

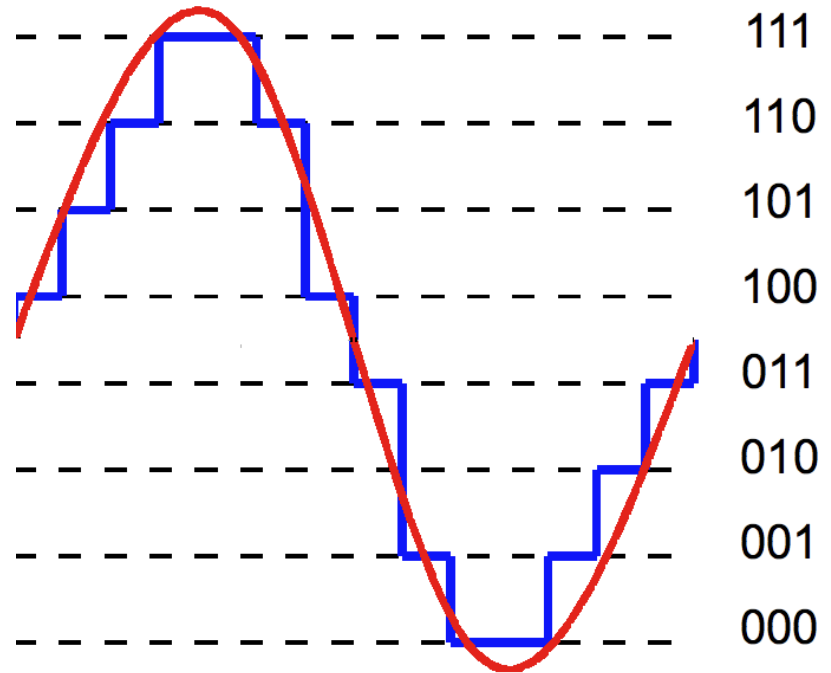
Программно-аппаратные платформы Интернета вещей и встраиваемые системы

Лекция 5

АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

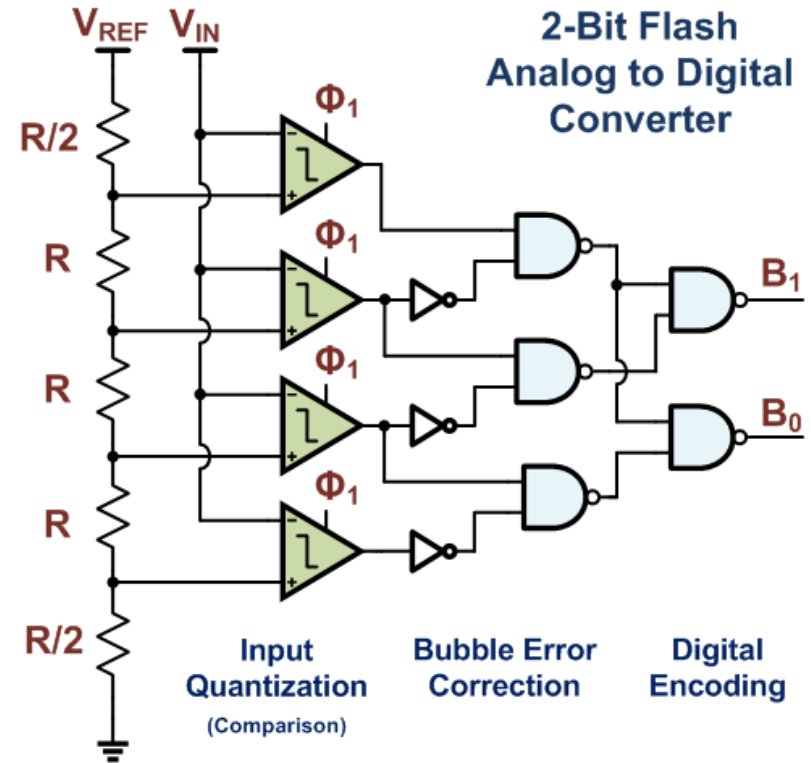
АЦП

- Измеряет «мгновенное» значение аналогового сигнала
- Преобразует значение в цифровой код
- Диапазон измерения — $0 \dots V_{ref}$ В
- Основные характеристики — разрядность и частота дискретизации



