

УДК 004.422.8

АНАЛОГО-ЦИФРОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ПОЧАТКІВЦІВ

Вітриченко А.А., Герасимчук Б.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, Київ

У цій статті розглянуті основні питання, що стосуються принципу дії АЦП різних типів. При цьому деякі важливі теоретичні викладки, що стосуються математичного опису аналого-цифрового перетворення залишилися за рамками статті, але наведені посилання, за якими зацікавлений читач зможе знайти більш глибоке розгляд теоретичних аспектів роботи АЦП. Таким чином, стаття стосується більшою мірою розуміння загальних принципів функціонування АЦП, ніж теоретичного аналізу їх роботи. Розглянуті основні типи аналого-цифрових перетворювачів та їх характеристики.

Ключові слова: АЦП, аналого-цифрове перетворення.

Vitrichenko A.A., Gerasymchuk B.V. Аналого-цифровое преобразование для начинающих / Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", Украина, Киев

В этой статье рассмотрены основные вопросы, касающиеся принципа действия АЦП различных типов. При этом некоторые важные теоретические выкладки, касающиеся математического описания аналого-цифрового преобразования остались за рамками статьи, но приведены ссылки, по которым заинтересованный читатель сможет найти более глубокое рассмотрение теоретических аспектов работы АЦП. Таким образом, статья касается в большей степени понимания общих принципов функционирования АЦП, чем теоретического анализа их работы. Рассмотрены основные типы аналого-цифровых преобразователей и их характеристики.

Ключевые слова: АЦП, аналого-цифровое преобразование.

Vitrichenko A.A., Gerasymchuk B.V. Analog to digital conversion for beginners / National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine, Kiev

This article discusses the main issues relating to the principle of action of different types of ADC. However, some important theoretical calculations regarding the mathematical description of the analog-to-digital conversion remained outside the article, but are links on which the interested reader can find more in-depth review of the theoretical aspects of the ADC. Thus, the article refers to a greater degree of understanding of the general principles of ADC functioning than the theoretical analysis

of their work. The main types of analog-to-digital converters and their characteristics.

Key words: ADC, analog-to-digital conversion.

Вступ. У якості відправної точки дамо визначення аналого-цифровому перетворенню. Аналого-цифрове перетворення - це процес перетворення вхідної фізичної величини в її числове уявлення. Аналого-цифровий перетворювач - пристрій, що виконує таке перетворення. Формально, вхідною величиною АЦП може бути будь-яка фізична величина - напруга, струм, опір, ємність, частота проходження імпульсів, кут повороту вала і т.п. Однак, для визначеності, в подальшому під АЦП ми будемо розуміти виключно перетворювачі напруга-код.

Поняття аналого-цифрового перетворення тісно пов'язане з поняттям вимірювання. Під вимірюванням розуміється процес порівняння вимірюваної величини з певним еталоном, при аналого-цифровому перетворенні відбувається порівняння вхідної величини з деякою опорної величиною (як правило, з опорною напругою). Таким чином, аналого-цифрове перетворення може розглядатися як вимір значення вхідного сигналу, і до нього застосовні всі поняття метрології, такі, як похибки вимірювання.

Основні характеристики АЦП

АЦП має безліч характеристик, з яких основними можна назвати частоту перетворення і розрядність. Частота перетворення зазвичай виражається в отсчетах в секунду (samples per second, SPS), розрядність - в бітах. Сучасні АЦП можуть мати розрядність до 24 біт і швидкість перетворення до одиниць GSPS (звичайно, не одночасно). [1]

Типи АЦП

Існує безліч типів АЦП, однак в рамках даної статті ми обмежимося розглядом тільки наступних типів:

- АЦП паралельного перетворення (прямого перетворення, flash ADC)
- АЦП послідовного наближення (SAR ADC)
- дельта-сигма АЦП (АЦП з балансуванням заряду)[1]

