

# Лабораторная работа №4

Аналоговый ввод-вывод. АЦП. Компаратор.  
Потенциометр. Сенсорная клавиатура

# Задание на ЛРЗ

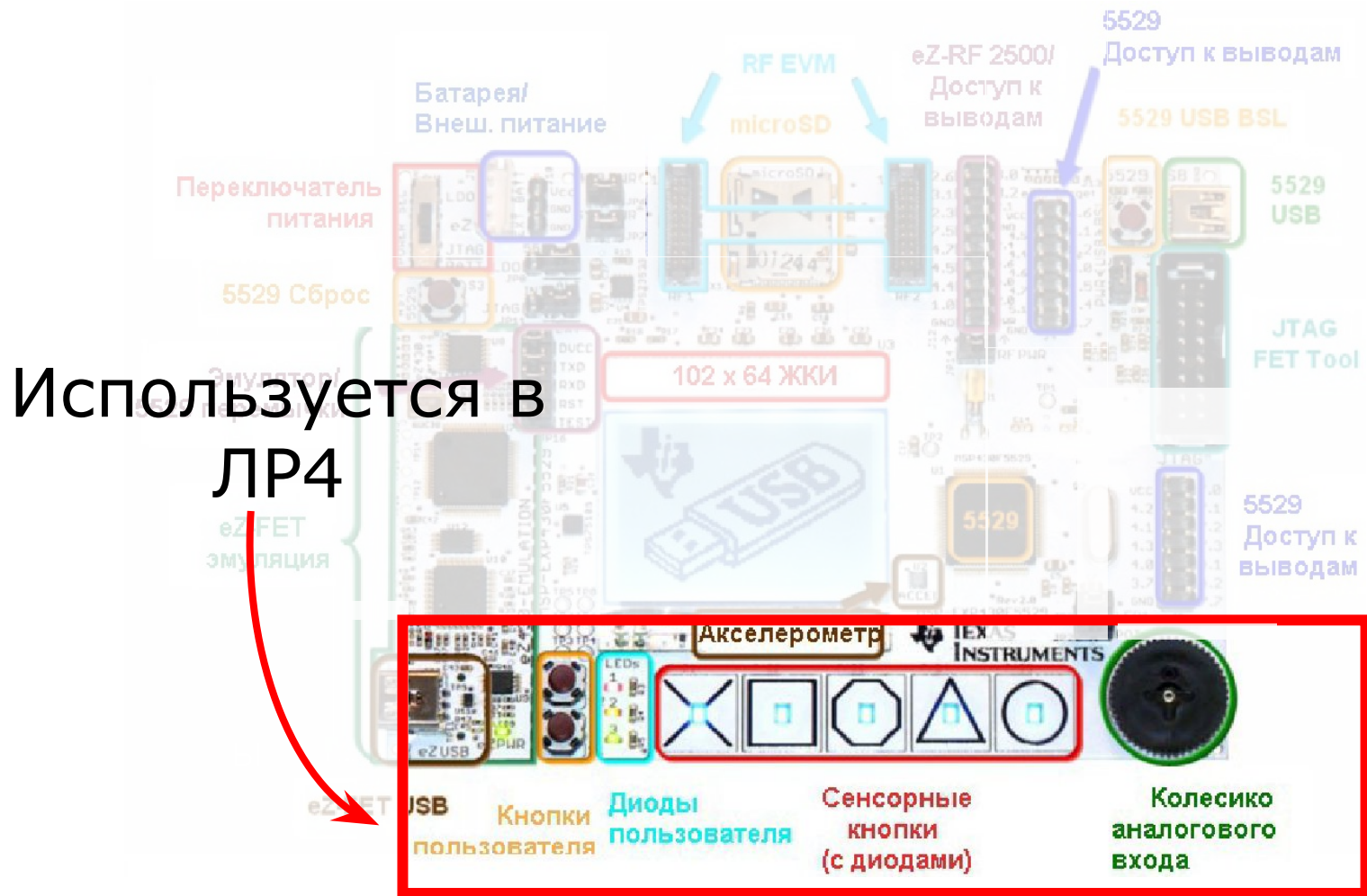
В соответствии с вариантом написать программу, которая непрерывно сравнивает сигнал на указанных выводах и в зависимости от того, где уровень выше, включает соответствующий светодиод.

**НЕЛЬЗЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ:**

Высокоуровневые библиотеки

Заголовочные файлы, кроме `<msp430.h>` (кроме написанных самостоятельно)

# Плата MSP-EXP430F5529



# Демонстрация работы программы.

## Индикация

- для сенсорных кнопок - рекомендую брать соседние с PAD светодиоды (если невозможно - крайние)
- для потенциометра - LED3
- для термодатчика - LED2
- для опорного - LED1

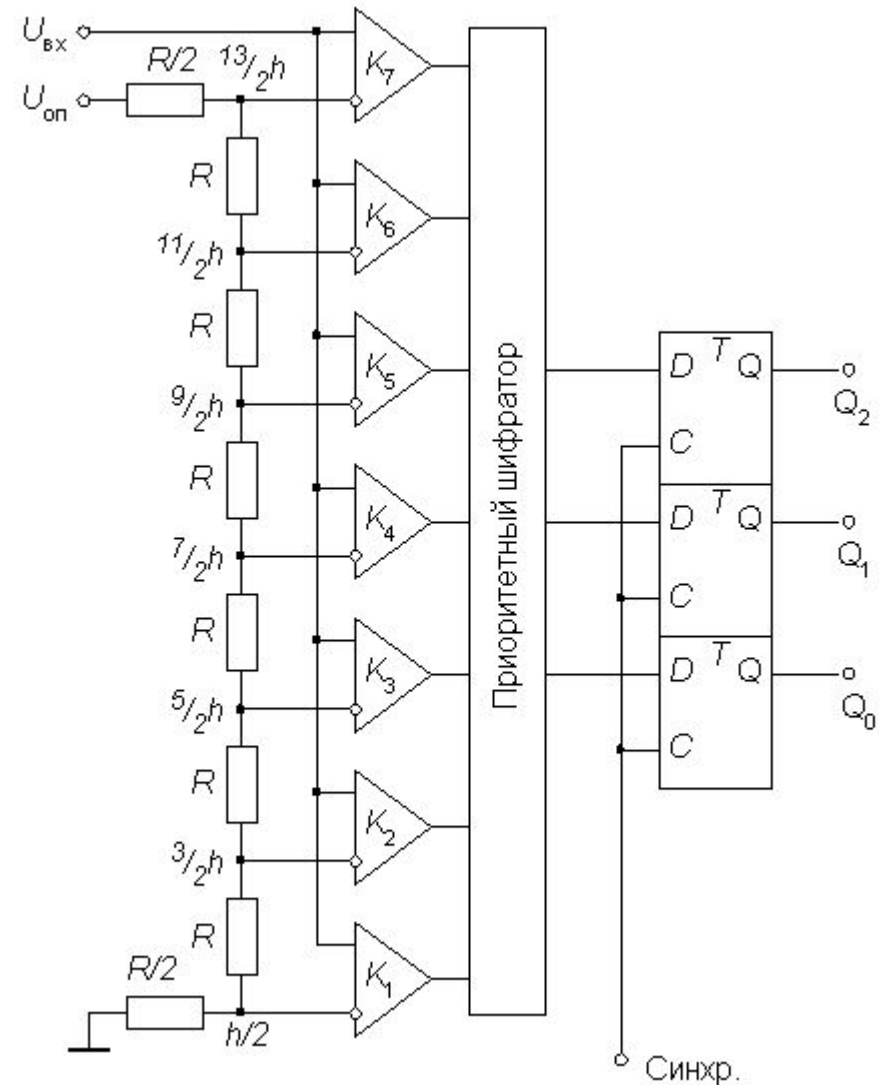
# АЦП

АЦП - преобразует аналоговый сигнал в цифровой двоичный код

Число на выходе АЦП NADC (в регистре MEMx) - коэффициент пропорциональности между входным значением и опорными напряжениями. Чтобы получить величину напряжения, необходимо пересчитать по формуле.

