

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____Шутко В.М.
«_____»_____2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 171 «Електроніка»
ОПП «ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ»

Тема: «Блок живлення з вбудованим мультиметром на мікроконтролері»

Виконавець

студент групи ЕС-304Б/стн _____Пінчук Олександр Анатолійович

Керівник

ст., викладач _____Бідний Микола Семенович

Нормоконтролер

_____Сініцин Р.Б.

КИЇВ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий факультет: аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра: електроніки, робототехніки і технологій моніторингу та інтернету речей
Напрямок (спеціальність, спеціалізація): 171 «Електроніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Шутко В.М.

«_____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

Пінчук Олександр Анатолійович

(П.І.Б., випускника)

1. Тема кваліфікаційної роботи:

«Блок живлення з вбудованим мультиметром на мікроконтролері»

затверджена наказом ректора від « 01» __ квітня 2021 р. № 594 / од _

2. **Термін виконання роботи:** з 1 квітня 2021 р. по 20 червня 2021 р.

3. **Вихідні дані роботи:** розробка блок живлення з вбудованим мультиметром на мікроконтролері на новітній електронній базі.

4. **Зміст пояснювальної записки:** аналітичний огляд літературних джерел з тематики кваліфікаційної роботи. Огляд технічної та довідкової літератури за темою проекту, проектування блока живлення, висновки, список використаної літератури.

5. **Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу:** потенціал блок живлення з вбудованим мультиметром на мікроконтролері, структурна, функціональна та принципова схема; презентація результатів роботи в практичному вигляді.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вступ. Обробка матеріалів за темою роботи: підручники, Інтернет-ресурси		
2.	Огляд сучасних блоків живлення. Принцип дії		
3.	Порівняння характеристик блоків живлення що є на ринку		
4.	Налагодження та опис роботи приладу		
5.	Конструктивний розрахунок		
6.	Подання на кафедру. Усунення недоліків. Оформлення пояснювальної записки.		
7.	Електронна версія доповіді, ілюстративний матеріал доповіді		

7. Дата видачі завдання: « 01 » квітня 2021 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____
(підпис керівника)

Бідний М.С.
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис випусника)

Пінчук О.А.
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи на тему: «Блок живлення з вбудованим мультиметром на мікроконтролері» містить: 47 сторінки, 5 рисунків, 11 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – блок живлення з вихідною напругою від 0 до 24В та струмом до 8А.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити блок живлення з вбудованим мультиметром на мікроконтролері.

Предмет дослідження – застосування блока живлення на прикладі альтернативних аналогів.

Розроблений блок живлення з вихідною напругою від 0 до 24В та струмом до 8А.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень, у навчальному процесі та в практичній діяльності при викладанні дисциплін.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БЖ – Блок живлення;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

CV – Control Voltage (регулювання напруги);

CC – Control current (регулювання току);

I2C – Inter-Integrated Circuit (двопровідний послідовний інтерфейс);

PGA – programmable-gain amplifier (підсилювач з програмним коефіцієнтом).

AINP – Positib analog input (позитивний аналоговий вхід)

AINN – Negative analog input (негативний аналоговий вхід)

Зміст

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 загальні теоритичні відомості.....	8
1.1 Загальні відомості про лінійні блоки живлення.....	8
1.2 Загальні відомості про імпульсні блоки живлення.....	11
1.3 Види топологій в блоках живлення.....	12
РОЗДІЛ 2 Огляд існуючих рішень.....	15
2.1 Види топологій в блоках живлення.....	15
2.2 Блок живлення UNI-T UTP3305.....	17
2.3 Блок живлення MCH K305D.....	19
2.4 Блок живлення NPS605W.....	21
2.5 Блок живлення з мультиметром на базі мікроконтролера.....	23
РОЗДІЛ 3 Огляд апаратної частини.....	25
3.1 Загальні відомості про плату Arduino NANO.....	25
3.2 Мікроконтролер ATmega328P.....	27
3.3 Загальні відомості про плату ADS1115 аналого-цифрового..... перетворювача.....	29
3.4 Інтерфейс I2C 20x4 РК-дисплей з Arduino Uno.....	34
РОЗДІЛ 4 Розробка блока живлення та аналіз працездатності пристрою.....	43
4.1 Схемотехнічна складова.....	43
4.2 Внутрішня робота DC-DC конвертора.....	44
4.3 Практичне застосування.....	45
Висновки.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

Вступ

На даний час новітня електроніка вимагає все більші стабільні джерела живлення, незалежно від того, чи є в навантаженням чутливий двигун, електронний мікроскоп, рентгенівське обладнання, комп'ютер або вимірювальний прилади. Як не дивно, джерело живлення є останнім предметом, який враховується при проектуванні або придбанні обладнання, незважаючи на те, що неможливо керувати будь-яким електронним навантаженням без нього.

Крім того, неможливо отримати оптимальну продуктивність від навантаження, пов'язаної з невідповідним джерелом живлення. Подібні проблеми породжують деякі небажані явища - перегрів, похибку випромінювання, утворення завад, пульсацій, навіть вибух навантаження або джерела живлення. Гірше, неадекватна стабільність в неправильно вказаному блоці живлення може повністю замаскувати задану точність або чутливість живлення навантаження. Різноманітність доступних джерел живлення робить майже можливим мати правильний вибір для живлення заданих проектів навантаження.

Таким чином, кінцевий користувач має унікальну можливість мати стільки варіантів вибору, скільки дозволяє врахувати йому час. І якщо необхідний тип джерела живлення неможливо вибрати із запасних предметів, спеціальний конструктор джерела живлення побудує саме те, що потрібно. Очевидно, що безліч можливостей означає, що користувач повинен вирішити, яке джерело живлення найбільш відповідає його потребам, і для прийняття рішення необхідні певні знання.

РОЗДІЛ 1.

ЗАГАЛЬНІ ТЕОРИТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Загальні відомості про лінійні блоки живлення

Лінійні джерела живлення

Лінійні регульовані джерела живлення в давні часи були джерелом живлення для перетворення змінного струму у постійний струм для електронних пристроїв. Хоча сьогодні цей тип джерела живлення використовується не так широко, він все ще є найкращим вибором для приладів, які вимагають мінімальних шумів і пульсацій.

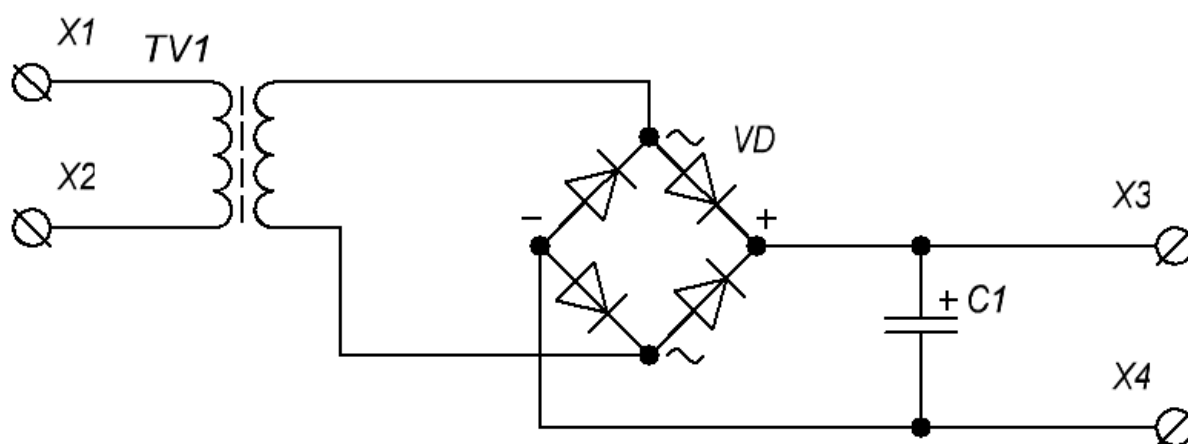


Рис. 1.1 - Схема найпростішого трансформаторного блоку живлення.

Основним компонентом, що дозволяє лінійному регулятору функціонувати, є сталевий або залізний трансформатор. Цей трансформатор забезпечує дві функції:

Він діє як бар'єр для відокремлення входу змінного струму високої напруги від входу постійного струму низької напруги, який також фільтрує будь-який шум, що потрапляє у вихідну напругу. Він зменшує вхід змінного струму від 115В до 230В. В приблизно до 30 В, який потім може бути перетворений на постійну напругу постійного струму. Напруга змінного струму спочатку знижується через

трансформатор «TV1», а далі випрямляється кількома діодами або діодним мостом «VD». Потім він згладжується до низької напруги постійного струму за допомогою пари великих електролітичних конденсаторів «C1».

Ця низька напруга постійного струму регулюється як стабільна вихідна напруга за допомогою транзистора або інтегральної схеми.