АЦП прямого перетворення

АЦП прямого перетворення набули широкого поширення в 1960-1970 роках, і стали вироблятися у вигляді інтегральних схем в 1980-х. Вони часто використовуються в складі «конвеєрних» АЦП (в даній статті не розглядаються), і мають розрядність 6-8 біт при швидкості до 1 GSPS.[2]

Архітектура АЦП прямого перетворення зображена на рис. 1

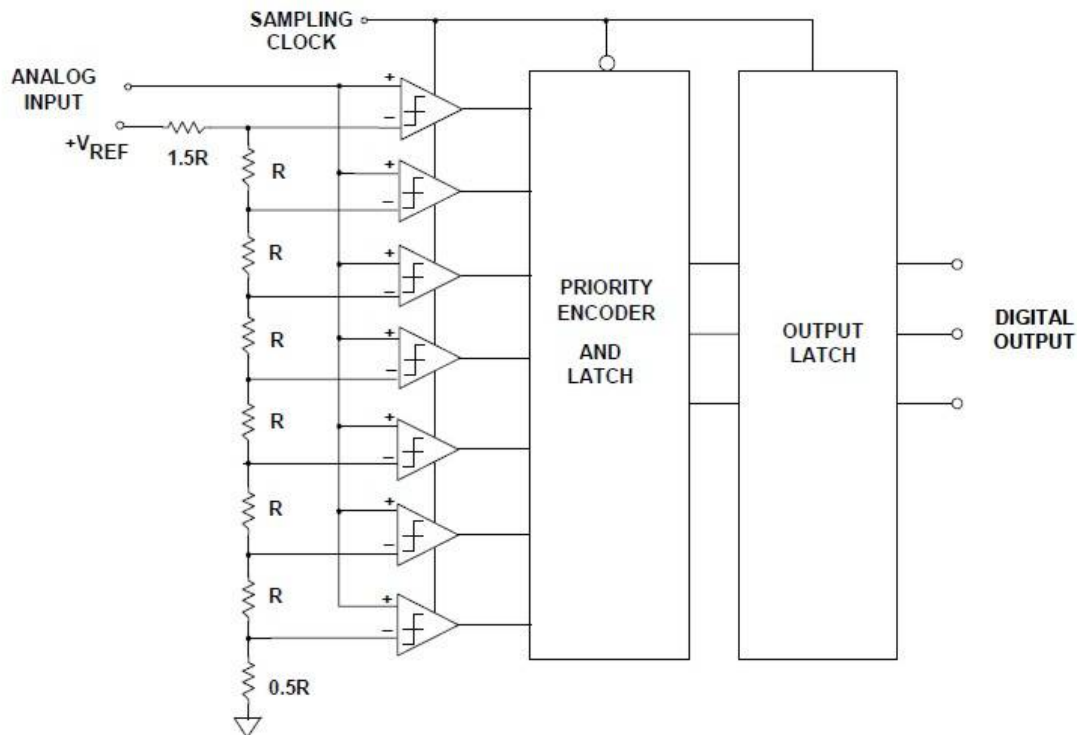


Рисунок 1 - Структурна схема АЦП прямого перетворення

Принцип дії АЦП гранично простий: вхідний сигнал надходить одночасно на всі «плюсові» входи компараторів, а на «мінусові» подається ряд напруг, одержуваних з опорного шляхом ділення резисторами R . Для схеми на рис. 1 цей ряд буде таким: $(1/16, 3/16, 5/16, 7/16, 9/16, 11/16, 13/16) U_{ref}$, де U_{ref} - опорна напруга АЦП.[2]

Нехай на вхід АЦП подається напруга, рівна $1/2 U_{ref}$. Тоді спрацюють перші 4 компаратора (якщо рахувати знизу), і на їх виходах з'являться логічні одиниці. Пріоритетний шифратор (priority encoder) сформує з «стовпчика» одиниць двійковий код, який фіксується вихідним регістром.[2]

Тепер стають зрозумілими переваги та недоліки такого перетворювача. Всі компаратори працюють паралельно, час затримки схеми дорівнює часу затримки в одному компараторі плюс час затримки в шифраторі. Компаратор і шифратор можна зробити дуже швидкими, в результаті вся схема має дуже високу швидкодію.