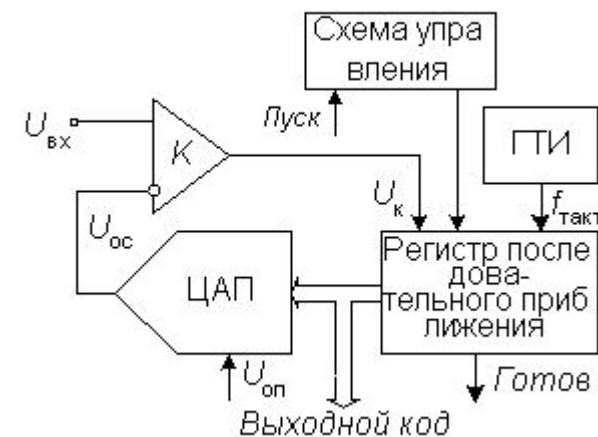
# Параллельные АЦП

- Результат на выходе через 1 такт (самое высокое быстродействие из всех АЦП)
- Высокая сложность схемы и высокое потребление

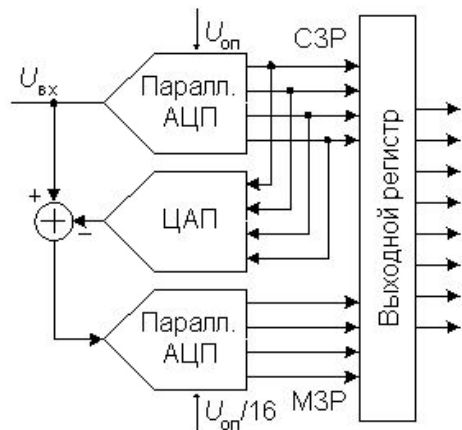


# Последовательные АЦП

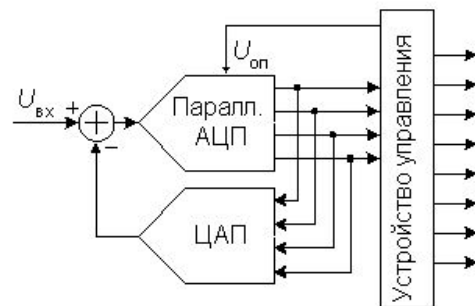
- Используется алгоритм дихотомии (последовательного приближения)
- Результат на выходе через  $N$  тактов (1 бит за 1 такт)
- Разрядность ограничена внутренним ЦАП
- Низкая помехоустойчивость



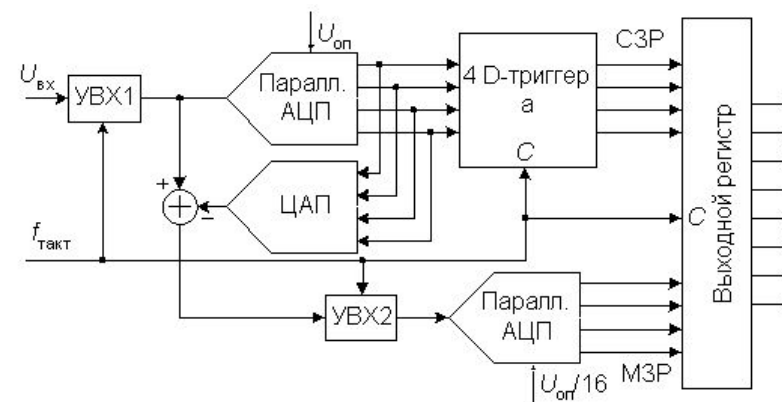
# Последовательно-параллельные АЦП



# Многоступенчатые



# Многотактные



# Конвейерные

Занимают промежуточное положение по разрешающей способности и быстродействию между параллельными АЦП и АЦП последовательного приближения



