

БГУИР

Кафедра ЭВМ

Отчет по лабораторной работе № 4

Тема: «Аналоговый ввод-вывод. АЦП. Компаратор. Потенциометр.

Сенсорная клавиатура»

Вариант №8

Выполнил:

студент группы 150503 Ходосевич М.А.

Проверил:

ассистент каф. ЭВМ _____ Шеменков В.В.

Минск

2024

1. Постановка задачи

Изучить принципы работы с аналоговыми сигналами на базе микроконтроллера MSP430F5529. Написать программу с использованием АЦП, компаратора, потенциометра и сенсорных элементов в соответствии с заданием. Задание варианта 8: 1 сигнал – потенциометр, 2 сигнал – PAD5, для сравнения использовать компаратор.

2. Теоретические сведения

Микроконтроллер MSP430F5529 содержит 16-канальный АЦП ADC12A, обладающий следующими возможностями:

- максимальная скорость преобразования – более 200 тысяч выборок / с;
- выборка и сохранение с программируемым периодом выборки;
- запуск преобразования программно или от таймера;
- программно конфигурируемый внутренний генератор опорного напряжения (1.5, 2.0, 2.5 В);
- программный выбор внешнего или внутреннего источника опорного напряжения;
- 12 отдельно конфигурируемых внешних входных каналов;
- каналы для внутреннего датчика температуры, V_{SS} и внешних опорных напряжений;
- независимый для каждого канала опорный источник, как положительного, так и отрицательного напряжения;
- конфигурируемый источник тактового сигнала;
- четыре режима преобразования: одноканальный, повторноодноканальный, последовательный и повторно-последовательный;
- ядро АЦП и ИОН могут выключаться независимо друг от друга;
- быстрое декодирование 18 источников прерываний АЦП;
- сохранение 16 результатов;
- ядро АЦП автоматически отключается, если не идет цикл измерения.

Цифровое значение измеряемой величины вычисляется по формуле:

$$NADC = 4095 * (V_{IN} - V_{R-}) / (V_{R+} - V_{R-}),$$

где V_{IN} – измеряемый (входной) сигнал, V_{R-} и V_{R+} источники опорного напряжения.

Структура АЦП представлена на рисунке 2.1.

Выбор тактирования возможен из 4 источников: MCLK, SMCLK, ACLK, ADC12OSC. Тактовая частота может делиться /1, /2, ... /8, /12, ... /32 раза при использовании двух делителей: ADC12DIVx, ADC12PDIV. Модуль ADC12OSC связан со внутренним генератором 5 МГц. В АЦП используется независимый генератор опорного напряжения (1.5, 2.0, 2.5 В), который может быть доступен как внутри АЦП, так и снаружи (выход V_{REF+}). Сигнал REF

ON включает/отключает генератор, REFBURST = 1 включает буферный усилитель автоматически только когда используется АЦП; = 0 — постоянно.