АЦП послідовного наближення

АЦП послідовного наближення реалізує алгоритм «зважування», висхідний ще до Фібоначчі. У своїй книзі «Liber Abaci» (1202 г.) Фібоначчі розглянув «завдання про вибір найкращої системи гир», тобто про знаходження такого ряду ваг гир, який би вимагав для знаходження ваги предмета мінімальної кількості зважувань на важільних вагах. Рішенням цього завдання є «двійковий» набір гир. [3]

Аналого-цифровий перетворювач послідовного наближення (SAR, Successive Approximation Register) вимірює величину вхідного

сигналу, здійснюючи ряд послідовних «зважувань», тобто порівнянь величини вхідної напруги з рядом величин, що генеруються в такий спосіб:

1. На першому етапі на виході вбудованого цифро-аналогового перетворювача встановлюється величина, що дорівнює $1/2U_{ref}$ (тут і далі ми припускаємо, що сигнал знаходиться в інтервалі $0 - U_{ref}$).

2. Якщо сигнал більше цієї величини, то він порівнюється з напругою, що лежить посередині інтервалу що залишився, тобто, в даному випадку, $3/4U_{ref}$. Якщо сигнал менше встановленого рівня, то таке порівняння буде проводитися з меншою половиною цього інтервалу (тобто з рівнем $1/4U_{ref}$).

3. Крок 2 повторюється N раз. Таким чином, N порівнянь («зважувань») породжує N біт результату.

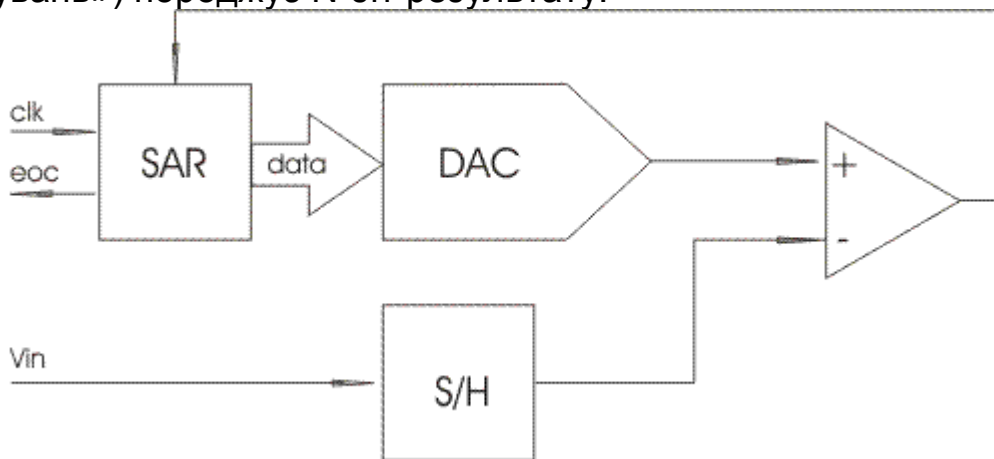


Рисунок 2 - Структурна схема АЦП послідовного наближення.

