

УДК 621.396+004.67

А.А. Савочкин, доцент, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

savochkin@newmail.ru

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ДИСКРЕТИЗАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СООБЩЕНИЙ

Рассмотрены процессы дискретизации и восстановления непрерывных сообщений. Сформулированы требования к аппаратуре для проведения исследований. Показана целесообразность применения данной методики на этапе обучения. Представлено описание лабораторного стенда.

Последнее десятилетие характеризуется значительным увеличением доли цифровых систем хранения и передачи информации. Широко внедряются цифровые системы в радио- и телевизионное вещание, запись и воспроизведение звука, телефонные системы. Интенсивное внедрение цифровых технологий требует особое внимание уделять подготовке специалистов для разработки и обслуживания таких систем.

Однако процесс исследования цифровых систем, в отличие от аналоговых, характеризуется сложностью реализации, что требует разработки методик исследования и использования специализированного оборудования. Особенно острой эта проблема становится на этапе подготовки специалистов для разработки и обслуживания современных систем связи.

Наиболее распространенным преобразованием для современных систем является дискретизация непрерывных сообщений во времени. Это преобразование применяется при импульсных методах передачи сообщений, многоканальной передаче с временными методами уплотнения и разделения каналов, а также как промежуточная операция при преобразовании непрерывных сообщений в цифровую форму.

При дискретизации по времени возникают задачи, связанные с выбором интервала дискретизации и восстановлением исходного сообщения на выходе по его отсчетам. При этом необходимо учитывать свойства исходных непрерывных сообщений, способы их восстановления по отсчетам и требуемую точность восстановления.

В качестве исходного входного сообщения обычно используется модель сообщения с ограниченным спектром. Допустимость такой идеализации вытекает из того, что при передаче сообщений по каналам связи всегда имеются неизбежные помехи и шумы. Поскольку спектральная плотность мощности $G_X(F)$ любого реального сообщения уменьшается с ростом частоты, то начиная с некоторого значения частоты

$$F > F_B = \Omega_B / 2\pi$$

её величина оказывается меньше спектральной плотности помех $G_{\Pi}(F)$ на выходе канала, и следовательно вклад таких составляющих спектра в полезную информацию оказывается незначительным по сравнению с основной частью спектра.

Ограничение спектра сообщения частотой F_B приводит к ошибке, относительная величина среднего квадрата которой равна

$$\delta_F^2 = \frac{\int_{F_c}^{\infty} G_X(F) dF}{\int_0^{\infty} G_X(F) dF} = \frac{\Delta P_X}{P_X},$$

где ΔP_X — средняя мощность «отброшенной» части спектра сообщения; P_X — средняя мощность всего сообщения.

Дискретное по времени сообщение представляет собой амплитудно - импульсно модулированный (АИМ) сигнал. Спектр такого сигнала имеет линейчатый характер и неограничен. Таким образом определение ошибки, возникающей при преобразовании непрерывного сообщения в цифровую форму, требует получения спектра дискретизированного сообщения.

Сложность рассматриваемой задачи объясняется также необходимостью иметь возможность изменять параметры исследуемой системы: разрядность используемого кода, частоту дискретизации и порядок восстанавливающего фильтра, что обычно реализовать на базе стандартного оборудования невозможно.

Для исследования процессов дискретизации и восстановления непрерывных сообщений разработан лабораторный стенд, который используется в настоящее время на кафедре радиотехники Севастопольского национального технического университета в лабораторном практикуме дисциплины «Основы теории передачи информации».

Стенд предназначен для закрепления теоретических сведений о принципах дискретизации, квантования и восстановления непрерывных сообщений и исследования этих принципов. Стенд построен на основе специализированного макета и комплекта измерительных приборов. Упрощенная структурная схема стенда изображена на рисунке 1.

