

**Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича**

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Кафедра електроніки і енергетики

**Багатоканальний реєстратор електричних сигналів
на основі АТМega328 та зовнішнього 16-бітного АЦП ADS1115**

Дипломний проект

Рівень вищої освіти — перший (бакалаврський)

Виконав: студент 4 курсу, групи 432 СК
спеціальності 6.153—Мікро-та наносистемна
техніка

_____ Голохвастов П.Я.

Керівник:

_____ доц. Чупира С.М.

До захисту допущено:

Протокол засідання кафедри № _

від __06.2023 р.

Завідувач кафедри _____ проф. Майструк Е.В

Чернівці - 2023

ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ І ЕНЕРГЕТИКИ

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

ОР “Бакалавр”

**Багатоканальний реєстратор електричних сигналів
на основі МК Atmega 328 та 16-бітного модуля АЦП ADS 1115**

Рівень вищої освіти — перший (бакалаврський)

Виконав: студент 4 курсу, групи 432 СК
спеціальності 6.153—Мікро-та наносистемна
техніка

_____ Голохвастов П.Я.

Керівник:

_____ доц. Чупира С.М.

Чернівці - 2023

АНОТАЦІЯ

У даному дипломному проекті був розроблений багатоканальний реєстратор електричних сигналів на основі МК Atmega 328 та 16-бітного АЦП ADS1115 з можливістю передачі оцифрованих значень по USB.

Даний дипломний проект містить: 50 сторінку, 36 рисунків, 1 таблицю, 20 літературних джерел.

Ключові слова: мікроконтролер, 16-бітний АЦП, вимірювання напруги, вимірювання струму, передача по USB.

ANNOTATION

The present diploma project involves the development of a multi-channel recorder of electrical signals based on the ATMega328 and 16-bit ADS1115 ADC with the possibility of transferring digitized values via USB.

This diploma project contains: 50 pages, 36 figures, 1 table, 20 literary sources.

Keywords: microcontroller, 16-bit ADC, voltage measurement, current measurement, USB transfer.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів наукових досліджень інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Павло ГОЛОХВАСТОВ

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	4
1.1 Порівняння та можливості сучасних АЦП.....	4
1.2 16-бітний АЦП ADS1115.....	7
1.3 Операційний підсилювач ОРА333.....	18
1.4 АЦП ADS 1120	21
1.5 АЦП ADS 1118.....	22
1.6 Пристрої для комунікації UART-USB.....	25
1.6.1 Чіп СН340.....	25
1.6.1 Чіп FT232.....	26
1.7 Огляд сучасних 8-бітних МК фірми Microchip.....	28
1.7.1 МК АТМega328.....	28
1.7.2 МК АТtiny 13.....	30
1.7.2 МК АТМega256.....	31
1.7.2 МК АТМega 32u4.....	32
1.8 Програмне середовище Processing.....	33
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА ПРИЛАДУ.....	36
2.1 Структурна схема пристрою.....	36
2.2 Електрична принципова схема пристрою.....	37
2.2.1. Схема з'єднання АТМega328, кнопок керування та LCD дисплей.....	37
2.2.2 Принципова електрична схема блока живлення.....	38
2.2.3. Принципова електрична схема під'єднання СН340 та АТМega328.....	39
2.3. Опис програми для МК АТМega328.....	40
2.4 Економічні розрахунки.....	44
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	47
ДОДАТОК А. Охорона праці.....	49

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Порівняння та можливості сучасних АЦП

На ринку компонентів від виробників Microchip, Texas Instruments, STMicroelectronics є ціла лінійка 8-ми, 10-ти, 12-ти, 16-ти бітних АЦП з різною швидкодією, способом підключення та ціною.

Якщо порівнювати по швидкодії то розрізняють низько швидкісні, в яких швидкість менше ніж 100 kSPS. Сюди належать:

- 1) ADS7830[1] 8-ми бітний, 8-ми каналний АЦП який під'єднується по шині I²C, швидкість до 70 kSPS. Виробник Burr-Brown Products;
- 2) ADC 088S022[2] 8 бітний АЦП, під'єднується по шині SPI і має швидкість 50 kSPS. Виробник National Semiconductor;
- 3) CM2012gf[3] низько швидкісний 8 бітний, 50 kSPS АЦП, виробник Chipus.

Середня швидкодія від 100 до 1000 kSPS:

- 1) ADC121S051[4] одно каналний 12 бітний. Швидкість передачі від 200 до 500 kSPS. Працює по шині SPI;
- 2) AD7853[5] 12-бітний 200 kSPS працює по шині SPI. AD7853L- швидкість обмежена 100 kSPS;
- 3) MAX1282[6] під'єднується по шині SPI, 300/400 kSPS бітрейт, 4-х каналний АЦП.

Високо швидкісні АЦП понад 1 MSPS:

- 1) Монолітний АЦП AD1672[7] 12-бітний перетворювач з швидкістю передачі 3 MSPS. Виробник Analog Devices;
- 2) TS83102G0B[8] 10 бітний 2GSPS високоефективний. Виробляє компанія MicroChip. Внутрішнього підсилювача не передбачено;
- 3) HI 7188 сігма-дельта АЦП 16-бітний з швидкістю 1.2 MSPS, випускає Analog Devices.

Для звичайних завдань швидкості понад 1 MSps інколи і не потрібно. Але є такі автоматизовані лінії де знаходяться дуже багато датчиків які потрібно весь час контролювати і надсилати данні. Для простих завдань вистачає від 100 kSPS до 200 kSPS.

По способу підключення існує паралельне та послідовне підключення. Використання паралельного способу підключення дуже суттєво для швидко діючих АЦП тому що висуваються доволі складні вимоги до частоти передачі інформації послідовно. Ціновий діапазон буде змінюватись в залежності від розрядності та швидкодії АЦП, від 170 грн за 12 бітний до 350 грн за 24-бітний. Ціна на АЦП може змінитись якщо в пристрої вбудовані внутрішні підсилювачі, відрізняється внутрішня частота і розрядність, та від кількості каналів.

Для високошвидкісних пристроїв необхідно відповідний мікроконтролер який буде мати змогу опрацювати всі отримані данні. АЦП зазвичай є основною складовою вольтметрів, амперметрів, там не потрібна висока швидкість передачі, тому там є сенс застосовувати ADS1115 з його діапазоном швидкостей передачі даних від 8 до 860 SPS перетворень за секунду. Також використовують внутрішні пристрої АЦП які вмонтовані безпосередньо в мікроконтролер наприклад як Atmega 328 P[9], в ньому вбудований 10-бітний АЦП, але для завдання які поставлені його не вистачає.

Розрізняють такі інтерфейси підключення: CAN шина, UART, USB, SPI, I²C, Ethernet, 1-Wire.

Зазвичай АЦП застосовується для вимірювання показів термісторів, термопар, датчиків тиску, тензодатчиків, тобто в автоматизації виробництва та управління процесами.

1.2 16-бітний АЦП ADS1115

ADS1115[10] один з найпоширеніших АЦП на ринку. Це прецизійний, 16-бітний аналого-цифровий перетворювач, який має можливість підключення по шині I²C. В середині пристрою передбачено опорне джерело живлення і внутрішній генератор. ADS 1115 містить програмований підсилювач PGA (Programmable gain amplifier).

Внутрішній підсилювач з його функціоналом дозволяє працювати в діапазонах від 256 мВ до 6,144 В, це дозволяє проводити вимірювання в широкому діапазоні напруг з різною точністю. Великою перевагою даного АЦП є те що в ньому вбудований мультиплексор (MUX), який дозволяє проводити чотири односторонніх вимірювання, або ж два диференціальних.

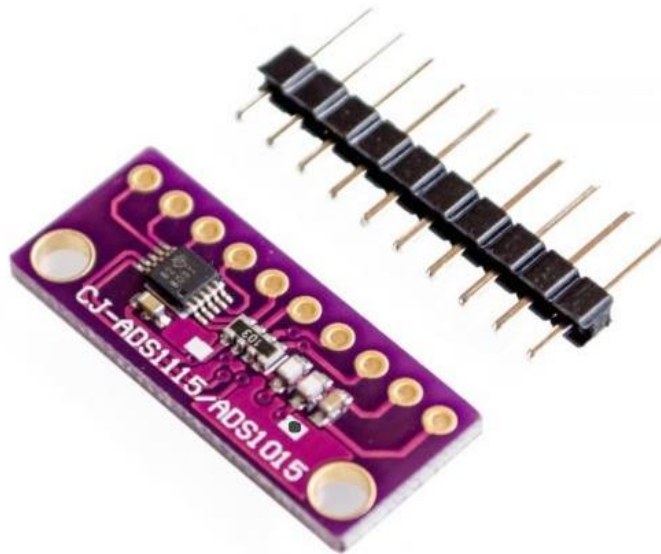


Рис. 1.1. 16-бітний, 4-канальний АЦП ADS1115 (зовнішній вигляд)

Надіслані правильним чином команди АЦП буде проводити одиничне вимірювання, і після цього переходить в режим очікування, тим самим споживання енергії буде мінімальним.

За допомогою програмованої швидкості передачі даних АЦП має можливість розвивати швидкість від 8 SPS до 860 SPS (перетворень за секунду).

Сфери застосування АЦП такі: системи контролю та вимірювання температур, в побутовій електроніці, в процесах автоматизованого виробництва та управління процесами, моніторинг акумуляторних систем, контроль напруги та струму.

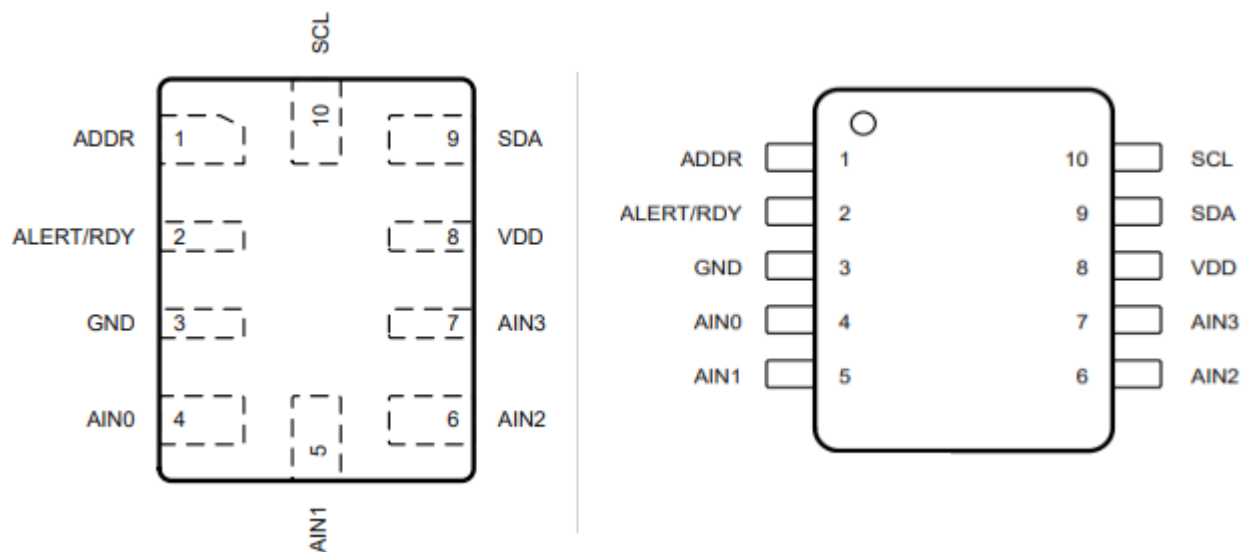


Рис. 1.2. Призначення зовнішніх виводів ADS1115

Максимальна напруга живлення знаходиться в діапазоні від -0,3 до 7 В. Але виробник застерігає, що перевищення напруги живлення вище 5 В може призвести до виходу мікросхеми з ладу. Температурний діапазон роботи знаходиться в межах від -40 до +125 градусів за Цельсієм. Також не мало важливим фактором є те що мікросхема може витримати електростатичний розряд в випадку людської моделі до +2000 В, в випадку машинної моделі до + 500 В, Рекомендоване живлення для максимальної продуктивності рівне від +2В до 5,5В Вимірювання відбувається методом порівняння вхідних сигналів з сигналами внутрішньої опорної напруги. Цифрові фільтри одержують високошвидкісні бітові потоки від модулятора і видають код, який пропорційний вхідній напрузі.

ADS 1115 має можливість працювати в двох режимах перетворення: одноразовому та безперервному. У випадку одноразового перетворення АЦП виконує одиничне перетворення і запам'ятовує данні в необхідному регістрі і очікує наступний запит на перетворення тим самим мінімізуючи споживане живлення.

Такий режим вигідний в тих випадках коли між перетворюваннями є значний час простою. В режимі безперервного вимірювання АЦП постійно виконує перетворення після закінчення попереднього вимірювання.

Дані можна зчитувати в будь який момент роботи АЦП і відображати останні завершені перетворення.

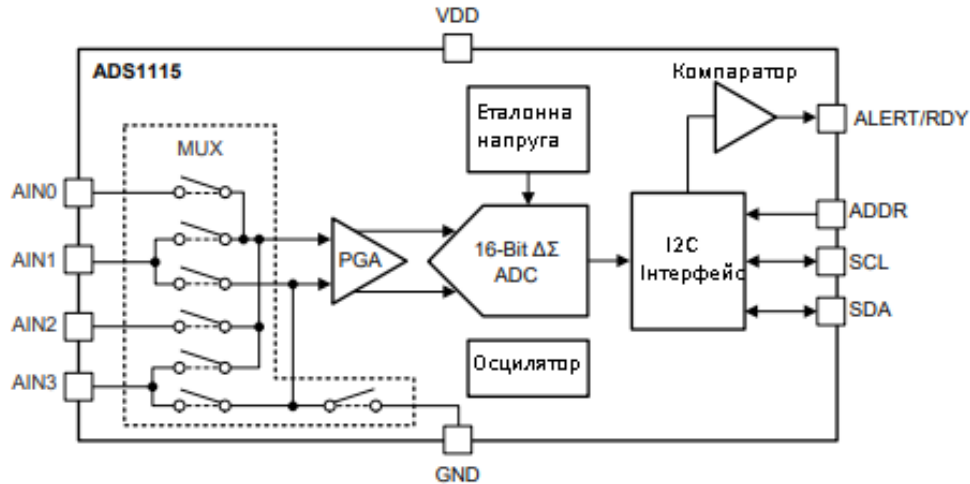


Рис. 1.3. Функціональна блок схема

На функціональній блок схемі чітко зображено варіанти вимірювання одиничні і диференціальні входи. Це видно в блоці MUX який складається з спеціально підключених перемикачів, які в залежності від способу включення перемикаються на відповідні контакти, після чого вхідний сигнал надсилається в програмований підсилювач. Де відбувається підсилення і порівняння з еталонною напругою після чого за допомогою I²C інтерфейсу відбувається обмін даних з мікроконтролером, через контакти SCL і SDA. Контакт ADDR призначений для того щоб через цей контакт за допомогою відповідних адрес відбувалось підключення.

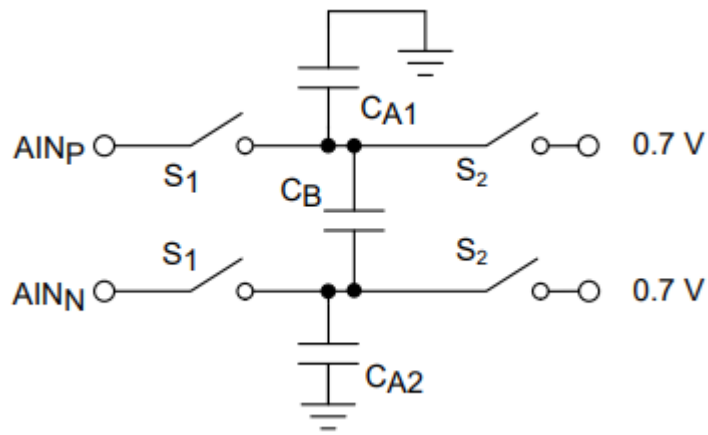


Рис. 1.4. Схема аналогового входу (спрощена)

При розрядці конденсаторів буде відбуватися вимірювання між контактами A_{IN_N} і A_{IN_P} . Під час фази розрядки конденсаторів, перемикач S_1 відкривається а перемикач S_2 закривається. Конденсатори CA_1 і CA_2 розряджаються до 0.7 В, проміжний конденсатор CB розряджається до 0 В. Дана розрядка каскаду конденсаторів споживає дуже малий струм від джерела, що і керує аналоговими входами.

