

EMBEDDED

л.7

Аналогова периферія

Палій Святослав

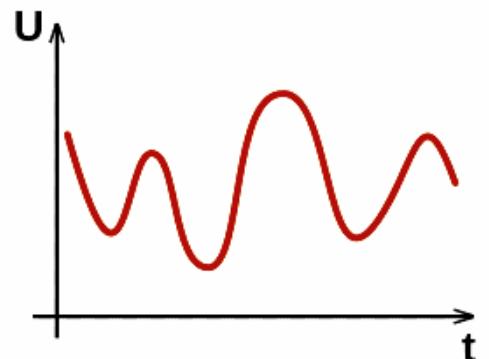


**Наш світ не цифровий, і
не дискретний в часі!**

Аналоговий сигнал

Аналоговий сигнал - це тип сигналу, який представляє дані як безперервну варіацію фізичної величини. Він може бути у вигляді електричного струму, звуку, світла та інших фізичних величин. Наприклад, звукові хвилі або радіохвилі можуть бути прикладами аналогових сигналів. У порівнянні з цифровими сигналами, які представляють дані у вигляді окремих дискретних значень, аналогові сигнали мають безперервний спектр значень.

Приклад аналогового сигналу

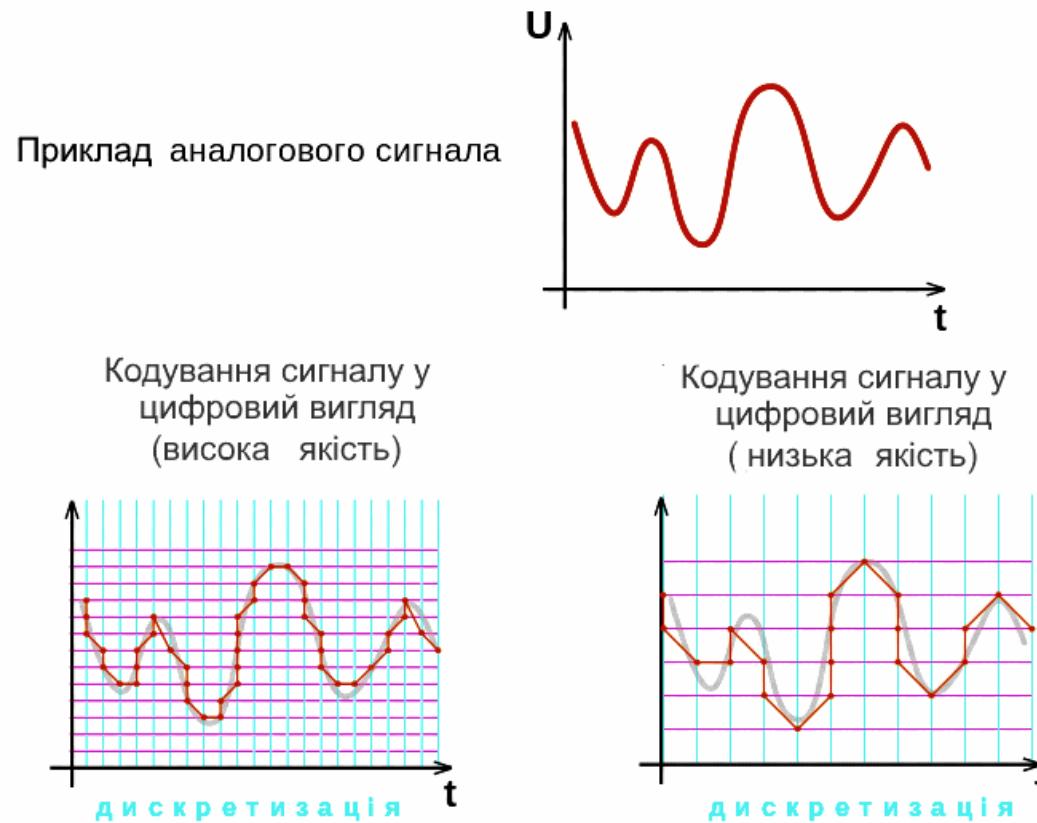


Ось декілька прикладів аналогових сигналів:

1. **Звукові хвилі** - наприклад, коли ви говорите або слухаєте музику.
2. **Радіохвилі** - використовуються для передачі сигналів радіо та телебачення.
3. **Світлові хвилі** - використовується в оптичних волокнах для передачі даних, а також в пультах дистанційного управління
4. **Температурні зміни** - звичайний термометр, який показує зміну температури в реальному часі.
5. **Електричні сигнали** - сигнали з датчиків, навіть наші м'язи та нерви керуються електричними сигналами.

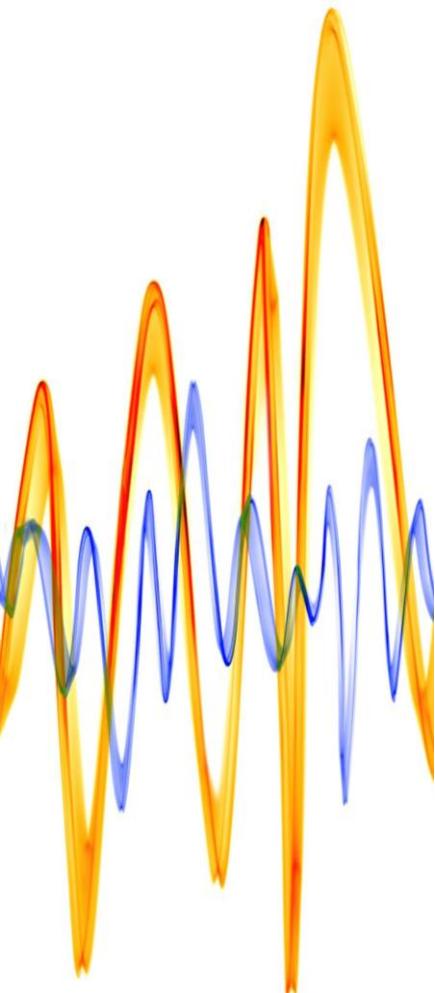
Як правило для взаємодії з мікроконтролерами сигнали приводяться до їх електричних еквівалентів.

Перетворення аналогового сигналу до цифрового вигляду



Аналоговий сигнал триває безперервно протягом усього часу. Він може бути представлений у вигляді синусоїdalного коливання або у загальному випадку, розкладеним у ряд Фур'є, як сума синусоїdalних коливань з певними амплітудами та частотами. На відміну від аналогових сигналів, дискретні сигнали обмежені в часі та складаються з окремих імпульсів. Керування. Перевагою аналогових сигналів є відсутність невизначеності між відліками, яка існує у дискретних синалах

Характеристики аналогового сигналу



- **Амплітуда:** Це максимальний розмах значень сигналу. Для електричних сигналів вимірюється у вольтах або амперах.
- **Частота:** Це кількість коливань сигналу в секунду. Вимірюється у герцах (Гц).
- **Довжина хвилі:** Це відстань між двома послідовними піками або впадинами сигналу. Вона обернено пропорційна частоті.
- **Спектр:** Це представлення сигналу у частотній області, що показує, з яких частот складається сигнал.
- **Фаза:** Це початкова точка у часовій шкалі коливання сигналу. Вона визначає зміщення сигналу у часі.
- **Шум:** Небажані зміни у сигналі, які можуть вплинути на його якість і передачу.
- **SNR:** співвідношення сигнал/шум, рівень шуму (котрий може також додаватися каналом передачі по відношенню до корисної частини сигналу)

Переваги аналогових сигналів

Аналогові сигнали прості у обробці та передачі, а також рідні для реального світу що робить їх ідеальними для певних застосувань.

Недоліки аналогових сигналів

Шум і спотворення притаманні аналоговим каналам та засобам обробки та можуть суттєво впливати на якість аналогових сигналів, знижуючи їх ефективність.