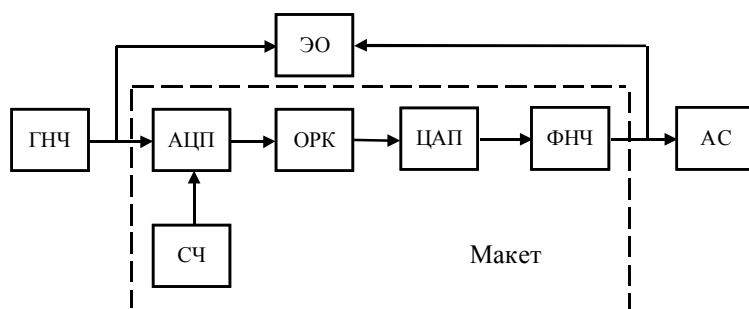


Рисунок 1 — Структурная схема лабораторного стенда

Исходный аналоговый сигнал формируется генератором низкой частоты (ГНЧ), в качестве которого может использоваться, например, прибор типа Г2-102. Непрерывный аналоговый сигнал поступает на 10-ти разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП). На выходе АЦП формируется двоичный код, соответствующий входному сигналу. Частота запуска АЦП формируется специальным синтезатором частоты (СЧ). Понятно, что с этой частотой производится дискретизация входного сигнала. Для проведения исследований студентам предоставляется возможность изменять частоту следования сигналов запуска АЦП. Частота дискретизации может принимать следующие значения $F_{\text{ТАКТ}} = 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 24$ кГц. Определяется частота дискретизации кварцевыми генераторами, которые входят в состав СЧ.

Выходной параллельный код АЦП через ограничитель разрядности кода (ОРК) поступает на формирующий цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Построение ОРК позволяет установить требуемую разрядность двоичного кода, для чего используется линейка переключателей позволяющих осуществлять индивидуальное включение – выключение каждого двоичного разряда. Код ОРК поступает на ЦАП системы. На выходе ЦАП формируется ступенчатый непрерывный сигнал, который подается на восстанавливающий фильтр нижних частот (ФНЧ).

В макете используется четыре различных ФНЧ: один фильтр второго порядка, два фильтра четвертого порядка, один фильтр восьмого порядка. Такой состав фильтров позволяет при необходимости установить требуемый порядок восстанавливающего фильтра (от второго до восемнадцатого включительно). Так, например, для использования ФНЧ десятого порядка необходимо включить фильтры второго и восьмого порядка либо фильтр второго порядка и два фильтра четвертого порядка. Частота среза всех ФНЧ выбрана 3400 Гц (что соответствует максимальной частоте в спектре стандартного телефонного сообщения).

Восстановленный непрерывный сигнал подается на вход низкочастотного анализатора спектра (АС) и на один из входов электронного осциллографа (ЭО), а на второй вход ЭО подается исходный сигнал от ГНЧ. В качестве ЭО можно использовать прибор типа С1-93, а анализатор типа СК 4-56. Такое подключение измерительной аппаратуры, позволяет производить исследование особенностей дискретизации, квантования и восстановления сигналов во временной и частотной областях.

Принципиальная схема макета состоит из следующих блоков: АЦП и ЦАП, блока СЧ и блока ФНЧ. Для питания устройства используется стабилизированный блок питания (БП). Принципиальная схема макета выполнена на основе широко распространенных комплектующих отечественного производства.

Принципиальная схема включения АЦП показана на рисунке 2. Входной аналоговый сигнал через токоограничивающий резистор R1 поступает на вход 10-разрядного АЦП типа К1113ПВ1 (DA1). Сигнал запуска АЦП формируется ждущим мультивибратором выполненным на микросхеме К155АГ1 (DD11), который формирует положительные импульсы продолжительностью около 5 мкс, следующие с частотой дискретизации $F_{\text{ТАКТ}}$. Формирование сигнала запуска такой формы необходимо так как используемый АЦП запускается на преобразование по нулевому логическому уровню сигнала запуска, а уровень логической единицы обеспечивает сброс данных на цифровых выходах АЦП [1].