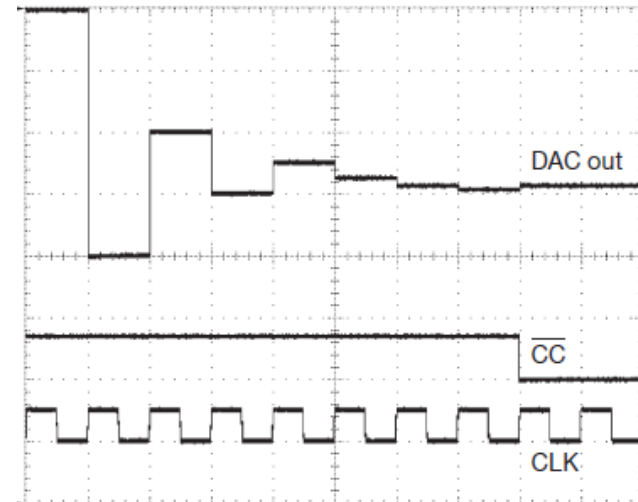
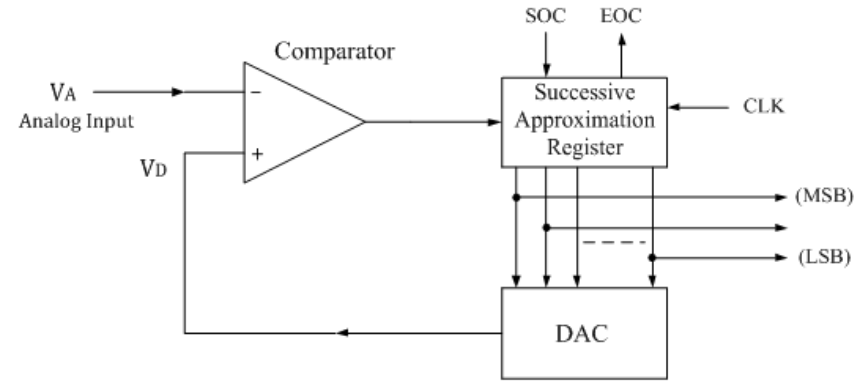
Flash ADC

- Сверхскоростные АЦП малой разрядности
- Очень большое количество компонентов для получения большой разрядности
- Скорость более 1 млрд. выборок/с
- Разрядность до 12 бит (обычно 8 бит)



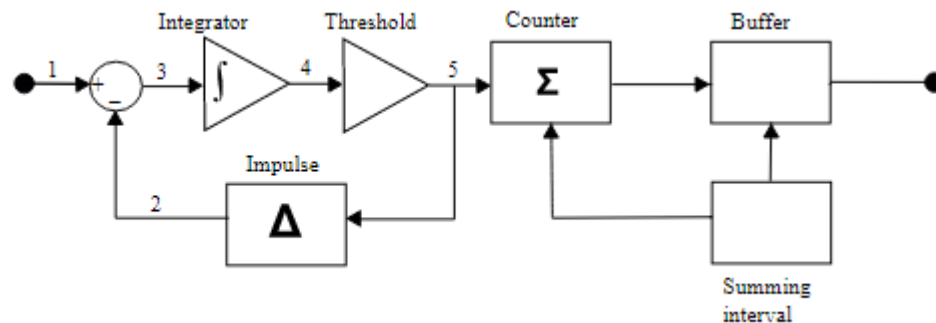
АЦП последовательного приближения (SAR ADC)

- Самый распространённый тип АЦП
- В 1000 раз медленнее, чем прямое преобразование
- Скорость до 10 млн. выборок/с
- Разрядность до 20 бит (обычно 12-16 бит)
- Скорость обычно можно увеличить, уменьшив разрядность
- Поразрядно «угадываем» значение на входе



Дельта-сигма АЦП ($\Delta\Sigma$ ADC)

- Самый точный тип АЦП
- В 10 раз медленнее, чем АЦП последовательного приближения
- Скорость до 1 млн. выборок/с
- Разрядность до 32 бит (обычно 24 бита)

