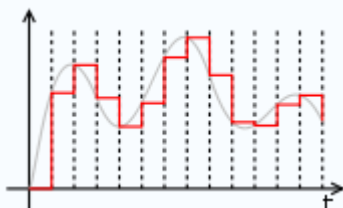


Цифро-аналоговый преобразователь

Материал из Википедии — свободной энциклопедии



Сигнал с ЦАП без [интерполяции](#) на фоне идеального сигнала.



8-канальный ЦАП [Cirrus Logic](#) CS4382 на звуковой плате [Sound Blaster X-Fi Fatal1ty](#)

В [электронике](#) **цифро-аналоговый преобразователь** (**ЦАП**) — устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в [аналоговый сигнал](#) ([ток](#), [напряжение](#) или [заряд](#)). Цифро-аналоговые преобразователи являются [интерфейсом](#) между дискретным цифровым миром и аналоговыми сигналами.

Аналого-цифровой преобразователь ([АЦП](#)) производит обратную операцию.

Звуковой ЦАП обычно получает на вход цифровой сигнал в [импульсно-кодовой модуляции](#) (PCM — pulse-code modulation). Задача преобразования различных сжатых форматов в PCM выполняется соответствующими [кодеками](#).

Содержание

- [1 Применение](#)
- [2 Типы ЦАП](#)
- [3 Характеристики](#)
- [4 См. также](#)
- [5 Ссылки и книги](#)
- [6 Литература](#)

Применение

ЦАП применяется всегда, когда надо преобразовать сигнал из цифрового представления в аналоговое, например, в проигрывателях [компакт-дисков](#) ([Audio CD](#)).

Типы ЦАП

Наиболее общие типы электронных ЦАП:

- **широотно-импульсный модулятор** — простейший тип ЦАП. Стабильный источник тока или напряжения периодически включается на время, пропорциональное преобразуемому цифровому коду, далее полученная импульсная последовательность фильтруется аналоговым фильтром низких частот. Такой способ часто используется для управления скоростью электромоторов, а также становится популярным в Ni-Fi (класс аппаратуры) аудиотехнике;
- **ЦАП передискретизации**, такие как *дельта-сигма ЦАП*, основаны на изменяемой плотности импульсов. Передискретизация позволяет использовать ЦАП с меньшей разрядностью для достижения большей разрядности итогового преобразования; часто дельта-сигма ЦАП строится на основе простейшего однобитного ЦАП, который является практически линейным. На ЦАП малой разрядности поступает импульсный сигнал с *модулированной плотностью импульсов* (с постоянной длительностью импульса, но с изменяемой скважностью), создаваемый с использованием отрицательной обратной связи. Отрицательная обратная связь выступает в роли фильтра высоких частот для шума квантования. Большинство ЦАП большой разрядности (более 16 бит) построены на этом принципе вследствие его высокой линейности и низкой стоимости. Быстродействие дельта-сигма ЦАП достигает сотни тысяч отсчетов в секунду, разрядность — до 24 бит. Для генерации сигнала с модулированной плотностью импульсов может быть использован простой дельта-сигма модулятор первого порядка или более высокого порядка как MASH (англ. *Multi stage noise SHaping*). С увеличением частоты передискретизации смягчаются требования, предъявляемые к выходному фильтру низких частот и улучшается подавление шума квантования;
- **взвешивающий ЦАП**, в котором каждому биту преобразуемого двоичного кода соответствует резистор или источник тока, подключенный на общую точку суммирования. Сила тока источника (проводимость резистора) пропорциональна весу бита, которому он соответствует. Таким образом, все ненулевые биты кода суммируются с весом. Взвешивающий метод один из самых быстрых, но ему свойственна низкая точность из-за необходимости наличия набора множества различных прецизионных источников или резисторов. По этой причине взвешивающие ЦАП имеют разрядность не более восьми бит;
- **цепная R-2R схема** является вариацией взвешивающего ЦАП. В R-2R ЦАП взвешенные значения создаются в специальной схеме, состоящей из резисторов с сопротивлениями R и $2R$. Это позволяет существенно улучшить точность по сравнению с обычным взвешивающим ЦАП, т.к. сравнительно просто изготовить набор прецизионных элементов с *одинаковыми* параметрами. Недостатком метода является более низкая скорость вследствие паразитной емкости;
- **сегментный ЦАП** содержит по одному источнику тока или резистору на каждое возможное значение выходного сигнала. Так, например, восьмибитный ЦАП этого типа содержит 255 сегментов, а 16-битный — 65535. Теоретически, сегментные ЦАП имеют самое высокое быстродействие, т.к. для преобразования достаточно замкнуть один ключ, соответствующий входному коду;
- **гибридные ЦАП** используют комбинацию перечисленных выше способов. Большинство микросхем ЦАП относится к этому типу; выбор конкретного набора способов является компромиссом между быстродействием, точностью и стоимостью ЦАП.