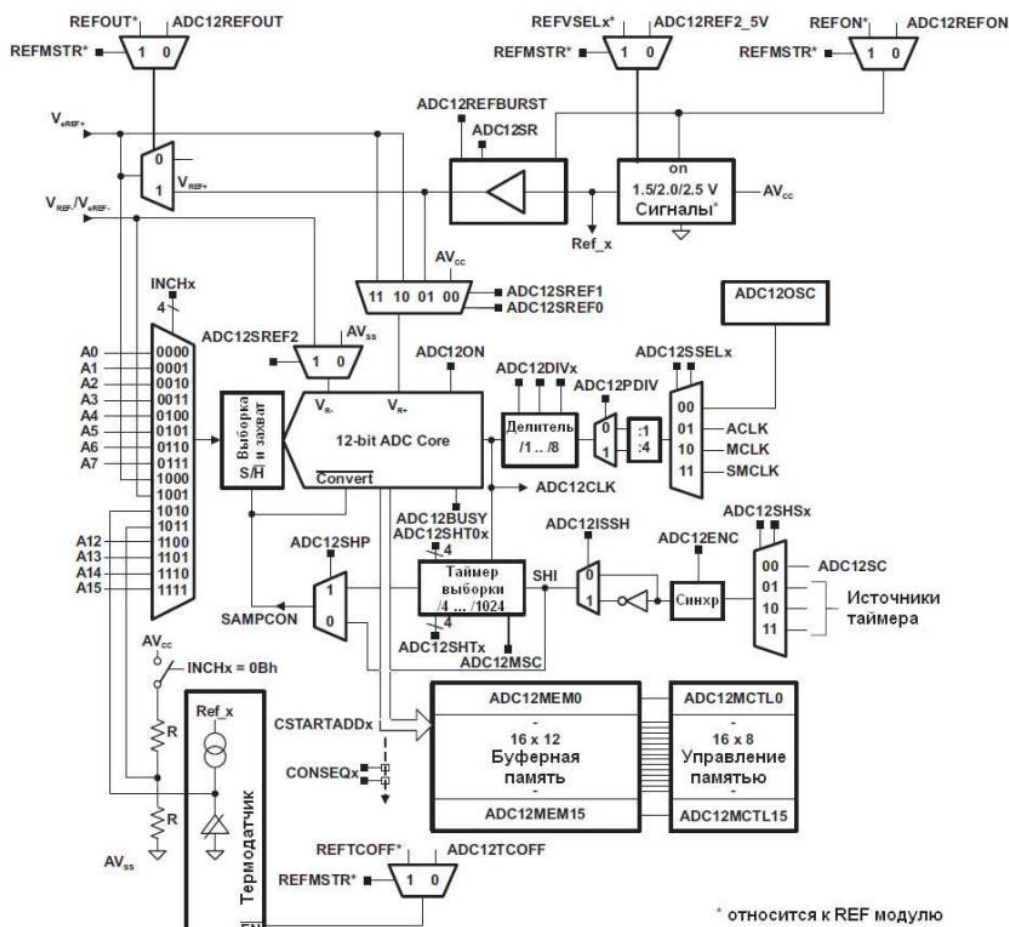


Рисунок 2.1 – Структура АЦП ADC12А

На рисунке 2.2 приведена таблица с регистрами АЦП.

Регистр	Адрес	Назначение
ADC12CTL0	0700h	Регистры управления
ADC12CTL1	0702h	
ADC12CTL2	0704h	
ADC12IFG	070Ah	Флаги прерываний
ADC12IE	070Ch	Разрешение прерываний
ADC12IV	070Eh	Вектор прерываний
ADC12MCTL0... ADC12MCTL15	0710h... 071Fh	Управление памятью
ADC12MEM0... ADC12MEM15	0720h 073Dh	Память

Рисунок 2.2 – Регистры АЦП

Поля регистров управления АЦП приведены в таблице на рисунке 2.3.

Регистр	Биты	Поле	Назначение	Определение флагов в msp430f5529.h
ADC12CTL1	12-15	ADC12CSTARTADDx	Стартовый адрес записи результата	ADC12CSTARTADD_0 ... ADC12CSTARTADD_15
	10-11	ADC12SHSx	Источник сигнала запуска	ADC12SHS_0 ... ADC12SHS_3
	9	ADC12SHP	Выбор источника сигнала SAMPCON (расширенный или импульсный режим)	ADC12SHP
	8	ADC12ISSH	Инвертирование сигнала запуска	ADC12ISSH
	5-7	ADC12DIVx	Делитель тактовой частоты	ADC12DIV_0 ... ADC12DIV_7
	3-4	ADC12SSELx	Выбор тактового сигнала	ADC12SSEL_0 ... ADC12SSEL_3
	1-2	ADC12CONSEQx	Режим	ADC12CONSEQ_0 ... ADC12CONSEQ_3
	0	ADC12BUSY	Индикатор активного режима	ADC12BUSY
ADC12CTL2	8	ADC12PDIV	Деление тактовой частоты на 4	ADC12PDIV
	7	ADC12TCOFF	Отключение температурного датчика	ADC12TCOFF
	4-5	ADC12RES	Точность (8, 10, 12 бит)	ADC12RES_0 ... ADC12RES_3
	3	ADC12DF	Результат - знаковый	ADC12DF
	2	ADC12SR	Буфер работает на частоте 0: 200К, 1: 50К выборок / с	ADC12SR
	1	ADC12REFOUT	Выход опорного напряжения	ADC12REFOUT
	0	ADC12REFBURST	Режим работы буферного усилителя опорного напряжения: постоянный (0) или автоматический (1)	ADC12REFBURST