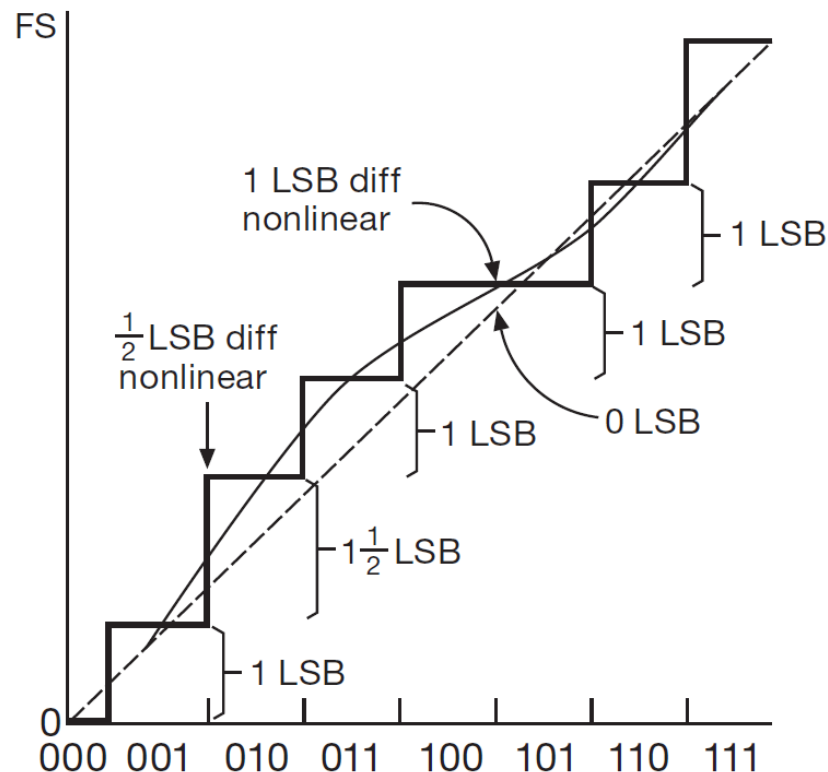


Точность преобразования АЦП

Паспортная разрядность мало о чём говорит

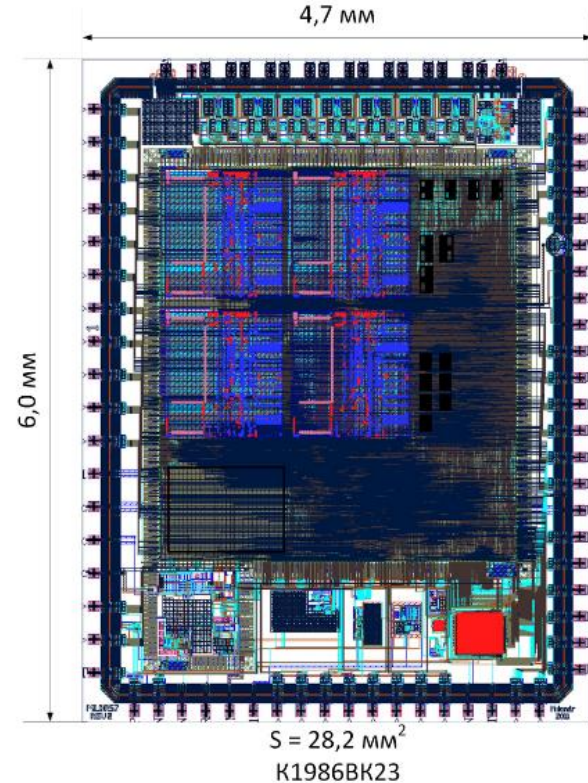
- Дифференциальная нелинейность (DNL)
- Потерянные значения (missing codes)
- Интегральная нелинейность (INL)
- Сдвиг нуля (offset)
- Коэффициент передачи (gain)
- Температурный коэффициент
- Шумы
- Точность источника V_{ref}