Регулятор напруги в лінійному блоці живлення діє як змінний резистор. Це дозволяє змінювати значення вихідного опору відповідно до вимог до вихідної потужності. Оскільки регулятор напруги постійно чинить опір струму, щоб підтримувати напругу, він також діє як пристрій, що розсіює потужність. Це означає, що корисна потужність постійно втрачається у вигляді тепла, щоб підтримувати рівень напруги постійним. Трансформатор - це вже великий компонент для друкованої плати. Через постійну потужність та тепловіддачу лінійному блоку живлення регулятора знадобиться радіатор. Ці два компоненти самі по собі додають до дуже важкого та громіздкого пристрою в порівнянні з малим форм-фактором імпульсного джерела живлення.

Лінійні регулятори відомі своєю низькою ефективністю та великими розмірами, але вони забезпечують безшумну вихідну напругу. Це робить їх ідеальними для будь-якого пристрою, для якого потрібні високочастотні та малошумні, такі як:

- Схеми управління підсилювачі з низьким рівнем шуму;
- Процесори сигналів;
- Автоматизоване та лабораторне випробувальне обладнання;
- Датчики та схеми збору даних.

Лінійно регульовані джерела живлення можуть бути громіздкими та неефективними, але їх низький рівень шуму ідеально підходить для чутливих програм.

До переваг трансформаторних блоків живлення слід віднести:

- Просте застосування. Лінійні регулятори можуть бути реалізовані як цілий пристрій і додані в схему лише з двома додатковими конденсаторами

фільтра. Це полегшує їх проектування та проектування з нуля для інженерів будь-якого рівня кваліфікації.

- Низька вартість. Якщо для вашого пристрою потрібна вихідна потужність менше 10 Вт, тоді витрати на компоненти та виробництво значно нижчі порівняно з імпульсним джерелом живлення.
- Низький рівень шуму та пульсацій. Лінійні регулятори мають дуже низьку пульсацію вихідної напруги і велику пропускну здатність. Це робить їх ідеальними для будь-яких програм, чутливих до шуму, включаючи засоби зв'язку та радіопристрої.

До недоліків трансформаторних блоків живлення слід віднести:

- Обмежена гнучкість. Лінійні регулятори можна використовувати лише для зниження напруги. Для джерела живлення змінного та постійного струму трансформатор з випрямленням та фільтруванням потрібно розмістити перед лінійним джерелом живлення, щоб збільшити загальні витрати та зусилля.
- Обмежений вихід. Лінійні регульовані джерела живлення забезпечують лише одну вихідну напругу. Якщо вам потрібно більше, вам доведеться додати окремий лінійний регулятор напруги на необхідний вихід.
- Погана ефективність. Середній лінійно регульований пристрій досягає ефективності між 30% та 60% за рахунок розсіювання тепла. Це також вимагає додавання радіатора, що збільшує розміри та вагу пристрою.

На сьогодні рейтинг енергоефективних пристроїв дуже незначний, ефективність лінійно-регульованого м'яко кажучи мала. Звичайне лінійне регульоване джерело живлення працюватиме з ефективністю приблизно 60% для виходу 24 В. Розглядаючи вхід 100Вт, приблизно втрата на 40 Вт потужності.

Перш ніж розглядати можливість використання лінійно регульованого джерела живлення, рекомендую врахувати втрати потужності, які ви отримаєте на вході та на виході.

1.2 Загальні відомості про імпульсні блоки живлення

Імпульсний блок живлення регулює вихідну напругу за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Цей процес створює високочастотні шуми, але забезпечує високу ефективність при малому форм-факторі. При підключенні до мережі змінного струму 115 В або 230 В змінного струму спочатку випрямляється і згладжується за допомогою набору діодів і конденсаторів, що забезпечує високу напругу постійного струму. Потім цю високу напругу постійного струму знижують за допомогою невеликого феритового трансформатора та набору транзисторів. Процес зниження все ще зберігає високу частоту перемикання від 200 до 500 кГц. Низька напруга постійного струму нарешті перетворюється на стабільний вихід постійного струму за допомогою іншого набору діодів, конденсаторів та індуктивностей. Будь-яке регулювання, необхідне для підтримання постійної вихідної напруги, обробляється шляхом регулювання ширини імпульсу високочастотної форми сигналу. Цей процес регулювання працює через ланцюг зворотного зв'язку, який постійно контролює вихідну напругу і за необхідності контролює коефіцієнт включення-вимкнення ШІМ-сигналу.

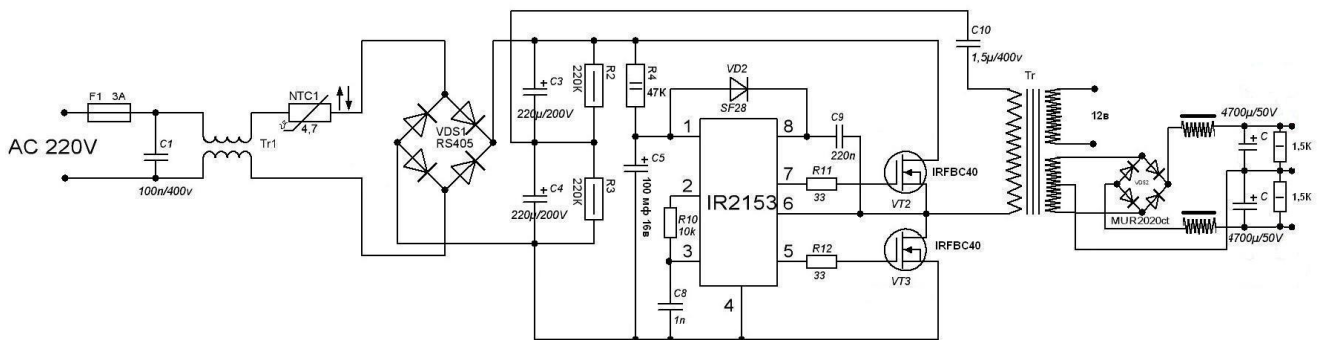


Рис. 1.2 Схема імпульсного блока живлення

Найчастіше зустрічаючі імпульсні джерела живлення, що використовуються в сферах, де важливий час автономної роботи та температури, наприклад:

- обробка відходів або застосування паливних елементів;
- двигуни постійного струму;

- ігрові автомобілі;
- авіація та морське застосування;
- Зарядка для літій-іонних акумуляторів що використовуються в авіації та транспортних засобах;
- Процеси гальваніки;
- Анодування.

До основних переваг імпульсних джерел живлення відносять:

- Малий форм-фактор. Знижувальний трансформатор працює на високій частоті, що в свою чергу, зменшує його обсяг і вагу.
- Висока ефективність. Регулювання напруги в імпульсному джерелі живлення здійснюється без відведення надмірної кількості тепла. Ефективність може досягати 85% -90%.
- Гнучкість використання. До імпульсного джерела живлення можна додати додаткові обмотки, щоб забезпечити більше однієї вихідної напруги.

До недоліків імпульсних джерел живлення відносять:

- Складний дизайн . У порівнянні з лінійними регуляторами планування та проектування імпульсного джерела живлення, як правило, призначене для спеціалістів з енергетики. Це не найкращий джерело живлення для вибору, якщо ви плануєте розробити власний без ретельного вивчення або досвіду.
- Високочастотний шум. Робота комутації MOSFET в імпульсному блоці живлення забезпечує високочастотний шум у вихідній напрузі. Це часто вимагає використання ВЧ-екрануючих та ЕМП-фільтрів у чутливих до цього пристроях.
- Вища вартість. При менших вихідних потужностях 10 Вт або менше дешевше використовувати лінійно регульований блок живлення.

1.3 Види топологій в блоках живлення

В даний час актуальними топологіями імпульсних блоків живлення вважаються

1. Перетворювачі зі постійного струму в постійний DC-DC (Direct Current);

2. Перетворювачі зі змінного струму в постійний AC-DC (Direct Current);
3. Зворотні перетворювачі;
4. Прямі перетворювачі.

DC-DC-перетворювачі понижуючого типу з синхронним випрямлячем мають більший потенціал для реалізації більш ефективного перетворення енергії, ніж перетворювачі з несинхронним випрямлячем. Реалізація вбудованих в мікросхему силових MOSFET-транзисторів забезпечує отримання повністю інтегрованого рішення з мінімальним числом зовнішніх компонентів. Робота перетворювача на високій частоті дозволяє використовувати компактні дроселі та отримувати мінімальні розміри джерела живлення. Однак у порівнянні з перетворювачами з несинхронним випрямленням в структурі перетворювача використовуються більш складні схеми керування, щоб забезпечити захист вихідних ключів в критичних режимах. Останні розробки дозволили вирішити ряд проблем, пов'язаних з особливостями управління синхронними конвертерами понижуючого типу, збільшити їх надійність, зменшити ціну, спростити застосування, що зробило їх більш доступними і привабливими для різних сфер застосування.