Рисунок 2.3 – Поля регистров управления АЦП ADC12CTL1-2

Битами CONSEQx выбирается режим. Одноканальный режим: однократное измерение одного канала. Результат записывается в регистр ADC12MEMx, определяемый битами CSTARTADDx. Повторноодноканальный: непрерывные измерения одного канала. Результат записывается в ADC12MEMx, определяемый битами CSTARTADDx. Необходимо читать результат после каждого измерения, иначе данные

потеряются. Последовательный режим: однократное измерение последовательности каналов. Запись начинается с регистра ADC12MEMx, определяемого битами CSTARTADDx. После каждой записи происходит инкремент номера регистра. Измерение прекращается, когда происходит измерение канала с установленным битом ADC12EOS. Повторнопоследовательный режим: постоянное измерение последовательности каналов. Запись начинается с регистра ADC12MEMx, определяемого битами CSTARTADDx. После каждой записи происходит инкремент номера регистра. Последовательность прекращается, когда происходит измерение канала с установленным битом ADC12EOS. Новый цикл начинается после установки сигнала запуска измерения. Независимо от режима, если источниками запуска выбраны таймеры, то нужно переключать ADC12ENC для следующего измерения.

Для получения максимальной частоты измерений используется бит ADC12MSC = 1 (Multiple Sample and Convert) при режиме CONSEQx > 0 и использовании таймера выборок. В этом случае первый фронт SHI запускает первое измерение, после измерения автоматически запускается следующее. «Лишние» фронты SHI игнорируются, пока не окончится цикл измерения.

Использование встроенного температурного датчика: помимо выбора номера канала (1010), устанавливается либо ADC12REFON = 1 (при REFMSTR = 0), либо REFON = 1 (при REFMSTR = 1), при этом необходимо использовать период выборки больше 30 мкс.

Доступно 18 источников прерывания. ADC12IFG0 ... ADC12IFG15 (эти флаги устанавливаются, когда происходит запись в соответствующий регистр ADC12MEMx), ADC12OV (переполнение ADC12MEMx – запись нового результата до прочтения старого), ADC12TOV (превышение времени преобразования – вызывается новый цикл измерения до окончания предыдущего). Запрос на прерывание возникает, если установлен флаг разрешения соответствующего ADC12IEx и установлен глобальный флаг разрешения GIE. Любой доступ к ADC12IV автоматически сбрасывает флаги ADC12OV, ADC12TOV (если запрос от них был с максимальным приоритетом). ADC12IFGx сбрасывается программно либо автоматически при доступе к соответствующему регистру ADC12MEMx.

Компаратор в составе MSP430F5529 обладает следующими возможностями: прямое и инверсное сравнение; программное подключение RC-фильтра на выходе; выход подключается ко входу таймера A; программный выбор каналов (из 16 возможных); использование прерываний; программируемый генератор опорного напряжения.

Структура компаратора представлена на рисунке 2.4.

Регистры управления компаратором CBCTL0 ... CBCTL3 имеют адреса 08C0h, 0802h, 0804h, 0806h, регистр управления прерываниями CBINT – 080Ch, регистр флагов прерываний CBIV – 080Eh. Состав и назначение полей регистров компаратора приведены в таблице на рисунке 2.5 и 2.6.