Характеристики

ЦАП находятся в начале аналогового тракта любой системы, поэтому параметры ЦАП во многом определяют параметры всей системы в целом. Далее перечислены наиболее важные характеристики ЦАП.

- **Разрядность** — количество различных уровней выходного сигнала, которые ЦАП может воспроизвести. Обычно задается в **битах**; количество бит есть **логарифм** по основанию 2 от количества уровней. Например, однобитный ЦАП способен воспроизвести два (2^1) уровня, а восьмибитный — 256 (2^8) уровней. Разрядность тесно связана с *эффективной разрядностью* (**англ. ENOB** — *Effective Number of Bits*), которая показывает реальное разрешение, достижимое на данном ЦАП.
- **Максимальная частота дискретизации** — максимальная частота, на которой ЦАП может работать, выдавая на выходе корректный результат. В соответствии с **теоремой Шенона-Найквиста** (известной также как **теорема Котельникова**), для корректного воспроизведения аналогового сигнала из цифровой формы необходимо, чтобы частота дискретизации была не менее, чем удвоенная максимальная частота в спектре сигнала. Например, для воспроизведения всего слышимого человеком звукового диапазона частот (обычно от 16 до 20 000 Гц), спектр которого простирается до 20 кГц, необходимо, чтобы звуковой сигнал был дискретизован с частотой не менее 40 кГц. Стандарт Audio CD устанавливает частоту дискретизации звукового сигнала 44,1 кГц; для воспроизведения данного сигнала понадобится ЦАП, способный работать на этой частоте. В дешевых компьютерных **звуковых картах** частота дискретизации составляет 48 кГц. Сигналы, дискретизованные на других частотах, подвергаются передискретизации до 48 кГц, что частично ухудшает качество сигнала.
- **Монотонность** — свойство ЦАП увеличивать аналоговый выходной сигнал при увеличении входного кода.
- **THD+N (суммарные гармонические искажения + шум)** — мера искажений и шума вносимых в сигнал ЦАПом. Выражается в процентах мощности гармоник и шума в выходном сигнале. Важный параметр при малосигнальных применениях ЦАП.
- **Динамический диапазон** — соотношение наибольшего и наименьшего сигналов, которые может воспроизвести ЦАП, выражается в **дБ**. Данный параметр связан с разрядностью и **шумовым порогом**.
- Статические характеристики:
 - DNL (дифференциальная нелинейность) характеризует, насколько приращение аналогового сигнала, полученное при увеличении кода на 1 **младший значащий разряд** (МЗР), отличается от правильного значения;
 - INL (интегральная нелинейность) характеризует, насколько **передаточная характеристика** ЦАП отличается от идеальной. Идеальная характеристика строго линейна; INL показывает, насколько напряжение на выходе ЦАП при заданном коде отстоит от линейной характеристики; выражается в МЗР;
 - усиление;
 - смещение.
- Частотные характеристики:

- SNDR ([отношение сигнал/шум](#)+искажения) характеризует в децибелах отношение мощности выходного сигнала к суммарной мощности шума и гармонических искажений;
- HD_i (коэффициент *i*-й гармоники) характеризует отношение *i*-й гармоники к основной гармонике;
- THD ([коэффициент гармонических искажений](#)) — отношение суммарной мощности всех гармоник (кроме первой) к мощности первой гармоники.

См. также

- [Covox](#)
- [Модем](#)
- [Аналого-цифровой преобразователь](#)

Ссылки и книги

- [Цифро-аналоговые преобразователи \(ЦАП\), теория и принципы работы](#) с сайта Рынок Микроэлектроники.
- [Цифро-аналоговые преобразователи \(ЦАП\) для задач цифровой обработки сигналов.](#)
- [R-2R Ladder DAC explained](#) содержит схемы.
- [INL/DNL Measurements for High-Speed ADCs](#) объясняет, как вычисляются INL и DNL.

Литература

- Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николич Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования = Digital Integrated Circuits. — 2-ое изд. — М.: «Вильямс», 2007. — С. 912. — ISBN 0-13-090996-3
- S. Norsworthy, Richard Schreier, Gabor C. Temes, *Delta-Sigma Data Converters*. ISBN 0-7803-1045-4.
- Mingliang Liu, *Demystifying Switched-Capacitor Circuits*. ISBN 0-7506-7907-7.
- Behzad Razavi, *Principles of Data Conversion System Design*. ISBN 0-7803-1093-4.
- Phillip E. Allen, Douglas R. Holberg, *CMOS Analog Circuit Design*. ISBN 0-19-511644-5.
- [В.Б.Смолов, В.С.Фомичев "Аналого-цифровые и цифроаналоговые вычислительные устройства", Энергия, 1974 г.](#)

Источник — [«http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE-%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C»](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE-%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C)

Категории: [Аппаратное обеспечение](#) | [Сопряжение цифровых и аналоговых систем](#) | [Импульсная техника](#)