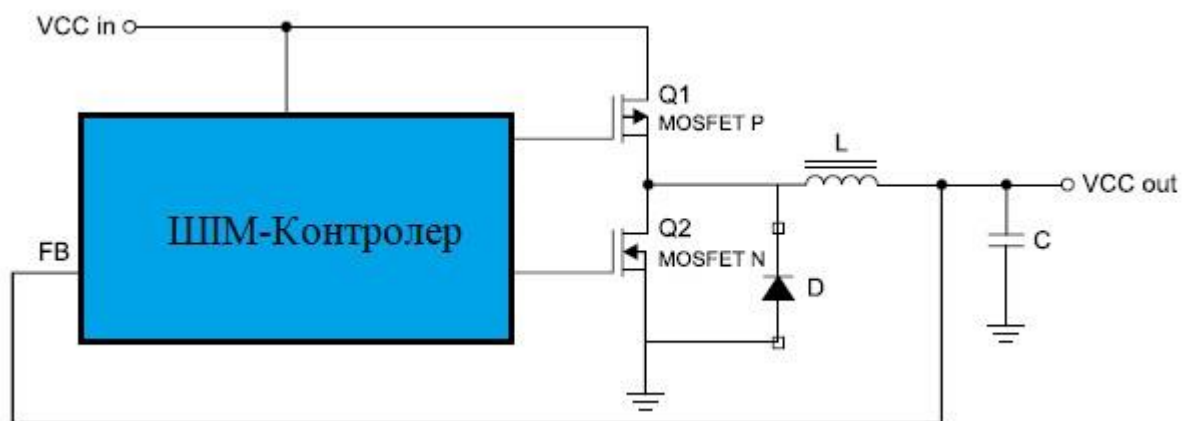


Рис.1.3 Схема DC-DC конвертера понижуючого типу з синхронним випрямлячем

У схемі синхронного перетворювача в порівнянні зі схемою несинхронного перетворювача діод D замінений MOSFET-транзисторів Q2. Силовий ключ Q1 (верхнє плече) реалізований на MOSFET-транзисторі р-типу, а нижній Q2, що забезпечує функцію синхронного випрямлення, - на транзисторі n-типу. Падіння напруги на MOSFET-транзисторі Q2 може бути менше падіння напруги на діоді при однакових струмах, що дозволяє зменшити втрати і збільшити ККД

перетворення. В першу чергу це актуально при формуванні малих вихідних напруг, наприклад 1,2 / 1,5 В, оскільки падіння напруги на діоді стає порівняним з вихідним напругою. При використанні транзистора замість діода можна формувати рівні вихідної напруги до 0,6 В, при цьому забезпечується високий струм і зберігається висока ефективність перетворення. Таким чином, діапазон вихідних напруг для даного типу перетворювачів - від 0,6-0,8 В і практично до вхідної напруги харчування.

У понижуючих перетворювачів можна використовувати два режими роботи - режим безперервних і переривчастих струмів. У першому його ток котушки індуктивності завжди більше нуля, а в другому існує інтервал часу, протягом якого струм дорівнює нулю. Режим безперервних струмів забезпечує передачу великих струмів, а переривчастий можна використовувати при роботі з малим навантаженням. Як правило, знижують перетворювачі проектується так, щоб в номінальному діапазоні струмів і напруг навантаження зберігався режим безперервних струмів котушки індуктивності.

Ефективність перетворення визначається втратами енергії при перемиканні вихідних транзисторів. Втрати визначаються опором ключів у відкритому стані, а також залежать від частоти перетворення і наростання фронтів керуючих сигналів. Ефективність синхронних перетворювачів вище тільки при високих значеннях струму. Чим більше струм, що віддається в навантаження, і менше різниця напруг вхід / вихід, тим більше ефективність синхронних понижувальних перетворювачів напруги.

РОЗДІЛ 2.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Лінійні чи імпульсні блоки живлення на сьогоднішній день широко застосовуються для різних потреб в основному при ремонті чи налагодженні різних цифрових і побутових пристроїв, для живлення усього що потребує постійну напругу живлення.

2.1 Блок живлення MAISHENG MS3010D

MAISHENG MS3010D - Цифрове джерело живлення з двома режимами стабілізації.

Зовнішній вигляд блока живлення зображено на рис. 2.1.



Рис. 2.1 джерело живлення MAISHENG MS3010D

Технічні характеристики блока живлення наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Характеристики джерело живлення MAISHENG MS3010D

Характеристика	Показник
Вихідна напруга	0 - 30 В (регульоване)
Вихідний струм	0 - 10 А (регульований)
Вихідна потужність	300 Вт
Вхідна напруга	220 В / 50 Гц (за замовчуванням)
Регульоване живлення	$CV \leq 0,05\% + 1 \text{ мВ}$ $CC \leq 0,05\% + 1 \text{ мА}$
Регульоване навантаження	$CV \leq 0,1\% + 5 \text{ мВ}$ $CC \leq 0,1\% + 10 \text{ мА}$
Пульсації і шум	$CV \leq 10 \text{ мВ}$ $CC \leq 20 \text{ мА}$
Роздільна здатність	0.1 В, 0.1 А
Точність	$\pm 1\% + 1$ цифра
Захист від перенапруги	так
Захист від перегрузки по току	так
Вбудований вентилятор охолодження	так
EEPROM	1 Кб
Тактова частота	16 МHz
Габарити	260 x 155 x 125 мм
Вага	2,4 кг

2.2 Блок живлення UNI-T UTP3305

UNI-T UTP3305 – лінійний трьохканальний блок живлення зі стабілізацією напруги та струму.

Зовнішній вигляд блока живлення зображено на рис. 2.2.



Рис. 2.2 джерело живлення UNI-T UTP3305

Технічні характеристики блока живлення наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристики лінійного джерела живлення UNI-T UTP3305

Характеристика	Показник
Кількість каналів	3
Вихідна напруга 1-го каналу	0 - 32 В (регульоване)
Вихідний струм	0 - 5 А (регульований)
Вихідна потужність	160 Вт

Вихідна напруга 2-го каналу	0 - 32 В (регульоване)
Вихідний струм	0 - 5 А (регульований)
Вихідна потужність	160 Вт
Вихідна напруга 3-го каналу	5 В (фіксоване)
Вихідний струм	3 А (регульований)
Вихідна потужність	15 Вт
Вхідна напруга	220 В / 50 Гц (за замовчуванням)
Пульсації і шум	CV ≤ 1 мВ CC ≤ 2 мА
Роздільна здатність	0.1 В, 0.1 А
Точність	± 1% + 1 цифра
Захист від перенапруги	так
Захист від перегрузки по току	так
Вбудований вентилятор охолодження	так
EEPROM	1 Кб
Тактова частота	16 MHz
Габарити	260 x 176 x 317 мм
Вага	12 кг

2.3 Блок живлення MCH K305D

MCH K305D – імпульсний одноканальний блок живлення зі стабілізацією напруги та струму.

Зовнішній вигляд блока живлення зображено на рис. 2.3.



Рис. 2.3 джерело живлення MCH K305D

Технічні характеристики блока живлення наведено у таблиці 2.3.

Характеристики джерело живлення МСН К305D

Характеристика	Показник
Вихідна напруга	0 - 30 В (регульоване)
Вихідний струм	0 - 5 А (регульований)
Вихідна потужність	150 Вт
Вхідна напруга	105 - 130 В АС, 50 Гц - 60 Гц 200 В - 240 В АС, 50 Гц - 60 Гц
Вхідний струм	100 В: 1,5 А 220 В: 0,9 А
Регульоване живлення	$CV \leq 20 \text{ мВ}$ $CC \leq 20 \text{ мА}$
Регульоване навантаження	$CV \leq 20 \text{ мВ}$ $CC \leq 20 \text{ мА}$
Пульсації і шум	$CV \leq 50 \text{ мВ}$ $CC \leq 20 \text{ мА}$
Роздільна здатність	0.01 В, 0.001 А
Точність	$\pm 0.5\%$
Захист від перенапруги	так
Захист від перегрузки по току	так
Вбудований вентилятор охолодження	так
Дисплей	2 світлодіодних, 3 розрядних дисплея
Робоча температура	від -10°C до 60°C
Габарити	220 x 160 x 70 мм
Вага	2 кг

2.4 Блок живлення NPS605W

Wanptek NPS605W – імпульсний одноканальний блок живлення зі стабілізацією напруги та струму.

Зовнішній вигляд блока живлення зображено на рис. 2.4.



Рис. 2.4 джерело живлення NPS605W

Технічні характеристики блока живлення наведено у таблиці 2.4.

Характеристики джерело живлення NPS605W

Характеристика	Показник
Вихідна напруга	0 - 60 В (регульоване)
Вихідний струм	0 - 5 А (регульований)
Вихідна потужність	300 Вт
Вхідна напруга	105 - 130 В, 50 Гц - 60 Гц 200 В - 240 В, 50 Гц - 60 Гц
Вхідний струм	100 В: 1,5 А 220 В: 0,9 А
Регульоване живлення	$CV \leq 30 \text{ мВ}$ $CC \leq 30 \text{ мА}$
Регульоване навантаження	$CV \leq 30 \text{ мВ}$ $CC \leq 30 \text{ мА}$
Пульсації і шум	$CV \leq 100 \text{ мВ}$ $CC \leq 50 \text{ мА}$
Роздільна здатність	0.01 В, 0.001 А
Точність	$\pm 0.5\%$
Захист від перенапруги	так
Захист від перегрузки по току	так
Вбудований вентилятор охолодження	так
Дисплей	0.4 дюйма, 3 світлодіодних, 4-розрядних дисплея
Робоча температура	від -10°C до 60°C
Габарити	230 x 130 x 70 мм
Вага	1,3 кг

2.5 Блок живлення з мультиметром на базі мікроконтролера

Згідно завдання розробимо блок живлення з мультиметром на базі мікроконтролера призначеного виведення показників струму і напруги.