Регистр	Биты	Поле	Назначение	Определение флагов в msp430f5529.h
CBCTL1	2	CBF	Выходной фильтр	CBF
	1	CBOUTPOL	Полярность выхода	CBOUTPOL
	0	CBOUT	Выход компаратора	CBOUT
CBCTL2	15	CBREFACC	Точность	CBREFACC
	13-14	CBREFL	Опорное напряжение (отключено, 1.5, 2, 2.5 В)	CBREFL_0 ... CBREFL_3
	8-12	CBREF1	Устанавливает напряжение на выходе резисторного делителя	CBREF1_0 ... CBREF1_31
	6-7	CBRS	Источник опорного напряжения	CBRS_0 ... CBRS_3
	5	CBRSEL	Коммутация опорного напряжения к + и - входам	
	0-4	CBREF0	Как и CBREF1	CBREF0_0 ... CBREF0_31
CBCTL3	0-15	CBPD	Отключение входного буфера для каждого вывода	CBPD0 ... CBPD15
CBINT	9	CBIE	Выход разрешения прерывания по инверсному выходу	CBIE
	8	CBIE	Выход разрешения прерывания	CBIE
	1	CBIFG	Флаг инверсного прерывания	CBIFG
	0	CBIFG	Флаг прерывания	CBIFG
CBIV			Вектор прерываний	CBIV_NONE, CBIV_CBIFG, CBIV_CBIFG

Рисунок 2.6 – Поля регистров компаратора

Сигнал с потенциометра подан на вывод A5 контроллера. Он соединен с соответствующими каналами (CB5, A5) на входах компаратора и АЦП. Поскольку данный вывод разделен с цифровым I/O (P6.5), его необходимо переключить в режим периферийных устройств на ввод данных. Порт P8.0 необходимо использовать в цифровом режиме на выход, подав на него высокий уровень, чтобы подать на резистор разность потенциалов.

На плате расположены пять площадок, совмещенных со светодиодными индикаторами. Каждая из таких площадок представляет собой емкостный сенсорный элемент. Сенсор сконструирован таким образом, что его электрическое поле и емкость могут быть изменены внешним токопроводящим объектом, например пальцем. Принцип действия сенсорного элемента приведен на рисунке 2.7.

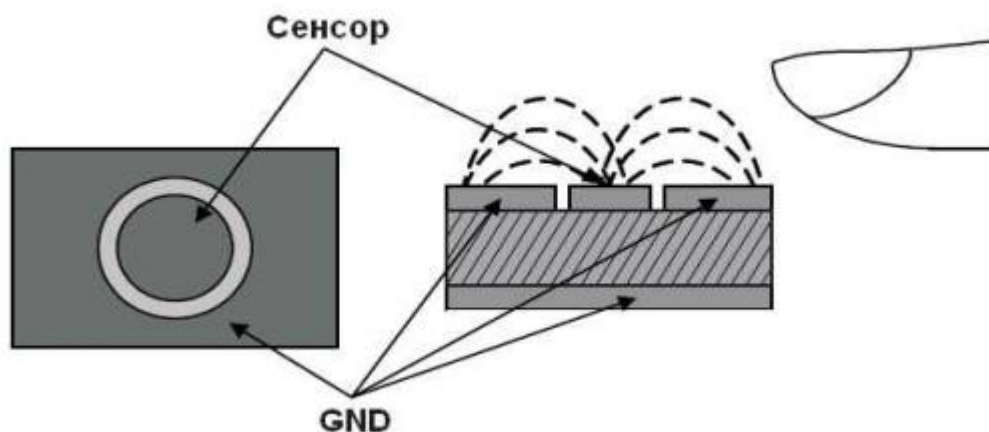


Рисунок 2.7 – Принцип действия сенсорного элемента

При приближении к сенсору меняется магнитное поле и, следовательно, емкость. Количественная характеристика нажатия получается путем измерения емкости тач-сенсора. Очевидно, что магнитное поле сильно зависит от условий внешней среды, поэтому требуется отслеживание фонового уровня.