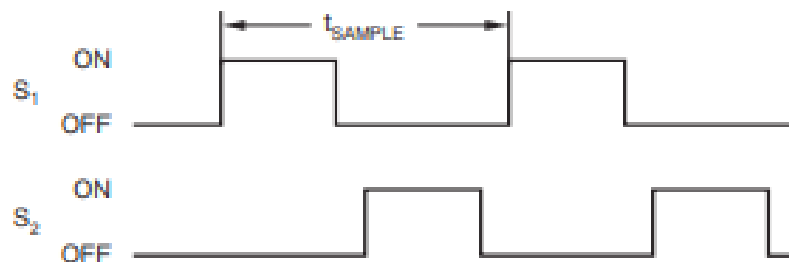


Рис. 1.5. Перехідні процеси між перемикачами S_1 і S_2

На діаграмі перехідного процесу зображено часову діаграму перемикання контактів S_1 і S_2 відносно одне одного.

Вихідний час перетворення та швидкість обробки даних.

ADS1115 має можливість налаштувати виведення даних. Для цього необхідно використати біт $DR[2:0]$ у регістрі конфігурації.

В залежності від того які данні внести в біт DR швидкість буде змінюватися: 8 SPS, 16, 32, 64, 128, 250, 475, 860 SPS. Перетворення відбувається за один цикл, тобто час перетворення буде дорівнювати $1/DR$.

ADS1114 і ADS1115 мають таку функціональну можливість як цифровий компаратор. Даний компаратор видає попередження на контактах RDY/ALERT (Pin 2), за допомогою біта COMP_MODE в регістрі конфігурацій можна налаштувати два вида компаратора: 1) Традиційний компаратор; 2) Аналоговий компаратор.

Традиційний компаратор за замовчуванням налаштований що низький рівень сигналу є активним, перевищення даних які встановлені в високопороговому регістрі H_i_thresh спричиняють появу відповідного сигналу на ніжці ALERT. Потім компаратор скасовує підтвердження, коли дані перетворювань опускаються нижче межі, яка задається в регістрі Lo_thresh .

Аналоговий компаратор працює за іншим алгоритмом. Контакт ALERT/RDY буде рівний логічній одиниці тільки після того якщо дані перевищать значення, записане в регістр H_i_thresh або стануть меншими за значення в регістрі Lo_thresh .

Також важливою функцією являється те що компаратор можна налаштувати на генерування сигналу переривання тільки після певної кількості перевищень даних. Кількість перевищень встановлюється в біті COMP_QUE[1:0] у регістрі Config, де налаштовують компаратор на очікування одного, двох або чотирьох показань які виходить за порогове значення.

Функціональні режими пристрою:

ADS1115 під час увімкнення скидає всі біти в реєстрі конфігурацій за замовчуванням. АЦП переходить в стан вимкнення.

Після завершення скидання. Інтерфейс та цифрові блоки будуть активними але процес перетворення не буде відбуватися. ADS під час загального виклику інтерфейсу I²C відповідає на команди . Коли він отримає загальну команду на процес скидання (біт 06h), виконається внутрішнє скидання ніби пристрій увімкнули.

Для того щоб обрати відповідний режим роботи потрібно в регістрі знайти біт MODE і внести в нього необхідні біти, що і дасть нам змогу вибрати в якому режимі буде працювати АЦП.

Режим одиничного перетворення. Якщо в біті MODE в регістрі конфігурацій встановити 1, то ADS перейде в одноразовий режим перетворення. Такий режим є режимом за замовчуванням під час першого увімкнення АЦП. Незважаючи на те що живлення пристрою буде вимкнене він буде реагувати на команди, але ніяких перетворень не буде здійснювати. Для того щоб виконалось перетворення 1 записують в біт робочого регістру (0C). Коли встановиться біт 0C, пристрій увімкнеться через 25 мкс, тим самим скине біт 0C на 0 і буде відбуватися одиничне перетворення. Після перетворення і отримання готових даних пристрій знову вимкнеться.

Режим безперервного перетворення. Для того щоб перейти в режим безперервного перетворення необхідно в біті MODE регістра конфігурацій 1 замінити на 0. ADS1115 одразу ж розпочне перетворення. Після закінчення перетворень пристрій видає готові результати в реєстр перетворень і негайно розпочинає інші перетворення. Під час запису нових параметрів конфігурації, поточне перетворення можливо завершити за допомогою попередніх налаштувань. Після завершення розпочнуться перетворення вже з оновленими конфігураціями. Для того щоб назад перейти в режим одноразового перетворення достатньо скинути пристрій або ж перевести біт 0 на 1 в біті MODE.

Програмування I²C інтерфейсу.

ADS1115 під'єднується по шині I²C. I²C це двох провідний інтерфейс, який має можливість підтримувати декілька пристроїв на одній шині. Пристрої на шині керуються низькорівневими лініями з'єднуючи із спільним проводом. Зв'язок по шині I²C завжди має відбуватися між двома пристроями один з яких повинен відігравати роль головного, а інший допоміжного. Головний пристрій називається Master, а допоміжний Slave. Деякі пристрої мають можливість працювати як головні.

Але ADS1115 працює тільки в режимі Slave. Так званий керуючий пристрій буде опитувати керований і отримувати з нього дані.

Двох провідна шина I²C має два проводи SCA яка займається перенесенням даних, і провід SCL який відповідає за лінії тактування. Всі данні передаються групою з 8 бітів. Для надсилання біта по шині, лінію SDA підставляють на відповідний рівень, в той час SCL на низькому рівні.

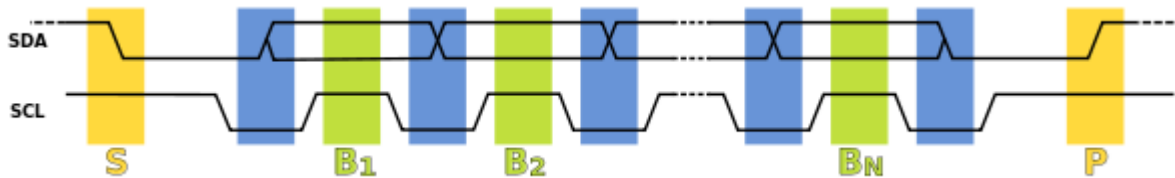


Рис. 1.6. Принцип тактування передачі даних

На діаграмі чітко зображено момент початку обміну даних (S-Start), рівень SDA знаходиться на високому рівні переходячи в низький рівень в той час SCL знаходиться на високому рівні. Головний пристрій генерує синхросигнал що означає початок обміну даних. Процес обміну завершується тим, що головний пристрій створює сигнал (P-Pause), стан лінії SDA з низького переходить в високий стан, при високому стані лінії SCL.

Для роботи з ADS1115 в ньому знаходиться 4 робочі регістри які спілкуються через інтерфейс I²C за допомогою адреси. Регістр перетворень зберігає результати останніх перетворень, регістр Config використовується для змін стану АЦП. Два останніх регістри це регістри порогових значень High і Low Thresh, їх задають для порівнянь. Їх записують в регістр показників, з 7:2 біти зарезервовані, а ось біт 1:0 прописується в залежності від необхідного регістра: 00 це реєстр порівняння в ньому зарезервовано 15 бітів які тільки зчитуються, 01 реєстр конфігурацій, 10 реєстр нижнього порогового значення, 11 реєстр верхнього порогового значення.

Окремої уваги потребує регістр конфігурацій в ньому теж запрограмовано 15 бітів, але окрема група бітів відповідає і виконує свою функцію.

Наприклад:

- 1) біти 0:1 (COMP_QUE) відповідають за функціонал компаратора, якщо встановлюється значення 11, то компаратор вимикається;
- 2) 2-3 біт (COMP_LAT) контролює чи відбувається фіксація контакту ALERT/RDY після встановлення чи очищається після перетворень в межах High або Low Thresh;
- 3) 4 біт (COMP_MODE) налаштовує режим компаратора, стандартний і віконний режим роботи;
- 4) 7:5 біти (DR[2:0]) контролюють швидкість обміну даних від 8 SPS до 860 SPS;
- 5) 8 біт (MODE) відповідає за режими роботи АЦП, одиночного перетворення і безперервного;
- 6) 11:9 (PGA[2:0]) керують внутрішнім підсилювачем, з підсиленням в діапазоні від 6.144, 4.096, 1.024, 0.512, 0.256 В. За замовчуванням встановлено режим напруги на 2.048 В;
- 7) 14:12 (MUX[2:0]) вибирають як буде проводитись вимірювання, тобто керують конфігураціями вхідного мультиплексора;
- 8) 15-тий біт (OS) визначає робочий стан пристрою або початок перетворення. При записі існує два біта які визначають, чи пристрій розпочав одне перетворення, чи ефекту немає. При зчитуванні, що пристрій робить чи виконує чи не виконує перетворення.

Підтягуючі резистори необхідні як на лініях SDA, так і SCL, оскільки драйвери шини мають відкритий стік. Швидкість роботи буде залежати від величини опору резисторів та ємності лінії. Резистори великого номіналу будуть зменшувати швидкість, низькоомні резистора навпаки підвищать швидкість передачі.

На рис.1.7. зображено типова схема підключення ADS1115 до МК.

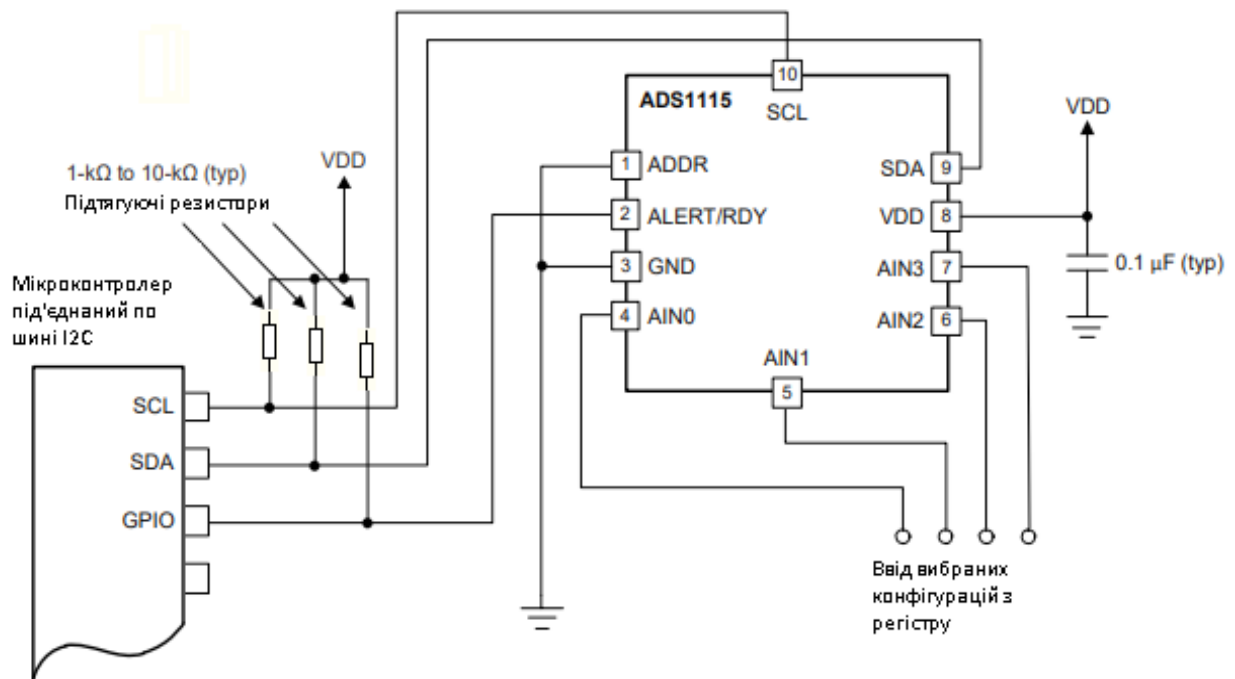


Рис. 1.7. Типова схема підключення ADS1115

- 9) лінії шини в залежності від потреб можуть бути до 10 метрів, а довгі лінії мають високу ємність і для компенсації потребують резистори менших за номіналом;
- 10) дуже корисною функцією ADS1115 є те що до однієї шини I²C можна підключити до 4 АЦП, використовуючи різні конфігурації адреси.

Топологія під'єднання зображена на рис. 1.8. Пін ADDR дозволяє здати адресу I²C, зазвичай використовують пін до яких під'єднується GND, VDD і SCL.

Якщо шину підключити до пін SDA як адресу пристрою, то потрібно утримувати лінію на низькому рівні не менше ніж 100 нс після того як лінія SCL стане низькою, це потрібно для того щоб переконатись чи пристрій правильно розпізнає адресу під час зв'язку. Вартість даного АЦП складає 106 грн. Порівнявши технічні можливості 1115, можна порівняти можливості 1113 та 1114. ADS 1113 це 16-бітний АЦП, максимальна частота перетворень складає 860 SPS, 1 диференціальний вхід, внутрішній підсилювач відсутній. ADS1114 відрізняється від 1115 тільки тим що присутній тільки один диференційний вхід.

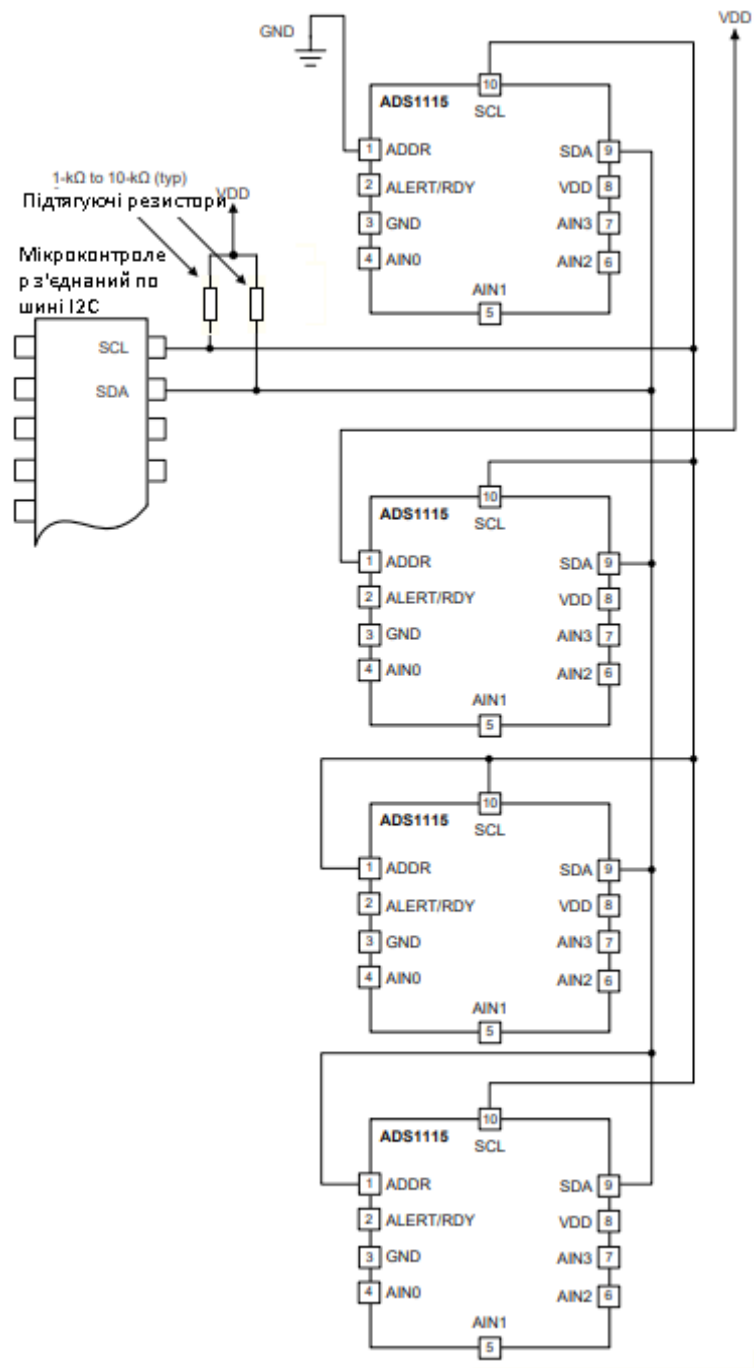


Рис. 1.8. Схема підключення 4-х пристроїв ADS1115 до однієї шини I²C

Схема прецизійного вимірювання, 16 односторонніх вимірювань.