Таблиця 2.5

Порівняльна характеристика блоків живлення

Назва характеристики	Блоки Живлення				
	MAISHE NG MS3010D	UNI-T UTP3305	MCH K305D	NPS605W	Блок живлення з мультиметром на базі мікроконтролера
Тип Блока живлення	Імпульсний	Лінійний	Імпульсний	Імпульсний	Лінійний
Вихідна напруга	0 - 30 В (регульоване)	0 - 32 В (регульоване)	0 - 30 В (регульоване)	0 - 60 В (регульоване)	0 - 24 В (регульоване)
Вихідний струм	0 - 10 А (регульований)	0 - 5 А (регульований)	0 - 5 А (регульований)	0 - 5 А (регульований)	0 - 8 А (регульований)
Вхідна напруга	220в	220в	110в - 220в	110в - 220в	220в
Роздільна здатність	0.1 В, 0.1 А	0.01 В, 0.01 А	0.01 В, 0.001 А	0.1 В, 0.001 А	0.01 В, 0.01 А
Пульсації і шум	CV ≤ 10 мВ CC ≤ 20 мА	CV ≤ 1 мВ CC ≤ 2 мА	CV ≤ 50 мВ CC ≤ 20 мА	CV ≤ 100 мВ CC ≤ 50 мА	CV ≤ 1 мВ CC ≤ 2 мА
Кількість каналів	2	3	1	1	1
Вихідна потужність	300 Вт	160 Вт	150 Вт	300 Вт	200 Вт
Вага	2,4 кг	12 кг	2	1,3 кг	6 кг

Ціна	89\$	247\$	65\$	120\$	70\$
------	------	-------	------	-------	------

Висновки

Розглянувши попередні аналоги блоків живлення можна зробити висновок, що пристрої мають ряд відмінностей (таблиця 2.5), але всі прилади поступаються в ціні та характеристиках вихідного струму, роздільній здатності дисплею «Блок живлення з вбудованим мультиметром на мікроконтролері» та мають різницю у вартості, що є великим недоліком.

Тому актуальною задачею є розробка блок живлення з вбудованим мультиметром на мікроконтролері, яка врахує всі недоліки попередніх аналогів та матиме кращі характеристики і меншу ціну.

РОЗДІЛ 3. ОГЛЯД АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

3.1 Загальні відомості про плату Arduino NANO

Arduino Nano V3.0 AVR ATmega328P – плата від RobotDun, яка включає в себе мікроконтролер ATmega328P. Це модернізована версія плати Arduino Nano з повною інтеграцією ATmega328, USB-TTL конвертер на чипі CH340G на одній платі.

Для програмування лінійки цих плат, компанія Arduino створила середовище розробки Arduino IDE (мова програмування C++), що дозволяє новачку у програмуванні мікроконтролерів легко почати програмувати мікроконтролери на базі цих плат. Я обрав цю плату, саме через її доступність початківцям, велику кількість інформації для навчання та можливість незалежно програмувати модулі плати.

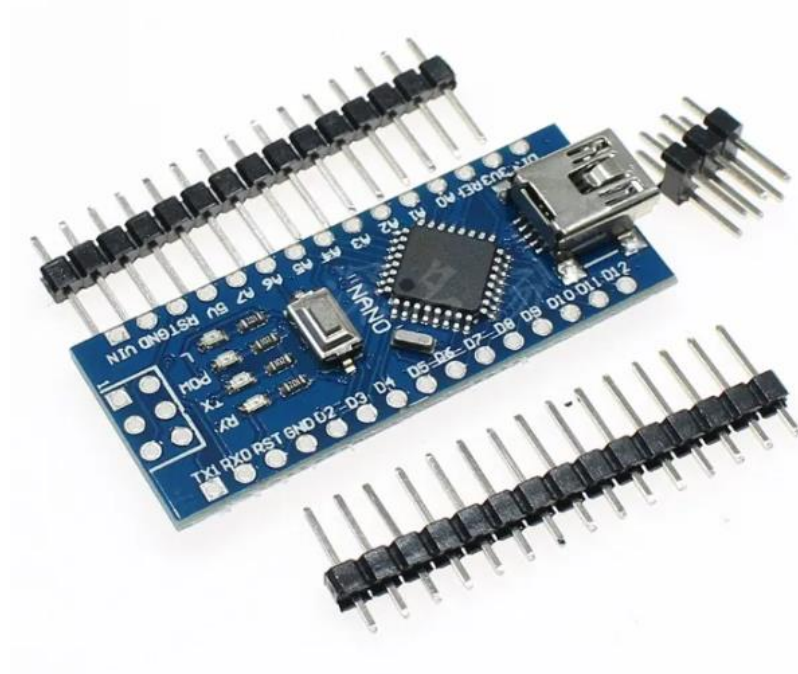


Рис. 3.1 – Arduino Nano V3.0 AVR

Характеристика Arduino Nano V3.0 AVR

Характеристика	Показник
Мікроконтролер	ATmega328
Wi-Fi контролер	Відсутній
USB-TTL конвертер	CH340G
Робоча напруга	5 В
Вхідна напруга	7-12 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7-9 В
Цифрові входи/виходи	14 шт.
Аналогові входи	6 шт.
Постійний струм одного піну	40 mA
Постійний струм виводу 3.3V	50 mA
Flash-пам'ять	32 Kb
SRAM	2 Kb
EEPROM	1 Kb
Тактова частота	16 MHz
Wi-Fi	-
Робоча температура	-40 °C / +125 °C

Піни живлення:

- **VIN:** Напруга від зовнішнього джерела живлення (не пов'язане з 5 V від USB або іншою стабілізованою напругою). Через цей вихід можна як подавати зовнішнє живлення, так і споживати струм, якщо до пристрою підключений зовнішній адаптер.
- **5V:** На вихід подається напруга 5 V від стабілізатора плати. Даний стабілізатор забезпечує живлення мікроконтролера ATmega328P. Живити пристрій через вихід 5 V не рекомендується - в цьому випадку не використовується стабілізатор напруги, що може привести до виходу плати з ладу.
- **3.3V:** 3.3 V від стабілізатора плати. Максимальний струм виходу – 1 A.

- **GND:** Земля.
- **IOREF:** Вихід надає платам розширення інформацію по робочій напрузі мікроконтролера. Залежно від напруги, плата розширення може переключитися на відповідне джерело живлення або задіяти перетворювачі рівнів, що дасть можливість їй працювати як з 5 V, так і з 3,3 V пристроями.

Порти входу/виходу:

- **Цифрові входи/виходи:** піни 0 – 13. Логічний рівень одиниці - 5 V, нуля - 0 V. Максимальний струм виходу - 40 mA. До контактів підключені підтягуючі резистори, які за замовчуванням вимкнені, але можуть бути включені програмно.
- **ШИМ:** піни 3, 5, 6, 9, 10, 11. Дають можливість виводити 8-бітні аналогові значення у вигляді ШИМ- сигналу.
- **АЦП:** піни A0 – A5. Розрядність АЦП – 10 біт.
- **I²C:** піни SDA і SCL. Для обміну даними з периферією по синхронному протоколу, через 2 дроти. Для роботи з ними потрібно використовувати бібліотеку Wire.
- **SPI:** піни 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK). Через ці піни здійснюється зв'язок по інтерфейсу SPI. Для роботи з ними потрібно використовувати бібліотеку SPI.
- **UART:** піни 0(RX) і 1(TX). Ці виходи використовуються для комунікації плати з комп'ютером або іншими пристроями через клас Serial.

3.2 Мікроконтролер ATmega328P

ATmega328P – мікроконтролер сімейства AVR, має 8-бітний процесор і дає можливість виконувати більшість команд за один такт.