# Интегрирующие АЦП

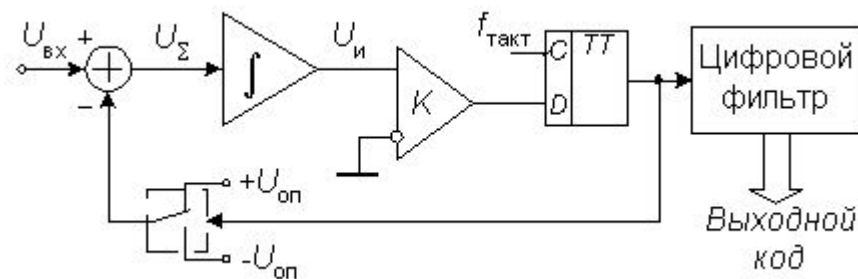
- На первом этапе входной аналоговый сигнал интегрируется и это проинтегрированное значение преобразуется в импульсную последовательность. Частота следования импульсов в этой последовательности или их длительность бывает промодулирована проинтегрированным значением входного сигнала.
- На втором этапе эта последовательность импульсов преобразуется в цифровой код - измеряется ее частота или длительность импульсов.

# Интегрирующие АЦП

- Низкая чувствительность к импульсным и периодическим помехам
- Высокая точность
- Возможность частичной программной реализации (второго этапа)
- Низкое быстродействие

# Сигма-дельта АЦП

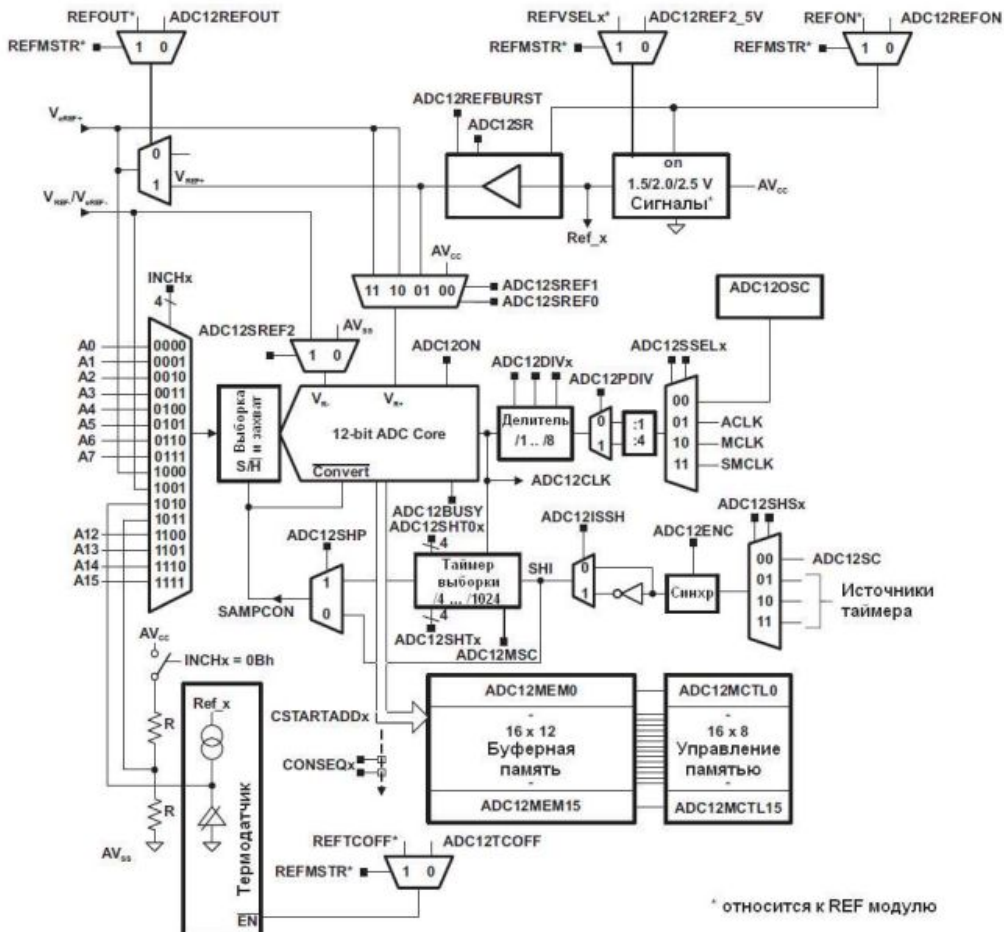
- Частный случай интегрирующих АЦП
- Еще называют АЦП с балансировкой заряда
- Основной принцип, позволяющий уменьшить влияние шумов - усреднение результатов измерения на большом интервале времени
- Основные узлы АЦП - это сигма-дельта модулятор и цифровой фильтр