Багато різноманітних завдань потребують великого масиву різноманітних вимірювань, з збереженням мінімальності простору.

Дана 16-канальна схема вимірювання з використанням чотирьох ADS1115, має можливість бути запрограмованою для створення 8-канальної системи вимірювання з диференціальними входами.

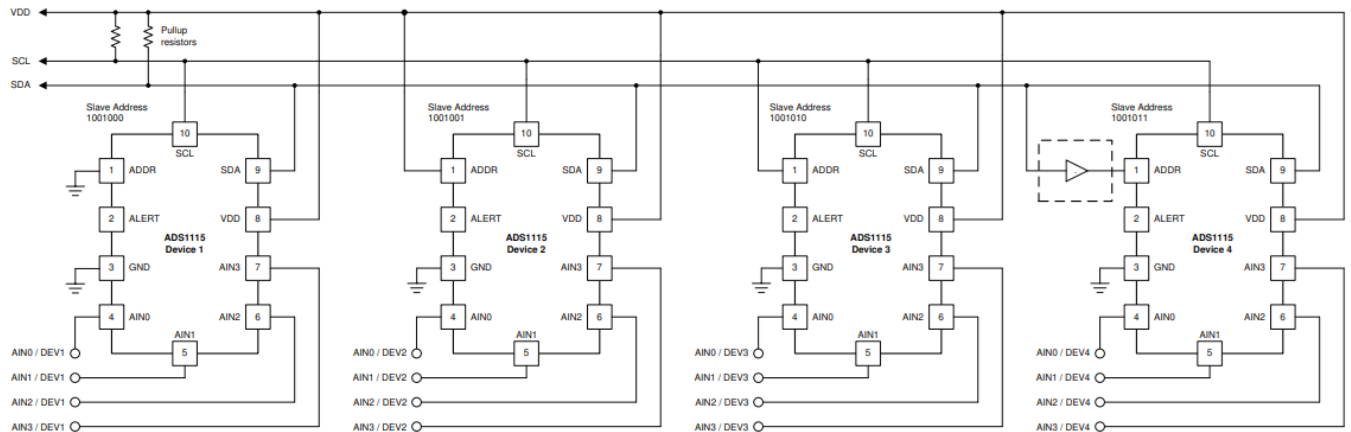


Рис.1.9. Схема включення ADS для розширення кількості каналів

У цій системі позитивний AINP підключається до аналогового входу, в той час AINN внутрішньо під'єднується до спільного проводу.

Робочий діапазон аналогових входів АЦП, буде знаходитись між GND та VDD, тобто в залежності яке живлення буде під'єднане, таким і буде максимальний діапазон вимірювання. Якщо програмно обраний підсилювач 2/3, 6,144 В, а джерело живлення буде 5 В то усі аналогові входи будуть обмежені від 0 до 5 В.

Пін ADDR під'єднується до SCK, тим самим встановлюється адреса пристрою на шині I²C. Коли використовується таке під'єднання, то лінія SDA повинна утримуватись на низькому рівні мінімум 100 нс, після того коли лінія SCL перейде на свій низький рівень, дана операція необхідна для того щоб переконатись чи пристрій вірно декодує адресу. Загальна потужність чотирьох пристроїв в режимі одиночного перетворення така ж як і в одного пристрою в режимі безперервного перетворення.

В залежності від того до якого піна буде під'єднаний контакт ADDR, адреса пристроїв буде змінюватись: GND (100100), VDD (1001001), SDA (1001010), SCL (1001011).

В ADS 1115 технічно не передбачено вимірювання струму, але за допомогою операційного підсилювача і каскаду резисторів та конденсаторів така можливість існує. Такий перетворювач називається, перетворювач струм-напруга. Представлений в додатковій літературі Texas Instrument, перетворювач побудований на основі операційного перетворювача OPA333.

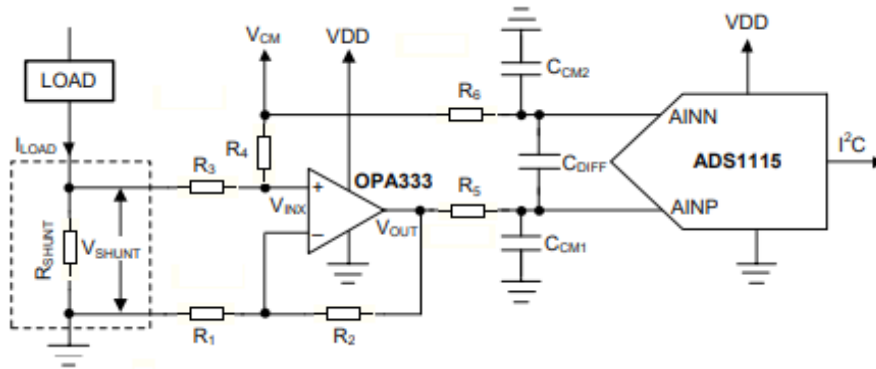


Рис.1.10 Типова схема під'єднання перетворювача струм-напруга

Струм навантаження вимірюється шляхом визначення напруги на шунтуючому резисторі, який підсилюється операційним підсилювачем, з низьким дрейфом. Вихідна напруга оцифровується за допомогою ADS1115, і надсилається до МК. Дана схема має можливість вимірювати двонаправлені струми, з високою точністю 0,2%.

Напруга на шунтуючому резисторі не має перевищувати ніж ± 50 мВ, навантаження на шунтуючому резисторі коливається від 0,01 мОм до 100 мОм.

1.3 Операційний підсилювач OPA333

В операційного підсилювача серії OPAx333 використовується техніка авто калібрування. Ці підсилювачі є високоточними, напруга живлення коливається від 1,8 до 5,5 В, дані пристрої оптимізовані для функціонування на низьких напругах.

Область застосування операційного підсилювача різноманітний, але з найпоширеніших це для додаткових входних каскадів вимірювання температури, в електронних вагах, медичному обладнанні, та інструментами з живленням від акумуляторних батарей. OPA333 доступні в 5 контактних корпусах та 8 контактних

типу SOIC, або SOT-23. Робочі температури визначені від -40 до +125 градусів за Цельсієм.

В залежності від специфікації підсилювача існує два варіанти під'єднання.

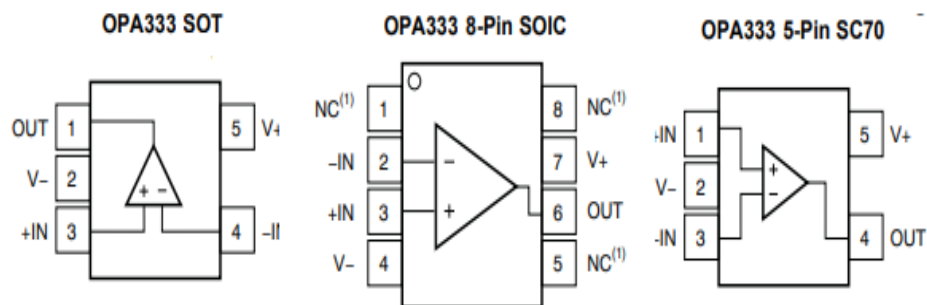


Рис. 1.11. Варіанти корпусів та призначення контактів OPA333

При перевищенні напруги живлення більше ніж 7 В відбудеться значне пошкодження пристрою, або повне виведення з ладу.

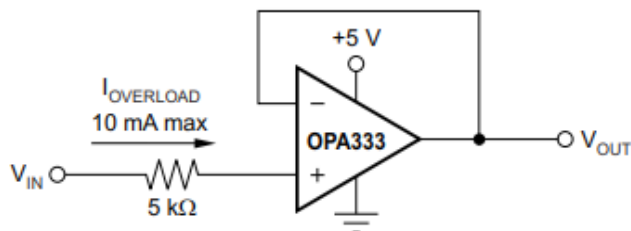


Рис. 1.12. Приклад під'єднання живлення

Приклади використання операційного підсилювача:

Перетворювач напруга-струм (V-I) даний тип конвертера перетворює вхідну напругу від 0 В до 2 В і вихідний струм від 0 мА до 100 мА. Низький дрейф та зміщення забезпечують високу точність постійного струму для схеми.

Передатна функція перетворювача V-I базується на зв'язку між напругою на вході V_{IN} і резисторами вимірювання струму $RS1$, $RS2$, $RS3$. Різниця між V_{IN} та $RS1$ визначає величину струму. Коефіцієнт підсилення базується на співвідношенні між $RS2$ та $RS3$.

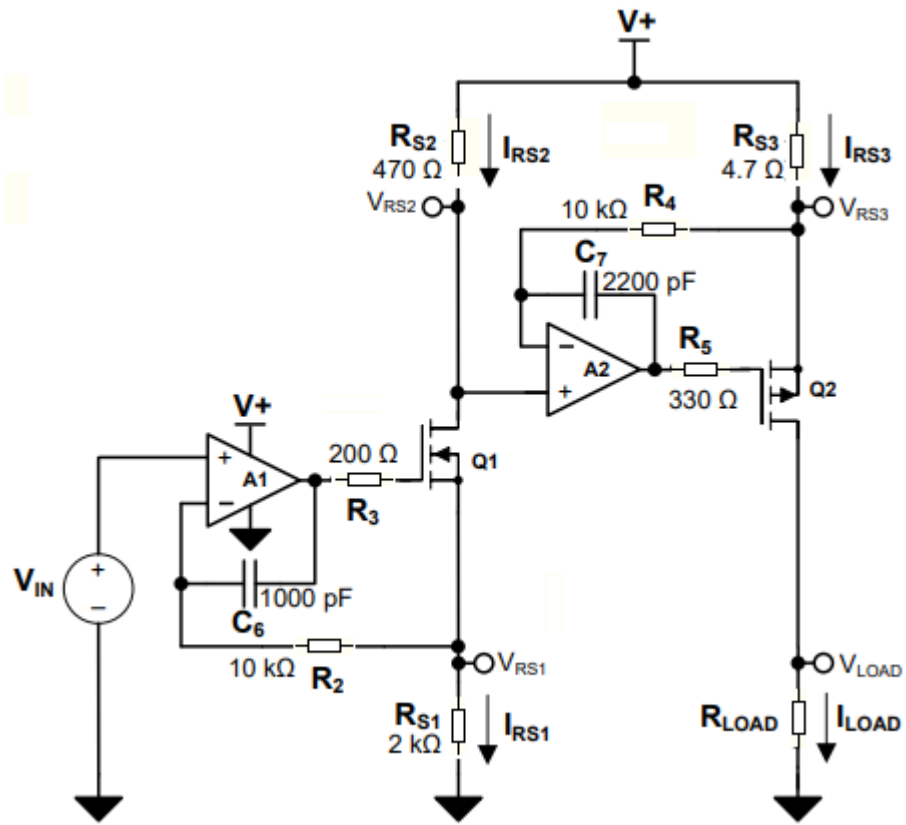


Рис.1.13. Під'єднання ОП по схемі конвертер напруга-струм

Точний низькорівневий перетворювач напруга-струм

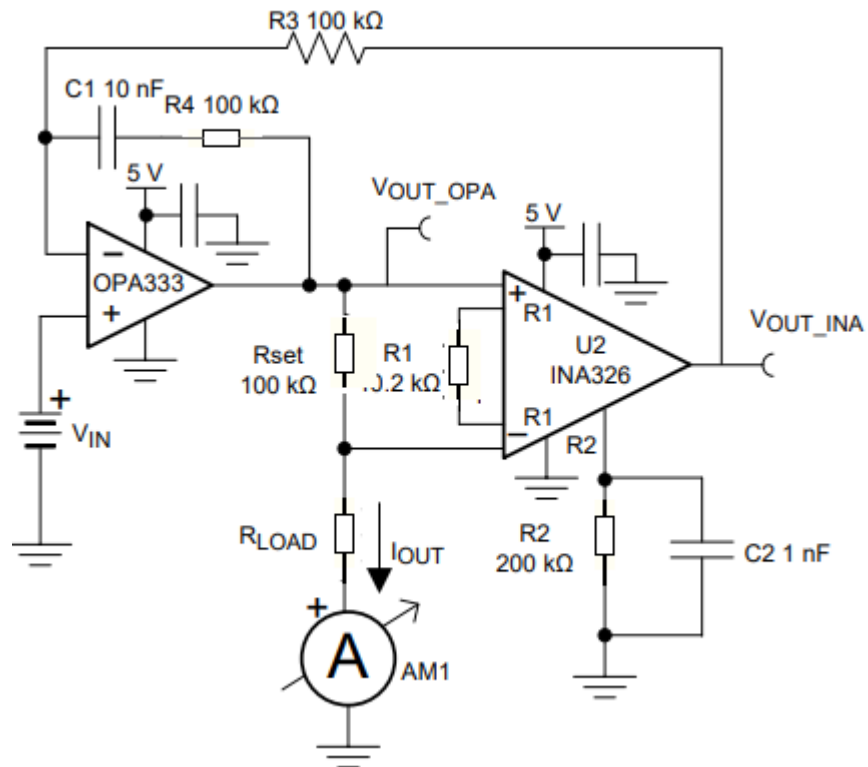


Рис. 1.14. Точний перетворювач напруга струм

Схема яка зображена на рим 1.19. є прецизійним перетворювачем. Перетворювач перетворює вхідну напругу від 0 В до 5 В і вихідний струм від 0 мкА до 5 мкА.

1.4 Аналого-цифровий перетворювач ADS1120

Наступною моделлю після ADS1115 є ADS1120. Це покращена і до опрацьована, технічні характеристики на порядок зросли, а з цим і зросли можливості і сфери використання. Також 16-бітний пристрій, який під'єднується по шині SPI. Дана модель має можливість здійснювати до 2 тисяч операцій за секунду, вмонтований внутрішній стабілізуючий цифровий фільтр. При 20 SPS стабілізуючий фільтр буде забезпечувати повне подавлення 50-Гц і 60-Гц шумів.

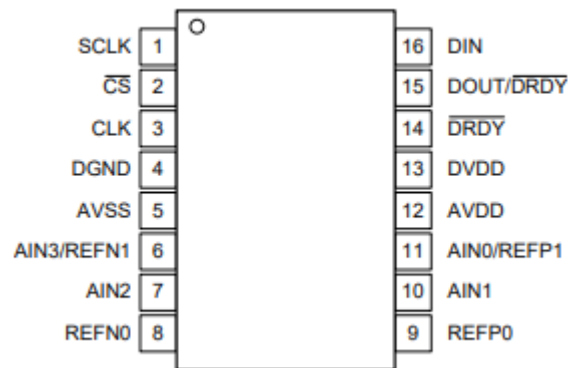


Рис. 1.15. Призначення контактів ADS1120

Внутрішній підсилювач має змогу підсилювати від 1 до 128, при цьому межі вимірювання значно зменшуються.

При коефіцієнті підсилення 1, максимальна напруга буде рівна 2.048 В, то при 128 напруга буде дорівнювати 0.016 В.

АЦП володіє трьома режимами роботи:

- нормальний режим;
- режим нормального циклу.

За замовчуванням “нормальний режим”, це режим який стоїть після ввімкнення.

В нормальному режимі швидкість перетворення обмежена від 20 SPS до 1 тисяч SPS, швидкість перетворення вибирається бітами DR[2:0]. При використанні

зовнішнього джерела синхронізації тактова частота якого відрізняється від 4 МГц, то швидкість передачі буде масштабуватись відповідно. Наприклад якщо використовувати тактовий сигнал 2,048 МГц то це нам дасть швидкість передачі даних від 10 SPS до 500 SPS перетворень за секунду.