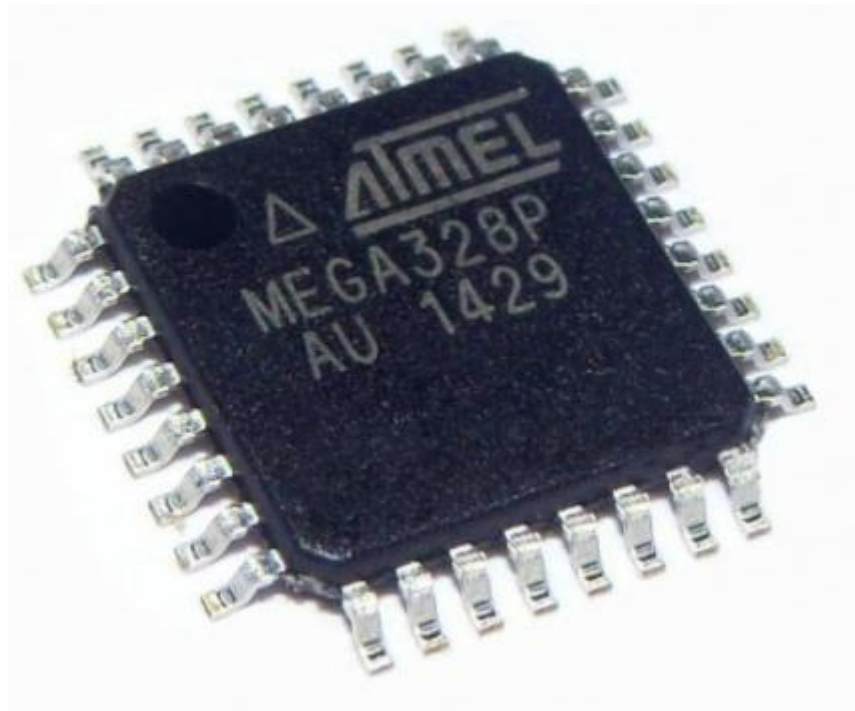


Рис. 3.2 – Мікроконтролер АТmega328Р

Пам'ять:

- 32Кb Flash-пам'ять.
- 2Кb SRAM.
- 1Кb EEPROM.

Вбудовані пристрої:

- Два 8-бітних таймери/лічильники з модулем порівняння і ділення частоти.
- 16-бітний таймер/лічильник з модулем порівняння і дільником частоти, а також режимом запису.
- Лічильник реального часу з окремим генератором.
- Шість каналів ШІМ.
- 6-канальний ЦАП з вбудованим датчиком температури.
- Програмований послідовний порт USART.
- Послідовний інтерфейс SPI.
- Інтерфейс I2C.
- Програмований сторожовий таймер з окремим внутрішнім генератором.

- Внутрішня схема порівняння напруги.
- Блок обробки переривань і пробудження при зміні напруги на виходах мікроконтролера.

Спеціальні функції мікроконтролера:

- Скидання при включенні живлення і програмне розпізнавання зниження напруги живлення.
- Внутрішній генератор тактових імпульсів.
- Обробка внутрішніх та зовнішніх переривань.
- 6 режимів сну (знижене енергоспоживання і зниження шумів для більш точних перетворень АЦП).

3.3 Загальні відомості про плату ADS1115 аналого-цифрового перетворювача

Нерідко в радіоаматорської практиці виникає необхідність виміряти напругу на якій-небудь ділянці ланцюга з подальшою оцифруванням і аналізом отриманого результату. Для цих цілей використовують аналоговою-цифрові перетворювачі, які переводять величину напруги в його числовий еквівалент, зрозумілий мікроконтроллеру.

Всі хто коли-небудь працював з платформами Arduino, напевно знають, що вона оснащена 10-бітовим аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП), підключеним до пінам А0-А7 в якості альтернативної функції портів вводу або виводу. Але найчастіше можливостей цього АЦП не вистачає, коли точність, швидкість і гнучкість вимірювань критична для конкретного проекту.

Модуль 16-бітного АЦП ADS1115 позбавлений перерахованих вище недоліків.

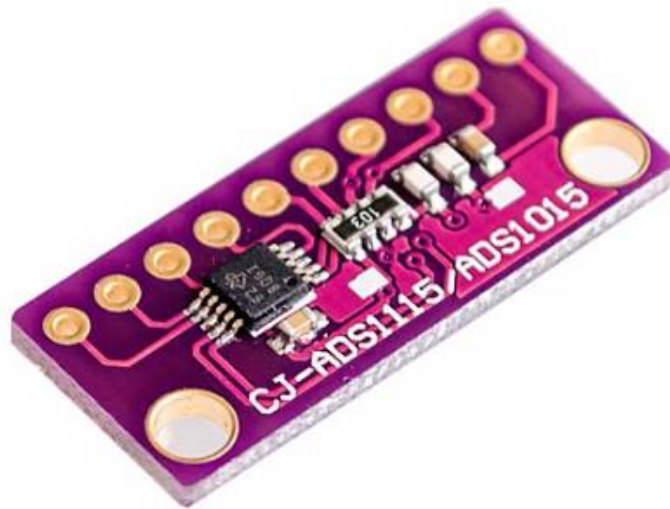


Рис. 3.3 – Модуль АЦП ADS1115

Крім цього він має внутрішнє джерело опорної напруги, програмовану частоту дискретизації, що настраюється коефіцієнт посилення, вбудований компаратор і можливість виконувати вимірювання в 2-х режимах, прямому і диференціальному. Зовнішній вигляд модуля показаний на рисунку 3.3

Цей модуль має десять виводів, вони представлені нижче:

- VDD і GND відповідають за харчування мікросхеми ADS1115. Модуль може працювати в діапазоні від 2В до 5.5В.
- Наявність виводів SCL і SDA говорить про те, що модуль спілкується з ведучим пристроєм по протоколу I2C. Додатково встановлювати підтягуючі резистори на шину немає необхідності, так як вони вже передбачені в конструкції модуля.

- **ARRD** - задає один з 4-х можливих адрес модуля. Ця функція має сенс при використанні декількох ADS1115 на одній шині I2C.
- **ALRT** - вихід компаратора, який зручно використовувати для оповіщення керуючого пристрою.
- **A0, A1, A2, A3** - входи АЦП, які можуть бути налаштовані як 4 одиночних каналу або 2 диференціальних. В останньому випадку з'являється можливість вимірювати різницю потенціалів між висновками A0-A1 і A2-A3.

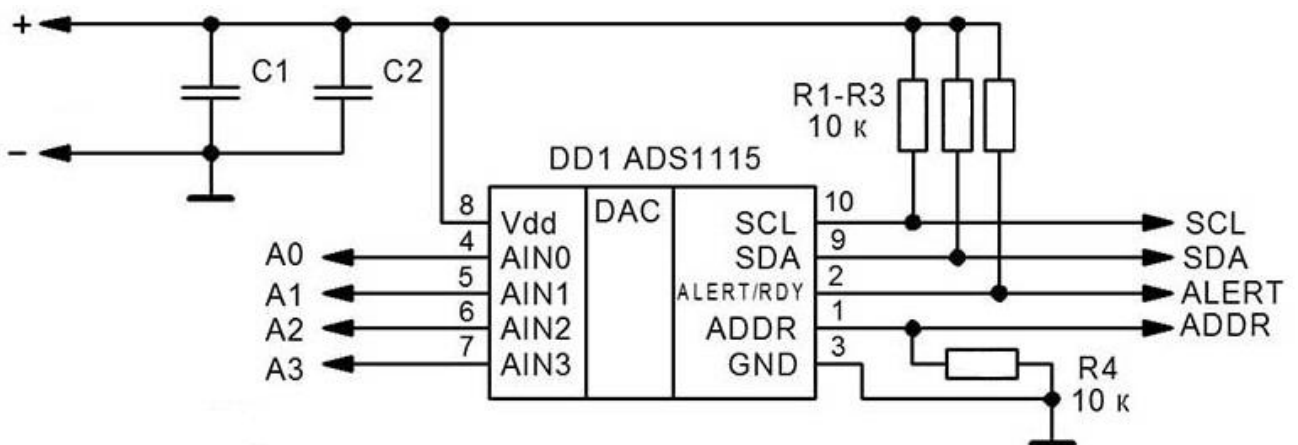


Рис. 3.4 Схема модулю АЦП ADS1115

Конденсатори C1 і C2 призначені для усунення перешкод в ланцюзі живлення мікросхеми АЦП. Резистор R1 підтягує вихід компаратора до низького рівня. Отже, сигнал оповіщення буде еквівалентний логічній одиниці. Резистори R2 і R3 підтягують I2C шину до рівня харчування, що звільняє користувача від застосування зовнішніх опорів.

Модуль ADS1115 може мати один з 4-х можливих адрес в залежності від того, куди підключений вивід ADDR. Зі схеми видно, що він притягнутий резистором R4 до мінуса живлення, що за замовчуванням присвоює модулю адреса 0x48. Для зміни адреси, висновок ADDR підключають по одному з варіантів.

Кожна мікросхема ADS1115 має в своєму складі 4 аналогових входу (A0, A1, A2, A3). Залежно від налаштувань, ці входи можуть використовуватися як 4 одиночних каналу вимірювання або як 2 диференціальних. У диференціальному режимі напруга міряється між входами A0-A1 і A2-A3.

