

Литература

1. Способ управления колебательным электроприводом с асинхронным двигателем : пат. 22642 Респ. Беларусь / Годарев В. В., Логвин В. В., Зайцев А. С., Беликова А. И. – № а20170496 ; опубл. 30.08.19 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 4.

**ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА
И СПЕКТРОГРАММЫ ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ
В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ**

А. Е. Запольский, А. С. Мурач

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Сахарук

Рассмотрено применение спектрального анализа и спектрограммы для анализа сигналов в радиоэлектронике.

Ключевые слова: спектральный анализ, спектрограмма, анализ сигналов, спектр, аналого-цифровой преобразователь, цифроаналоговый преобразователь, АЦП, ЦАП.

Все величины в физическом мире являются аналоговыми и для их измерения изобретено множество различных приборов. Так, например, термометр позволяет узнать температуру вещества, барометр – давление газа, весы – вес тела. У всех этих устройств есть шкала измерений, необходимая для фиксации показаний. Рассмотрим простой пример – определение температуры с помощью обычного ртутного градусника. Человек решает эту задачу очень просто: мы смотрим, к какому из делений шкалы ближе всего приблизился уровень вещества, а полученное значение и будет являться измеренной температурой. Иными словами, мы осуществляем преобразование аналоговой физической величины в дискретную, которую можно записать на бумаге с помощью цифр. Чтобы автоматизировать процесс измерения аналоговых величин и возложить эту задачу на электронные приборы, инженеры создали особое электронное устройство, называемое аналого-цифровым преобразователем (АЦП, ADC). АЦП позволяет превращать аналоговый сигнал (материальный носитель информации) в цифровой код, который можно обработать с помощью ЭВМ. В электронике данное устройство является важным компонентом. Акселерометр, гироскоп, барометр, магнетометр, видеокамера – все эти приборы соединяются с центральным процессором с помощью АЦП. Следует отметить, что существует и устройство с обратным эффектом, называемое цифроаналоговым преобразователем (ЦАП, DAC), которое позволяет переводить цифровой (дискретный) сигнал в аналоговый. Например, во время проигрывания мелодии на смартфоне происходит преобразование цифрового кода аудиофайла в звук, который слышит человеческое ухо. Пример применения аналого-цифрового преобразователя МСР3008 с датчиком температуры ds18b20 для отображения температуры окружающей среды на дисплее LCD1602 показан на рис. 1 [1].

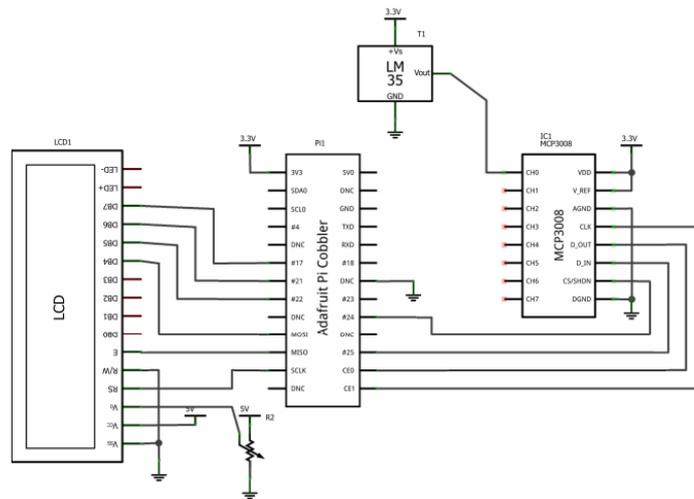


Рис. 1. Применение АЦП МСР3008 с датчиком температуры

В радиоэлектронике аналого-цифровые преобразователи также применяются для вычисления спектра сигнала – математической модели, которая показывает сигнал в виде набора частот, что позволяет узнать, какие частоты присутствуют в сигнале и какие амплитуды они имеют. Спектр может быть представлен в виде амплитудного и фазового спектров, а также спектрограмм. Амплитудный спектр – это зависимость амплитуды каждой гармонической составляющей сигнала от ее частоты. Амплитудный спектр показывает, как каждая компонента сигнала в отдельности влияет на конечный вид сигнала, из каких частот состоит сигнал и какова их амплитуда. Амплитудный спектр графически изображается в виде спектральной диаграммы, в которой по оси X откладываются частоты сигнала, а по оси Y – его амплитуды. Фазовый спектр – это зависимость фазы каждой гармонической составляющей сигнала от ее частоты. Фазовый спектр графически изображается в виде спектральной диаграммы, в которой по оси X откладываются частоты сигнала, а по оси Y – его фазовые углы. Фазовый спектр имеет большое значение для цифровой обработки сигналов, например, при восстановлении сигнала из фрагментов. Получают спектры, преобразуя временную функцию сигнала с помощью преобразования Фурье. Для того чтобы изобразить, как изменяется спектр сигнала во временной плоскости, применяют спектрограммы – трехмерные представления спектра, где по оси X откладывается время, по оси Y – частота, по оси Z – амплитуда. Они помогают изучить компоненты сигнала – например, шумы, гармоники, периодические и непериодические события [2].