Даний АЦП має низький рівень шумів, внутрішній програмований підсилювач (PGA). Для підсилювача можна встановити такі коефіцієнти підсилення: 1, 2, 4, 6, 8, 16, 32, 64 або 128. Для того щоб налаштувати потрібний коефіцієнт підсилення використовується біт GAIN[2:0] у регістрі конфігурацій. Внутрішній підсилювач складається з двох стабілізованих підсилювачів (A1 та A2) і резистивного каскаду зворотного зв'язку, він і буде обирати коефіцієнт підсилення.

В ADS1120 вбудований прецизійний датчик вимірювання температури який включається бітом TS(1). Для вимірювання температури пристрій використовує внутрішній опорний сигнал, яке джерело опорної напруги не враховується. Зчитування температури відбувається так само як і аналогові входи. Вимірювання представляється як 14-бітний результат. Від'ємні температури будуть представлятись у формі двійкового коду, наприклад -55 градусів буде зображуватись як (11 1001 0010 0000) або ж 3920 в двійковій системі.

1.5. АЦП ADS1118

ADS1118 даний АЦП є 16-бітним прецизійним перетворювачем, з низьким енергоспоживанням, який має змогу забезпечити всіма функціями для вимірювання більшості сигналів з різних датчиків. Вмонтований внутрішній підсилювач (PGA), діапазон живлення АЦП від 2 до 5,5 В. Під'єднується через шину SPI. Швидкість перетворень за секунду така ж як і в ADS1115 860 перетворень за секунду.

ADS має можливість вимірювати температуру за допомогою терморпарі К-типу, вбудований датчик температури використовується для компенсації холодного спаю.

Згідно технічного паспорту під'єднання терморпар повинне бути таким.

Фільтр аналогового сигналу виконує такі функції: обмеження впливу накладання сигналів під час дискретизації, та зменшення зовнішніх шумів які є частиною вимірювань.

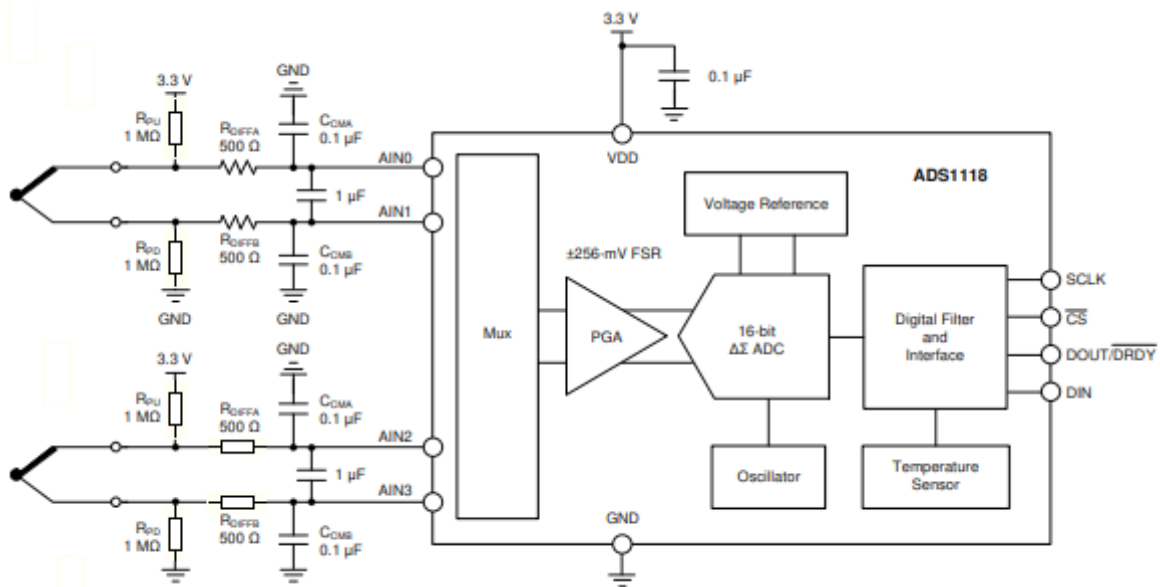


Рис. 1.16. Типова схема підключення термопар до ADS1118

Згідно схеми, термопари під'єднуються до двох диференційних виходів AIN0, AIN1, через низькочастотні фільтри, та фільтри згладжування. Також повинен бути конденсатор для живлення (фільтр по живленню). Під'єднуються термопари К-типу, тобто Хромель-Алюмель, температурний діапазон вимірювання складає від -200 до +1250 градусів за Цельсієм. При кімнатній температурі +25 градусів точність вимірювання складає $\pm 0,7$ градусів. Згідно рекомендацій Texas Instrument потрібно встановлювати RC-фільтри для зменшення високочастотних шумів, та накладання сигналів. Також застерігається, що при виборі номіналів резисторів фільтрів потрібно чітко підбирати опори резисторів, тому що вхідні струми викликають падіння напруги. Це падіння буде проявлятися як зсув сигналу на вході АЦП. Тому рекомендується обмеження значень резисторів нижче 1 кОм.

Згідно технічної документації максимальна напруга термопари виникає при температурі 1250 градусів, і буде дорівнювати 52,171 мВ. Режим вимірювання температури вмикається встановленням біта (TS_MODE)= 1 у регістрі Config.

В регістрі Config, саме 4 біт відповідає за температурний сенсор.

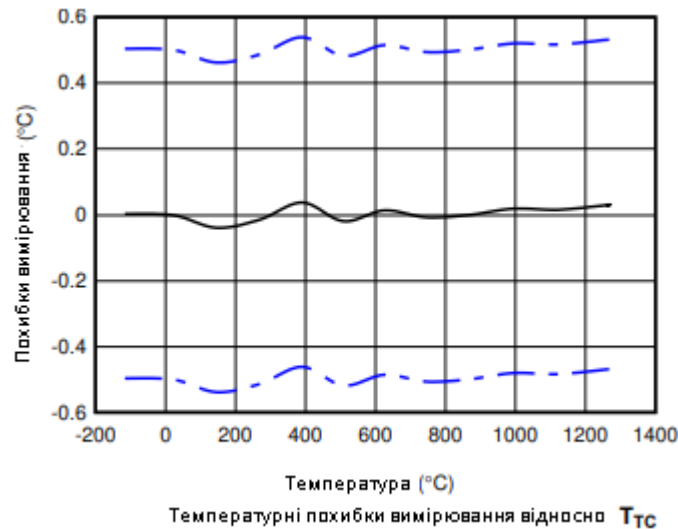


Рис.1.17. Графік вимірювання температури та похибки відносно кімнатної температури

Резистори зсуву (R_{PU} і R_{PD}) в схемі призначені для того, щоб встановити синфазну напругу на термопарах в межах діапазону напруги пристрою, також вони являються Pullup і Pulldown резисторами для виявлення не під'єданого виводу термопари. Якщо один з проводів термопари не розмикається, то позитивний провід підтягується до VDD, а негативний до GND. При цьому ADS зчитує дані як значення повної шкали, яке знаходиться за межами діапазону вимірювання, такий результат буде вказувати про те що термопара не працює. При виборі резисторів заміщення необхідно підбирати їх таким чином щоб струм зміщення не погіршував точність вимірювань.

Струм зміщення коли протікає через термопару призводить до само-нагрівання та до додаткових спадів напруг на проводах термопар. Рекомендовані номінали резисторів заміщення повинні бути в діапазоні від 1 МОм до 50 МОм.

Texas Instrument рекомендує використовувати пасивні RC-фільтри на входах, для кращої продуктивності. Резистори RDIFFA та RDIFFB і конденсатор CDIFF, частота їх зрізу обчислюється за допомогою формули (1).

$$f_c = 1 / [2\pi(R_{DiffA} + R_{DiffB})C_{Diff}] \quad (1)$$

При виборі номіналів резисторів потрібно бути обережним, оскільки вхідні струми які входять і виходять із пристрою спричиняють падіння напруг на резисторах. Дане падіння напруги проявляється як додаткова помилка зсуву на входах АЦП. По рекомендаціям виробника обмеження значення резисторів фільтра повинне бути не менше ніж 1 кОм.

Найвища роздільна здатність досягається коли найбільший вхідний сигнал, трохи менший ніж FSR АЦП.

1.6. Пристрої для для комунікації UART-USB

1.6.1 Чіп СН340

СН340 це спеціалізований чіп для комунікації між мікроконтролером в якому не передбачено підтримку USB та персональним комп'ютером. Даний чіп може перетворити USB на послідовний тип інтерфейсу.

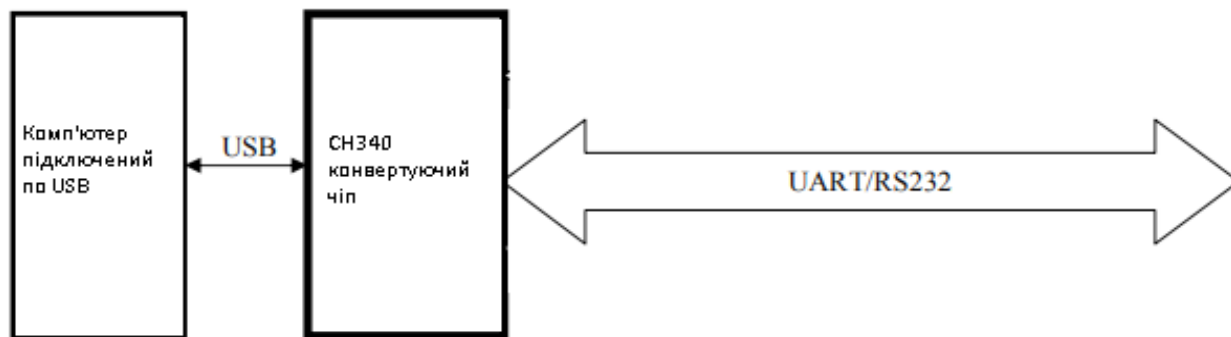


Рис. 1.18. Принцип конвертування даних

Особливості даного пристрою полягають в :

- 1) сумісність з прикладною програмою ПК з послідовним портом в ОП системі Windows;
- 2) підтримується швидкість передачі даних у бодах від 50 біт/с до 2 Мбіт/с;
- 3) підтримує як 5 В логіку так і 3,3 В;
- 4) швидкісний інтерфейс USB версії 2.0.

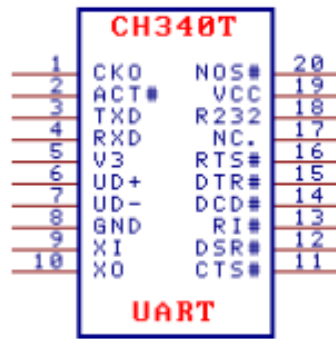


Рис. 1.19. Призначення контактів чіпа CH340

Головними пінами для підключення до ПК є пін 6 (U_{D+}) та 7 (U_{D-}), саме вони відповідають за передачу даних. Ніжку V_{CC} потрібно підключати через підтягуючий резистор, пін $V3$ це підтягуюче живлення його потрібно підключати через конденсатор 0.01 пФ якщо підключати 5 В логіку, якщо під'єднувати живлення 3.3 В потрібно підключити конденсатор ємність 4700 пФ.

Контакти 3 (TXD) та 4 (RXD) необхідні для обміну даних з мікроконтролером, також потрібно підключити зовнішній кварцовий генератор частотою 12 МГц. При нормальній роботі мікросхеми, потрібно подавати тактовий сигнал 12 МГц на пін X0. CH340 автоматично призупиняє обмін даних для економії енергії. Підтримує швидкість передачі даних 50, 75, 100, 110, 134,5, 150, 300, 600, 900, 1200, 1800, 2400, 3600, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 33600, 38400, 56000, 57600, 76800, 115200, 128000, 153600, 230400, 460800, 921600, 1500000, 2000000. Помилка швидкості передачі не перевищує 0,3%, а похибка послідовного сигналу не менше ніж 0,2%.

1.6.2 Чіп FT232

Всі протоколи обробляються на чіпі, також в пристрій вмонтували 1024-бітний EEPROM який зберігає конфігурації вводу/виводу. Швидкість передачі на порядок більше ніж в конкурента CH340, в даному чіпі швидкість запрограмована від 300 бод до 3 Мбод.

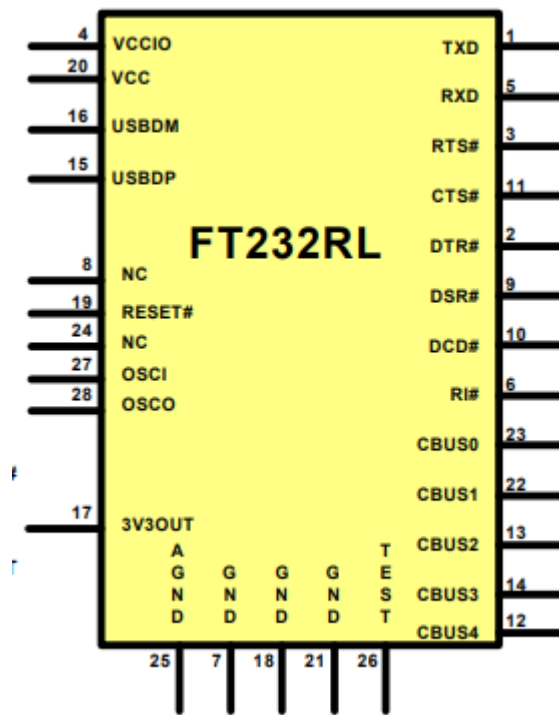


Рис. 1.20. Призначення контактів пристрою FT232

EEPROM який вмонтований в пристрій використовується для зберігання ідентифікатора USB(VID), ідентифікатор (PID), серійний номер пристрою. Внутрішня пам'ять застосовується також для налаштування функцій контактів.

FT232 оснащений регулятором (LDO) який може генерувати опорну напругу 3,3 В, основною функцією LDO є живлення USB- трансивера, а не живлення зовнішньої логіки, але в екстрених випадках ним можна жити зовнішні пристрої з максимальним струмом до 50 мА.

Біт USB забезпечує повно швидкісний тип передачі даних USB 1.1 / USB 2.0 по кабелю USB. Драйвери які йдуть з мікросхемою забезпечують контроль наростання рівня +3.3 В. Диференціальний приймач і два односторонні приймачі забезпечують потік даних USB. Ця функція повинна включати в себе резистори на лініях даних USB і підтягуючий резистор на 1,5 кОм на лінії USBDP.

Робота помножувача/дільника забезпечується 12 МГц тактовою частотою, і генерує опорні тактові сигнали 48 МГц, 24 МГц, 12 МГц, і 6 МГц. Частота в 48 МГц використовується блоком USB DPLL і генератором передачі даних. Не менш важливою функцією є генератор швидкості передачі даних, він складається з 14

розрядного коефіцієнта та з 3-х бітів, вони визначають швидкість опрацювання яка задається від 183 бод до 3 Мбод.

1.7. Огляд сучасних 8 бітних МК фірми MicroChip

1.7.1 ATMega328

Даний МК побудований на 8-бітній архітектурі, має 23 лінії вводу-виводу. Він здатний забезпечити обмін даних по шині SPI, в ньому передбачено 8-канальний, 10-бітний АЦП, даний МК оснащений 6 ШИМ каналами. Живлення допускається в рамках від 1,8 до 5,5 В, максимальна тактова частота складає 16 МГц. Аналого-цифрове перетворення відбувається за допомогою 10-бітного АЦП, аналоговий вхідний канал обирається за допомогою запису бітів MUX в ADMUX. АЦП вмикається встановлення біта ввімкнення ADEN у біт ADCSRA. АЦП генерує 10-бітний результат, який представляється в двох одно байтних регістрах даних ADCH і ADCL.

Джерело опорної напруги можна обрати як V_{CC} , так як внутрішній сигнал 1,1В або зовнішній контакт A_{REF} . Опорне значення 1.1 В генерується з внутрішнього опорного джерела (VGB) через підсилювач який знаходиться в середині пристрою.

Для того щоб опорна напруга була стійкою до шумів на контакти підключають конденсатор між пінами A_{REF} і спільним проводом GND. Через те що V_{REF} є джерело з високим опором, тому до системи необхідно під'єднувати лише ємнісні навантаження.

