :

$$U_{ИНТЕРП}(f) = U_{ВХ}(f) * U_{ДИСКР}(f) \times K_{ИНТ}(f) \times K_{ФНЧ}(f). \quad (1)$$

Принимая во внимание, что при выполнении условия  $f_{Т.2} \geq 2 \times F_{В}$  передискретизация сигнала  $U_{ВХ}(n\Delta T_1)$  последовательностью  $U_{ДИСКР}(n\Delta T_2)$  не изменяет его составляющие с частотами, не выходящими за пределы  $\pm F_{В}$ , можно сделать вывод, что для безыскаженной интерполяции сигнала необходимо обеспечить условие равномерности коэффициента передачи блока интерполяции, определяемого в соответствии с (1) как произведение коэффициентов передачи интерполятора и ФНЧ, в пределах полосы частот  $\pm F_{В}$ . В свою очередь, частотная характеристика интерполятора зависит от способа вычисления промежуточных отсчетов и будет либо равномерной (вставка нулевых отсчетов либо отсчетов постоянной амплитуды), либо спадающей (аппроксимация отсчетов). В последнем случае снижаются требования к крутизне склонов АЧХ ФНЧ и упрощается его реализация. Естественно, виды аппроксимации отсчетов, при которых АЧХ интерполятора становится неравномерной уже в пределах полосы  $\pm F_{В}$ , нежелательны, так как требуют дополнительной частотной коррекции.

Таким образом, используя различные способы интерполяции, можно распределить вычислительную сложность между интерполятором и ФНЧ и оптимизировать использование ресурсов элементной базы.

#### Список литературы

1. Витязев В.В., Зайцев А.А. Основы многоскоростной обработки сигналов: Учебное пособие. Часть 1; Рязан. гос. радиотехн. акад. - Рязань, 2005. - 124 с.

2. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. / М., «Вильямс», 2004, 992 с.