

УДК 681.3.019 : 621.317.75

А. А. Скок, В. П. Третьяков

*(Новосибирск)***АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ
С НЕЙРОПОДОБНОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ
С БОЛЬШИМ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ**

Для регистрации сигналов с большим динамическим диапазоном предлагается использовать нелинейный аналого-цифровой преобразователь, имеющий нейроподобную передаточную характеристику, описываемую дробно-линейной функцией, параметры которой задаются расчетным образом и не требуют калибровки. Рассматриваемый АЦП может быть реализован на основе обычного интегрального АЦП.

Одной из проблем аналого-цифрового преобразования является расширение динамического диапазона регистрируемого сигнала. Решение этой задачи особенно важно при регистрации изображений. Обычно она решается либо увеличением разрядности применяемого АЦП (процесс, который не может продолжаться бесконечно), либо предварительным логарифмированием яркостного сигнала. В последнем случае сознательно идут на снижение абсолютной точности измерения при больших уровнях сигнала, сохраняя при этом относительную точность. В настоящем сообщении предлагается другой способ предварительного преобразования, обладающий, с нашей точки зрения, рядом преимуществ перед логарифмированием.

Нелинейный АЦП. Выбор функции преобразования. При регистрации изображений предварительное логарифмирование сигнала с помощью аналоговых логарифматоров можно эффективно применять в системах сканирования с одним каналом регистрации. Однако такие системы неуклонно вытесняются многоэлементными (линейными и матричными) устройствами на основе ПЗС-структур, при использовании которых сигналы от всех элементов преобразуются в общем аналоговом тракте. Нелинейность этого тракта, особенно если она задана нестрого, может существенно осложнить выполнение последующей цифровой обработки, такой как, например, фурье-преобразование или индивидуальная цифровая коррекция элементов.

При использовании логарифмирования (кроме случаев, когда оно, действительно, необходимо, например, при измерении концентрации или толщины по степени поглощения света) часто ссылаются на физиологические сенсорные системы, имея в виду закон Вебера — Фехнера, описывающий зависимость реакции от стимула. Однако уже давно известно, что он, будучи чисто эмпирическим законом, справедлив только в узком диапазоне интенсивностей [1]. К настоящему времени физические механизмы формирования передаточной характеристики рецепторов достаточно понятны. В самом грубом приближении реакция рецептора V (деполяризация клеточной мембраны), возникающая в ответ на входной сигнал G (вызывающий увеличение проводимости мембраны для ионов Na^+), имеет вид дробно-линейной функции:

$$V = \frac{V_{\text{Na}}G}{g_L + G}, \quad (1)$$

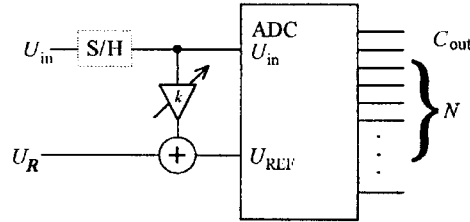


Рис. 1. Нелинейный АЦП с рациональной передаточной функцией

где V_{Na} — равновесный потенциал для ионов натрия; g_L — проводимость утечки мембраны нейрона. Эта функция впервые была использована для описания передаточной характеристики телец Пачини — механочувствительных рецепторов [2].

На наш взгляд, использование такой рациональной функции (1) при аналого-цифровом преобразовании очень удобно с точки зрения ее схемной реализации и для последующей математической обработки получаемых данных.

Нелинейный АЦП с рациональной функцией преобразования. Функцию преобразования обычного линейного АЦП можно записать в виде

$$C_{out} = \frac{U_{in}(2^N - 1)}{U_R},$$

где C_{out} — выходной код АЦП; N — количество разрядов; U_{in} — входное напряжение; U_R — опорное напряжение.