Якщо ж до контакту A_{REF} не буде подаватись зовнішня напруга, тоді є можливість перемикається між V_{CC} і 1,1 В в якості джерела опорної напруги. Перший результат перетворення після перемикання джерела напруги може бути не точним.

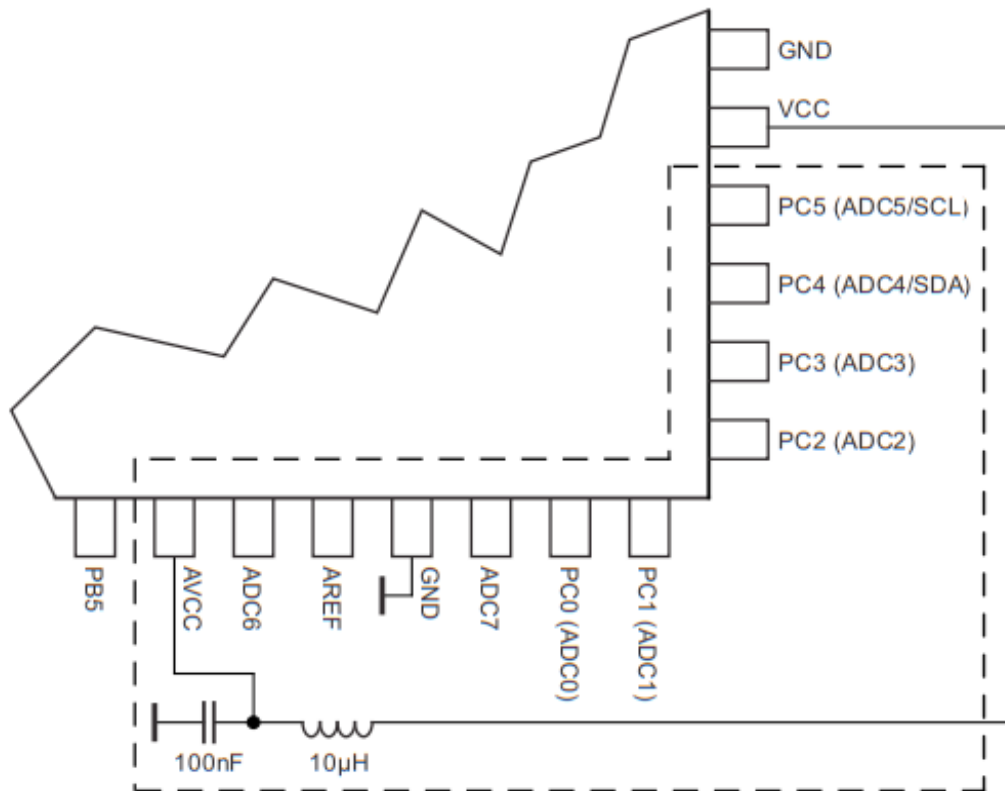


Рис. 1.21. Підключення живлення аналогової частини АЦП

Для отримання максимальної роздільної здатності схема вимагає вхідної тактової частоти в межах від 50 до 200 кГц.

Якщо необхідна роздільна здатність нижча 10-біт, то вхідна тактова частота може бути вищою за 200 кГц, щоб отримати вищу частоту дискретизації. Схема АЦП містить попередній дільник, який генерує тактову частоту АЦП на будь якій частоті цифрового перетворювача вище ніж 100 кГц. Масштабування відбувається встановленням біта ADPS в ADCSRA Даний дільник може видати масштабування кратне: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128.

Попередній дільник буде продовжувати працювати до тих пір, поки встановлений біт ADEN. Нормальне перетворення займає 13 тактів АЦП. Перше перетворення після ввімкнення потребує 25 тактів для ініціалізації схеми.

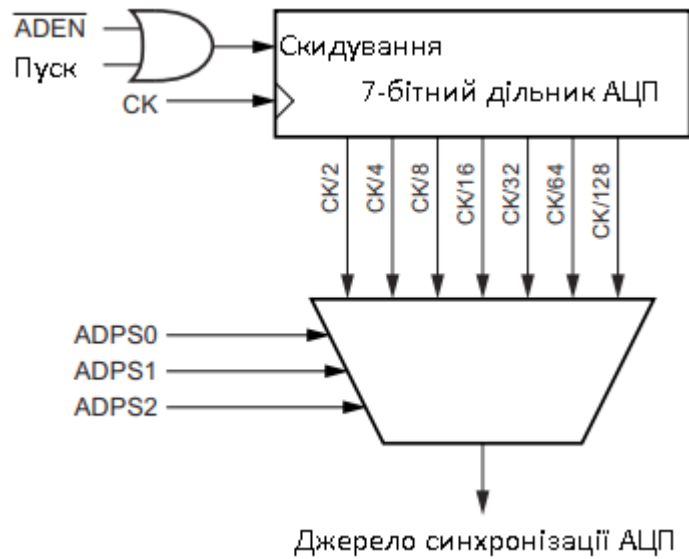


Рис. 1.22. Блок схема дільника АЦП

1.7.2. ATtiny13

Даний мікроконтролер який вражає своїми малими габаритами, 4- канальний, має вбудований 10 бітний АЦП, містить 1 кБайт внутрішньої пам'яті, і тактова частота складає 20 МГц. Напруга живлення знаходиться в межах від 2,7 до 5,5 В для ATtiny13 і 1,8 до 5,5 В для ATtiny13V. Даний МК виконуючи потужні операції за один такт може досягнути пропускну здатності до 1 MIPS на МГц, тим самим дає змогу оптимізувати енергоспоживання не зменшуючи швидкість обробки даних.

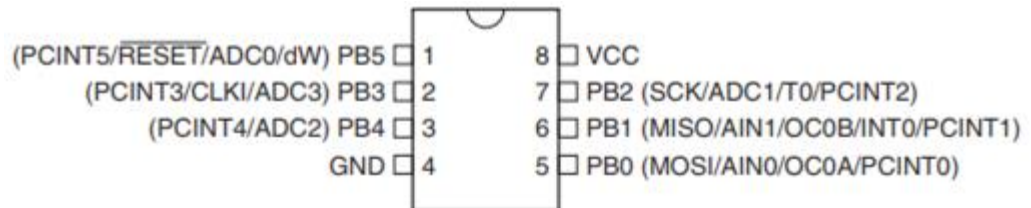


Рис. 1.23. Розташування контактів ATtiny13, та її апаратні можливості

В загальному дешевий та швидкий варіант, якщо не потрібно обробляти багато інформації. Ціна на сьогоднішній день від 80 грн.

1.7.3. ATmega 256

Дорожчим конкурентом являється ATmega 256. Даний пристрій вражає своєю продуктивністю та можливостями. Це пристрій в якому на відміну від всіх інших аналогів має 54 керованих ніжки, що дозволяє значно розширити можливості використання. Забезпечується висока швидкість передавання інформації від 250 кбіт/с до 2 Мбіт/с. ATmega256 забезпечена 256 кбайтами програмованої флеш-пам'яті, 8 кбайт EEPROM, 32 кбайта оперативної пам'яті, 32 робочих реєстр, запрограмовано 6 режимів енергозбереження. Під'єднуються за допомогою шини SPI. В загальному мікроконтролер містить 135 потужних функцій, більшість з них виконуються за один такт.

Вартість мікроконтролера значно відрізняється від попередніх, ціна 650 грн за одиницю.

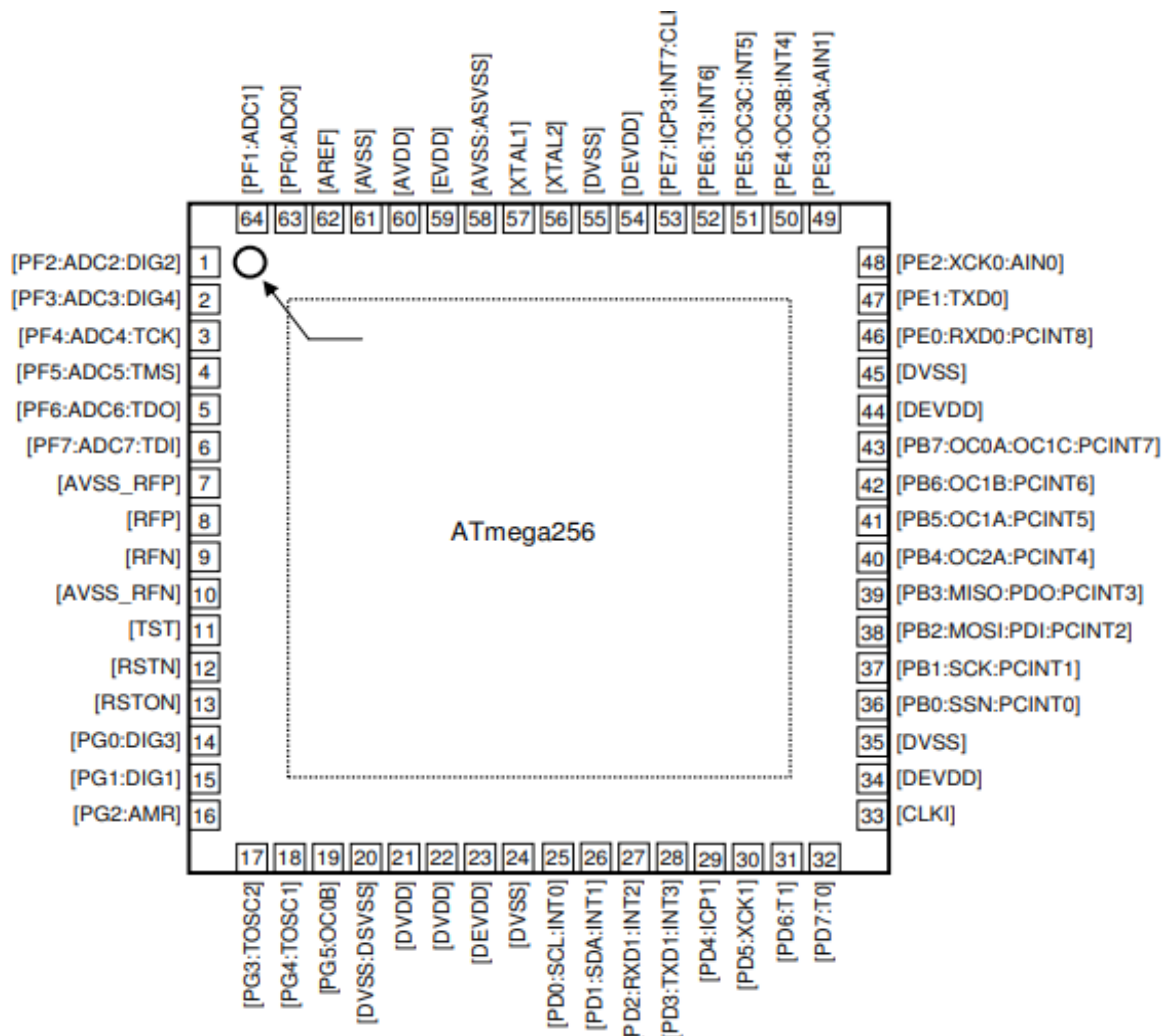


Рис. 1.24. Розташування та призначення контактів ATmega256

1.7.4. ATmega 32u4

Це 8-бітний МК який являється аналогом ATmega328, характеристики і можливості майже однакові, відмінність полягає в тому, що в 32u4 більше оперативної а саме 2,5 кбайт замість 2 кбайт в 328. Основною перевагою є те, що ATmega 32u4 має вмонтований чіп який дозволяє спілкуватись з UART-USB без суттєвих проблем. Зовнішній пін XTAL попередньо запрограмували за допомогою USB. Виробником реалізований USB 2.0, порт підтримує швидкість передачі даних до 12 Мбіт/с, такої швидкості обробки даних вистачає загалом для більшості робіт. Внутрішня швидкість чіпа PLL має можливість збільшувати свою тактову частоту з 32 до 96 МГц.

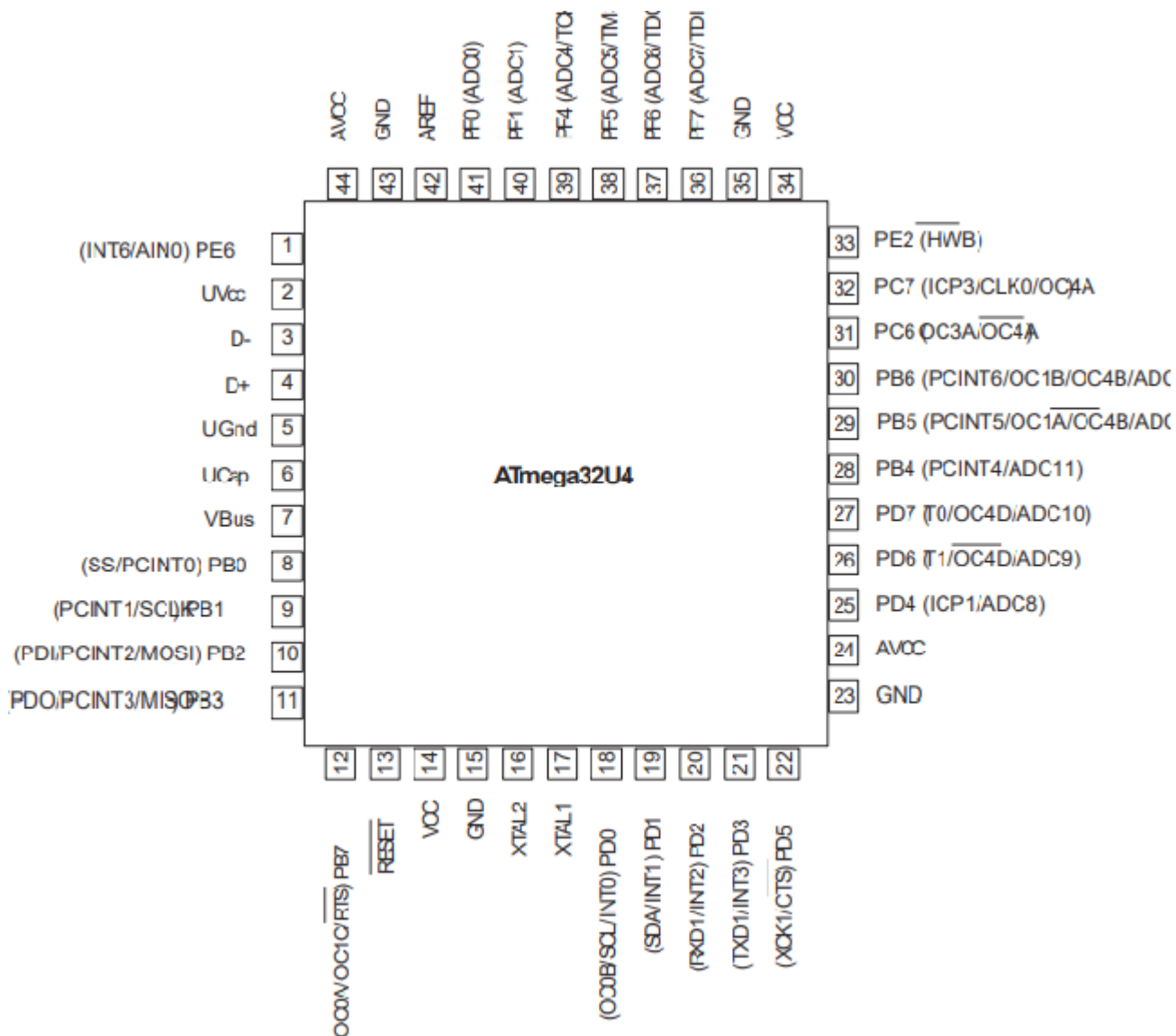


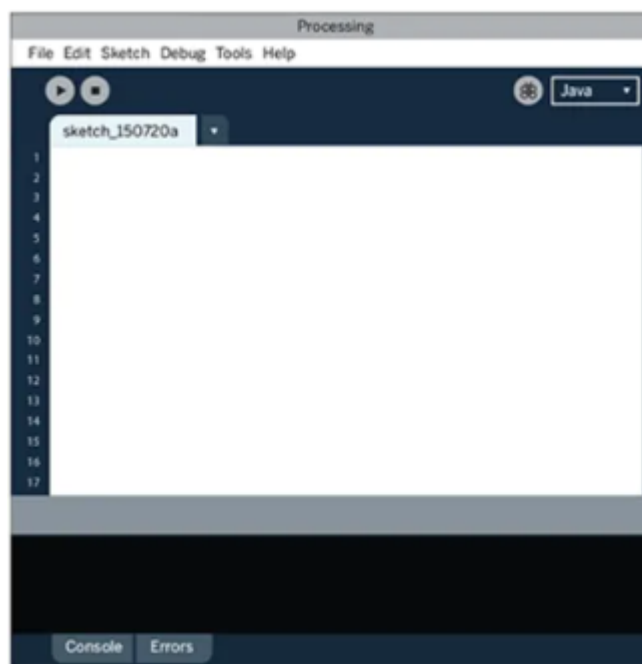
Рис. 1.25. Розташування контактів, та апаратних можливостей

Для підключення апаратної можливості спілкування через USB, необхідно застосувати пін D- та D+ і підключати їх через обмежувальні резистори номіналом в 22 Ом, також необхідно під'єднати живлення. Вартість МК на сьогоднішній час 500 грн.