Таким чином, АЦП послідовного наближення складається з наступних вузлів:

1. Компаратор. Він порівнює вхідну величину і поточне значення «вагової» напруги (на рис. 2. позначений трикутником).[3]

2. Цифро-аналоговий перетворювач (Digital to Analog Converter, DAC). Він генерує «вагове» значення напруги на основі цифрового коду, що надходить на вхід.[3]

3. Регістр послідовного наближення (Successive Approximation Register, SAR). Він здійснює алгоритм послідовного наближення, генеруючи поточне значення коду, що подається на вхід ЦАП. За його назвою названа вся ця архітектура АЦП.[3]

4. Схема вибірки-зберігання (Sample / Hold, S / H). Для роботи даного АЦП принципово важливо, щоб вхідна напруга зберігала незмінну величину протягом всього циклу перетворення. Однак «реальні» сигнали мають властивість змінюватися в часі. Схема вибірки-зберігання «запам'ятовує» поточне значення аналогового сигналу, і зберігає його незмінним протягом усього циклу роботи пристрою.[4]

Перевагою пристрою є відносно висока швидкість перетворення: час перетворення N -бітного АЦП становить N тактів. Точність перетворення обмежена точністю внутрішнього ЦАП і може становити 16-18 біт (зараз стали з'являтися і 24-бітові SAR ADC, наприклад, AD7766 і AD7767).

Дельта-сигма АЦП

І, нарешті, найцікавіший тип АЦП - сигма-дельта АЦП, іноді званий в літературі АЦП з балансуванням заряду. Структурна схема сигма-дельта АЦП наведена на рис. 3.

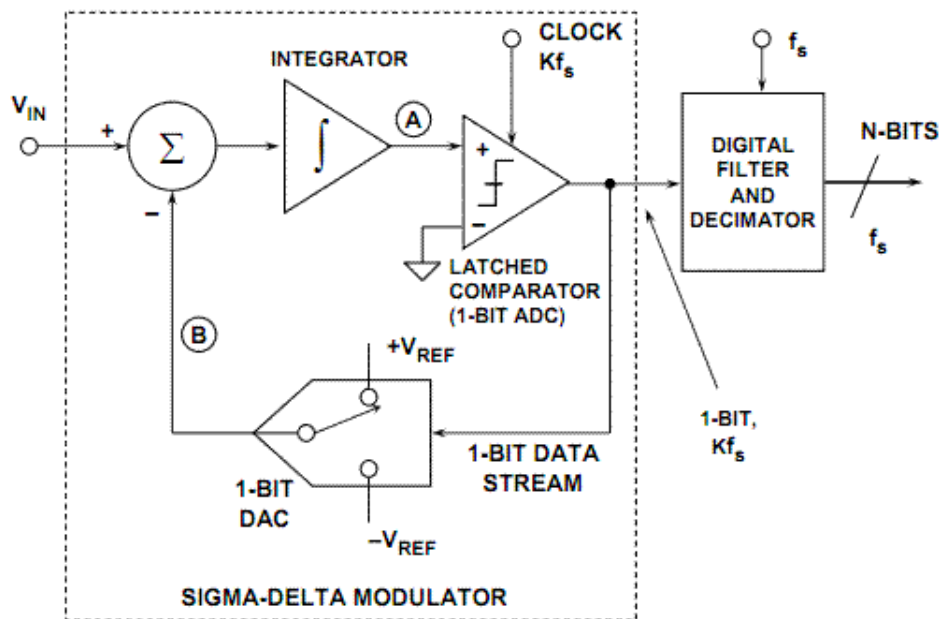


Рисунок 3 - Структурна схема сигма-дельта АЦП.

Принцип дії даного АЦП кілька більш складний, ніж у інших типів АЦП. Його суть в тому, що вхідна напруга порівнюється зі значенням напруги, накопиченої інтегратором. На вхід інтегратора подаються імпульси позитивної або негативної полярності, в залежності від результату порівняння. Таким чином, даний АЦП є простою системою, що стежить: напруга на виході інтегратора «відстежує» вхідну напругу (рис. 4). Результатом роботи даної схеми є потік нулів і одиниць на виході компаратора, який потім пропускається через цифровий ФНЧ, в результаті виходить N -розрядний результат. ФНЧ на рис. 3. Об'єднаний з «дециматором», пристроєм, що знижує частоту слідування відліків шляхом їх «проріджування».[5]