Один из методов измерения — RC-метод. Он основан на измерении времени разряда RC-цепи и пояснен на рис. 4.8. Резистор включается между землей и сенсором, сенсор подключается к цифровому I/O. На I/O подается «1» и конденсатор быстро заряжается. Читается время таймера. После этого I/O устанавливается на вход с прерыванием по спаду, контроллер переводится в режим LPM0. Конденсатор разряжается через резистор, когда напряжение станет меньше порога, произойдет прерывание. Обработчик прерывания вновь читает таймер, вычисляет время разряда, после чего микроконтроллер выводится из LPM0.

Для снижения чувствительности сенсора к шуму используют разные подходы. Например, подавление шума с помощью БИХ-фильтра, либо усреднение времени заряда и времени разряда.

Иногда сенсоры объединяют попарно, что позволяет вдвое снизить количество используемых резисторов. В этом случае, когда один сенсор измеряется, второй заряжается и наоборот.

Другими методами, используемыми для измерений, являются RO-метод (Relaxation Oscillator) и fRO (fast scan Relaxation Oscillator). В случае RO-метода считается количество тактов релаксационного генератора за некоторое время. Генератор включает в себя сенсор и компаратор.

В случае fRO-метода измеряется длительность периода одного такта релаксационного генератора. Он подобен RC-методу, но использует релаксационный генератор, а не RC-цепочку.

Сигналы с сенсорных элементов поданы на выводы CB0 – CB4 контроллера и разделяются с цифровыми I/O P6.0 – P6.4 соответственно, а также подключены к каналам компаратора и АЦП. Резистор каждого из элементов подключен к выводу CBOUT контроллера, который также разделяется с цифровым I/O (P1.6), и связан с входом TA1CLK таймера TA1.

3. Выполнение работы

В ходе работы была написана программа, которая непрерывно сравнивает сигнал на указанных выводах (потенциометр и PAD5) и в зависимости от того, где уровень выше, включает тот или иной светодиод. Для тащ-панели включается соответствующий светодиод (LED8), для потенциометра - LED3.

Схема подключения потенциометра приведена на рисунке 2.8.

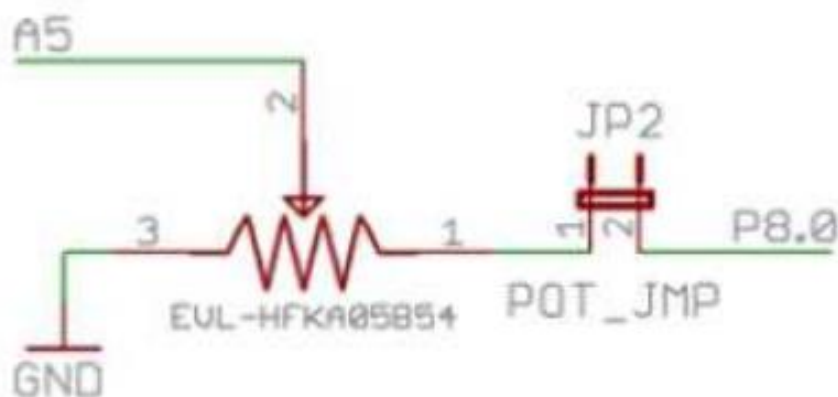


Рисунок 2.8 – Схема подключения потенциометра

Схема подключения сенсорных кнопок – на рисунке 2.9.