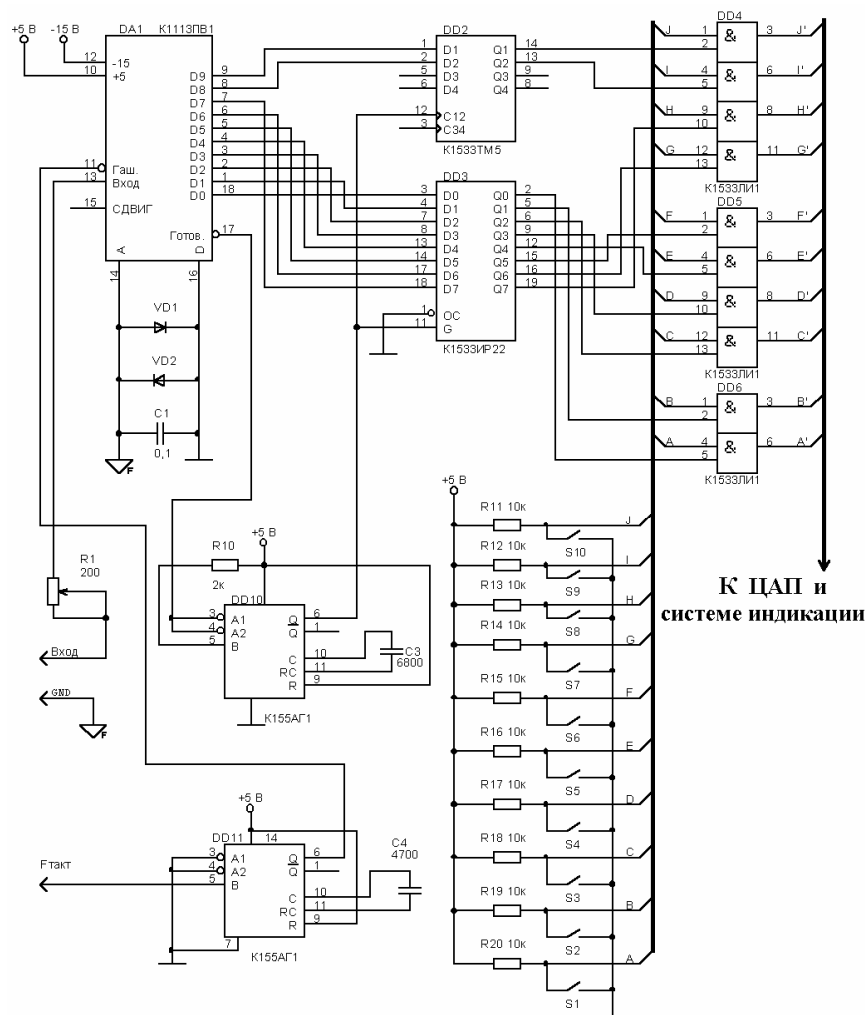


Рисунок 2 — Фрагмент электрической принципиальной схемы блоков АЦП и ЦАП

Через интервал времени, равный времени преобразования АЦП (не более 30 мкс), на 17-ом выводе DA1 вырабатывается сигнал «Готовность данных» и на выходе АЦП формируется двоичный параллельный код, который сохраняется в регистрах, выполненных на основе микросхем K1533TM5 и K1533IP22 (DD2, DD3). Сигнал загрузки данных в регистры образуется на выходе ждущего мультивибратора K155AG1 (DD10), который обеспечивает необходимую задержку сигнала «Готовность данных» (не менее 2 мкс). Такой принцип получения сигнала загрузки данных в регистры позволяет сохранять данные на их выходе в течение времени преобразования АЦП, до появления нового двоичного слова.

Следует отметить, что для обеспечения минимальной погрешности преобразования АЦП, в схеме используется соединение выводов АЦП «аналоговая земля» и «цифровая земля» через развязывающую цепочку, которая состоит из конденсатора C1 и диодов VD1, VD2 типа КД521.

Параллельный двоичный код с выхода регистров поступает на ОРК, выполненный на основе элементов совпадения K1533ЛИ1 (DD4-DD6). Для управления ОРК используются переключатели S1...S10. Кроме того, ОРК содержит набор светодиодов типа АЛ307, предназначенных для индикации текущего значения кода. Подключены светодиоды через буферные элементы типа K1533ЛИ1. При отключении какого либо двоичного разряда соответствующий светодиод погасает. Такое построение принципиальной схемы ОРК позволяет формировать двоичный код заданной разрядности.

Обратное формирование аналогового сигнала из двоичного кода производится ЦАП типа K594ПА1, который включен по 10-ти разрядной схеме для работы с биполярным выходным сигналом. При этом выходное напряжение формируется операционным усилителем типа K140УД8. Источник стабилизированного опорного напряжения для ЦАП реализован на основе операционного усилителя K140УД6А в соответствии с рекомендациями [1].

Блок СЧ должен обеспечивать формирование сигналов запуска для работы АЦП с частотой $F_{\text{ТАКТ}} = 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 24$ кГц. Для реализации такой сетки частот в блоке используются два кварцевых генератора (с частотами генерации 768 кГц и 1280 кГц) и набор делителей частоты.

Блок ФНЧ разработанного макета состоит из четырех отдельных фильтров. Все ФНЧ рассчитаны как фильтры Чебышева с максимальной неравномерностью 0,1 дБ в полосе пропускания. Расчет выполнен по методике [2] с последующей проверкой и уточнением номиналов элементов в среде пакета «Electronics

Workbench» V4.0. Макет позволяет проводить исследование влияния порядка восстанавливающего ФНЧ на характеристики сигналов, обеспечивая девять вариантов по данному параметру.