Эффективная разрядность – обычно около 80% паспортной



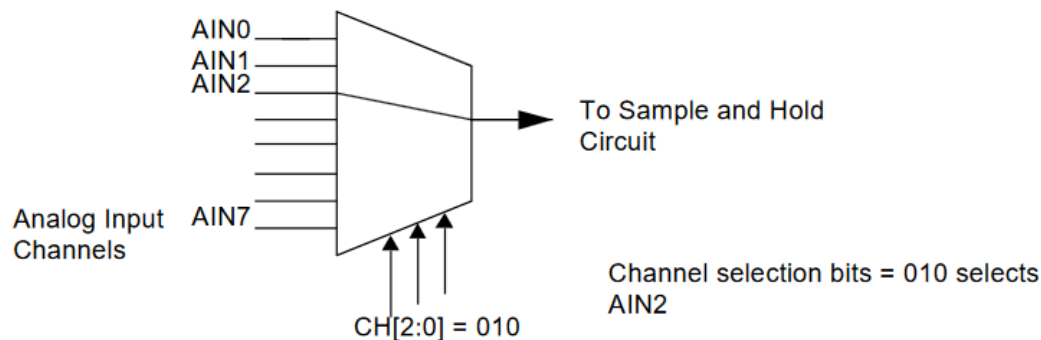
АЦП в микроконтроллере

- Обычно – АЦП последовательного приближения, 8-12 бит
- К АЦП обычно могут быть подключены только некоторые выводы
- Можно использовать внешние АЦП (подключаются по SPI, I2C, параллельным интерфейсам)
- Иногда бывают МК с более богатой аналоговой функциональностью (например, K1986BK025 – 7 дельта-сигма АЦП, 24 бита, до 16 000 отсчетов/с – специализированный МК для «умных» электросчетчиков)



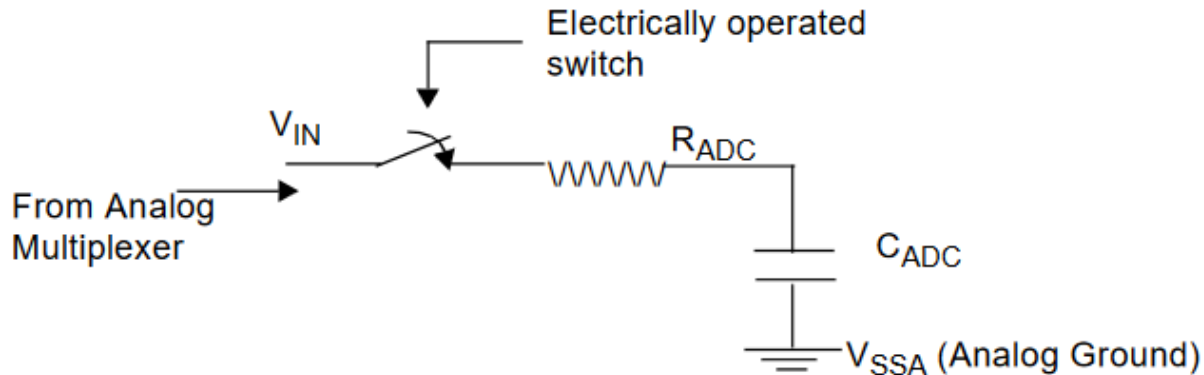
Многоканальные АЦП

- Типовая конфигурация АЦП в микроконтроллере «общего назначения» $1 \times N$, редко бывает $2 \times N$
- На входе АЦП устанавливается мультиплексор
- Одновременные измерения на разных каналах невозможны



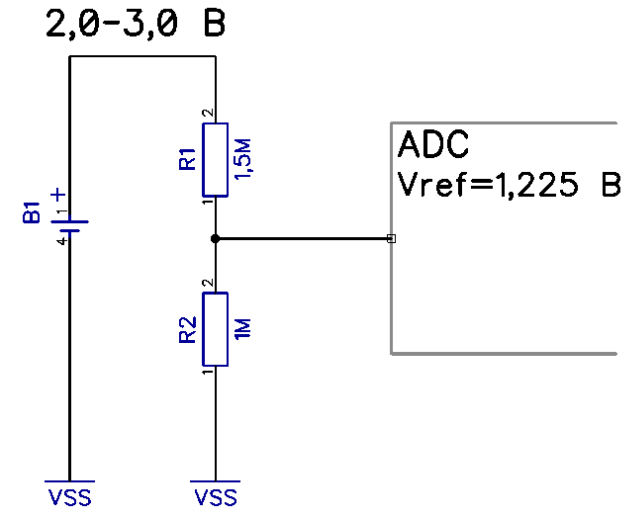
Структура входа SAR АЦП

- Напряжение на входе АЦП последовательного преобразования должно быть постоянно все время измерения
- АЦП измеряет напряжение на внутреннем конденсаторе C_{ADC}
- Конденсатор подключается к входу АЦП на короткое время (менее 1 мкс)