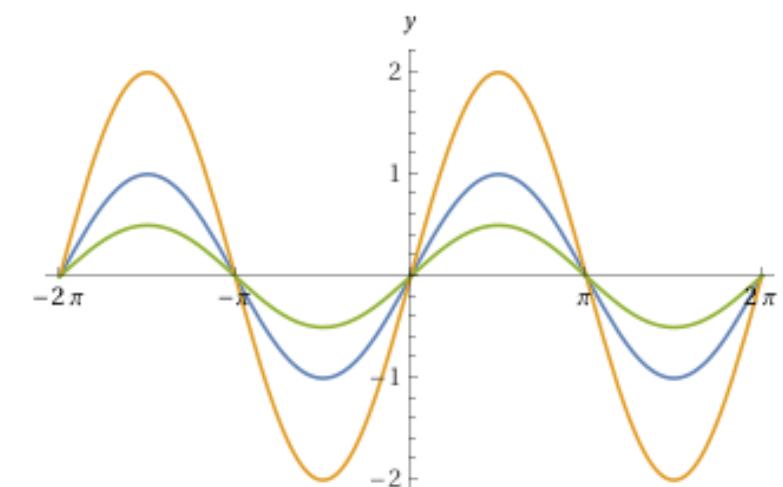
Обробка аналогового сигналу

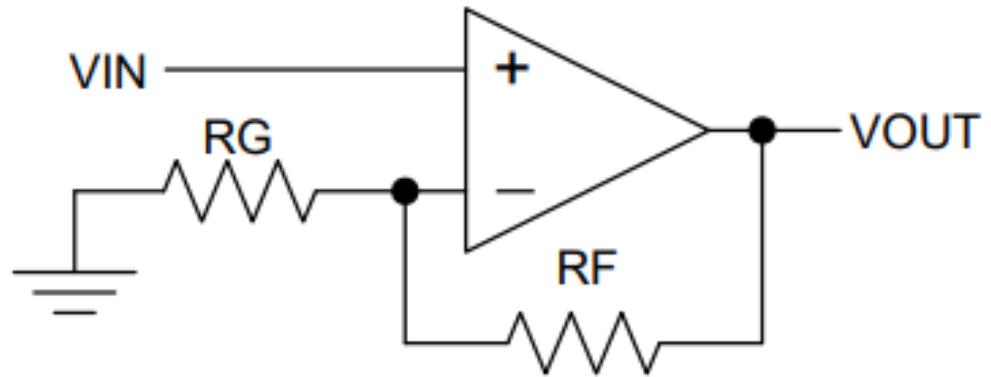
Зазвичай перед приведенням сигналу до цифрової форми сигнал потрібно «підігнати» під певні рамки, котрі відображають можливості цифрової системи сприйняття такий сигнал.

Посилення (ампліфікація): Це процес збільшення амплітуди (сили) сигналу. Ампліфікатори використовуються для посилення слабких сигналів, щоб їх можна було легше обробити або передати на відстань. Наприклад, підсилювач звуку збільшує амплітуду звукових хвиль, роблячи звук гучнішим.

Послаблення (атеноація): Це процес зменшення амплітуди (сили) сигналу. Атенюатори використовуються для зменшення сили сильних сигналів, щоб запобігти перевантаженню або навіть і пошкодженню обладнання.

Застосування аналогових фільтрів: таким способом можна вилучити частину спектру сигналу, котрий є радше шумом або не несе корисної інформації.



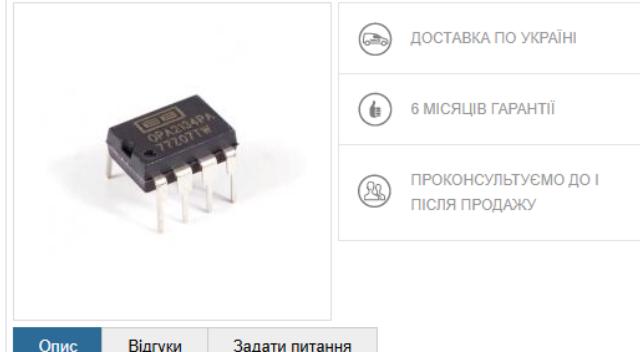


$$A = 1 + \frac{R_f}{R_g},$$

$$V_{out} = V_{in} \cdot \left(1 + \frac{R_f}{R_g} \right)$$

Операційний підсилювач OPA2134РА двоканальний DIP8 1шт

код: SKV414



29 грн

в наявності

- 1 + КУПИТИ

[Купити в один клік](#)



★★★★★ 10
голосувати

[Знайшли дешевше?](#)

Малошумний операційний підсилювач OPA2134 (DIP-8) з ультранизьким рівнем спотворень і польовими транзисторами на вході. Призначений для посилення слабких сигналів в аудіотехніці, підсилювачах з великим вхідним опором в широкому діапазоні живлення та ін.

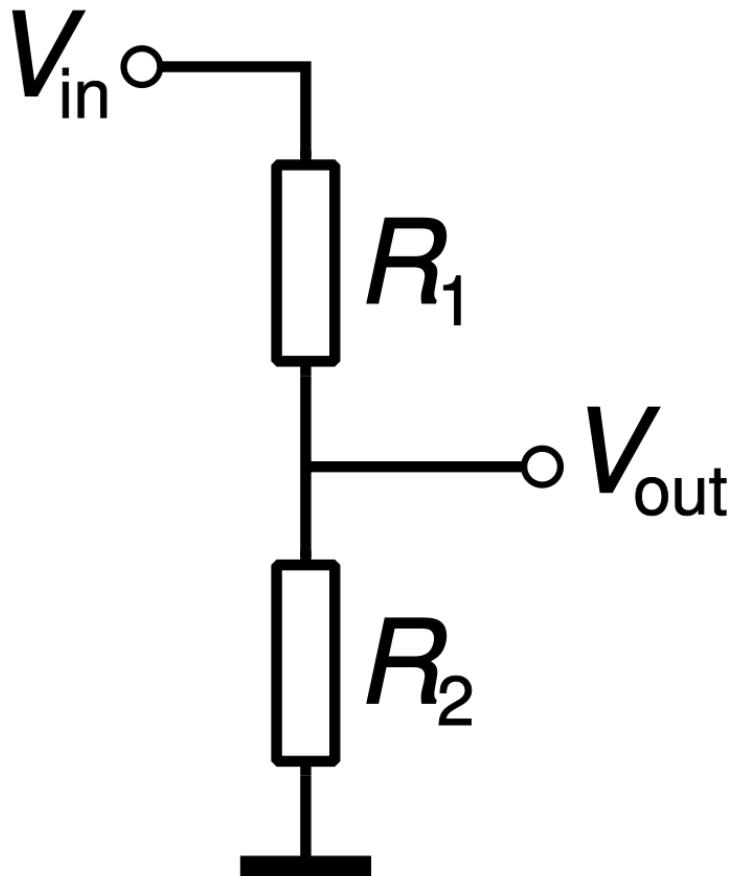
Характеристики:

- Маркування: OPA2134PA
- Корпус: PDIP-8
- Рівень спотворень: 0.00008% на навантаженні 2 кОм
- Вхідний струм: 5 пА
- Швидкість наростання вихідного сигналу: 20 В/мкс
- Частота одиничного посилення: 8 МГц
- Напруга живлення: від ± 2.5 до ± 18 В

Посилання:

- [Даташит](#)

