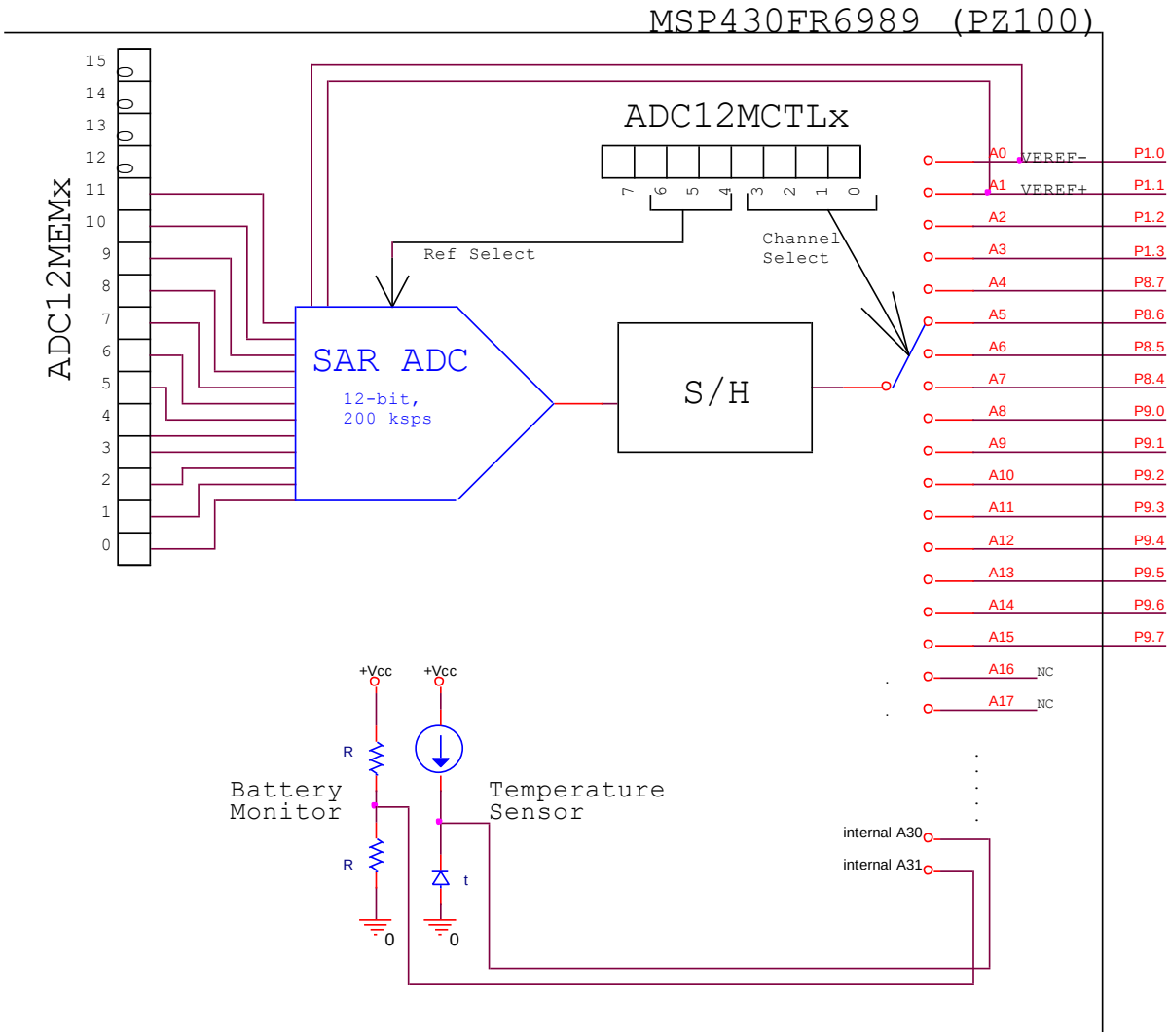
Лабораторно упражнение №7
"Аналогово-цифров преобразувател на MSP430FR6989 и комуникационен модул UART (RS-232)"

7.1. Въведение

7.1.1. Аналогово-цифров преобразувател на MSP430FR6989

Микроконтролерът MSP430FR6989 притежава вграден аналогово-цифров SAR преобразувател с 12-битова разредност, бързодействие 200 ksps и 16 входни канала (**фиг. 7.1**).