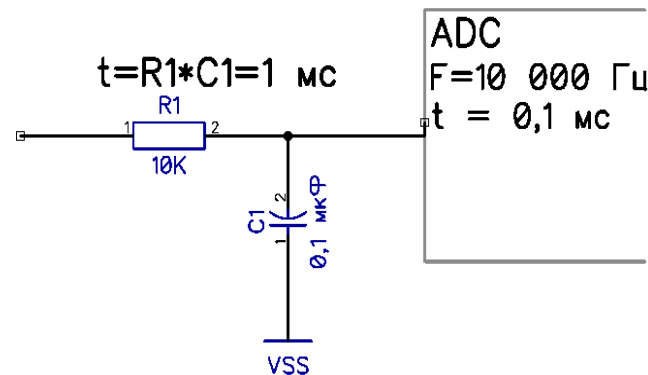
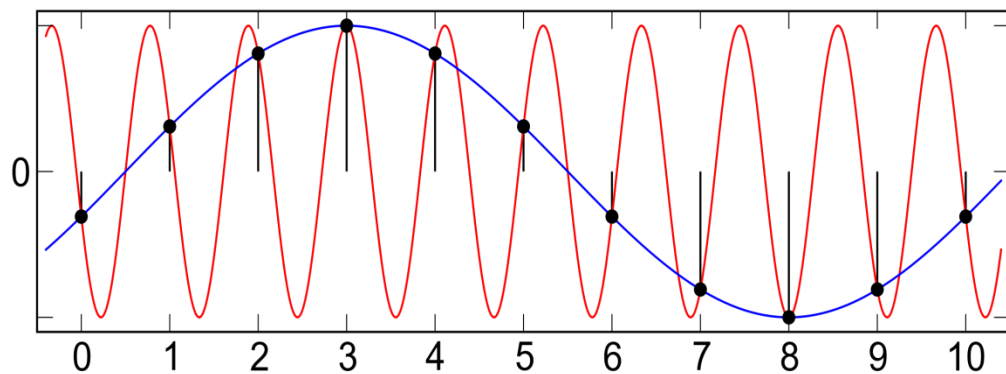
Как измерить напряжение на батарейке?

- Типовое входное сопротивление АЦП — 1 МОм
- Идеальный АЦП:
 - на входе делителя $U = 3 \text{ В}$
 - на входе АЦП $U \cdot R2 / (R1 + R2) = \mathbf{1,2 \text{ В}}$
- Реальный АЦП:
 - на входе делителя $U = 3 \text{ В}$
 - на входе АЦП
 - $R2' = R2 \cdot R_{ADC} / (R2 + R_{ADC}) = 0,5 \text{ МОм}$
 - $U \cdot R2' / (R1 + R2') = \mathbf{0,75 \text{ В}}$
- Можно поставить буфер на ОУ
- Иногда можно взять Vref АЦП от батареи и измерить напряжение на источнике опорного напряжения



Входной фильтр перед АЦП

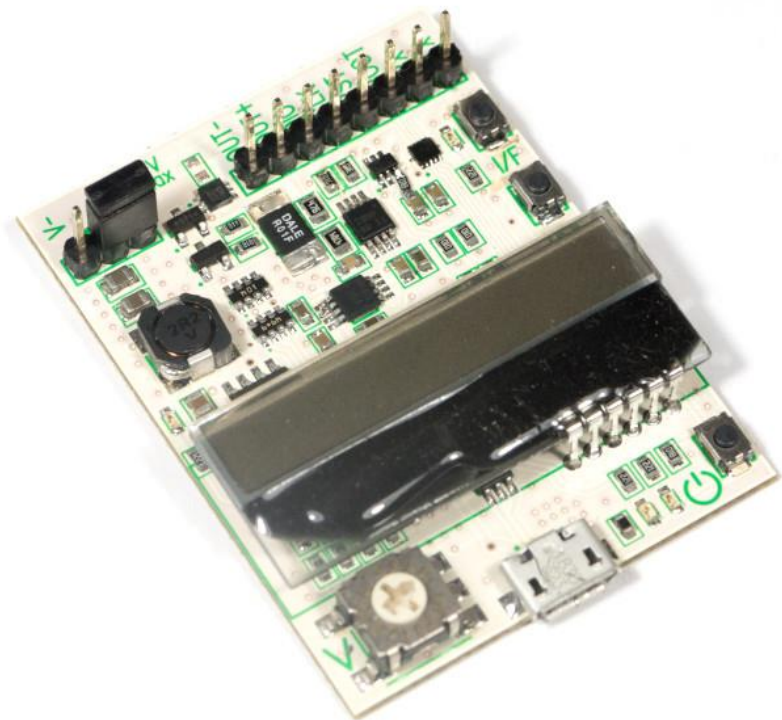
- Наложение спектров (aliasing)
- Теорема Котельникова-Найквиста-Шеннона – ширина спектра дискретизируемого сигнала должна быть вдвое меньше частоты дискретизации
- Практически всегда на входе АЦП ставится ФНЧ, хотя бы RC-цепочка