1.8. Програмне середовище Processing

Processing - це мова програмування яка основана на іншій мові програмування Java, являє собою простий інструментарій для програмування зображень, анімації, та інтерфейсів. Дане середовище використовують всюди по сьогоднішній день, інженерами, студентами, науковцями. На початку Processing слугував для простої візуалізації коду, програмування анімацій, симуляції процесів, та для створення програм з інтерфейсом. За допомогою бібліотек які знаходяться у відкритому доступі є можливість розширити функціонал програми. Processing також доступний для мобільних пристроїв, та для різних мов програмування таких як Python.

На офіційному сайті у відкритому доступі розміщено технічну документацію та приклади коду.



1.26. Робоче вікно Processing

За допомогою таких команд відбувається налаштування програми перед початком роботи:

1. `void setup()` - виконується при запуску програми;
2. `void draw()` - виконується циклічно;
3. `frameRate(fps)` – задається частота кадрів для вікна виводу;
4. `size(ширина, висота)` — задається розмір вікна;
5. `smooth(2-8)` – задається величина згладжування, при більших значеннях згладжування графіка буде більш чіткою, але програма може працювати повільніше;
6. `noLoop()` - зупиняється відтворення команди `draw()`;
7. `loop()` - запускає відтворення команди `draw()`;
8. `exit()` - завершується виконання програми;
9. `surface.setResizable(true)` – дозволяє міняти розмір вікна програми безпосередньо під час виконання.

За допомогою бібліотеки Metr можна за допомогою декількох команд створювати стрілочні індикатори, та різні плаваючі графіки, та бібліотеки G4P розширюється можливість створення різних повзунків. За допомогою вбудованого GUI Builder в бібліотеку програмування полегшується в декілька разів за рахунок того що у спеціальному вікні реалізується можливість перетягування елементів безпосередньо на робоче середовище.

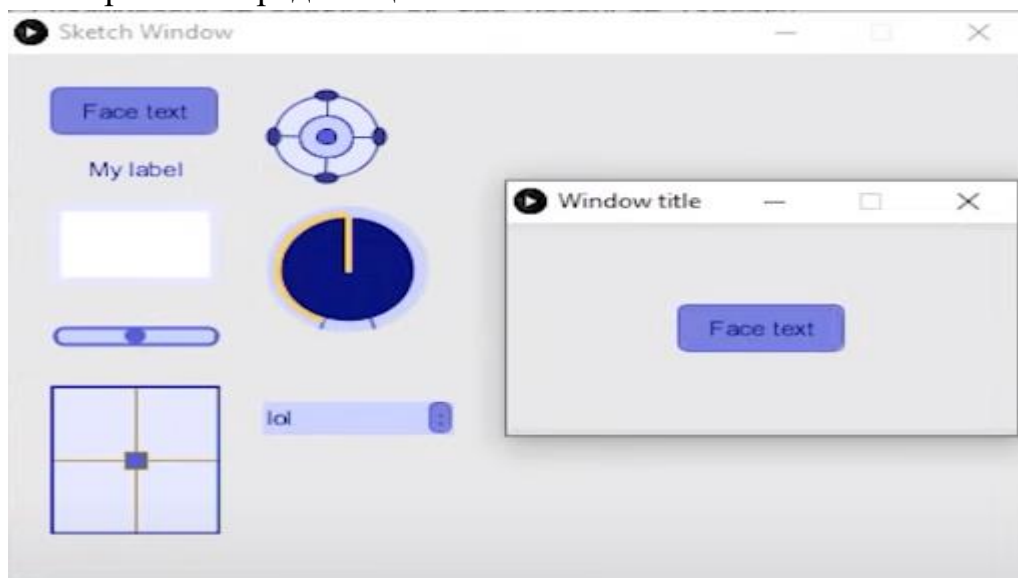


Рис.1.27. Приклад вікна з активними кнопками

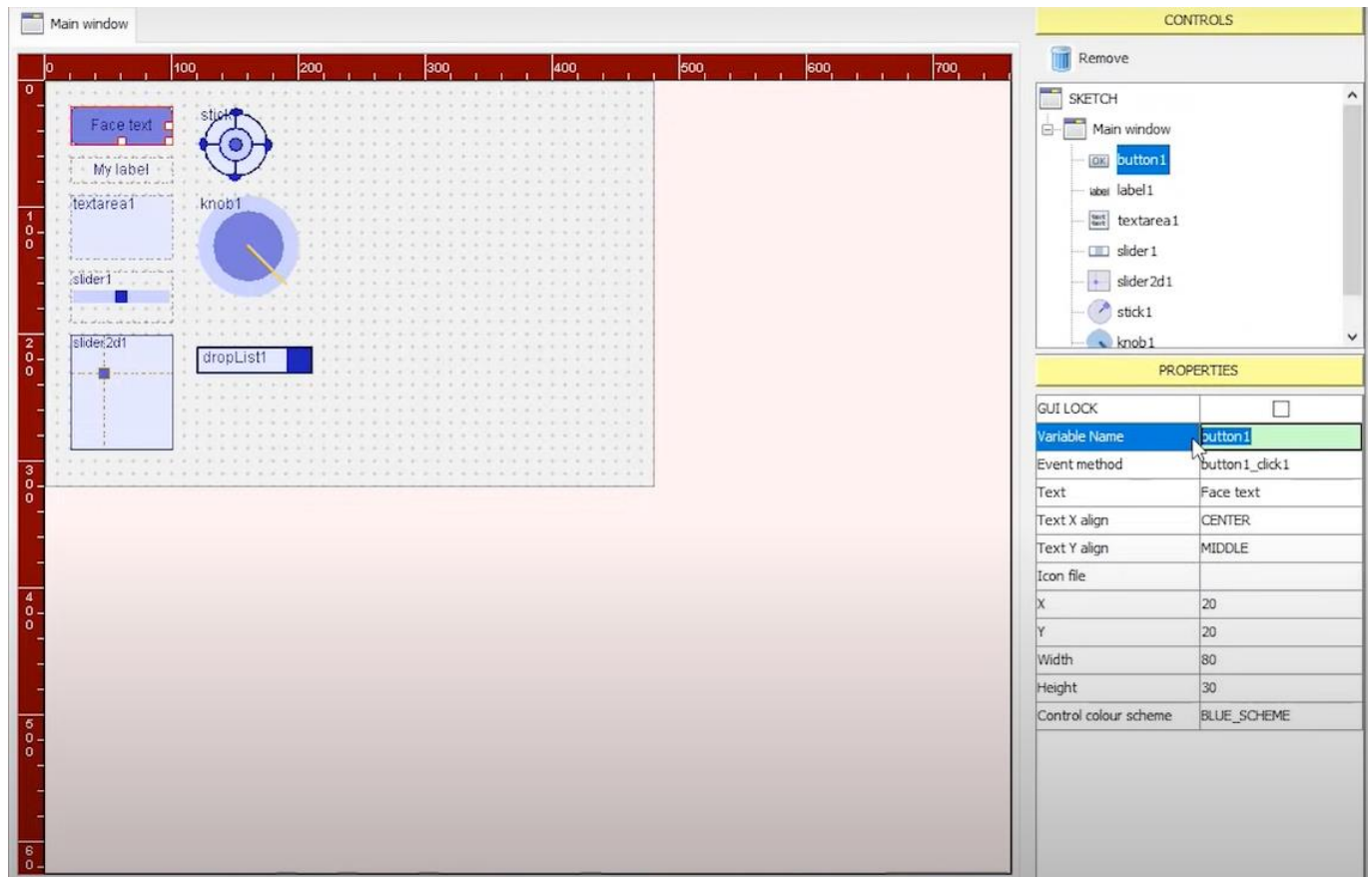


Рис.1.28. Середовище бібліотеки GUI Builder

Особливості GUI Builder:

1. Зручне розташування та керування елементами;
2. Прокручавана форма полегшує створення великих вікон;
3. Сітка властивостей для редагування атрибутів керування;
4. Керування сіткою для спрощення вирівнювання елементів;
5. За бажанням автоматично приховує вікно дизайну, коли воно не активне;
6. Має можливість навігації між проектуванням і обробкою в IDE.

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА ПРИЛАДУ

2.1. Структурна схема пристрою

Структурна схема пристрою зображена на рисунку 2.1

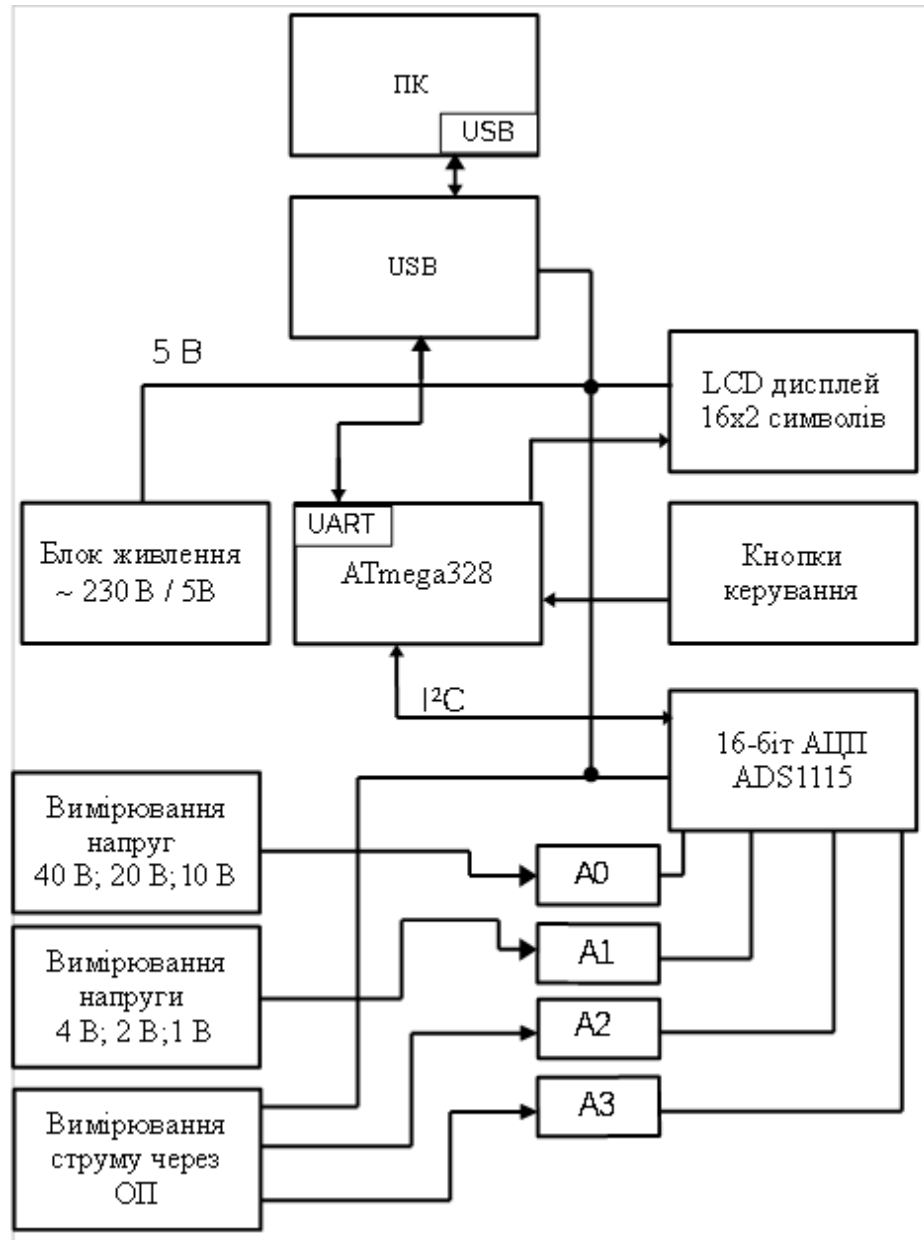


Рис. 2.1. Структурна схема багатоканального реєстратора електричних сигналів на основі МК ATmega 328 та 16-бітного ADS1115

Оснoву пристрою складає мікроконтролер ATmega 328, а також АЦП ADS1115, LCD дисплей 16x2, п'ять кнопок керування, мікросхема SN340 для під'єднання з ПК через USB інтерфейс.

Основний процес вимірювання відбувається за допомогою АЦП ADS1115, який через дільник напруг отримує значення, перетворює їх в необхідний сигнал який передається через шину I²C.

Мікроконтролер ATmega 328 отримує конвертований сигнал від АЦП, обробляє його, і надсилає до комп'ютера для візуалізації.

Блок LCD дисплею потрібен для виводу даних для користувача, поточний канал, помилки, актуальні версії.

ADS 1115 це основний блок АЦП, який отримує значення і конвертує їх в цифровий формат, спілкується через шину I²C.

Блок живлення необхідний для того щоб перетворити 230 В в 5 В для живлення всіх пристроїв, LCD дисплей, МК ATmega328, ADS1115., кнопки керування

2.2 Електрична принципова схема пристрою

2.2.1 Схема з'єднання МК ATmega328, кнопок керування та LCD дисплей

МК ATmega328 це головний пристрій в схемі, за допомогою нього відбуваються всі перетворення, та операції. Кнопки керування в даній схемі призначені для навігації на LCD дисплеї, навігація потрібна для того щоб, програмно обирати режими роботи, поточні канали, та виконувати функцію RESET. LCD дисплей це аналогова мікросхема розміром 16x2 рядки, живлення необхідно під'єднувати через обмежувальний резистор номіналом в 1 кОм і потужністю 0,25 Вт. Також за допомогою даного резистора в залежності від номіналу можна обрати яскравість під світки рядків. Контакт BLA (15 ніжка) відповідає за яскравість.

Кнопки (SB1-SB6) під'єднані через резистори 10 кОм.