(последовательного приближения)

## Настройка:

- настроить порт, соответствующий каналу для работы с периферией, направление - вход
- настроить ячейки памяти
- настроить конфигурацию (разрешение, тактирование, способ выборки и время(при необходимости), начальный адрес)



\* относится к REF модулю

# Разрешение (разрядность) и формат результата

Analog Input Voltage	ADC12DF	ADC12RES	Ideal Conversion Results	ADC12MEMx
-V <sub>REF</sub> to +V <sub>REF</sub>	0	00	0 to 255	0000h to 00FFh
	0	01	0 to 1023	0000h to 03FFh
	0	10	0 to 4095	0000h to 0FFFh
	1	00	-128 to 127	8000h to 7F00h
	1	01	-512 to 511	8000h to 7FC0h
	1	10	-2048 to 2047	8000h to 7FF0h

Для разрядности 12 бит (ADC12RES = 10) и беззанокого формата (ADC12DF = 0), формула пересчета имеет вид

$$V_{in} = V^- + N_{ADC} * (V^+ - V^-) / (2^N - 1)$$

N - разрядность (разрешение) АЦП

# Тактирование АЦП (ADC12SSELx)

- 00 - ADC12OSC = 5МГц (поступает из внутреннего REF модуля)
- 01 - ACLK
- 10 - MCLK
- 11 - SMCLK

# Режим преобразования (ADC12SHP)

- **Расширенный** (ADC12SHP = 0) - запуск выборки по фронту SHI, длительность выборки задается длительностью сигнала SHI (т.е. регулируется программно), преобразование начинается по спаду сигнала SHI
- **Импульсный** (ADC12SHP = 1) - запуск выборки по фронту SHI, длительность выборки задается битами ADC12SHT0x и ADC12SHT1x, запуск преобразования по истечению указанного интервала времени

# Источники сигнала SHI (ADC12SHSx)

00 - бит SC (сбрасывается автоматически после преобразования)

01 - TA0.1

10 - TB0.0

11 - TB0.1



# Режимы выборки

- **Одноканальный** - измерение одного канала 1 раз
- **Повторно-одноканальный** - измерение одного канала постоянно
- **Последовательный** - измерение последовательности из нескольких каналов 1 раз
- **Повторно-последовательный** - измерение последовательности из нескольких каналов постоянно

# Настройка ячейки памяти (ADC12MCTL0...15)

Bit	Field	Type	Reset	Description
7	ADC12EOS	RW	0h	End of sequence. Indicates the last conversion in a sequence. 0b = Not end of sequence 1b = End of sequence
6-4	ADC12SREFx	RW	0h	Select reference 000b = $V_{R+} = AVCC$ and $V_{R-} = AVSS$ 001b = $V_{R+} = VREF+$ and $V_{R-} = AVSS$ 010b = $V_{R+} = VREF+$ and $V_{R-} = AVSS$ 011b = $V_{R+} = VREF+$ and $V_{R-} = AVSS$ 100b = $V_{R+} = AVCC$ and $V_{R-} = VREF-/VREF-$ 101b = $V_{R+} = VREF+$ and $V_{R-} = VREF-/VREF-$ 110b = $V_{R+} = VREF+$ and $V_{R-} = VREF-/VREF-$ 111b = $V_{R+} = VREF+$ and $V_{R-} = VREF-/VREF-$
3-0	ADC12INCHx	RW	0h	Input channel select 0000b = A0 0001b = A1 0010b = A2 0011b = A3 0100b = A4 0101b = A5 0110b = A6 0111b = A7 1000b = $VREF+$ 1001b = $VREF-/VREF-$ 1010b = Temperature diode 1011b = $(AVCC - AVSS) / 2$ 1100b = A12. On devices with the Battery Backup System, VBAT can be measured internally by the ADC. 1101b = A13 1110b = A14 1111b = A15