Фиг. 7.1. Аналогово-цифров преобразувател на микроконтролера MSP430FR6989

Потребителят може да измерва напрежение с до 16 извода на микроконтролера. Други 2 канала са вътрешни и са за измерване температурата на чипа (с помощта на интегриран диод), за измерване на захранващото напрежение (с помощта на интегриран резистивен делител) и останалите не се използват. При включване на външни еталонни източници за горен и долен праг на измерването потребителят ще може да измерва напрежение само на 14 извода.

Преди даден извод да бъде използван от АЦП-то, трябва да се конфигурира *мултиплексорът*, превключващ извода измежду различните периферни модули (всеки извод може да бъде използван от много периферни модули, но в даден момент само един е включен на него). Това става чрез регистър PxSEL0 и PxSEL1.

АЦП може да работи в *4 режима*, задавани от битовете ADC12CONSEQx на регистъра ADC12CTL1:

- един канал, едно измерване;
- много канали, по едно измерване на всеки;
- един канал, много измервания;
- много канали, много измервания на всеки.

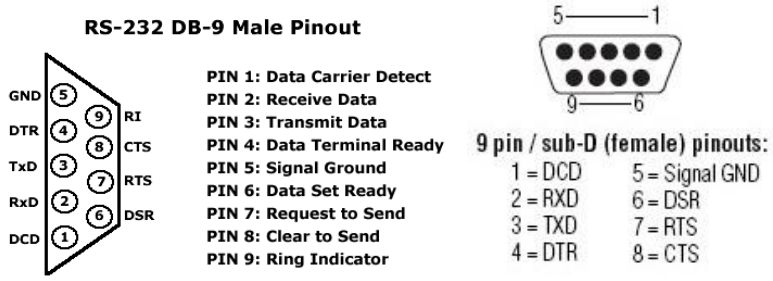
За всеки един канал има по един MCTL регистър, който указва източниците на еталонно напрежение за конкретния канал, както и дали той е първи или последен при многоканално измерване.

АЦП-то може да използва *еталонния източник* на напрежение, вграден в микроконтролера. Неговата стойност може да се избере от напреженията: 1.2 V, 2.0V, 2.5 V. Това може да стане, като се установи бит 0 от REFCTL0 в единица и с REFVSEL битовете се избере една от трите стойности. Да се разгледа MSP430FR6989 User's Guide-а за желаната комбинация на REFVSEL.

Тактовата честота на модула е един от източниците SMCLK, MCLK, ACLK, MODCLK и може да се избере чрез битовете ADC12SSELx от регистъра ADC12CTL1. Тази честота допълнително може да бъде *разделена* 1 ÷ 512 пъти чрез ADC12DIVx битове от регистъра ADC12CTL1 и ADC12PDIVx битове от регистъра ADC12CTL2.

7.1.2. Сериен интерфейс UART

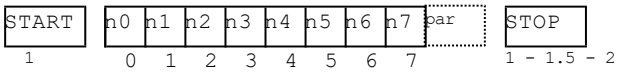
В настоящото упражнение се използва RS232 интерфейс, наречен още UART, за осъществяване на връзка между микроконтролера и персонален компютър. Това е напрежителен, сериен, асинхронен интерфейс. На **фиг. 7.2** са показани най-често използваните куплунги с 9 извода (има и с 25 извода) - мъжки и женски DB9.