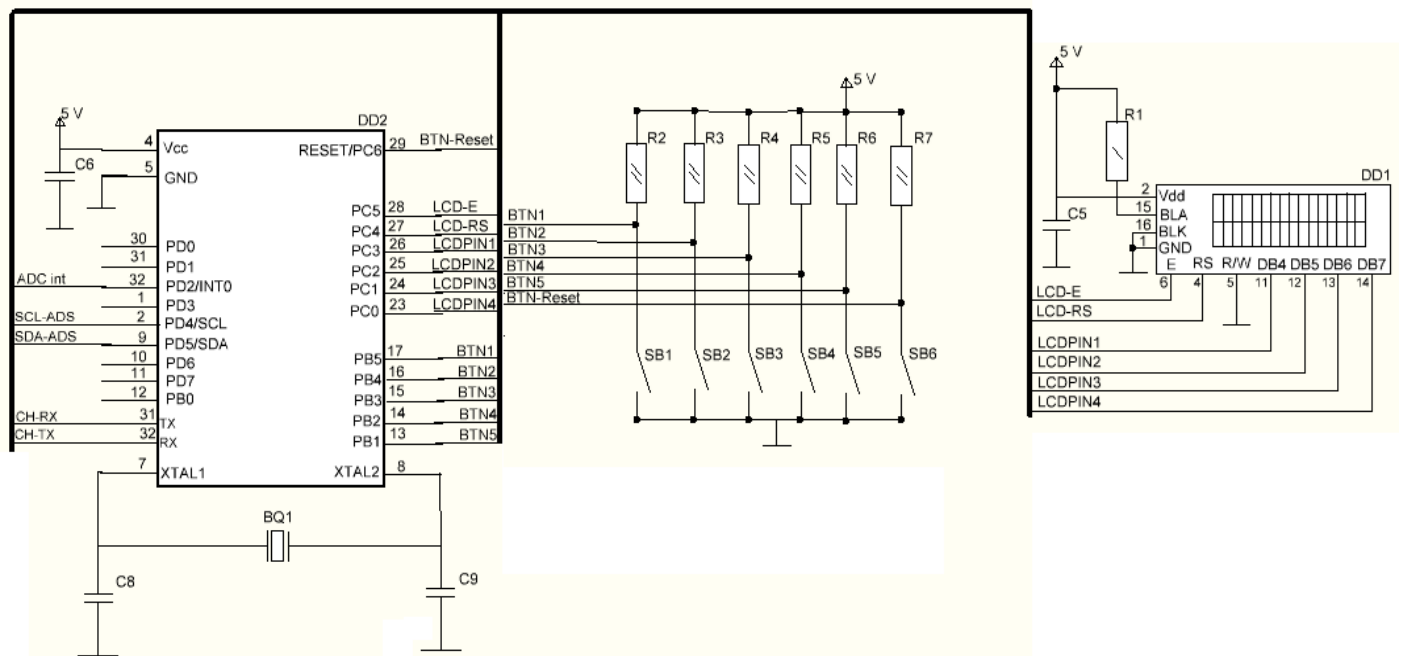


Рис. 2.2. Принципова електрична схема: під'єднання LCD дисплею та кнопок керування до мікроконтролера ATМega328

2.2.2 Принципова електрична схема блока живлення

Блок живлення перетворює вхідну змінну напругу 230 В на постійну напругу 5 В для живлення компонентів проєктованого пристрою. Сам блок живлення складається з трансформатора TR1, запобіжника FU1 та діодного містка VDS1, та конденсаторів C1-C4, лінійного стабілізатора напруги DA1, який має захист від термічного навантаження та захист від короткого замикання

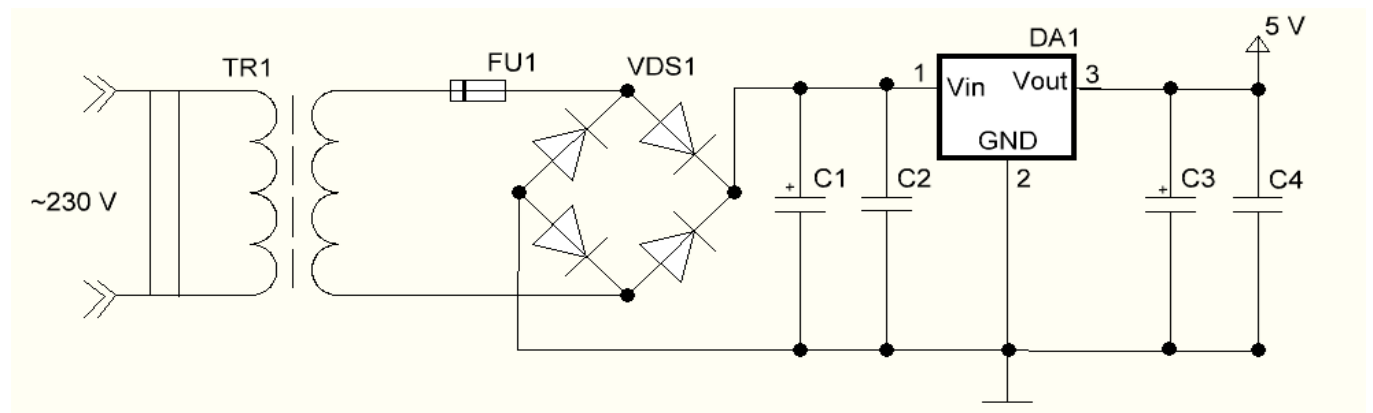


Рис. 2.3. Принципова електрична схема: блок живлення пристрою

2.2.3. Принципова електрична схема під'єднання мікросхеми CH340 та МК ATМega328

Мікросхема CH340 призначення для комунікації з комп'ютером за допомогою МК ATМega328 через порт USB 2.0. Під'єднується з МК по двох провідній схемі Receive, Transmit, підключення відбувається RX-TX, TX-RX. В CH340 вбудований внутрішній тактовий генератор на 12 МГц, присутній фільтр по живленню. Контакти U_{D+} та U_{D-} слугують для комунікації з ПК та подальшого опрацювання сигналів. Порт USB може видати максимальну частоту обміну даних до 3 Мбіт/с. USB потребує окремого живлення 5 В.

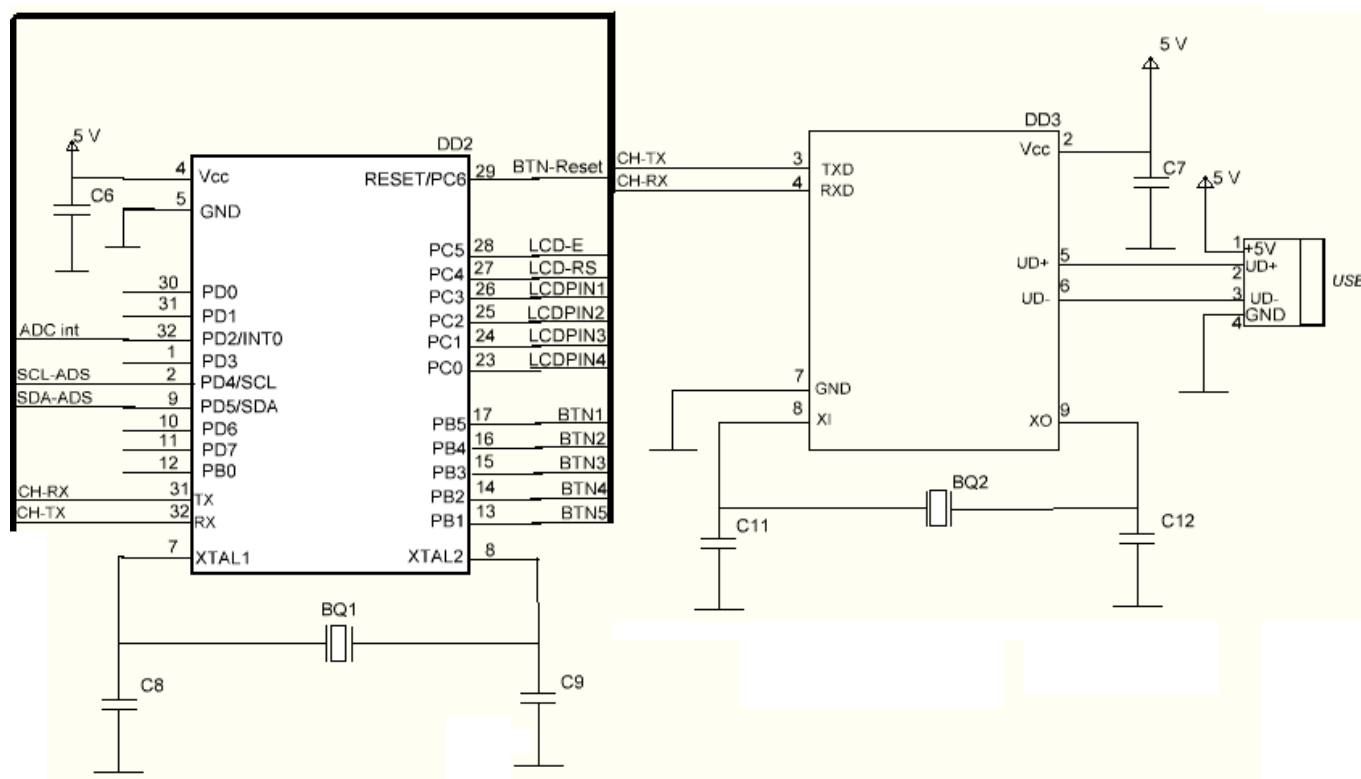


Рис.2.4. Принципова електрична схема під'єднання CH340 та МК ATМega328

2.2.4. Принципова електрична схема під'єднання МК ATМega328 та зовнішнього 16-бітного АЦП ADS1115

ADS1115 16-бітний зовнішній АЦП під'єднується до МК за допомогою шини I²C.

У АЦП є 4 канали А0-А3 до яких під'єднуються щупи для вимірювання напруги та струму. До каналу А0 під'єднується щуп для вимірювання напруги 0-5 В, канал А1 призначений для вимірювання на пруг 40, 20, 10 В через дільник напруги. Канали А2

та АЗ включені за диференціальною схемою і здатні вимірювати струм за допомогою операційного підсилювача ОРА333. Присутній фільтр по живленню, контакт ALERT/RDY призначений для сигналізації про те що вимірювання закінчене і готове до наступного.

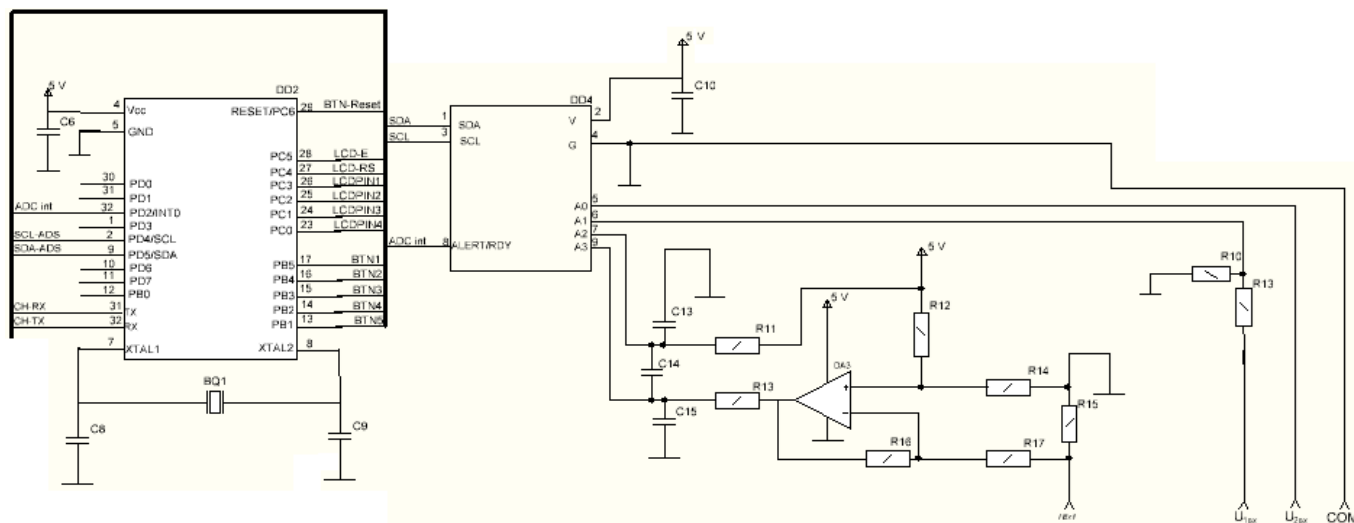


Рис.2.5. Принципова електрична схема під'єднання ADS1115 до МК ATМega328

2.3. Опис програми мікроконтролера ATМega328

Керування роботою та процесами які відбуваються в пристрої, виконуються ATМega328 за допомогою програмного коду який було розроблено. Даний код дозволяє здійснювати зчитування,команд з персонального комп'ютера, та надсилання інформації через USB порт. Також зчитування інформації про вимірювання з ADS1115, та надсилання команд на вибір режиму роботи і команди про подальше вимірювання. Програма має можливість перемикавання між різними каналами зовнішнього АЦП. Блок-схема основної програми представлена на рис. 2.3.1

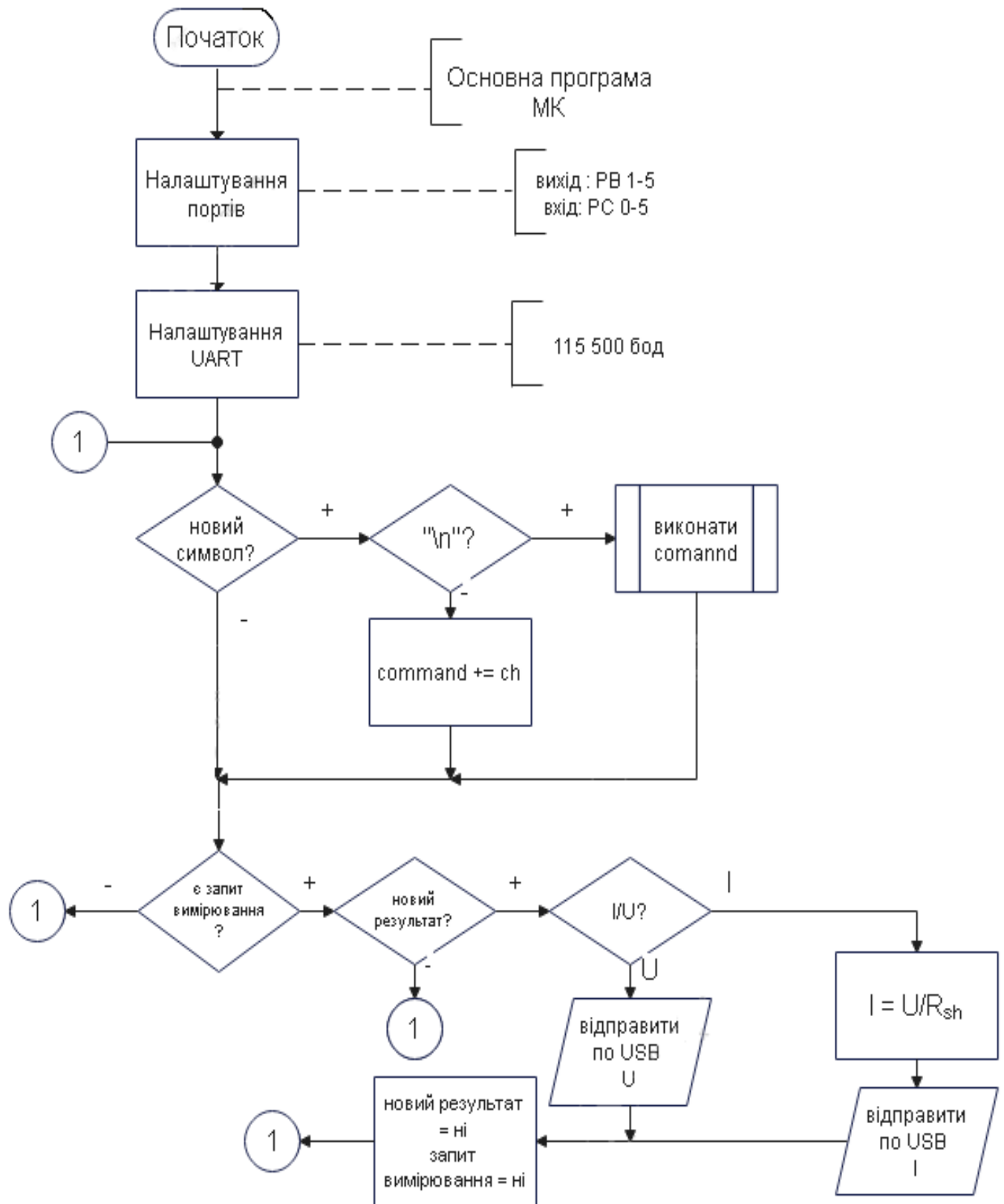


Рис.2.6. Блок-схема основної програми МК

Програма розпочинає свою роботу з налаштування контактів входу та виходу, наступним кроком є налаштування UART порту на швидкість передачі даних 115500 бод. Після налаштування, МК очікує символ, якщо дійсно символ надійшов виконується блок Comand, якщо ні то виконується команда (Comand+=" ") і програма переходить до наступних дій. МК очікує запит на вимірювання: якщо запит прийшов, то відбувається вибір, чи це новий результат. Якщо результат новий, то відбувається вибір що було поміряно (напруга чи струм). Якщо це був запит на вимірювання струму, то здійснюється обчислення за допомогою виразу

$$I=U/R_{SH}.$$

Кінцевий результат вимірювання відправляється через USB, і відбувається скидання результатів, та запитів на вимірювання, програма повертається на початок.