Важно!

Измеряемое напряжение  
должно лежать в  
диапазоне между  
опорными (иначе будет  
считываться  
максимальное значение)

# Опорное напряжение

- Напряжение питания / земля
- Внутреннее опорное напряжение с REF модуля:
  - 1,5В (ADC12REFON = 1 и ADC12REF2\_5V = 0)
  - 2,5В (ADC12REFON = 1 и ADC12REF2\_5V = 1)

Важно!

При использовании внутреннего опорного напряжения убедиться, что бит REFMSTR регистра REFCTL0 равен нулю, иначе ADC12REFON не будет иметь влияния

# Каналы АЦП и компаратора

- A0 и CB0 - PAD1 (P6.0)
- A1 и CB1 - PAD2 (P6.1)
- A2 и CB2 - PAD3 (P6.2)
- A3 и CB3 - PAD4 (P6.3)
- A4 и CB4 - PAD5 (P6.4)
- A5 и CB5 - потенциометр (P6.5)
- A8 - Vref+
- A9 - Vref-
- A10 - термодатчик АЦП
- A11 -  $AV = (AV_{cc} - AV_{ss})/2$

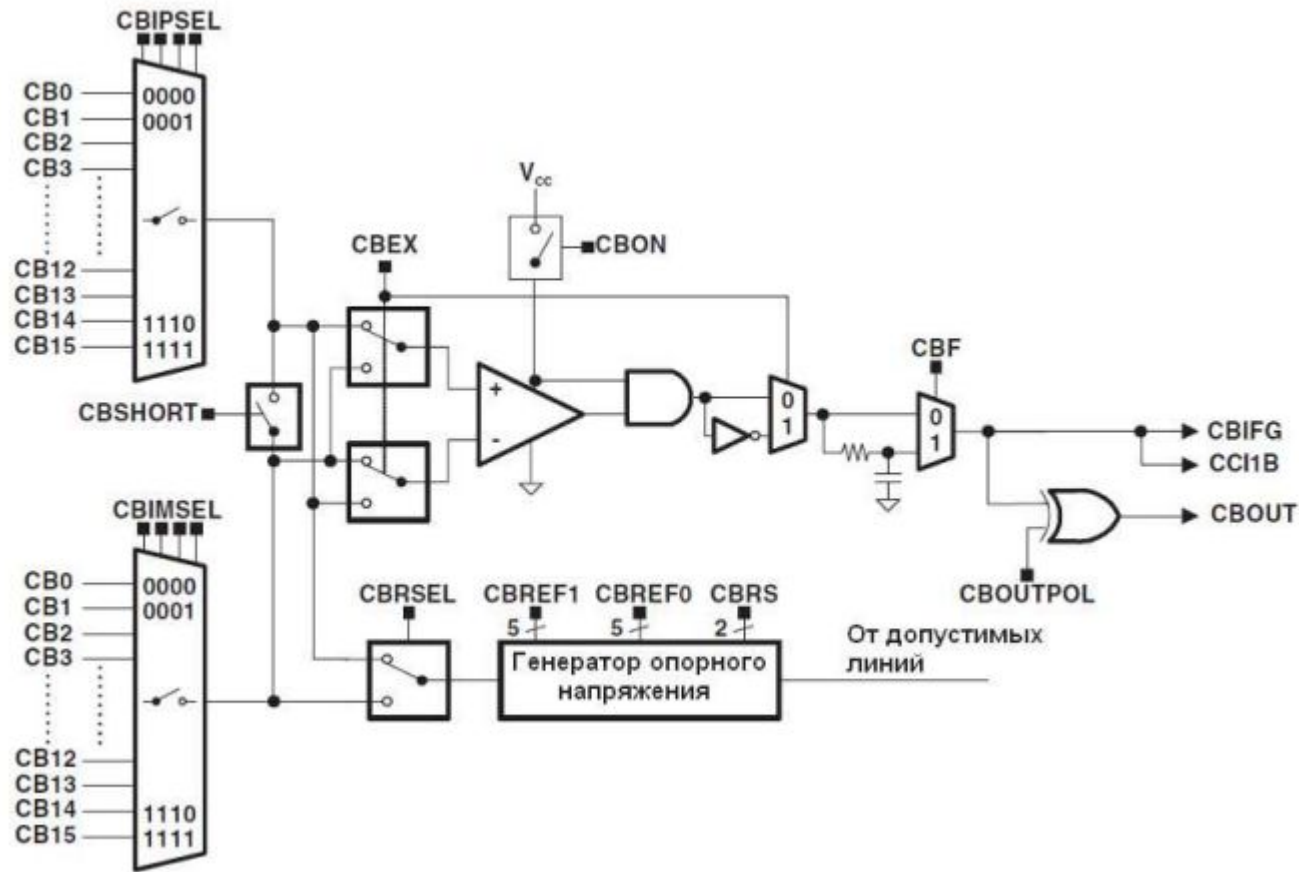
# Термодатчик АЦП

- Работает только включенном внутреннем опорном генераторе напряжения ( $ADC12REFON = 1$ )