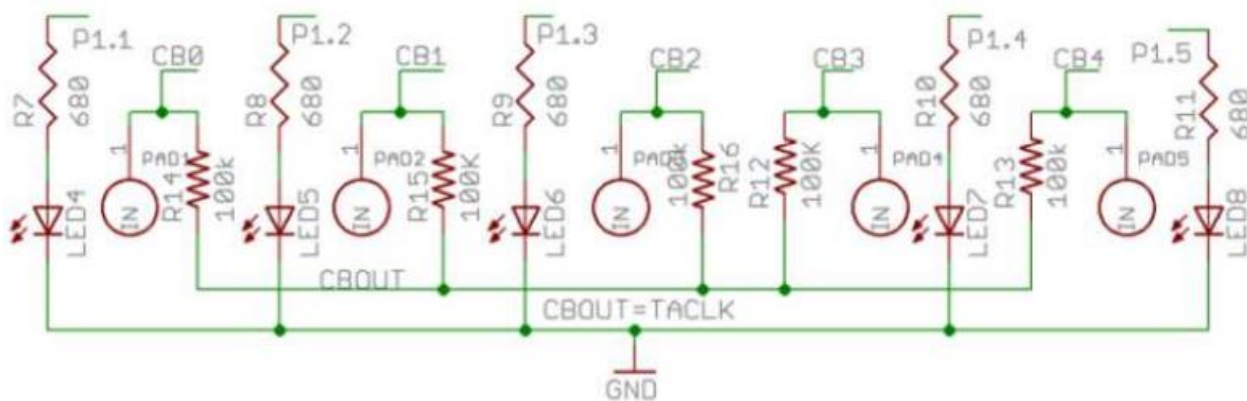


Рисунок 2.9 – Схема подключения сенсорных элементов

При увеличении напряжения на потенциометре загорается светодиод LED3. Это приведено на рисунке 2.10.

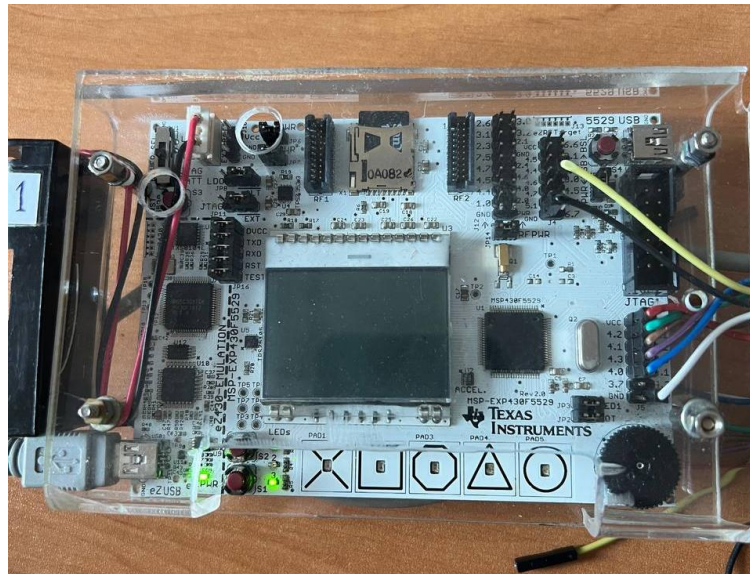


Рисунок 2.10 – Большое напряжение на потенциометре

Если уменьшить напряжение на потенциометре и приложить палец к соответствующему светодиоду сенсорной кнопке, загорится светодиод LED8. Это можно увидеть на рисунке 2.11.