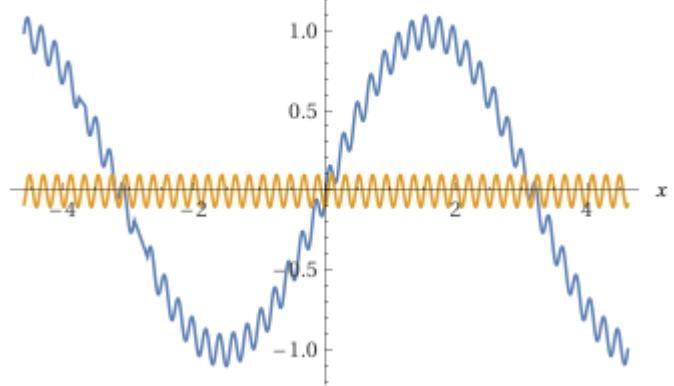
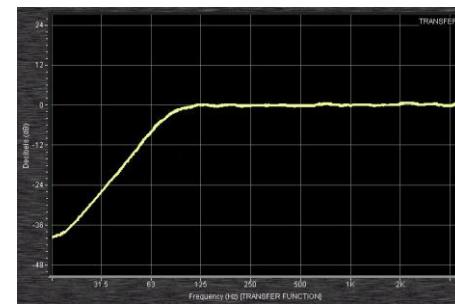
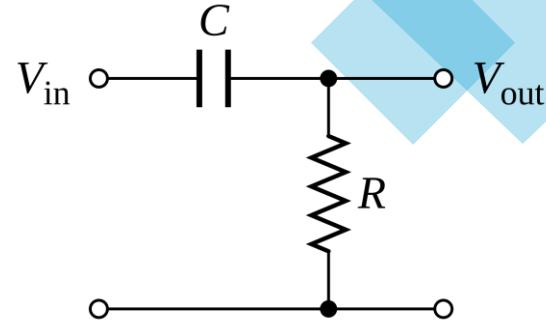
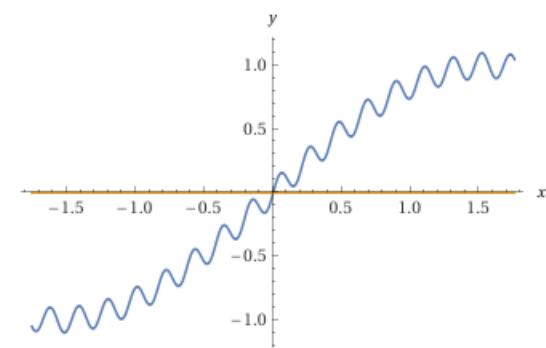
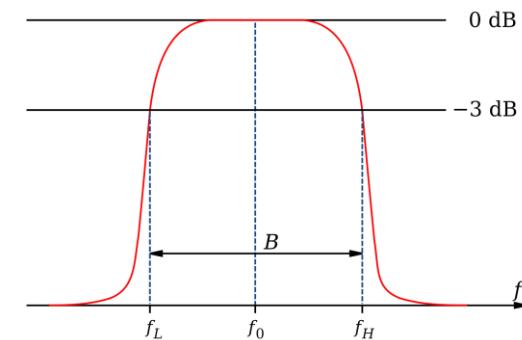
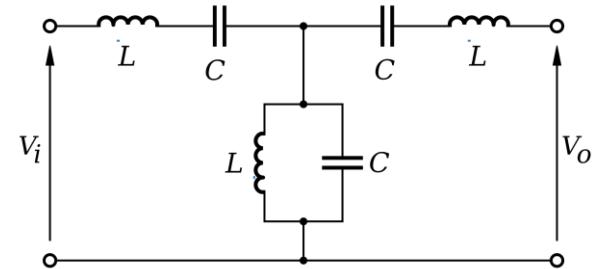
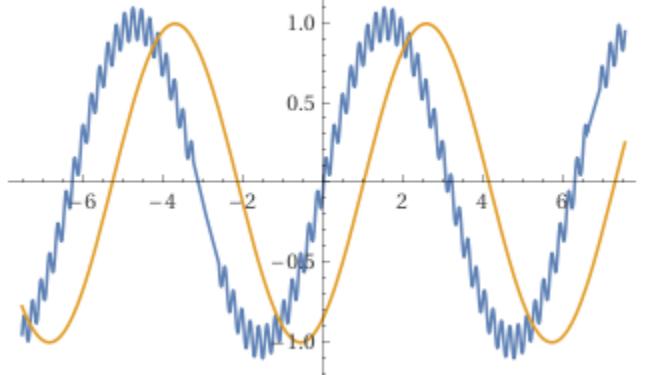
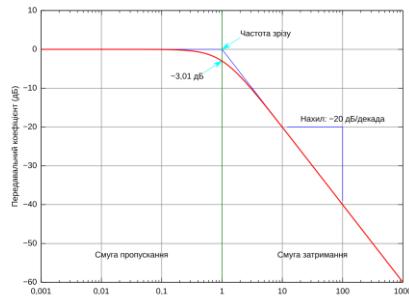
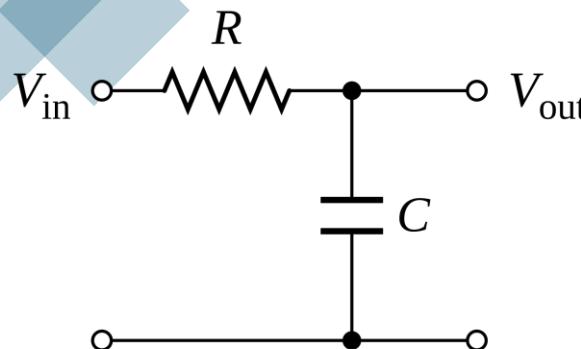
Найпростіша атенюація
може виглядати ось так:



$$A = \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

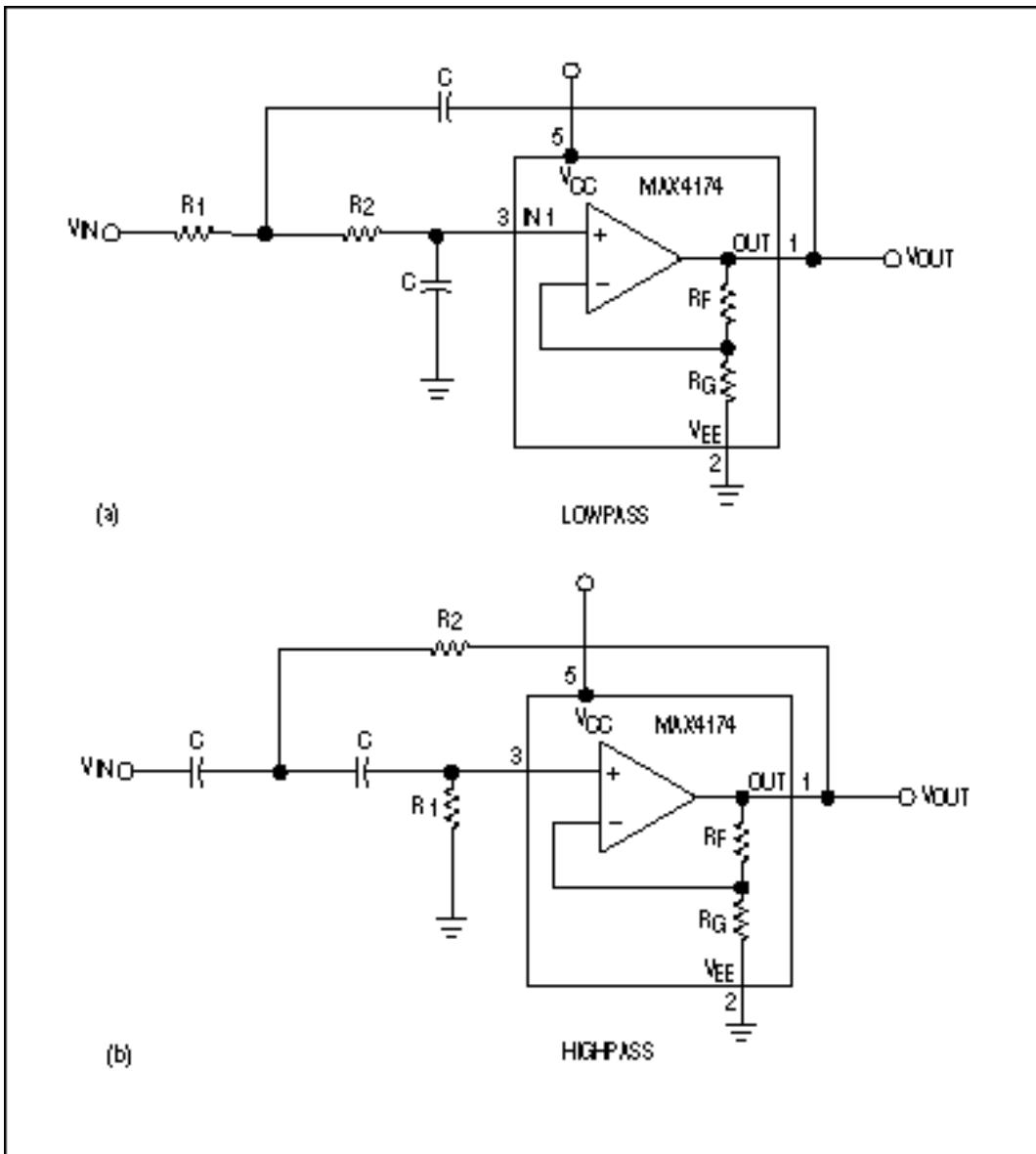
$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Найпростіші фільтри



Дуже просто але трохи детальніше + online калькулятор

<https://myproject.com.ua/kalkulator-reaktyvnoho-oporu-kondensatoriv-ta-kotushok.html>



В даному прикладі фільтр Батервортса.

При використанні операційних підсилювачів можна одночасно добитися ефекту посилення і фільтрації сигналу одночасно.

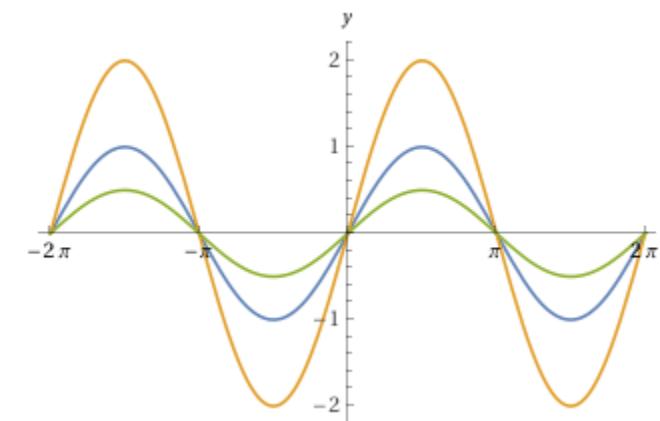
Ключові інструменти

Зазвичай перед приведенням сигналу до цифрової форми сигнал потрібно «підігнати» під певні рамки, котрі відображають можливості цифрової системи сприйняття такий сигнал.