Фиг. 7.2. Описание на изводите на куплунг DB9

При повечето приложения микроконтролерите използват само три проводника от този куплунг – това са TxD (извод 3) за предаване, RxD (извод 2) за приемане и маса (извод 5). Логическите нива се представят с отрицателни и положителни напрежения за разлика от TTL нивата, където са само положителни. Логическата 0 (наричана Space) е дефинирана като ≥ +5 V, а логическата 1 (наричана Mark) като ≤ −5 V. Максималните нива на напреженията трябва да са в границите ± 15 V, но чиповете, използващи този интерфейс трябва да са способни да издържат до ± 25 V. Приемниците трябва да регистрират и затихнали сигнали с амплитуда не по-малка от +3 V и не по-голяма от −3 V (т.е. имат минимален 5 – 3 = 2 V запас за шумоустойчивост).

Предаването на данни се осъществява байт по байт, всеки от който съдържа един стартов бит (**START**), даннови битове (от **n0** до **n7**), бит проверка за грешки (**par**) и един или повече стопови бита (**STOP**) (**фиг. 7.3**). Изпращането на данните се извършва от LSB към MSB. Повечето инженери са свикнали да представят байтовете в MSB към LSB формат, затова може да се каже, че при наблюдение на осцилоскопа данните от UART изглеждат обърнати. Когато не се предават данни линиите се държат в логическа 1.



Фиг. 7.3. Форматът на данните при комуникация през UART интерфейс

Битът „*проверка за грешки*" може да бъде 4 вида:

- проверка по четност – битът се установява в 1 или 0, така че сумата от всички единици в изпращания байт да е четно число;
- проверка по нечетност – битът се установява в 1 или 0, така че сумата от всички единици в изпращания байт да е нечетно число;
- проверка с единица (mark parity) – битът е винаги единица;
- проверка с нула (space parity) – битът е винаги нула.

Пример: ако се изпраща числото 00010010 с проверка по четност, деветият бит ще е нула. Аналогично при проверката по нечетност числото 0011 0011 ще има единица за деветия бит.

Стоповите битове може да са:

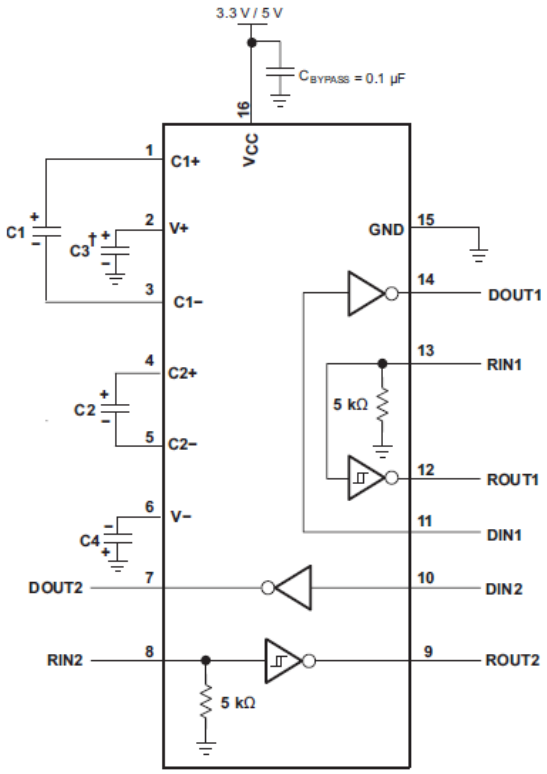
- един;
- един и половина;
- два.

Един и половина и два стоп бита се използват при по-бавни приемащи устройства, които имат нужда от малко по-дълъг (във времето) стоп бит, за да обработят приетите данни.

Данновите битове може да са 5 ÷ 8. Изпращащото устройство предава данните на всеки свой нарастващ фронт на вътрешния му генератор, а приемащото устройство регистрира тези данни на всеки падащ фронт на вътрешния му генератор. Синхронизацията на вътрешните генератори на приемника и предавателя се осъществява по спадащия фронт на старт бита (т.е. при първия преход −15 V → +15 V). Така интерфейсът не се нуждае от допълнителен проводник за тактов сигнал и затова наричаме UART асинхронен интерфейс – разчита се на собствените генератори, вградени в предавателя и в приемника.