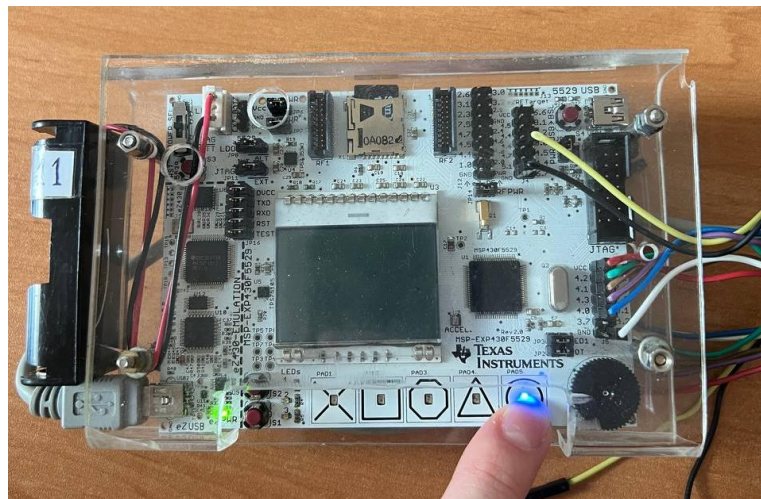


Рисунок 2.11 – Большое напряжение на кнопке

4. Листинг программы

```
#include <msp430.h>

void enLed8(int f) {
    switch (f) {
        case 0:
            P1OUT &=~BIT5;
            break;
        case 1:
            P1OUT |= BIT5;
            break;
    }
}
```

```

        default:
            P1OUT &=~BIT5;
            break;
    }
}

void enLed3(int f) {

    switch (f) {
        case 0:
            P8OUT &=~BIT2;
            break;
        case 1:
            P8OUT |= BIT2;
            break;
        default:
            P8OUT &= ~BIT2;
            break;
    }
}

void set_pins() {
    // P6.4 (PAD5) & P6.5 (POT) set as input
    P6DIR &=~(BIT4 | BIT5);
    // // device mode: P6.4 is PAID 2, P6.5 is POT
    P6SEL |= (BIT4 | BIT5);
    // переключаем в режим периферийных устройств
    P1DIR |= BIT6; // P1.6 (CBOUТ) set as output
    P1SEL |= BIT6; // device mode: P1.6 is CBOUТ

    P8DIR |= BIT0 | BIT2; // P8.0 (Vee POT) set as output
    P8SEL &=~(BIT0 | BIT2); // P8.0 is digital I/O
    P8OUT |= BIT0; // Set Vcc to PUT
    P8OUT &=~BIT2;
    // P1.2 (LED PAD5) set as output
    P1DIR|= BIT5;
    P1SEL &=~BIT5; // LED is digital I/O
    P1OUT = 0;
}

void set_comp() {
    // // Enable both comparator input,
    // // CBIP(+) = A5 (POT), CBET(-) = A 0 (PAD 1)
    CBCTL0 = CBIMEN | CBIPEN | CBIPSEL_5 | CBIMSEL_4;
    // CPMIN - Разрешение входного канала на V-;
    // CBIPEN - Разрешение входного канала на V+;
    // CBIMSEL - Выбор входного канала V-;
    // CBIPSEL - Выбор входного канала V+;
    // Enable Comparator, Enable out filter 3600 ns delay
    CBCTL1 = CBON | CBF | CBFDLY_3;
    // CBON - Включение компаратора;
    // CBF - Выходной фильтр ;
    // CBFDLY - Величина задержки фильтра (0.6, 1.0, 1.8, 3.4 мкс);
}

void set_timer() {
    TA0CCTL0 = CCIE; // CCR0 interrupt enabled
    // // SMCLK, no divide, cont mode, clear TAR
    TA0CTL = TASSEL_2 | ID_0 | MC_2 | TACLK ;
}

```

```

        // TASSEL 2 - источник тактов SMCLK по умолчанию настроенных на
работу от DC0
        // (разрешен даже при режиме энергопотребления)
        // ID_0 - делитель частоты
        // MC_2 - реверсивный режим
    }

    int main(void) {
        WDCTL = WDTW | WDTWOLD; // Stop watchdog timer

        set_pins();
        set_comp();
        set_timer();

        __bis_SR_register(LPM0_bits + GIE);
        __no_operation();
        return 0;
    }

    // Timer0 interrupt service routine
    #pragma vector=TIMER0_A0_VECTOR
    __interrupt void TIMER0_A0_ISR(void) {

        // disable leds
        enLed3(0);
        enLed8(0);

        // CBCTL - Величина задержки фильтра (0.6, 1.0, 1.8, 3.4 мкс)
        // CBOU - Выход компаратора

        if(CBCTL1 & CBOU) {
            enLed3(1);
        }
        else {
            enLed8(1);
        }
    }
}

```

5. Заключение

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены принципы работы с аналоговыми сигналами на базе микроконтроллера MSP430F5529. Удалось написать программу с использованием АЦП, компаратора, потенциометра и сенсорных элементов в соответствии с заданием: 1 сигнал – потенциометр, 2 сигнал – PAD5, для сравнения использовать компаратор.