Посилення (ампліфікація): Це процес збільшення амплітуди (сили) сигналу. Ампліфікатори використовуються для посилення слабких сигналів, щоб їх можна було легше обробити або передати на відстань. Наприклад, підсилювач звуку збільшує амплітуду звукових хвиль, роблячи звук гучнішим.

Послаблення (атеноація): Це процес зменшення амплітуди (сили) сигналу. Атенюатори використовуються для зменшення сили сильних сигналів, щоб запобігти перевантаженню або навіть і пошкодженню обладнання.

Застосування аналогових фільтрів: таким способом можна вилучити частину спектру сигналу, котрий є радше шумом або не несе корисної інформації.

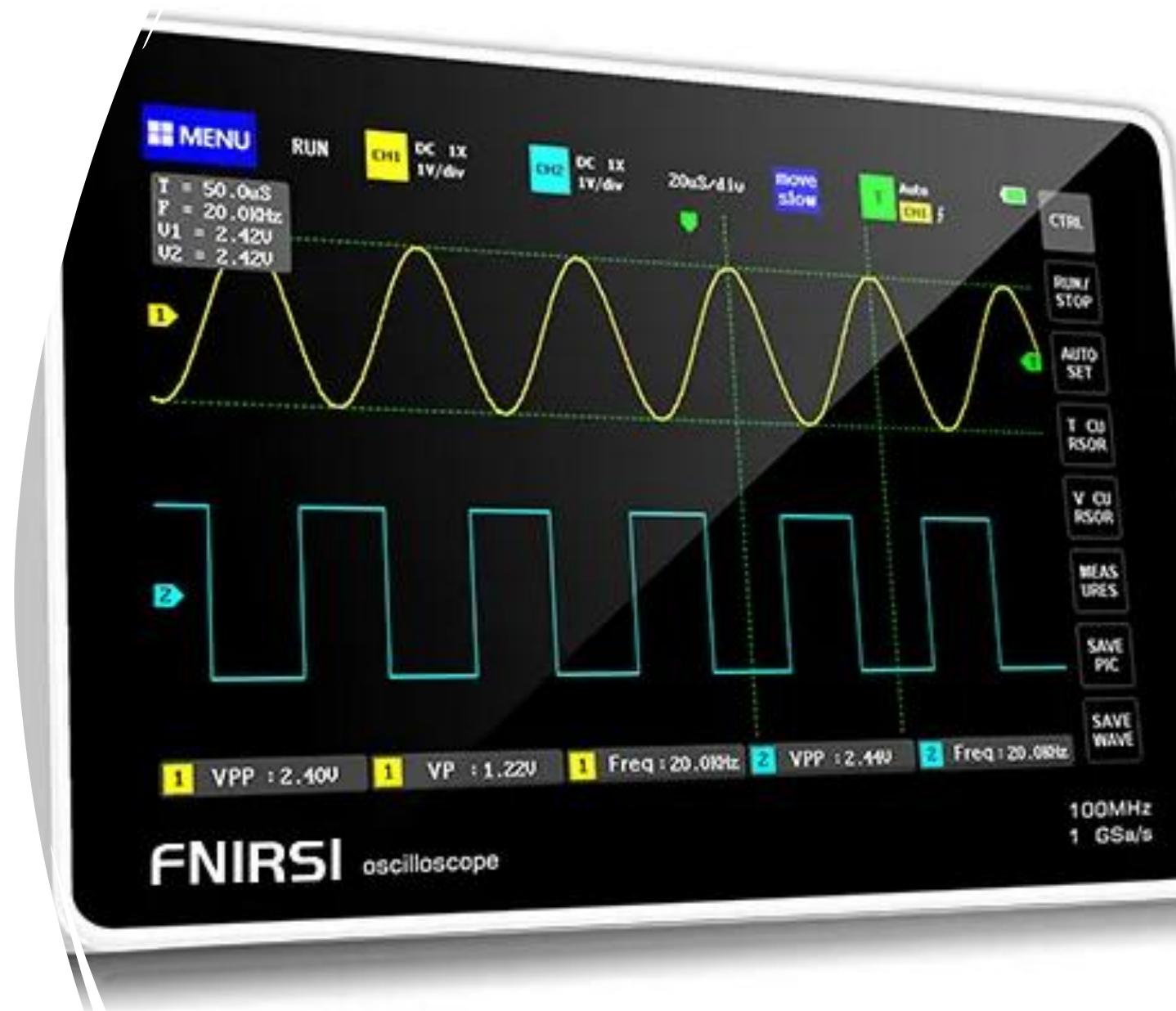


Ключові інструменти

Осцилограф

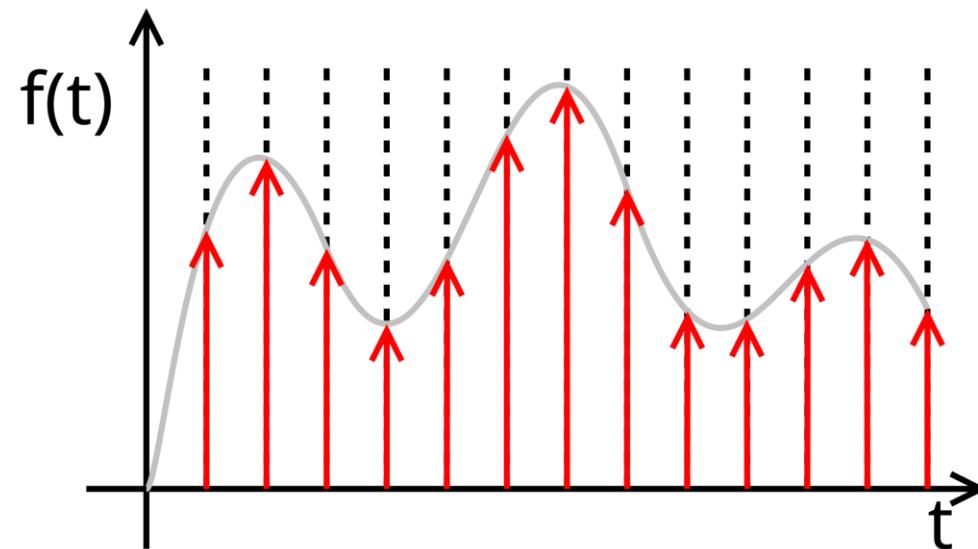
Генератор
сигналів,

Аналізатор спектру

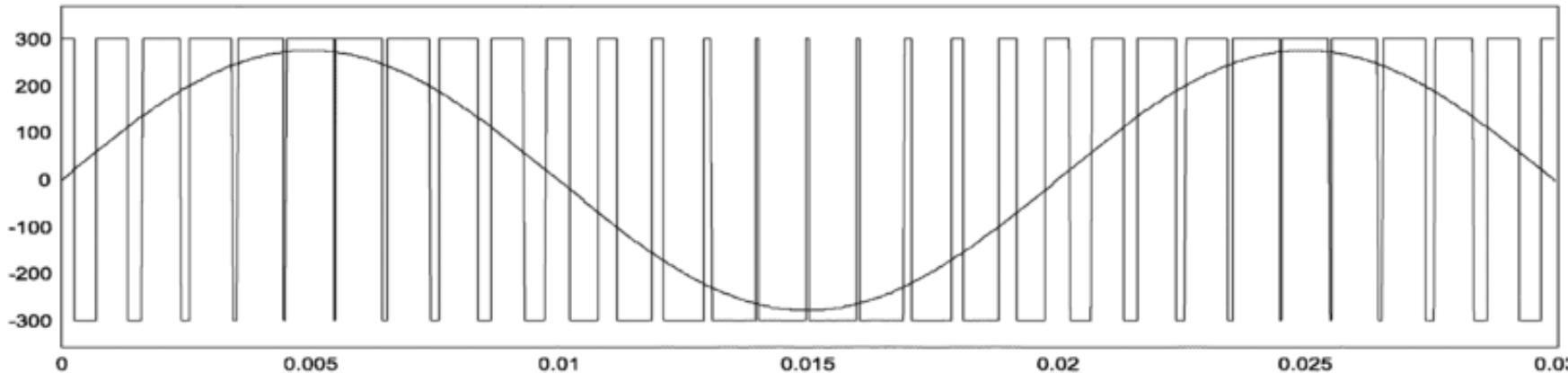


Цифро-Аналогове Перетворення

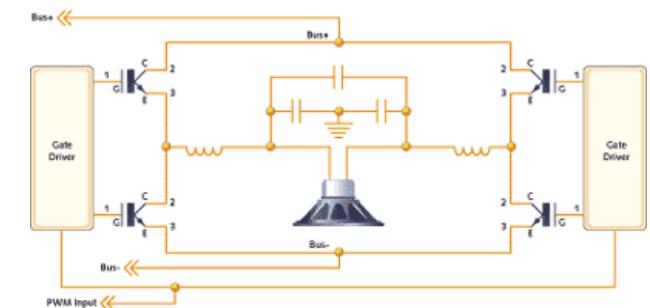
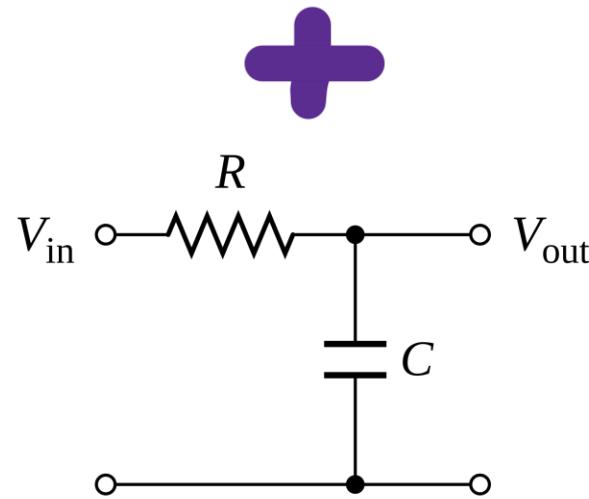
Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП, **DAC** — *Digital-to-Analog Convertor*) — електронний пристрій для перетворення цифрового сигналу на аналоговий.