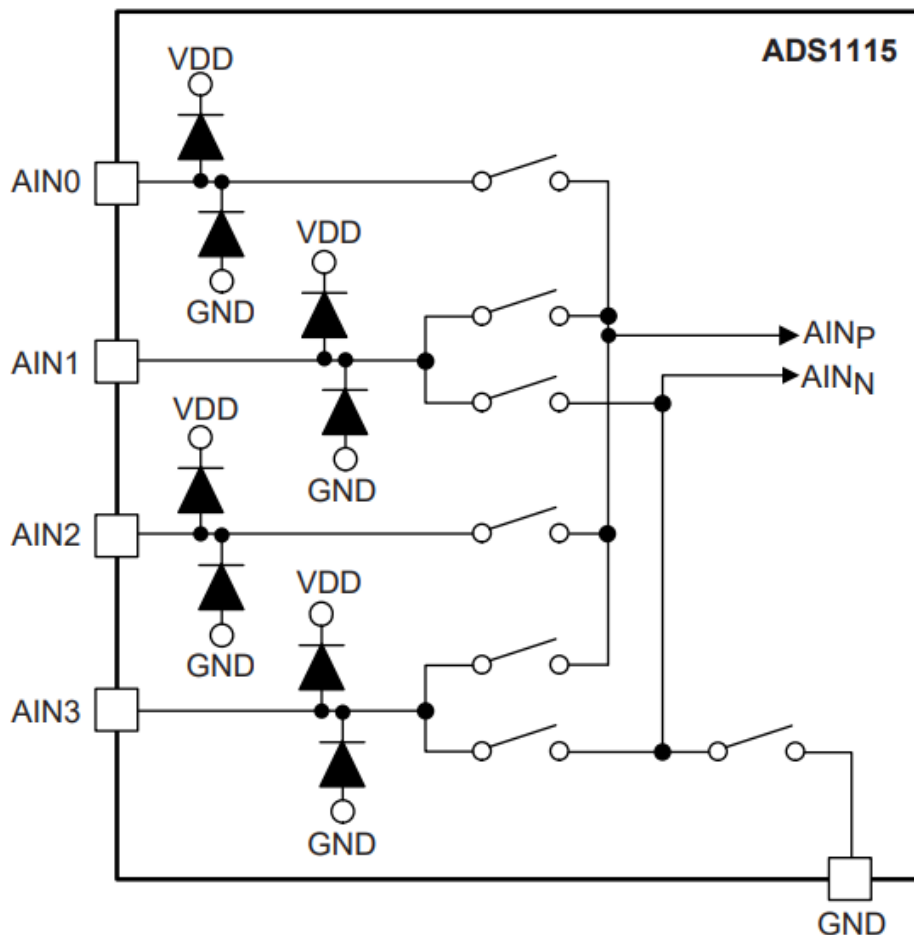


Рис. 3.5 внутрішня блок-схема мікросхеми ADS1115

Згідно схеми, можна зробити висновок, що необхідна конфігурація аналогових входів налаштовується за допомогою внутрішнього мультиплексора, умовно позначеного як контакти реле. У кожен момент часу щодо внутрішнього АЦП AIN_p і AIN_n може бути виставлена тільки одна певна конфігурація.

У разі використання диференціального режиму, діє одне правило: при AIN_p більше AIN_n напруга визначається як позитивна, а якщо AIN_p менше AIN_n - напруга буде негативна.

Якщо ж виставлений режим одиночних (несиметричних) входів, то вимірювання будуть проводитися виключно між позитивним вхідним сигналом і загальним провідником ADS1115. В даному режимі виміряти негативне напругу не представляється можливим.

Незалежно від обраного режиму, після надходження вхідного сигналу в вимірювальний тракт АЦП, у користувача з'являється можливість посилити його посередством вбудованого апаратного підсилювача PGA з різними коефіцієнтами підсилення.

Технічні характеристики модуля ADS1115

- Напруга живлення: 2V - 5,5V;
- Мінімальне споживання струму: 150 мкА;
- Дозвіл: 16 біт;
- Тип інтерфейсу: I2C (адреси 0x48, 0x49, 0x4A, 0x4B);
- Кількість входів: 4 несиметричних або 2 диференціальних;
- Внутрішній підсилювач PGA: до x16;
- Напруга зсуву: 100мкВ;
- Настроюється швидкість обробки даних: 8-860 вибірок / сек.
- Вихідний програмований компаратор;
- Діапазон робочих температур: 40oC ... + 125oC;
- Тип корпусів мікросхеми: X2QFN-10 або VSSOP-10;

- Розмір модуля: 28x16мм.

3.4 Інтерфейс I2C 20x4 РК-дисплей з Arduino Uno

Шина Inter-Integrated Circuit (I2C) - це двопровідний послідовний інтерфейс, спочатку розроблений корпорацією Phillips для використання в споживчих товарах. Це двонаправлена шина, яка легко впроваджується в будь-який процес IC (NMOS, CMOS, біполярний) і забезпечує простий міжмікросхідний зв'язок. Зв'язки мінімізовані за допомогою послідовної лінії передачі даних (SDA), послідовної тактової лінії (SCL) та загальної основи для передачі всіх комунікацій. I2C отримав широке визнання і навіть послужив прототипом для шини управління системою (SMBus), яка є підмножиною I2C.

В основі адаптера лежить 8-бітний чіп розширювача вводу-виводу - PCF8574. Ця мікросхема перетворює дані I2C з Arduino в паралельні дані, необхідні РК-дисплею.

Плата також постачається з невеликим підлаштовувачим резистором для точного регулювання контрастності дисплея.



Рис. 3.6 Адаптер I2C для LCD 1602 2004

на платі є перемичка, яка подає живлення на підсвічування. Щоб контролювати інтенсивність підсвічування, ви можете зняти перемичку і подати зовнішню напругу на виводи, які позначений як «світлодіод».

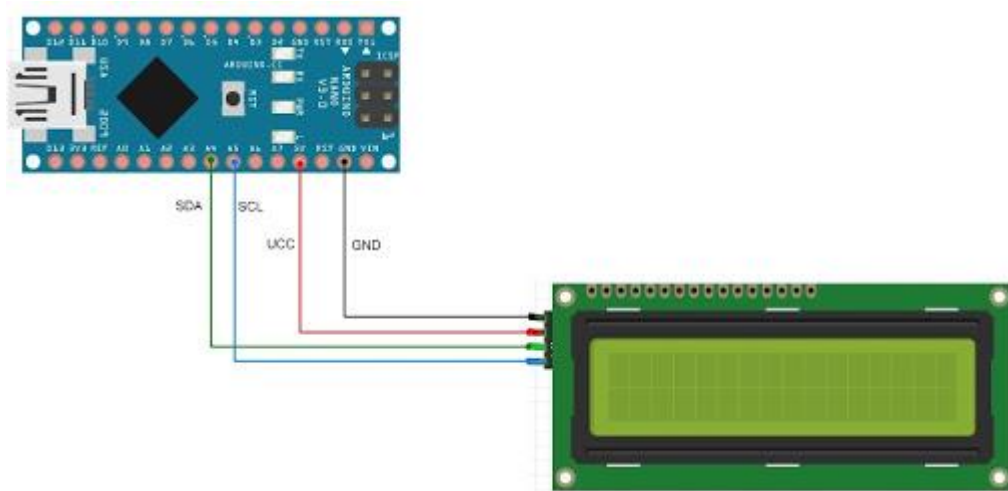


Рис. 3.7 підключення адаптеру I2C до Arduino Nano

Адаптер I2C має основні чотири виводи для підключення через інтерфейс

- Ground є заземлюючим штифтом і повинен бути підключений до заземлення Arduino.
- VCC подає живлення на модуль та РК-дисплей. Підключіть його до виходу 5V Arduino або окремого джерела живлення.
- SDA є вхід для послідовних даних. Ця лінія використовується як для передачі, так і для прийому. Підключіть до виводу SDA на Arduino.
- SCL - це послідовний тактовий вхід. Це сигнал синхронізації, який подається пристроєм Bus Master. Підключіть до виводу SCL на Arduino.

Налаштування контрастності РК-дисплея

Після підключення РК-дисплея вам потрібно буде відрегулювати контрастність дисплея. На модулі I2C ви знайдете потенціометр, який ви можете повертати за допомогою маленької викрутки.

Підключіть USB-роз'єм Arduino для живлення РК-дисплея. Ви повинні побачити, як підсвічується світло. Тепер обертайте потенціометр, доки не з'явиться перший рядок прямокутника.



Рис. 3.8 Змінний резистор для відрегулювання контрастності

Встановлення бібліотеки

Для запуску наступних ескізів вам потрібно встановити бібліотеку під назвою LiquidCrystal_I2C. Ця бібліотека є вдосконаленою версією бібліотеки LiquidCrystal, яка постачається в комплекті з IDE Arduino.

Щоб встановити бібліотеку, перейдіть до ескізу> Включити бібліотеку> Керувати бібліотеками ... Зачекайте, поки Менеджер бібліотек завантажить індекс бібліотек та оновить список встановлених бібліотек.