Легко заметить, что для получения нужной нам функции преобразования следует заменить знаменатель на взвешенную сумму сигнала и опорного напряжения:

$$C_{out} = \frac{U_{in}(2^N - 1)}{kU_{in} + U_{R2}},$$

где U_{R2} — новое значение опорного напряжения. Блок-схема такого преобразователя изображена на рис. 1, а характеристики преобразования, получаемые

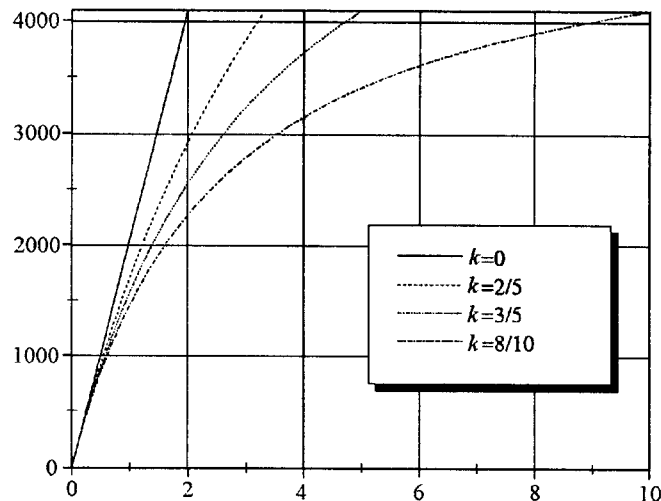


Рис. 2. Зависимости выходного кода от входного напряжения при различных коэффициентах нелинейности:

по горизонтальной оси — входное напряжение U_{in} , по вертикальной — выходной код АЦП при $N = 12$

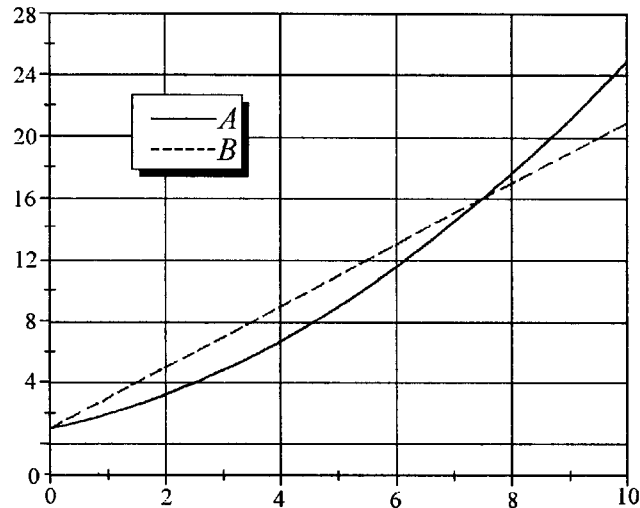


Рис. 3. Зависимость абсолютной погрешности преобразования от входного напряжения для различных типов АЦП при одинаковых диапазонах, разрядности и погрешности в начале шкалы: по горизонтальной оси — входное напряжение U_{in} , по вертикальной — отношение максимальной погрешности к минимальной; А — АЦП с дробно-линейной передаточной функцией; В — АЦП с логарифмической передаточной функцией

при различных k , приведены на рис. 2. Очевидно, что на выбор U_{R2} накладываются следующие ограничения:

1) $U_{R2} < (U_{Rmax} - kU_{in max})$, где U_{Rmax} — максимально допустимое значение опорного напряжения для используемого типа АЦП; $U_{in max}$ — максимальная величина входного сигнала;

2) минимальная величина U_{R2} определяется работоспособностью использованной микросхемы АЦП при минимальном значении входного сигнала.

Кроме того, для измерения быстроменяющихся сигналов необходимо оснастить схему дополнительным устройством выборки—хранения, которое изображено на рис. 1 пунктиром.

На рис. 3 показаны зависимости абсолютной ошибки преобразования для АЦП рассмотренного типа и АЦП с предварительным логарифмированием сигнала. Диапазоны входного сигнала, разрядность и погрешности в начале шкалы выбраны одинаковыми.

Предлагаемый АЦП обладает следующими достоинствами: строго заданной рациональной функцией преобразования, параметры которой задаются расчетным образом и не требуют калибровки; возможностью регулировки степени нелинейности преобразования; возможностью простого (с помощью одного сложения и деления) преобразования полученных значений либо в линейную шкалу (что необходимо перед выполнением фурье-преобразования), либо в шкалу с другой степенью нелинейности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сомьен Дж. Кодирование сенсорной информации в нервной системе млекопитающих. М.: Мир, 1975.
2. Loewenstein W. R. Excitation and inactivation in a receptor membrane // Ann. N. Y. Acad. Sci. 1961. 94, N 2. P. 510.

Поступила в редакцию 20 мая 1996 г.