- Необходимо включить - в регистре  $ADC12CTL2$  бит  $ADC12TCOFF = 0$

# Сравнение с помощью АЦП

- настроить АЦП
- разрешить прерывания от соответствующей ячейки памяти
- включить АЦП ( $ADC12ON = 1$ )
- разрешить преобразование ( $ADC12ENC = 1$ )
- запустить выборку (установкой бита  $SC = 1$  или по таймеру, в зависимости от настроек)
- в прерывании от АЦП сохранить значение в переменную
- преобразовать значение по формуле
- после того, как получены значения с двух каналов сравнить показания

# Компаратор



## Настройка:

- настроить порты, соответствующие каналам для работы с периферией, направление - вход
- разрешить фильтр на выходе (если необходимо)
- выбрать полярность выхода

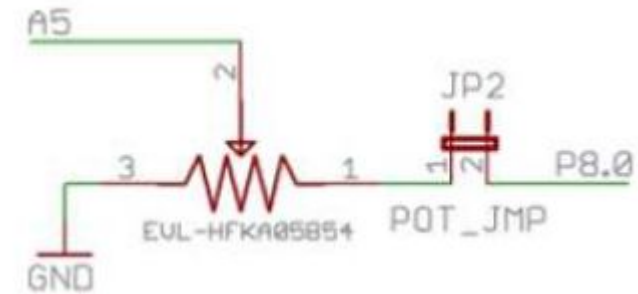
# Сравнение с помощью компаратора

- настроить каналы компаратора
- следить за выходом CVOUT по прерыванию  
(рекомендуется включить фильтр)