Лабораторный стенд можно использовать в соответствии со схемой рисунка 1. В случае отсутствия аналогового анализатора спектра его с успехом может заменить АС на основе персональной ЭВМ со звуковой картой, работающей под управлением специализированной программы.

Программа производит обработку сигнала поданного на линейный вход звуковой карты компьютера и осуществляет вывод энергетического спектра на экран монитора. Обработка производится методом быстрого преобразования Фурье. Хорошие результаты достигаются, например, при использовании программного анализатора спектра FREQ, которая позволяет получить динамический диапазон при измерении спектра до 45...65 дБ. Кроме того, при использовании АС на основе ПК, удобно проводить документирование и сохранение полученных результатов для дальнейшей обработки.

Пример спектра полученного с помощью данной методики изображен на рисунке 3. Представленный случай соответствует частоте входного сигнала 1,5 кГц при частоте дискретизации 10 кГц. На рисунке отчетливо видны: основная гармоника входного сигнала; боковые составляющие частоты дискретизации и ее второй гармоники.

Программа обладает большими возможностями, позволяя выводить спектр в линейном или логарифмическом виде, использовать оконное сглаживание данных, проводить точное измерение уровня отдельных составляющих спектра и многое другое. Работает данный программный анализатор практически с любой звуковой картой, а в архиве имеются модули для различных операционных систем. Автор использовал программный модуль для системы MS-DOS, который прекрасно работает в окне операционной системы Windows.

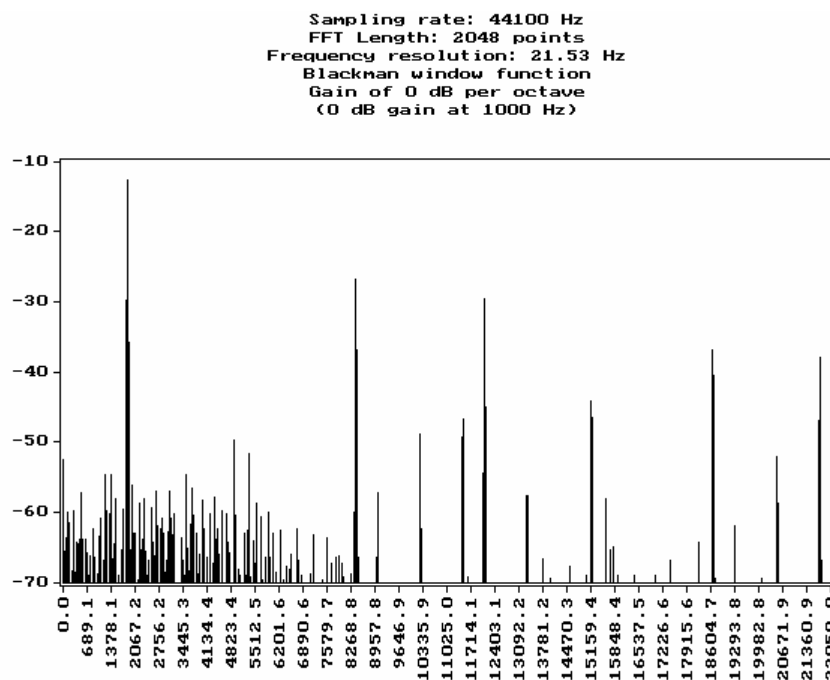


Рисунок 3 — Пример спектра сигнала частотой 1,5 кГц при частоте дискретизации 10 кГц

Применение данной методики позволяет исследовать зависимости погрешности дискретизации и восстановления от разрядности используемого двоичного кода, порядка восстанавливающего ФНЧ, частоты дискретизации. Использование в составе стенда АС позволяет получить наглядное представление о спектральных характеристиках сообщений при изменении параметров системы. Однако разработанный стенд не обеспечивает возможности исследования влияния частоты среза ФНЧ на погрешность восстановления непрерывного сообщения. Перспективой дальнейших исследований и является обеспечение такой возможности.

В заключение следует отметить удобство и универсальность разработанного метода, что позволяет рекомендовать его для применения в лабораторном практикуме ВУЗов и техникумов радиотехнических специальностей.

Библиографический список

1. Федорков Б.Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение / Б.Г. Федорков, В.А. Телец. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 320 с.
2. Джонсон Д. Справочник по активным фильтрам / Д. Джонсон, Дж. Джонсон, Г. Мур. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 128 с.

Поступила в редакцию 17.06.2004 г.