PWM

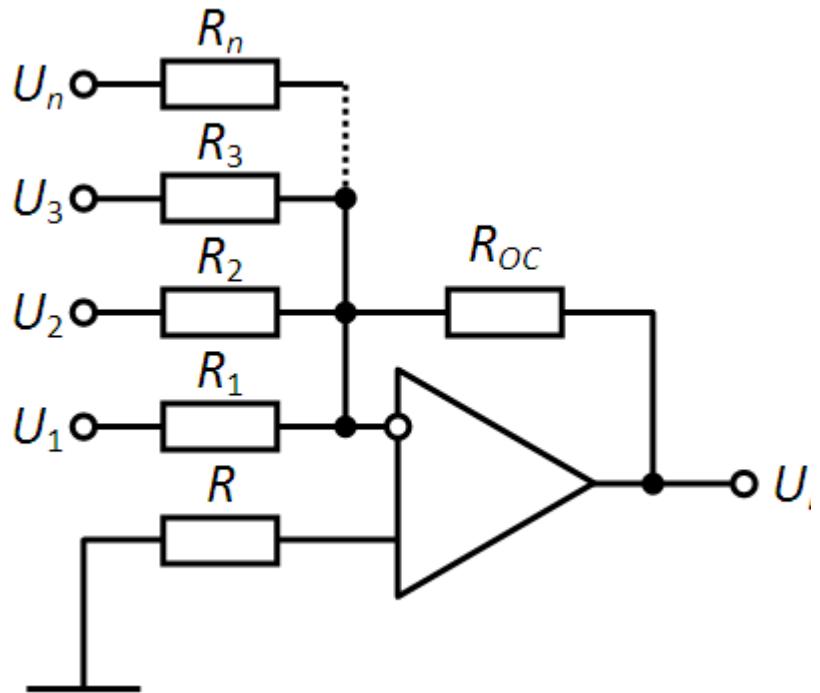


Filter



В деяких випадках можна навіть обійтися без фільтра, якщо процес яким керують є достатньо повільним
Саме такий підхід реалізовано в Arduino за допомогою функції **analogWrite(pin, value)**

- DAC на принципі суматора струмів



$$R_2 = R_1 / 2$$

$$R_3 = R_2 / 2 = R_1 / 4$$

$$R_4 = R_3 / 2 = R_2 / 4 = R_1 / 8$$

Отже існують DAC на принципі

- ШІМ – дуже прості в реалізації
- Набору резисторів – точні та швидкі, складні для реалізації в мікросхемі
- Набору джерел струму – подібно до набору R , легше інтегруються
- [Дельта-сигма](#) модуляції (інтегруючі) – легко реалізуються, краще як ШІМ.
- Послідовного наближення - мало місця на кристалі, відносно повільні
- Повного набору резисторів – дуже точні але дорогі
- Гіbridні (суміш вищевказаних методів)

Основні параметри ЦАП

Роздільна здатність Кількість можливих рівнів виходу, які ЦАП призначений відтворювати. Зазвичай це вказується як кількість бітів, які він використовує, що є двійковим логарифмом кількості рівнів. Наприклад, 8-бітний ЦАП призначений для 256 (2^8) рівнів. Роздільна здатність пов'язана з ефективною кількістю бітів, що є вимірюванням фактичної роздільної здатності, досягнутої ЦАП.

Максимальна частота дискретизації Максимальна швидкість, з якою схема ЦАП може працювати і все ще виробляти правильний вихід. Критерій Найквіста визначає зв'язок між частотою дискретизації та шириною смуги пропускання дискретизованого сигналу.

Монотонність Здатність аналогового виходу ЦАП рухатися лише в напрямку, в якому рухається цифровий вхід (тобто, якщо вхід збільшується, вихід не знижується перед тим, як встановити правильний вихід).

Загальні гармонічні спотворення та шум (THD+N) Вимірювання спотворень та шуму, введених у сигнал ЦАП. Це виражається у відсотках від загальної потужності небажаних гармонічних спотворень та шуму, що супроводжують бажаний сигнал.

Динамічний діапазон Вимірювання різниці між найбільшими та найменшими сигналами, які ЦАП може відтворити, виражене в децибелах. Це зазвичай пов'язано з роздільною здатністю та рівнем шуму.

Критерій Найквіста (теорема Котельнікова)

Теорема Найквіста-Шеннона

Якщо неперервний сигнал має спектр, обмежений частотою F_{MAX} , то його можна однозначно і без втрат відновити за дискретними відліками, взятыми з частотою $f_{DISCR} = 2F_{MAX}$

Або обернено (критерій):

Для того, щоб відновити сигнал за його відліками без втрат, необхідно, щоб частота дискретизації була хоча б удвічі більшою за максимальну частоту первинного неперервного сигналу.

$$F_{DISCR} \geq 2F_{MAX}$$

Будь-який аналоговий сигнал можна відновити з якою завгодно точністю за його дискретними відліками, взятыми з частотою щонайменше удвічі більшою за максимальну частоту, якою обмежений спектр реального сигналу.

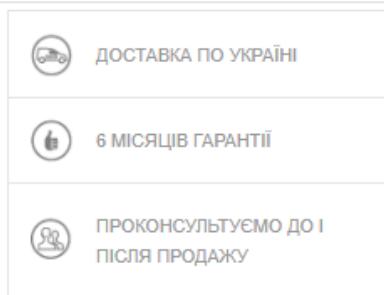
Якщо максимальна частота в сигналі перевищує половину частоти дискретизації, то способу відновити сигнал з дискретного в аналоговий без спотворення не існує.

Теорему сформулював Гаррі Найквіст 1928 року. 1933 року подібні дані опублікував В. О. Котельников

Модуль звукового I2S ЦАП на PCM5102 32-біт 384К для Raspberry Pi

код: DPC316

Додаткові категорії товару: [Периферія, розширення](#) | [Audio, звук, голос, mp3](#)



166 грн

в наявності

- 1 + КУПИТИ

[Купити в один клік](#)



★★★★★ 4
голосувати

[Знайшли дешевше?](#)



[Опис](#) [Відгуки \(22\)](#) [Задати питання](#)

Модуль високоякісного звукового ЦАП на мікросхемі PCM5102 призначений для використання з міні-комп'ютерами Raspberry Pi, Orange Pi і ін. Для використання їх у ролі аудіо та відео-програмачів.

Як відомо, звуковий вихід міні-комп'ютерів далекий від ідеалу, проте, розробники процесорів, на яких вони побудовані, передбачили на кристалі стандартний звуковий цифровий інтерфейс I2S для підключення додаткових зовнішніх ЦАП, використовуючи який можна підключити до виходу комп'ютера "дорослий" підсилювач з цифровим входом або плату з зовнішнім ЦАП, як, наприклад, дана плата. Для своїх розмірів та вартості модуль володіє відмінними характеристиками і дозволяє насолодитися якісним 24-біт 192 кГц звуком як у навушниках так і через додатковий підсилювач потужності.