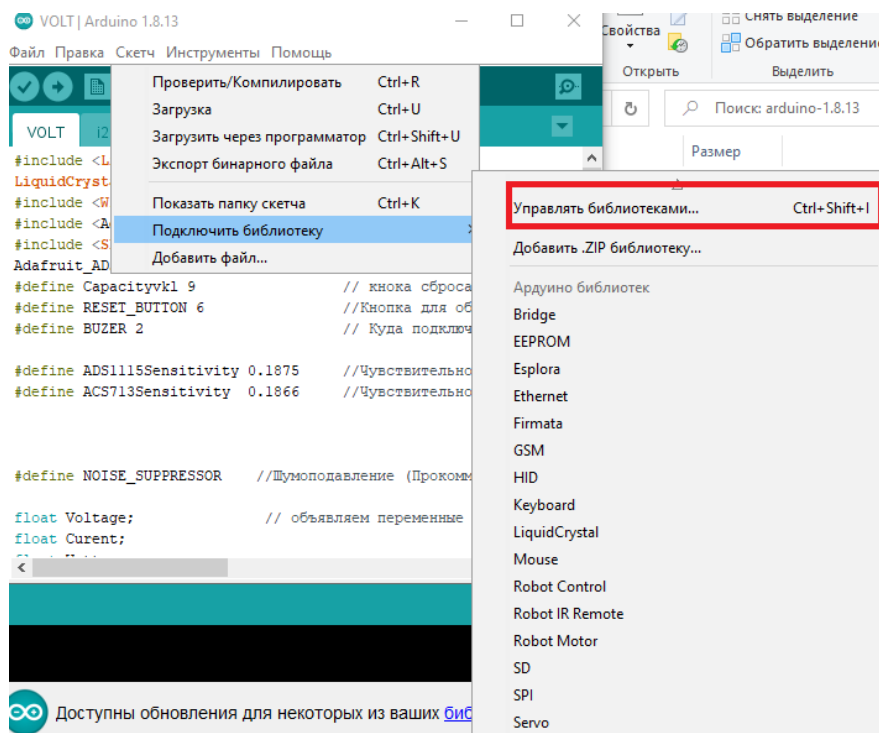


Рис. 3.9 Зразок пошуку налаштування бібліотек

Відфільтруйте пошук, набравши "liquidcrystal" . Має бути пара записів. Шукайте бібліотеку LiquidCrystal I2C. Натиснувши на цей запис, а потрібно вибирати пункт «Встановити».

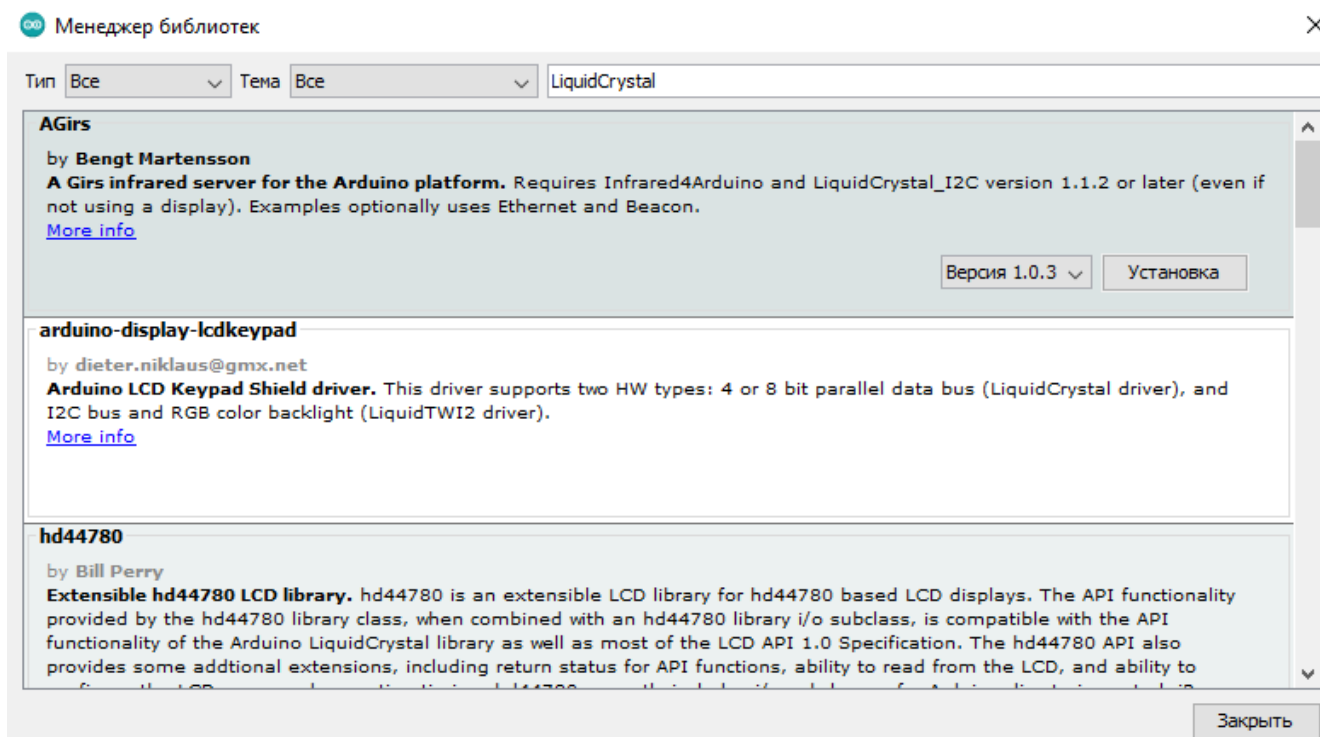


Рис. 3.10 Зразок пошуку потрібної бібліотеки

Адреса I2C вашого РК-дисплея залежить від виробника, як уже згадувалося раніше. Якщо на вашому РК-дисплеї є мікросхема PCF8574 від Texas Instruments, його стандартна адреса I2C - 0x27 Нех . Якщо на вашому РК-дисплеї є мікросхема PCF8574 від напівпровідників NXP, його типовою адресою I2C є 0x3F Нех.

На цьому моменті з налаштуваннями все, тепер ми повинні завантажити скетч на сам мікроконтролер ардуіно.

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#include <SPI.h>
Adafruit_ADS1115 ads(0x48);
```

```

#define Capacityvkl 9
#define RESET_BUTTON 6
#define BUZER 2

#define ADS1115Sensitivity 0.1875
#define ACS713Sensitivity 0.1866
#define NOISE_SUPPRESSOR

float Voltage;
float Curent;
float Watt ;
float Capacity;
float PrimaryVoltage = 0.0;

float PrimaryCurrent = 0.0;
float AmendmentCurrent = 0.0;
float Current = 0.0;
unsigned long prevMillis;
float measureSingleEnded(uint8_t channel, uint8_t divider, uint8_t iterations) {
int16_t adc;
long accum = 0;
for (int i = 0; i < iterations; i++) {
adc = ads.readADC_SingleEnded(channel);

accum += adc;
}
return accum * divider * ADS1115Sensitivity / 1000 / iterations;
}
void measure(void) {

```

```

int16_t adc3;
adc3 = ads.readADC_SingleEnded(3);
float PrimaryVoltage = float(adc3) * ADS1115Sensitivity / 132.3; //132,3
float Chan1 = measureSingleEnded(2, 1, 10);
PrimaryCurrent = (Chan1) / ACS713Sensitivity;

Voltage = PrimaryVoltage;
Current = PrimaryCurrent - AmendmentCurrent;

if (digitalRead (RESET_BUTTON) == !HIGH) {
    AmendmentCurrent = PrimaryCurrent;
}

}

void setup()
{
    lcd.begin();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print("VOLTMETR");
    lcd.setCursor(4, 2);
    lcd.print("By Pinchuk");
    lcd.setCursor(4, 3);
    lcd.print("Ver 1.0");
    delay(2000);
    lcd.clear();
}

```

```

ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS);
ads.begin();
pinMode(Capacityvkl, INPUT_PULLUP);
pinMode(BUZER, OUTPUT);
BEEP ();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Voltage:");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Current:");
lcd.setCursor(0, 2);
lcd.print("Power:");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("Capacity:");
lcd.setCursor(16, 0);
lcd.print("V");
lcd.setCursor(16, 1);
lcd.print("A");
lcd.setCursor(16, 2);
lcd.print("W");
lcd.setCursor(16, 3);
lcd.print("A/h");
pinMode(RESET_BUTTON, INPUT_PULLUP);
}
void BEEP () {
  digitalWrite(BUZER, HIGH);
  delay(20);
  digitalWrite(BUZER, LOW);
  delay(20);
}

```



```

}
void loop()
{
measure();

if (Current >= 10) {
    BEEP ();
}

#ifdef NOISE_SUPPRESSOR
шума вблизи нуля ++++
if (Voltage <= 0.015) {
Voltage = 0;
}
if (abs(Current) <= 0.015) {
Current = 0;
}
if (abs(Watt) <= 0.015) {
Watt = 0;
}
#endif

if (Voltage >= 10.0) {
lcd.setCursor(9, 0);
} else {
lcd.setCursor(9, 0);
}
lcd.print(" ");

```