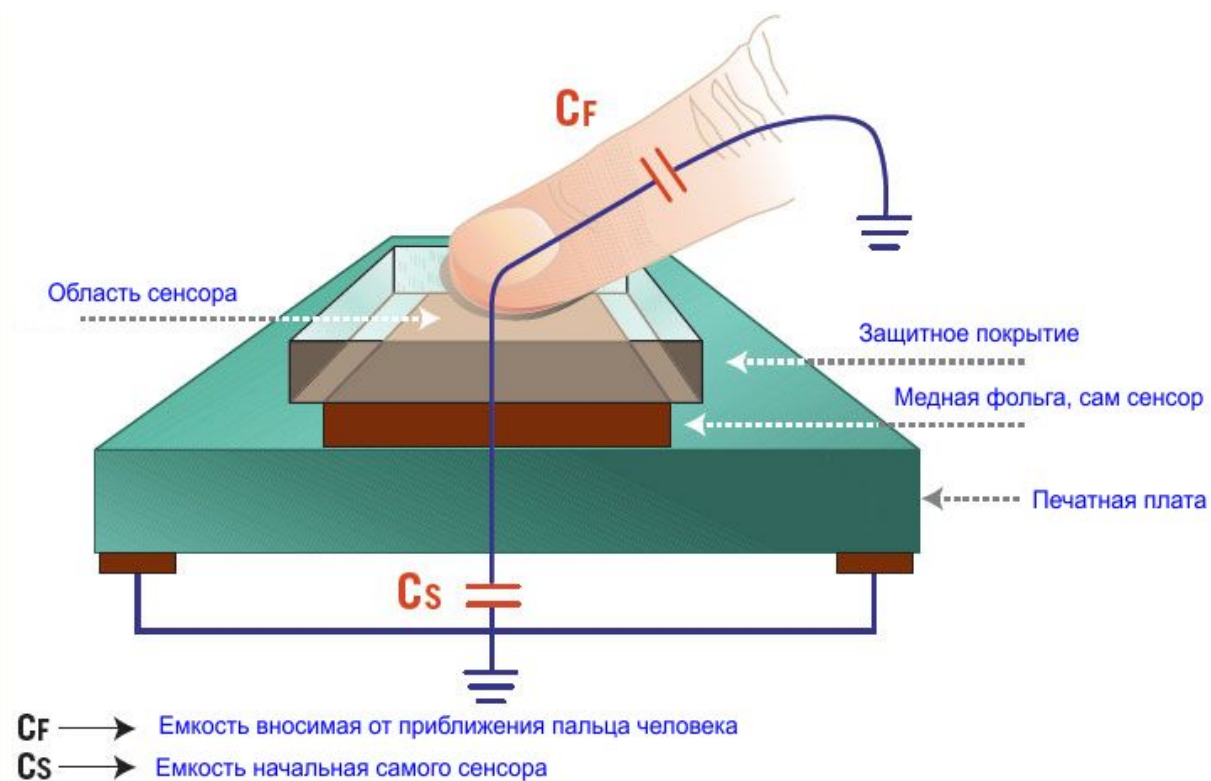


# Потенциометр

- Настроить порт 8.0:
  - I/O
  - ВЫХОД
  - подать высокий уровень
- Настроить порт 6.5:
  - периферия
  - ВХОД



# Сенсорные кнопки



# Порядок измерения сенсорных кнопок

1. Зарядить емкость
  - а. Перевести линию 6.x в I/O, подать высокий уровень
  - б. На линию 1.6 завести землю
2. Небольшая задержка (можно `__delay_cycles(n)`)
3. Перевести линию 6.x на вход с разрешением прерываний
4. Запустить таймер (время таймера выбирается для каждого варианта экспериментально)
5. По прерыванию таймера произвести измерения (перевести линию 6.x для работы с периферией)

# Вопросы на защите

1. АЦП. Виды АЦП. Принцип работы АЦП в MSP430F5529. Опорное напряжение. Режимы выборки. Режимы запуска выборки/преобразования. Значение на выходе АЦП. Получение цифровой величины аналогового сигнала. Термодатчик АЦП, преобразование напряжения в температуру.
2. Аналоговый компаратор. Формирование выхода. Фильтр. Полярность выхода. Настройка портов для работы с компаратором
3. Потенциометр. Настройка портов для работы с потенциометром
4. Сенсорные кнопки. Принцип работы. Методы определения емкости.

# Обязательные вопросы

1. Что такое АЦП?
2. Отличие импульсного и расширенного режима.
3. Режимы выборки АЦП.
4. Что такое аналоговый компаратор? Как формируется сигнал на выходе компаратора?
5. Что такое потенциометр?
6. Принцип работы сенсорных кнопок.

Вопросы?