Скоростта на предаване се дава в бодове и 1 бод = 1 бит информация. В практиката се използват стандартизирани скорости, някои от които – 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200. По-високи скорости на обмен се осъществяват с USB-UART емулатори. Максималната дължина на кабела между две устройства е 10 m.

Понеже микроконтролерите се захранват с напрежения до 5 V, то те не могат да изработят сигнали с амплитуда ± 5V ÷ ±15 V. Също така не биха могли да приемат такива сигнали без да се повредят. Затова се използват специални транслаторни схеми, които изработват необходимите сигнали и за интерфейса, и за микроконтролера. Една примерна такава ИС е показана на **фиг. 7.4**. Използван е MAX3232, а на схемата е дадена и вътрешната му структура. Инверторите са всъщност специални и осигуряват транслацията на нивата. Използват се безиндуктивни DC/DC преобразуватели от типа зарядна помпа (charge-pump) за повишаване на положителните и изработване на отрицателните напрежения. Тези преобразуватели използват кондензаторите C1, C2, C3 и C4.



Фиг. 7.4. Блокова диаграма на вътрешната структура на интегрална схема MAX232

ЗАДАЧИ ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ

1. Да се създаде нов проект с име **Lab_7_1** в папка **/Desktop/MSHT_GR_XX_N/Lab_7_1**. Да се напише програма, която изпраща съобщение „Hello, dear students!” съобщение по UART (RS232) интерфейса. За да видите резултата стартирайте терминална програма (Hyper Terminal, Tera Term, Real Term и т.н.) и настройте връзка **9600 бода**, **8 даннови бита**, **без проверка по четност**, **1 стопов бит**. Честотата на микропроцесора се настройва от библиотеката на 16 MHz.

В това упражнение се използват библиотеки с API функции за управление на интерфейса. Сорс и хедър файловете на библиотеките трябва да се добавят към проекта, за да могат да се използват. Затова е необходимо да кликнете с десен бутон върху името на проекта в ***Project Explorer*** *и да изберете* ***Add Files****. Изберете файловете. След това се появява прозорец* ***File Operation****. Има две опции -* ***Copy Files*** *и* ***Link to files****. При първата опция се създава копие на файловете в директорията на проекта, а при втората се използват файловете от директорията, в която се намират в момента. Кликнете* ***OK****. Файловете трябва да се появят в главната директория на проекта.*

Файловете са достъпни на :

https://github.com/LubomirBogdanov/MSHT/tree/main/03_lab_exercises/03_uartstdio

RS232 може да бъде виртуален и емулиран от USB дебъгера на демо платката. В <uartstdio.h> библиотеката се използва реалният (физическият) интерфейс.

2. Да се създаде нов проект с име **Lab_7_2** в папка **/Desktop/MSHT_GR_XX_N/Lab_7_2** и да се въведе програмата на С, чрез която се реализира измерване на напрежението в средната точка на потенциометъра. Да се наблюдава резултата от измерването посредством JTAG дебъгера.

3. Да се създаде нов проект с име **Lab_7_3** в папка **/Desktop/MSHT_GR_XX_N/Lab_7_3** и да се въведе програмата на С, чрез която се реализира измерване на напреженията от потенциометъра, от термистора и от вграденият резистивен делител на MSP430R6989 (който е свързан към захранване и маса и има коефициент на предаване 0.5). Данните да се изпращат от микроконтролера към компютъра по RS232. Нека данните от измерванията на трите канала се представят в необработен вид като цели числа в интервала 0 ÷ 4095.

При тази задача също се използват библиотеките за управление на UART интерфейса. Сорс и хедър файловете на библиотеката трябва да се добавят към проекта, както е описано за първата задача.