Математической основой спектрального анализа сигналов является преобразование Фурье. Его суть заключается в представлении непрерывной функции сигнала $f(x)$ на временном отрезке $\{0, T\}$ в виде суммы бесконечного ряда тригонометрических функций (синусоид и (или) косинусоид) с определенными амплитудами и фазами на том же временном отрезке. Полученный ряд тригонометрических функций и является рядом Фурье.

Сигнал, полученный с измерительного преобразователя (датчика), передается АЦП с частотой дискретизации Fd , преобразует непрерывный сигнал, поступающий на его вход в течение времени T , в цифровые отсчеты – N штук, после чего сформированный массив отсчетов подается в программу, которая выдает $N/2$ числовых значений. Полученные за время T отсчеты сигнала (выборка) передаются на хранение в устройство памяти (компьютера) для дальнейшей с ними работы. Важным пара-

метром при обработке сигналов с помощью аналого-цифрового преобразователя является максимальная частота дискретизации (семплирования), т. е. частота взятия отсчетов непрерывного во времени сигнала при его дискретизации. Так, согласно теореме Котельникова (выборки Найквиста–Шеннона), частота дискретизации сигнала должна быть не меньше удвоенной максимальной частоты непрерывного сигнала. Иначе можно столкнуться с эффектом «алиасинга» (муаровым эффектом), при котором сигнал высокой частоты после аналого-цифрового преобразования превращается в несуществующий сигнал низкой частоты. Данный эффект приводит к появлению искажений и ошибок [3].

Для обработки сигналов и спектрального анализа на компьютере можно использовать бесплатную программу FourierScore, которая может строить амплитудные, фазовые, энергетические спектры, моделировать различные сигналы и применять к ним различные модуляции, и имеет удобный редактор для работы с сигналами. Пример полученных в программе графиков для сигналов, которая состоит из 2 функций: $\sin(10 \cdot 2\pi \cdot x)$ и $0,5 \cdot \sin(5 \cdot 2\pi \cdot x)$ с периодом измерения $t = 5$ с, показан на рис. 2 [4].

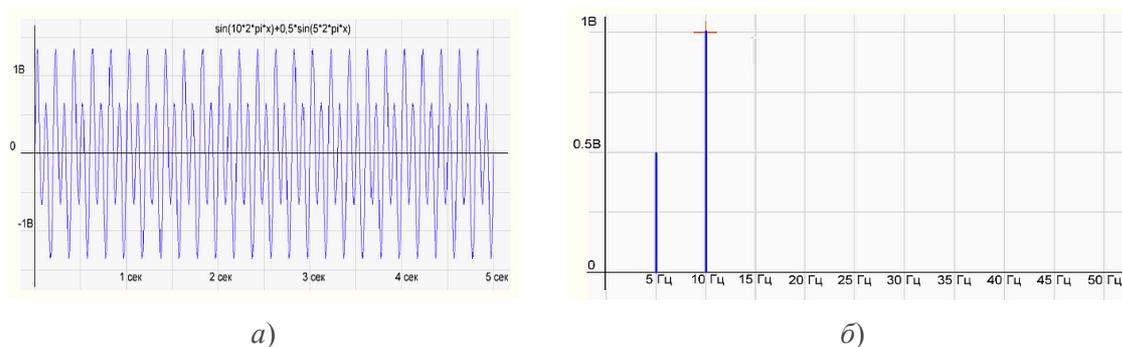


Рис. 2. Графики сигнала:
а – временная функция, б – амплитудный спектр

Исходя из проведенного исследования, можно сделать следующие выводы: реальный сигнал после обработки АЦП представляется в виде набора дискретных отсчетов N штук; имеет дискретный непериодический спектр в виде набора гармоник $N/2$ штук; сигнал и его спектр представлен набором действительных значений; частоты гармоник имеют положительные значения; сигнал определен только на том отрезке времени, на котором он был измерен, что позволяет вычислить амплитуду и частоту его составляющих.

Литература

1. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП, ADC). – Режим доступа: <https://robotclass.ru/wp-content/uploads/2013/04/Занятие-5.-Аналого-цифровой-преобразователь-АЦП-ADC.pdf>. – Дата доступа: 01.03.2023.
2. Саломатин, С. Б. Спектральные методы формирования, обработки и анализа сигналов : учеб.- метод. пособие / С. Б. Саломатин. – Минск : БГУИР, 2010. – 102 с.
3. Практическое применение преобразования Фурье для анализа сигналов. Введение для начинающих. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/269991/>. – Дата доступа: 08.03.2023.
4. FourierScore – программа для построения радиосигналов и их спектрального анализа. – Режим доступа: <https://www.siarion.net/rus/free/fourierscope/>. – Дата доступа: 08.03.2023.