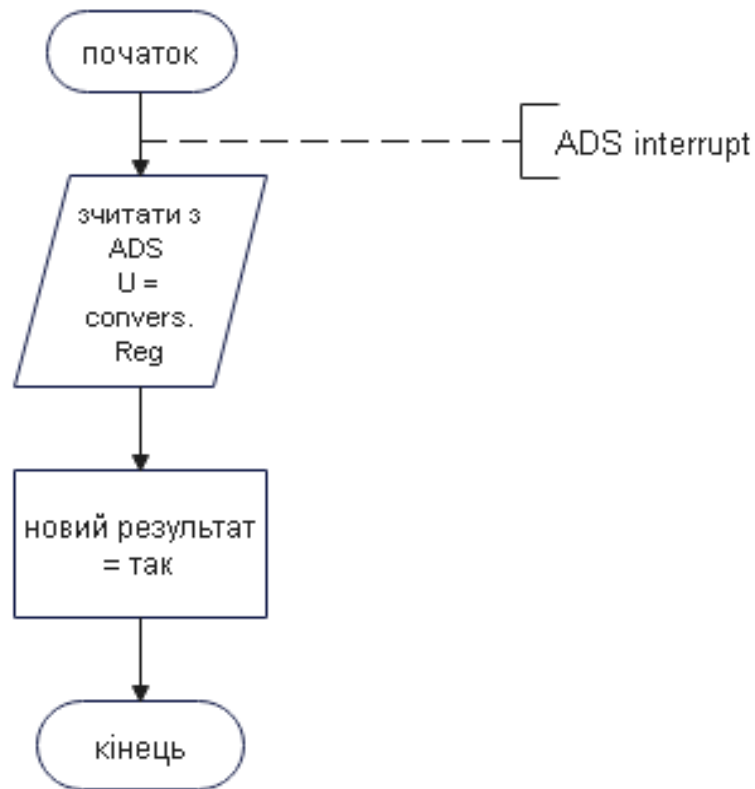


Рис.2.7. Блок-схема переривання для ADS1115

Дана підпрограма виконується при настанні переривання по завершенню перетворення, яке здійснює зовнішня АЦП ADS1115. На початку даної підпрограми виконується звернення мікроконтролера до зовнішнього АЦП зх метою здійснити зчитування регістра conversion Register, тобто зчитуються результати вимірювання.

При цьому оновлюється значення булевої змінної що сигналізує про те, що маємо нові необроблені результати вимірювання.

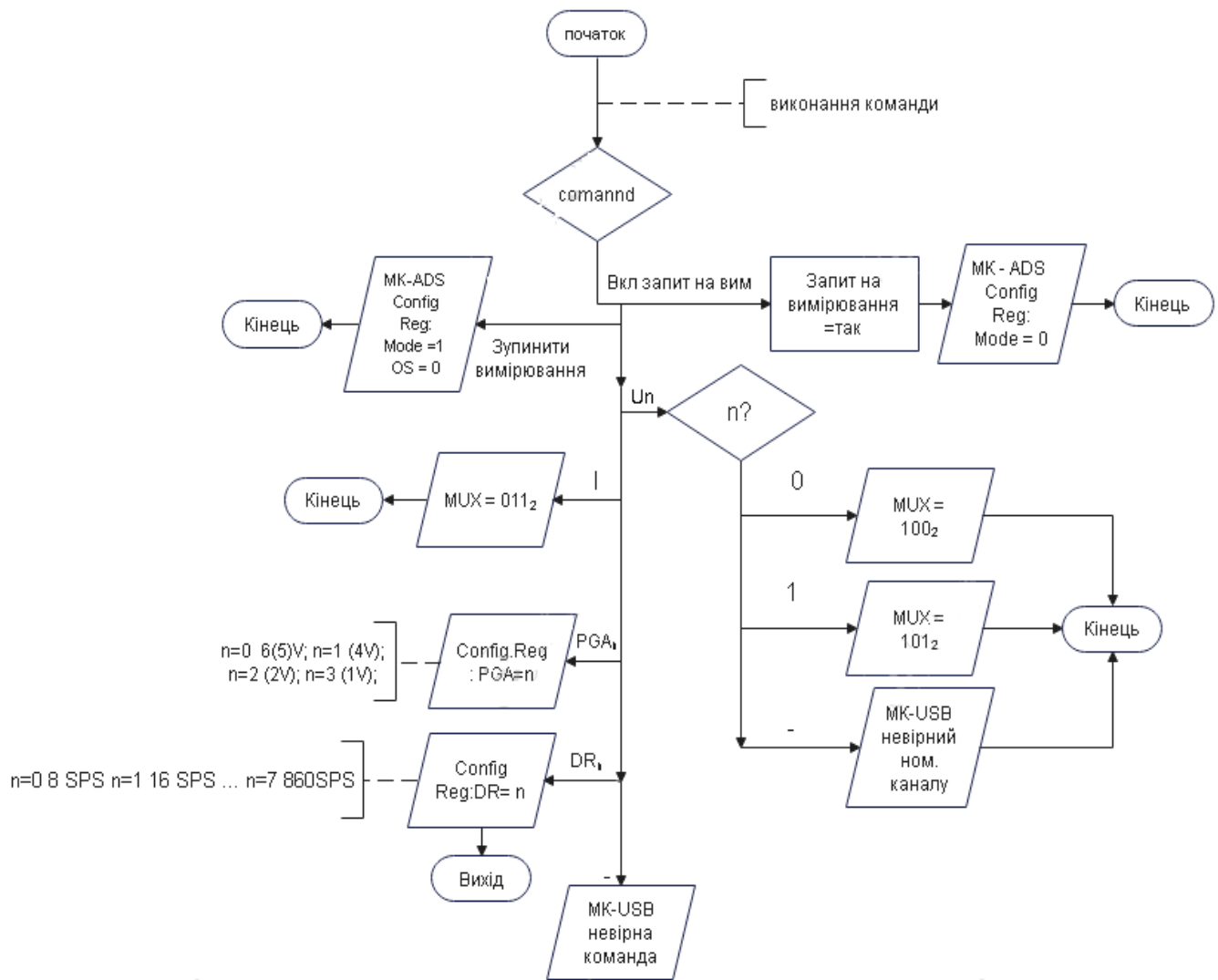


Рис. 2.8. Блок-схема підпрограми виконання команд

Блок-схема алгоритму підпрограми doCommand представлена на рис. 2.8. В цій підпрограмі здійснюється багатоваріантний вибір команди, переданої в якості параметра. Передбачена реакція на такі можливі команди.

1. “Вкл. запит на вимірювання” – ADS1115 вмикається за допомогою встановлення логічного нуля в біт Mode конфігураційного регістра Config Register.

2. “Зупинити вимірювання” – в Config Register необхідно встановити Mode=1, а OS=0.

3. “Вимірювання напруги на каналі n” – якщо необхідно вимірювати напругу U_0 , то в конфігураційний реєстр записується $\text{ConfigRegister:MUX}[2:0] = 100_2$, якщо ж вимірюватиметься напруга U_1 – $\text{ConfigRegister:MUX}[2:0] = 101_2$.

4. “Вимірювання струму” – в конфігураційний реєстр записується $\text{ConfigRegister:MUX}[2:0] = 011_2$.

5. “Встановлення опорної напруги” (PGA_n) – в конфігураційний реєстр записується $\text{ConfigRegister:PGA}[2:0]$ одне із можливих значень: $101_2 - 0,256 \text{ В}$; $100_2 - 0,512 \text{ В}$; $011_2 - 1,024 \text{ В}$; $010_2 - 2,048 \text{ В}$; $001_2 - 4,096 \text{ В}$.

6. “Встановлення кількості перетворень за секунду” (DR_n) – в конфігураційний реєстр записується $\text{ConfigRegister:DR}[2:0]$ одне із можливих значень: $000_2 - 8 \text{ SPS}$; $001_2 - 16 \text{ SPS}$; $010_2 - 32 \text{ SPS}$; $011_2 - 64 \text{ SPS}$; $100_2 - 128 \text{ SPS}$; $101_2 - 250 \text{ SPS}$; $110_2 - 475 \text{ SPS}$; $111_2 - 860 \text{ SPS}$.

2.4. Економічні розрахунки

Таблиця 1. Кошторис витрат на виготовлення одиничного екземпляра пристрою

Найменування матеріалів	Кількість одиниць	Ціна, грн	Вартість грн
Резистори			
4609X-101-102 8 x 1 кОм (9A102J) x 0.25	2	10,21	20,42
SMD 0805 10 кОм x 0.125 Foton	5	0,62	3,1
SMD 0805 20 кОм x 0.125 Foton	1	1,5	1,5
Конденсатори			
ECAP-SD 100 мкФ Samwha	2	1	2
K10-17A M47 30 пФ Kulon	1	2,20	2,20
ECAP-RD 10 мкФ	8	1,50	12
smd 22 пФ Foton	2	0,50	1
Кнопки керування DIP4	6	1,42	8,52
Мікросхеми			
L7805	1	7	7
OPAx333	1	52,50	52,50
LCD16x02	1	77	77

Найменування матеріалів	Кількість одиниць	Ціна,грн	Вартість грн
ATmega 328p	1	106	100
CH340	1	35	35
ADS 1115	1	125	125
Разом			453,24

Загальна вартість всіх компонентів одного пристрою складає 453,24 грн.

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проекті розроблено багатоканальний реєструючий пристрій на основі МК ATmega328. Розроблений пристрій забезпечує вимірювання напруги та струму з точністю відповідно 0,01% та 0,2% та швидкістю від 8 до 860 перетворень за секунду. Існує також можливість під'єднання даного пристрою по USB до персонального комп'ютера. Передбачена також можливість керування пристроєм як за допомогою кнопок, так і за допомогою команд, які надходять від ПК по USB.

Програма для МК ATmega328 написана мовою C++.

Розраховано кошторис витрат на виготовлення одиничного екземпляра пристрою: вартість комплектуючих складає 453,24 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Datasheet/ADS7830// Сайт Texas Instruments – Режим доступу:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads7830.pdf>
2. Datasheet/ADC0885022// Сайт Texas Instruments – Режим доступу:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/adc088s022.pdf?ts=1686638888979&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FADC088S022%253Futm_source%253Dgoogle%2526utm_medium%253Dcpc%2526utm_campaign%253Dasc-dc-null-prodfolderdynamic-cpc-pf-google-eu_int%2526utm_content%253Dprodfolddynamic%2526ds_k%253DDYNAMIC%2BSEARCH%2BAD%2526gclid%253DEAIaIQobChMI367Vw8Ou_wIVi7rVCh20wAxFEAAYASAAEgLkZPD_BwE%2526gclid%253Daw.ds
3. Datasheet/CM2012gf// Сайт CHIPUS – Режим доступу:
https://www.chipus.com.br/ip-portfolio/data-converter/CM2012gf_outline_rev1v1.pdf
4. Datasheet/ADC21S05// Сайт Texas Instruments – Режим доступу:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/adc121s051.pdf?ts=1686671797852&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
5. Datasheet/AD7853// Сайт Analog Devices – Режим доступу:
https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad7853_7853l.pdf
6. Datasheet/MAX1282// Сайт Analog Devices – Режим доступу:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX1282-MAX1282.pdf>
7. Datasheet/AD1672// Сайт Analog Devices – Режим доступу:
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/obsolete-data-sheets/181436877ad1672.pdf>
8. Datasheet/TS83102G0B// Сайт ATMEL – Режим доступу:
<https://datasheetspdf.com/mobile/575638/ATMELCorporation/TS83102G0B/1>
9. Datasheet/HI7188// Сайт Intersil Corporation – Режим доступу:
<https://datasheetspdf.com/mobile/582823/IntersilCorporation/HI7188/1>

10. Datasheet/ADS1115// Сайт Texas Instruments– Режим доступа:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>
11. Datasheet/ADS1114// Сайт Texas Instruments– Режим доступа:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1115.pdf>
12. Datasheet/OPA333// Сайт Texas Instruments– Режим доступа:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa333.pdf?ts=1686671955856&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FOPA333%252Fpart-details%252FOPA333AIDR
13. Datasheet/ADS1120// Сайт Texas Instruments– Режим доступа:
https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1120.pdf?ts=1686598862962&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F
14. Datasheet/ADS1118// Сайт Texas Instruments– Режим доступа:
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1118.pdf>
15. Datasheet/CH340// Сайт Sparkfun– Режим доступа:
<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Other/CH340DS1.PDF>
16. Datasheet/FT232// Сайт FTDIchip– Режим доступа:
https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
17. Datasheet/ATMega328// Сайт Microchip– Режим доступа:
https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
18. Datasheet/ATtiny13// Сайт Microchip– Режим доступа:
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/2535S.pdf>
19. Datasheet/ATMega256// Сайт Microchip– Режим доступа:
https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-8393-MCU_Wireless-ATmega256RFR2-ATmega128RFR2-ATmega64RFR2_Datasheet.pdf
20. Datasheet/ATMega32u4// Сайт Microchip– Режим доступа:
https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-7766-8-bit-avr-atmega16u4-32u4_datasheet.pdf

Організація роботи з охорони праці та безпеки

1. Робота з охорони праці та техніки безпеки проводиться згідно з планом організаційно-технічних заходів щодо виключення виробничого травматизму та професійних захворювань.

2. Загальне керівництво роботою з охорони праці і техніки безпеки дається під відповідальність директора і головного інженера підприємства.

3. Кількість звільнених працівників із служби охорони праці визначається затвердженим керівником, який узгоджує типовий розклад підприємства, в залежності від всього числа працівників.

4. Робітники, інженерно-технічні працівники і службовці можуть отримати допуск до самостійної роботи тільки після проходження інструктажу з техніки безпеки з подальшою перевіркою знань.

5. Адміністративно-технічний персонал, який є новоприйнятим на підприємство, повинен бути проінструктованим з обов'язками і відповідальністю про дотримання охорони праці та техніки безпеки.

6. Адміністрація підприємства зобов'язана забезпечити вчасне та якісне проходження інструктажу працівниками, а також забезпечити навчання основам, охорони праці, техніки безпеки, виробничої санітарії і гігієни, протипожежної техніки.

7. Інструктаж проводиться опираючись на законодавство про працю, правила внутрішнього трудового розпорядку, правил техніки безпеки, правил пожежної безпеки, та інструкцій.

8. Проведення інструктажу робітників безпечним методам роботи проводиться за наступними основними видами:

- вступний інструктаж;
- первинний інструктаж на робочому місці;
- повторний інструктаж;

- позаплановий інструктаж

9. Вступний інструктаж проводиться інженером з техніки безпеки з усіма новоприйнятими на підприємство робітниками.

10. При проведенні вступного інструктажу повинні бути роз'яснені:

- основні положення законодавства про працю;
- правила внутрішнього трудового розпорядку на підприємстві;
- правила поведінки на території, в виробничих та побутових приміщеннях;
- значення попереджувальних написів, сигналізації ;
- особливості роботи відповідної ділянки і заходи щоб уникнути нещасних випадків;
- вимоги особистої гігієни і виробничої санітарії;
- правила користування спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами захисту;
- порядок оформлення нещасного випадку на виробництві;
- методи надання лікарської допомоги потерпілим.

11. При проведенні вступного інструктажу кожному працівнику повинна бути видана інструкція з охорони праці. Незалежно від цього в цехах і ділянках на робочих місцях повинні бути розміщені інструкції з охорони праці.

12. Первинний інструктаж на робочому місці проводиться майстром або начальником ділянки до початку роботи з усіма прийнятими на підприємство робочими. Інструктаж повинен супроводжуватися практичним показом правильних і безпечних прийомів праці.

13. У програму первинного інструктажу на робочому місці входить:

- загальне ознайомлення з технологічним процесом на даній ділянці виробництва;
- ознайомлення з устаткуванням, а також із застосуванням засобів індивідуального захисту;
- ознайомлення з правилами організації робочого місця;
- ознайомлення з правилами техніки безпеки при виконанні завдань, які повинен виконувати даний працівник