АЦП в микроконтроллере

- Настраиваем тактирование
- Настраиваем входы
- Запускаем преобразование (устанавливаем соответствующий бит в управляющем регистре)
- **ЖДЕМ (либо прерывания, либо установки флага)**
- Считываем полученное значение из регистра с данными

Что делать, когда данных много?



- Отладочный адаптер UMDK-EMB
- Частота измерений тока – 300 кГц
- Запуск преобразования по таймеру (без участия процессора)
- Использование DMA для передачи данных

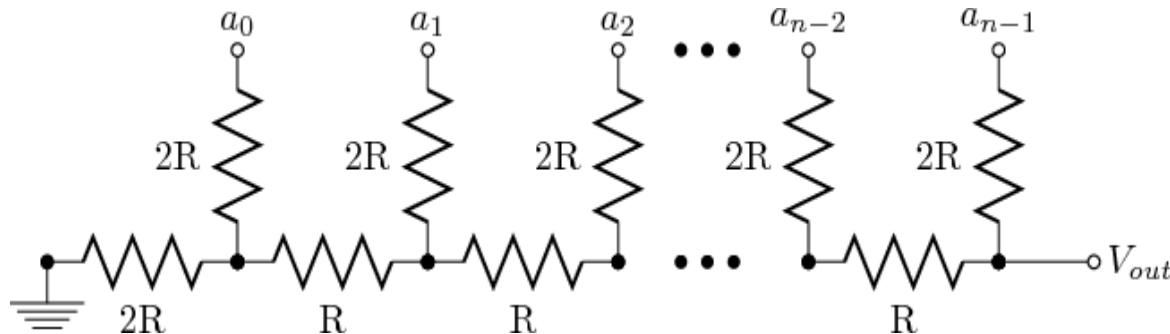
DMA – контроллер прямого доступа к памяти

- «Асинхронный метсру»
- Может копировать данные с одного адреса в памяти на другой без участия процессора
- Автоинкремент адресов источника и приемника (настраивается)
- Может управляться от периферии (UART, SPI, I2C, ADC, ...)
- Счетчик количества операций
- При достижении середины и конца буфера генерирует прерывание

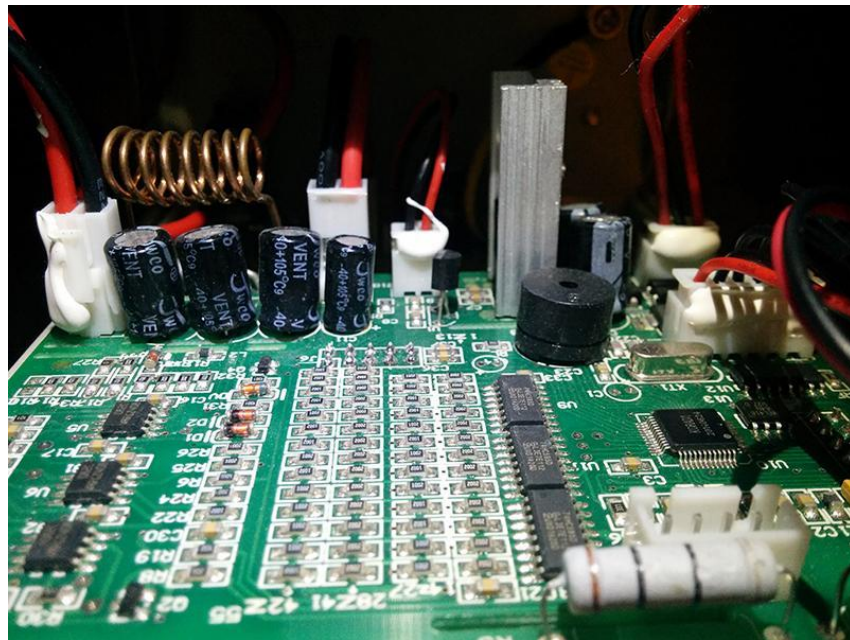
ЦИФРО-АНАЛОГОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