Для підключення модуля використовується всього 5 дротів(зліва номер контакту GPIO роз'єму Raspberry Pi):

- 04 - VCC - Напруга живлення 5 В
- 39 - GND - Загальний дріт
- 35 - LCK - Сигнал перемикання правий/лівий канал
- 40 - DIN - Послідовні дані
- 12 - BCK - Сигнал синхронізації

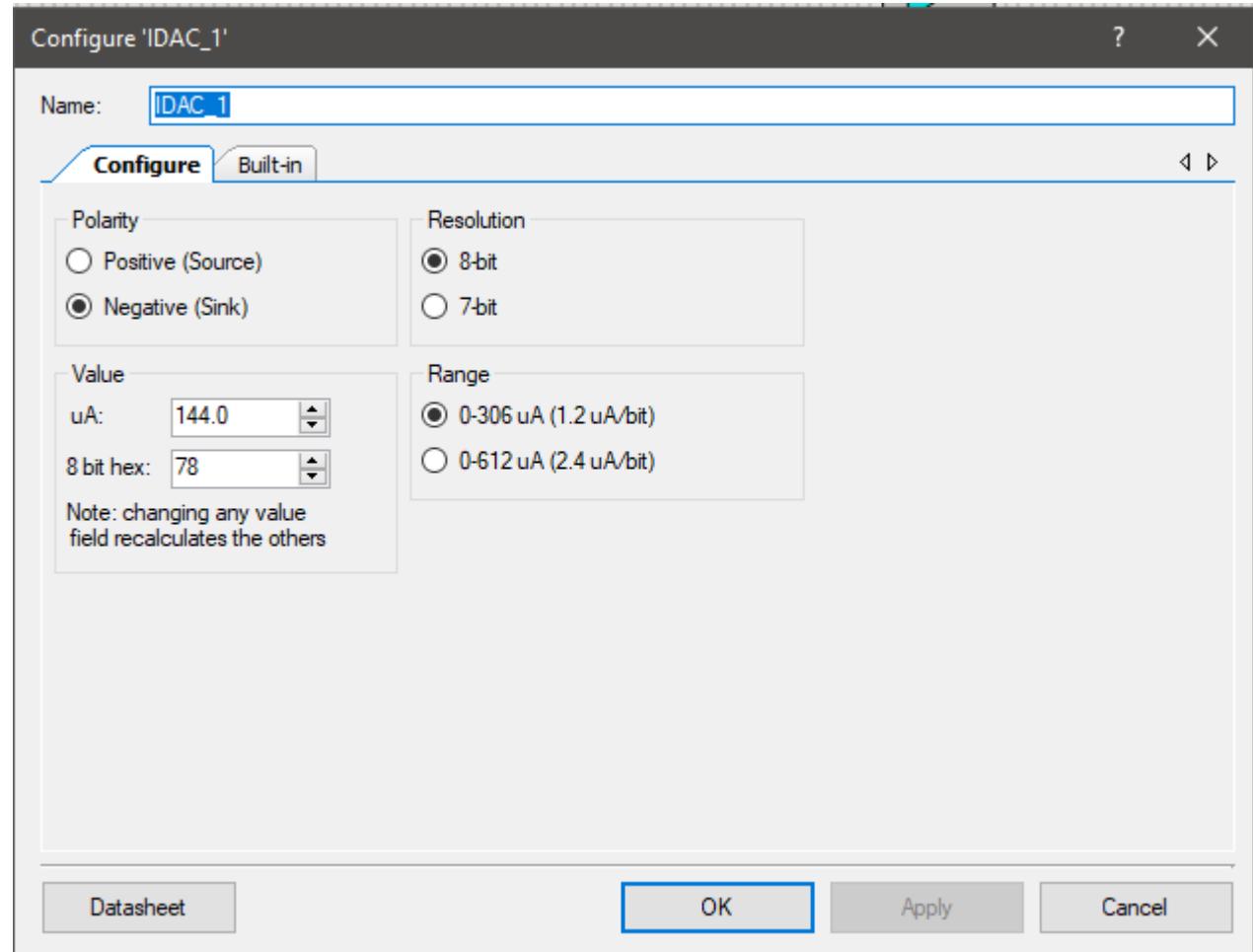
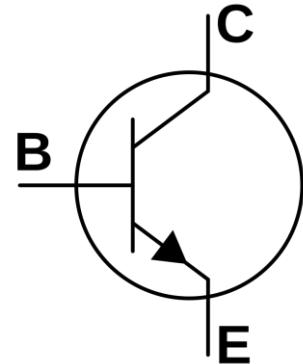
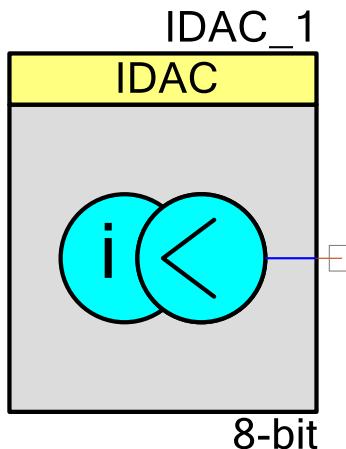
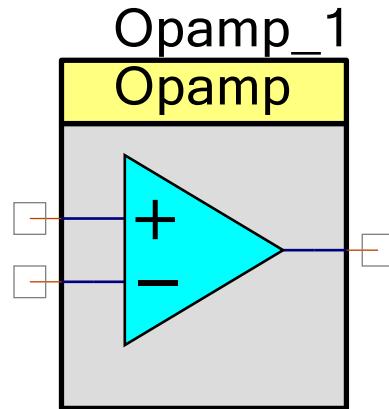
Характеристики:

- Максимальна розрядність ЦАП: 32-біт
- Максимальна частота дискретизації: 384КГц
- Максимальна частота дискретизації для 24-біт: 192 кГц
- Максимальна системна частота: 50МГц
- Роз'єм лінійного виходу: 3.5мм jack
- Мікросхема ЦАП: PCM5102a
- Інтерфейс: I2S
- Динамічний діапазон: 112db
- Співвідношення сигнал/шум: 112db
- Рівень третьої гармоніки: -93db
- Напруга живлення: 3.3В
- Розмір: 32x24x7 мм

Typical Performance (3.3 V Power Supply)

PARAMETER	PCM5102 / PCM5101 / PCM5100
SNR	112 / 106 / 100 dB
Dynamic range	112 / 106 / 100 dB
THD+N at -1 dBFS	-93 / -92 / -90 dB
Full-scale single-ended output	2.1 V _{RMS} (GND center)
Normal 8× oversampling digital filter latency	20t _S
Low latency 8× oversampling digital filter latency	3.5t _S
Sampling frequency	8 kHz to 384 kHz
System clock multiples (f _{SCK}): 64, 128, 192, 256, 384, 512, 768, 1024, 1152, 1536, 2048, 3072	Up to 50 MHz

Струмовий DAC



Аналого-Цифровий Перетворювач

- **Аналого-цифровий перетворювач** (АЦП, *Analog-to-digital converter, ADC*) — пристрій, що перетворює вхідний аналоговий сигнал в дискретний (цифровий) код, який кількісно характеризує моментне значення вхідного сигналу. Обернений за функцією до цифро-аналогового перетворювача.
- **Розрядність** - кількість дискретних значень, які перетворювач може видати на виході. Вимірюється в бітах. Наприклад, АЦП, здатний видати 256 дискретних значень, має розрядність 8 бітів. Часто зустрічаються 10-бітні, 12-бітні АЦП, тобто не кратні розміру байта. Ціна розряду може бути також визначена в величинах вхідного сигналу, наприклад, у вольтах. Для діапазон вхідних значень = від 0 до 10 вольт та розрядності АЦП 8 бітів маємо ціну розряду $10V / 256 = 0.039$ вольт
- **Ефективна кількість розрядів** (effective number of bits — ENOB), як правило може бути меншою, ніж реальна розрядність АЦП. При перетворенні сильно зашумленного сигналу молодші біти вихідного коду практично непридатні, оскільки містять шум. Для досягнення заявленої розрядності співвідношення С/Ш вхідного сигналу повинне бути приблизно 6 дБ на кожен біт розрядності.
- **Лінійні та нелінійні АЦП** – в лінійних АЦП ціна кожного розряду є однаковою, тобто аналоговий вхід пов'язаний з цифровим кодом лінійною пропорцією. В нелінійних АЦП вхід може бути пов'язаний з цифровим кодом за нелінійним, наприклад логарифмічним законом. Логарифмічні АЦП мають дуже великий динамічний діапазон і ефективно застосовуються при роботі з обробкою голосу.
- **Точність** - Усім АЦП властиві помилки які є наслідком фізичної недосконалості АЦП. Це призводить до того, що передавальна характеристика відрізняється від бажаної функції перетворення. Важливими параметрами, що описують точність, є інтегральна нелінійність (INL) і диференційна нелінійність (DNL).
- **Частота дискретизації** – Максимальна швидкість, з якою схема АЦП може працювати і все ще виробляти правильний код. Так само як і в ЦАП Критерій Найквіста визначає зв'язок між частотою дискретизації та ширину смуги пропускання сигналу.