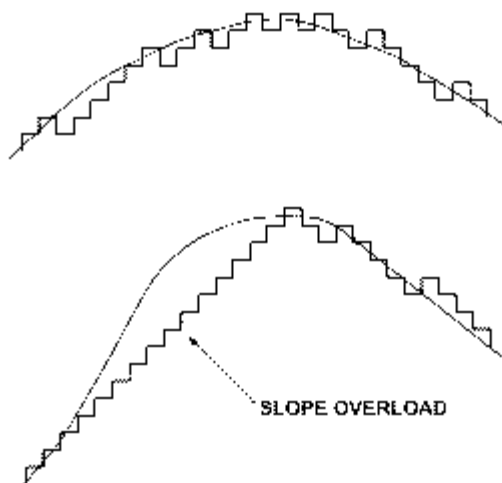


Рисунок 4 - Сигма-дельта АЦП як система, що “стежить”

Отже, основною перевагою сигма-дельта АЦП є висока точність, обумовлена вкрай низьким рівнем власного шуму. Однак для досягнення високої точності потрібно, щоб частота зрізу цифрового фільтра була якомога нижче, у багато разів менше частоти роботи сигма-дельта модулятора. Тому сигма-дельта АЦП мають низьку швидкість перетворення.[5]

Вони можуть використовуватися в аудіотехніці, однак основне застосування знаходять в промисловій автоматичній для перетворення сигналів датчиків, в вимірювальних приладах, і в інших додатках, де потрібна висока точність, але не потрібно високої швидкості.[5]

Висновки.

В цій статті були розглянуті різні аналого-цифрові перетворювачі, їх плюси та мінуси. Ця стаття є гарним матеріалом для початківців, що хочуть вивчати цю технологію.

Література:

1. Балакай В.Г. Інтегральні схеми аналого-цифрових перетворювачів / Балакай В.Г., Крюк І.П., Лук'янов Л.М.; Под ред. Лук'янова Л.М. - М: Енергія, 2008 .-257с.: Ил. .-Бібліогрс.251-256.
2. Гельман М.М. Аналого-цифрові перетворювачі для інформаційно-вимірювальних систем /Гельман М.М. -М.: Видання стандартів, 2009-317с.
3. Бирюков С.А. Цифрові прилади на МОП-інтегральних мікросхемах / Бирюков С.А. - М.: Радіо та зв'язок, 2007.-129с.: ил. - (Масова радіобібліотека; Вид.1132).
4. Букреев І.Н. Мікроелектронні схеми цифрових приладів /Букреев І.Н., Горячев В.І., Мансуров Б.М. .-3-е вид., перероб. та доп.- М.: Радіо та зв'язок, 2009 .-416с.

5. Гольденберг Л.М. Цифрові прилади на інтегральних схемах / Гольденберг Л.М., Бутильский Л.М., Поляк М.Н. – М: Зв'язок, 2009 .- 232с.

References:

1. Balakay V.G. *Integrated circuits of analog to digital converters* / Balakay, V.G. Kruk, I.P. Lukyanov L.N.; Under red. Lukyanova L.M .- M: Enerhiya, 2008. 257p - Ill. - Bibliohrs.251-256.

2. Helman M.M. *Analog -to-digital converters for informational and measuring systems/ Helman M.M. Publication of Standards , 2009 .- 317p*

3. Birukov S.A. *Digital devices for MOS integrated circuits* / Birukov S.A. M.: Radio and Communications, 2007. Ref.: - 129p. - (Mass radiolibrary; Vyd.1132).

4. Bukreev I.N. *Microelectronic circuit digital devices* / Bukreev I.N., Goryachev V.I., Mansurov B.M., 3rd ed., revised. and add. - M.: Radio and Communications , 2009 .- 416p.

5. Goldenberg L.M. *Digital devices on integrated circuits* / Goldenberg L.M., Butylskiy L.M., Polyak M.N.. –M: Communication, 2009 .-232p.