R2R ЦАП (прямого преобразования)

- Самый стабильный способ преобразования
- Самый быстрый способ преобразования
- Весьма точный способ преобразования (точность определяется точностью резисторов)
- Требуется большого числа GPIO процессора
- Требуется прецизионных резисторов
- Встроенные ЦАП обычно устроены похожим образом, но переключаются емкости или источники тока

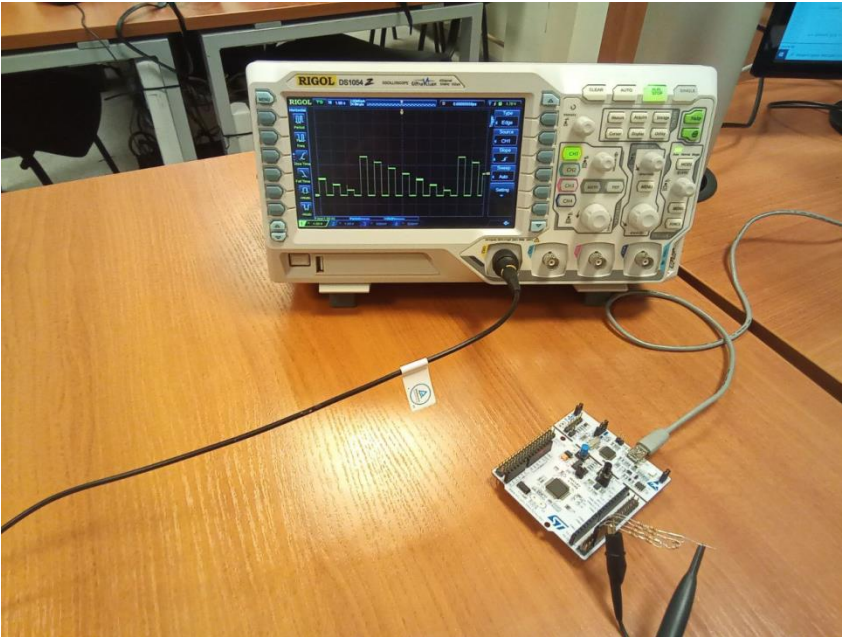


R2R ЦАП - применение



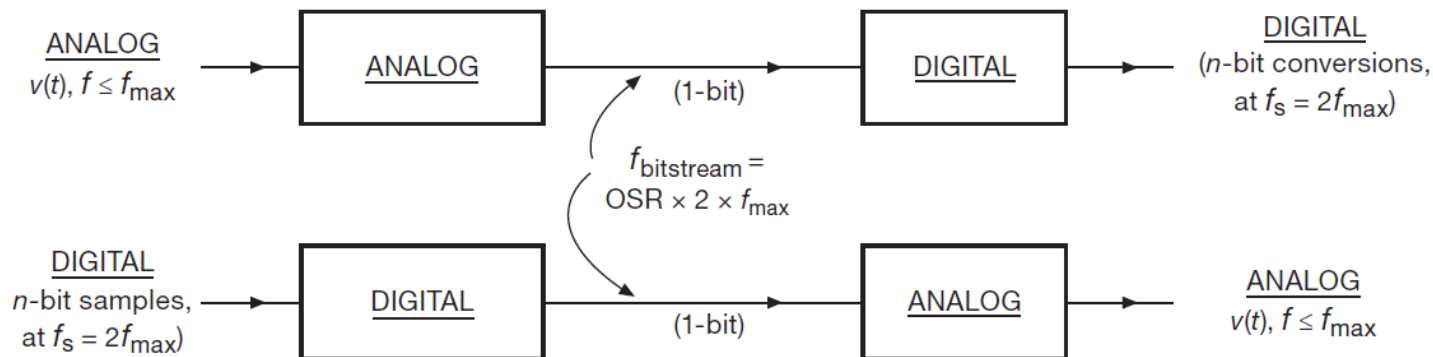
R2R ЦАП - применение

- 3-4 битный ЦАП из нескольких резисторов на «ненужных» GPIO можно применить для отладки
- Пример – переключение процессов в ОС