Типи АЦП

- АЦП прямого перетворення або паралельний АЦП
- АЦП послідовного наближення або АЦП з порозрядним врівноваженням
- АЦП диференціального кодування (*delta-encoded ADC*)
- АЦП порівняння з зубчастим сигналом
- АЦП Уілкінсона
- Інтегруючий АЦП
- АЦП з урівноваженням заряду
- Двошвидкісний АЦП.
- Конвеєрні АЦП
- Дельта-Сигма АЦП

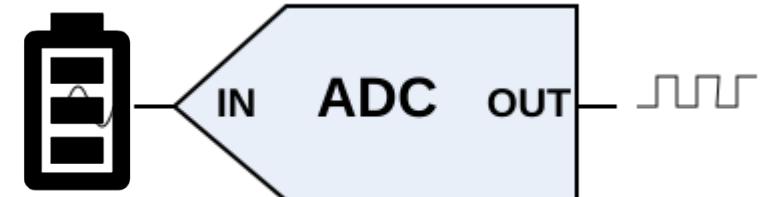
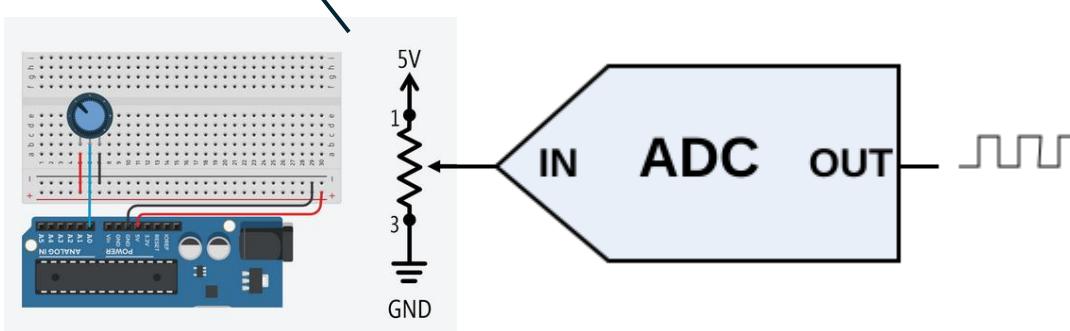
Параметр	SAR АЦП	Delta-Sigma АЦП
Принцип роботи	Послідовне наближення	Модуляція дельта-сигми
Швидкість	Висока	Низька-середня
Роздільна здатність	До 16 біт	До 24 біт
Енергоспоживання	Низьке	Високе
Застосування	Осцилоскопи, системи реального часу	Аудіо, високоточні вимірювання

Детальніше тут:

https://uk.wikipedia.org/wiki/Аналого-цифровий_перетворювач

Джерело опори АЦП (Reference)

Параметр	Ratiometric АЦП	Reference АЦП
Принцип роботи	Вимірювання відносних значень	Вимірювання відносно стабільного сигналу
Застосування	Датчики, потенціометри	Високоточні вимірювальні пристрой
Залежність від коливань живлення	Низька	Висока
Точність	Відносна точність	Висока абсолютна точність



Ultra-Small, Low-Power, 12-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference

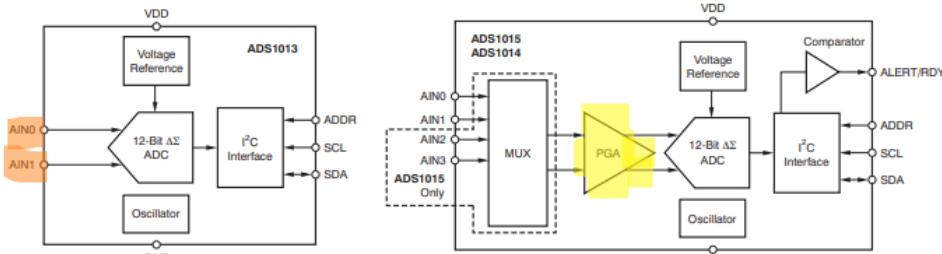
Check for Samples: [ADS1013](#) [ADS1014](#) [ADS1015](#)

FEATURES

- ULTRA-SMALL QFN PACKAGE: 2mm × 1.5mm × 0.4mm
- WIDE SUPPLY RANGE: 2.0V to 5.5V
- LOW CURRENT CONSUMPTION: Continuous Mode: Only 150 μ A Single-Shot Mode: Auto Shut-Down
- PROGRAMMABLE DATA RATE: 128SPS to 3.3kSPS
- INTERNAL LOW-DRIFT VOLTAGE REFERENCE
- INTERNAL OSCILLATOR
- INTERNAL PGA
- I²C™ INTERFACE: Pin-Selectable Addresses
- FOUR SINGLE-ENDED OR TWO DIFFERENTIAL INPUTS (ADS1015)
- PROGRAMMABLE COMPARATOR (ADS1014 and ADS1015)

APPLICATIONS

- PORTABLE INSTRUMENTATION
- CONSUMER GOODS
- BATTERY MONITORING
- TEMPERATURE MEASUREMENT
- FACTORY AUTOMATION AND PROCESS CONTROLS



Configure 'ADC_SAR_Seq_1'

Name:

General

Channels

Built-in

Timing

Channel sample rate (SPS): [13889 - 250000] SPS

Clock frequency (kHz): [1000 - 18000] kHz

Actual sample rate per channel: 166666 SPS

Actual clock frequency: 12000 kHz

Input range

Vref select:

Vref value (V):

Single ended negative input:

Differential mode range:

Single ended mode range:

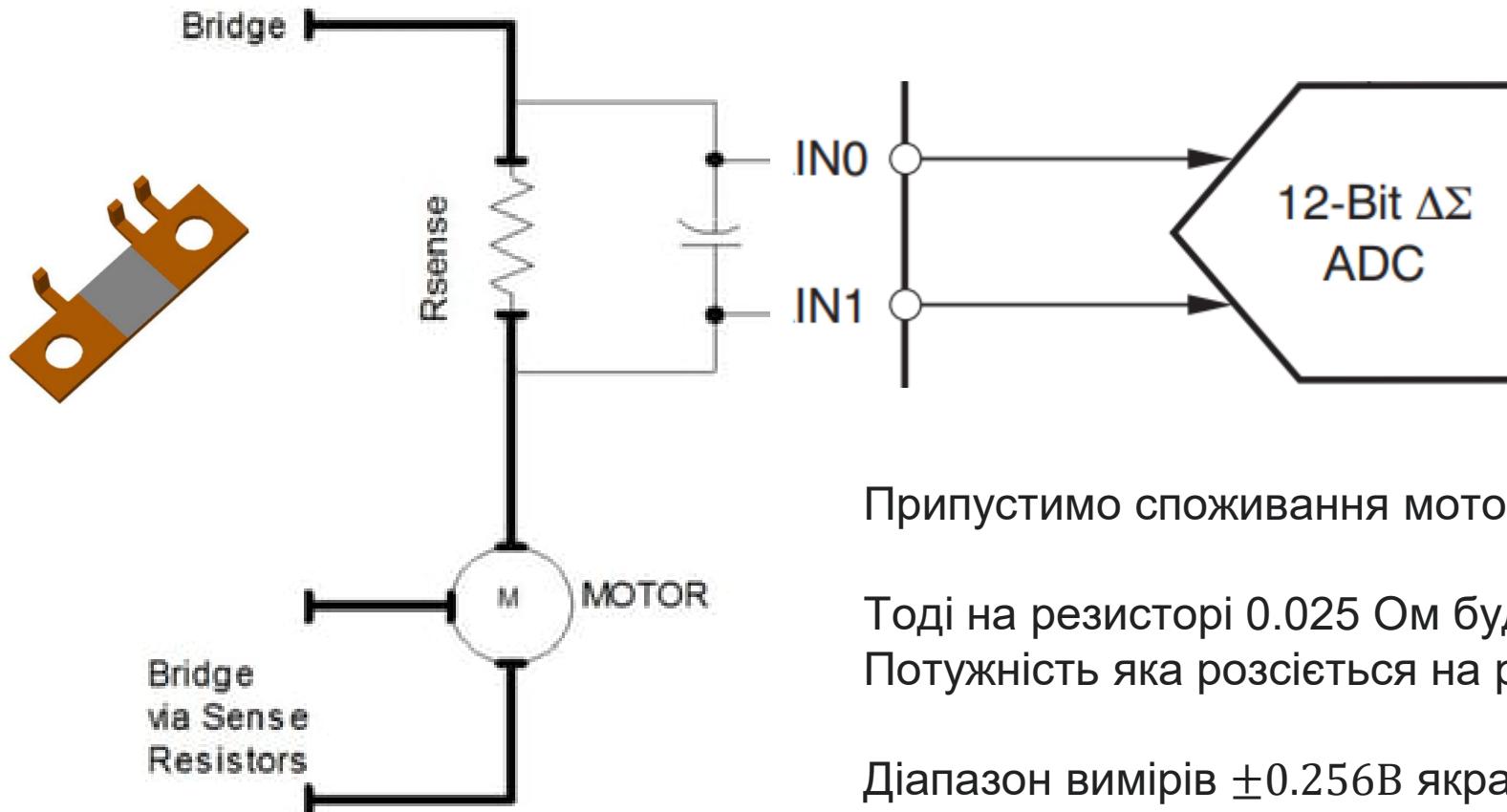
Interrupt limits

Low limit (hex):

High limit (hex):

[Datasheet](#)

Диференційний вхід



Припустимо споживання мотора 10А

Тоді на резисторі 0.025 Ом буде падіння 0.25В
Потужність яка розсіється на резисторі буде 2.5Вт

Діапазон вимірювання ± 0.256 В якраз дасть нам можливість вимірювати струм мотора до 10А з невеликим запасом при обертанні в обидві сторони.

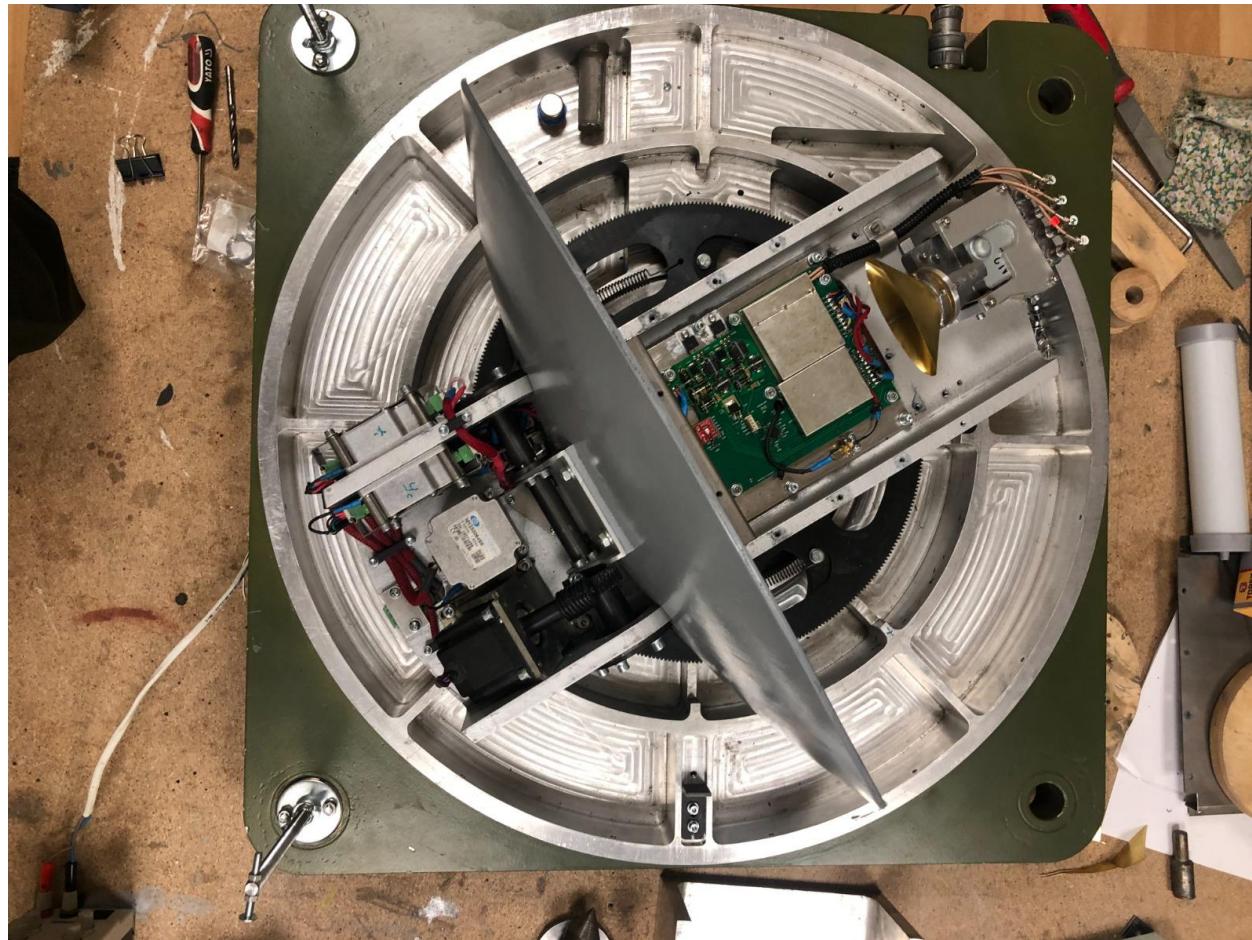
Синхронність

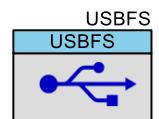
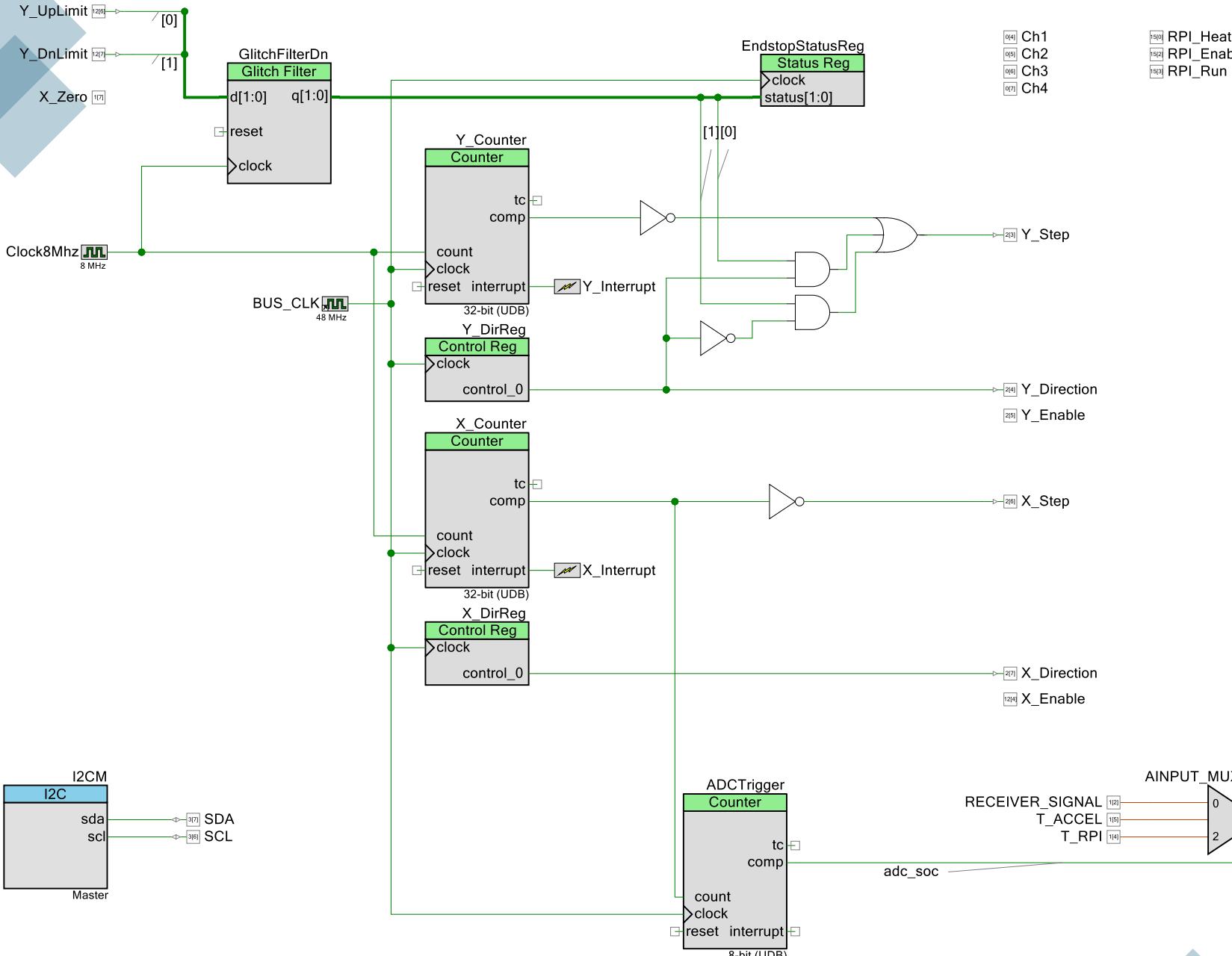
Доволі часто потрібно дотримуватися синхронності або до часу або до якихось інших подій в системі.

Наприклад при роботі зі звуком порушення рівномірності вимірювання призведе до невиправних спотворень звуку.

В конкретному приладі була необхідність синхронізувати вимірювання АЦП до кута повороту антени.

Синхронізація реалізовується за допомогою сигналу SOC (Start-Of-Conversion)







Щиро дякую!