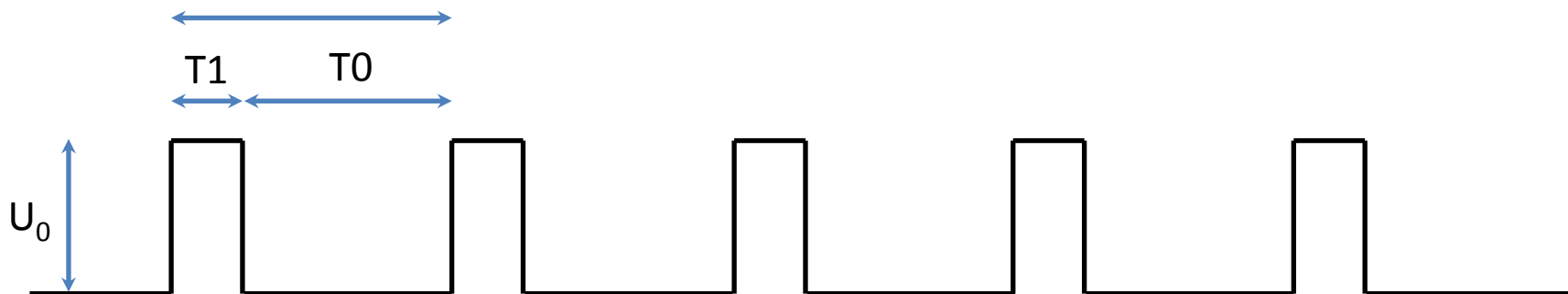
Сигма-дельта ЦАП ($\Sigma\Delta$ DAC)

- Обратный процесс по отношению к дельта-сигма АЦП
- 1-bit DAC в Super Audio CD



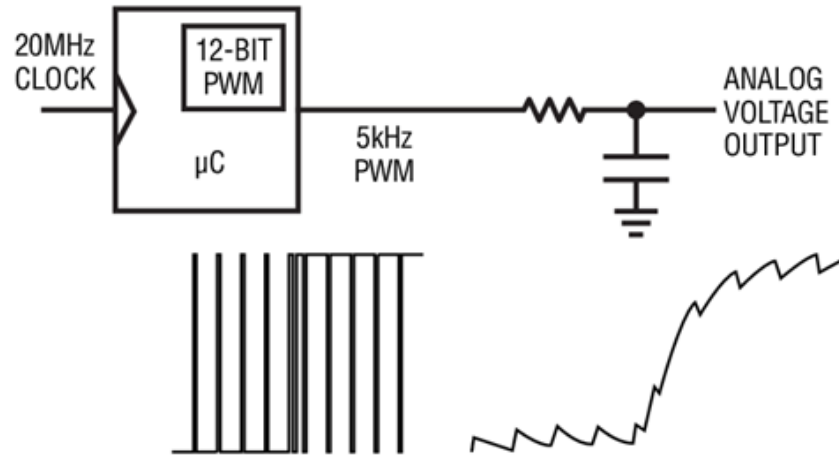
Широтно-импульсная модуляция

- Самый дешёвый способ преобразования
- Требуется всего один GPIO
- Скважность: $T_0 / (T_0 + T_1)$
- Коэффициент заполнения: $T_1 / (T_0 + T_1)$
- Duty cycle = рабочий цикл = коэффициент заполнения



Широтно-импульсная модуляция

- Прямоугольный сигнал можно сгладить, например, RC-цепочкой
- Большая постоянная цепочки — медленнее реакция выхода
- Меньше постоянная цепочки — больше пульсации на выходе



Широтно-импульсная модуляция

- Сигнал с ШИМ можно генерировать аппаратно от таймера микроконтроллера, безо всякого участия процессора
- Переполнение и достижение значения регистра сравнения аппаратного таймера меняют уровень на выводе МК
- Частота ШИМ определяется делителем таймера
- Записью в регистр сравнения меняем коэффициент заполнения