```
lcd.print(Voltage, 2);  
lcd.print(" ");  
if (Curent < 0) {  
  lcd.setCursor(8, 1);
```

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА БЛОКА ЖИВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРИСТРОЮ

4.1 Схемотехнічна складова

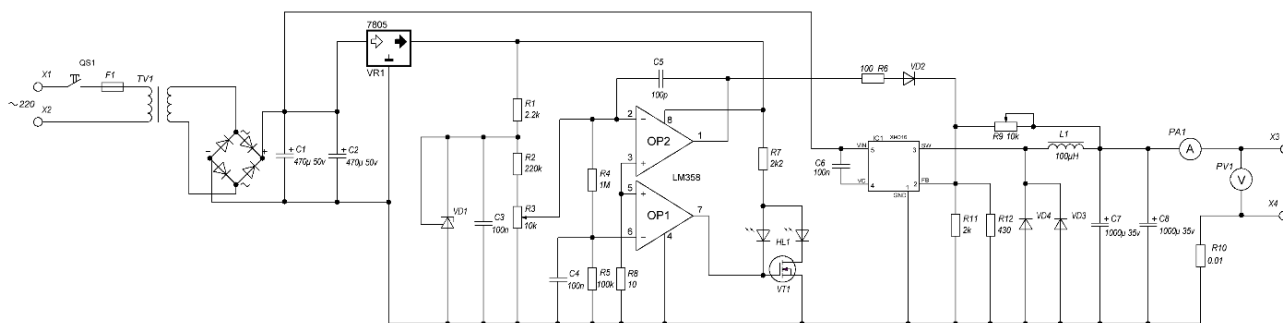


Рис. 4.1 Схема лабораторного блоку живлення

Принцип роботи:

Напруга 220В входить на понижуючий трансформатор «TV1» де знижується до рівня 24в змінної напруги і далі вирівнюється на на діодному мості, далі напруга згладжується конденсаторами і прямує на живлення «XL4016» конвертора і стабілізатора напруги який живить операційний підсилювач «LM358» резистор «R3» задає максимальний струм навантаження, а максимальну напругу задає резистор «R9» індикація режиму роботи блоку живлення відображається на світлодіоді «HL1».

Рівень вихідної напруги формує DC-DC конвертор «XL4016», рівень напруги та струму відображає амперметр та вольтметр. Індукція дроселя «L1» накоплює струм, а конденсатори «C7», «C8» згладжують вихідну напругу.

4.2 Внутрішня робота DC-DC конвертора

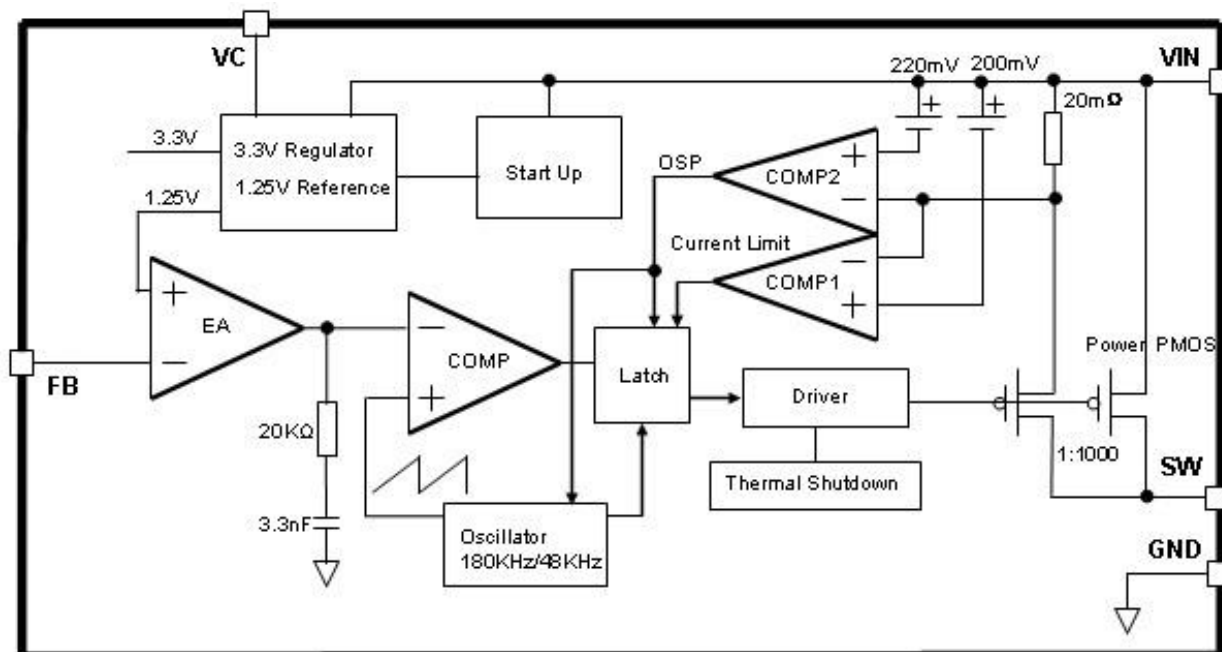


Рис.4.2 Внутрішня блок-схема DC-DC конвертора.

На вхід VIN подається напруга живлення, потім струм поступає на блоки запуску «Start up» далі на блок задання потужності і порівнюється на компараторі «EA» з виводом зворотного зв'язку.

Коли напруга на виводі «FB» більше за 3.3в то модуль виходить в захист, тобто виключається, а якщо менше 0.8В то включається.

Блок «Oscilator» має частоту 180KHz і 48KHz. Коли вихідний ланцюг замкнутий блок «Oscilator» перемикається на частоту 48KHz, а в звичайному стані 180KHz сигнал з «Oscilator» порівнюється с ланцюгом зворотного зв'язку «EA» Далі сигнал прямує на блок «Latch».

DC-DC конвертор має в собі 2 транзистора, які підключені паралельно, цими транзисторами керує блок «Driver» на котрий поступає сигнал з блоку «Latch».

«Comp1» обмежує струм навантаження. А «Comp2» задає режим роботи блоку «Oscilator».Транзисторами «Power Mos» керує блок «Driver» на який задається сигнал з блоку «Latch»

4.3 Практичне застосування

Кожного разу після зборки плати настає момент, коли потрібно все-таки перевірити на працездатність пристрій. Можна заживити від батарейки або акумулятора. Але струм від них буде невеликим, тривалість роботи - сумнівна, а стабільність напруги на виході буде змінюватись. Ось тут і стане в нагоді регулюючий блок живлення, яким ми можемо задавати потрібну вихідну напругу і струм. Також крім як при Перевірці зібраної схеми БЖ в разі і при ремонті радіоелектроніки, коли блок живлення ремонтуючого пристрою несправний.

Велике поширення отримав лабораторний блок живлення, який купують для медичних установ. В першу чергу це операційні та пластичні клініки, які використовують апарат як випрямляч або стабілізатор напруги. Справа в тому, що хороший БЖ віддає задану напругу використовуючи внутрішні системи стабілізації, що в умовах нестабільної роботи міських електромереж вкрай важливі. Наприклад, ми маємо апарат штучного дихання, що працює від зовнішнього БЖ, схожого на блок ноутбука. Вони живляться від мережі 220-240 В і перетворюють їх в необхідні 24 в процентному відношенні. Таким чином, при падінні напруги в мережі до 180-190 В, він віддає не більше 20 вольт. Для здоров'я і життя пацієнта такий стрибок може бути фатальним. Лабораторний БЖ при будь-якому вхідному напрузі видає потрібні 24 В.

Практично така ж ситуація і з ремонтом техніки, але тут загроза не життя пацієнта, а працездатності елементів пристрою. Не використовуються звичайний стабілізатори тому що - лабораторний блок живлення, ціна якого буде така ж, як у стабілізатора, буде більш багатофункціональний. Навіть в найпростішому БЖ буде маса перехідників і типів підключення, правильна полюсність виводів (+/-) і так далі, тоді як стабілізатор просто підніме вхідну напругу 220 В, не більше.

Висновок

Так як БЖ є невід'ємною частиною радіоелектронної апаратури, засоби вторинного електроживлення повинні жорстко відповідати певним вимогам, які визначаються як вимогами до самої апаратури в цілому, так і умовами пропонованими до джерел живлення і їх роботі в складі даної апаратури. Кожен з параметрів джерел живлення, що виходить за межі припустимих вимог, вносить дисонанс у роботу пристрою. Тому я саме розробив лабораторний блок живлення, так як на сучасному ринку нема гідних альтернативних варіантів за співвідношенням ціни і якості, моя мета зробити функціональний та доступний блок живлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Maisheng Ms3010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ozon.ru/product/laboratornyy-blok-pitaniya-istochnik-pitaniya-maisheng-ms3010d-30-v-10-a-246977622/>
2. UNI-T UTP3305 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.unitrend.com/html/product/gongye/thi/UTP3300_Series/UTP3305.html
3. МСН К305D [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.parkflyer.ru/ru/product/1565191/>
4. NPS605W [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amazon.com/ККmoon-Switching-Precision-Adjustable-Regulated/dp/B07TLLYVFP>
5. Мікроконтролер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер>
6. Arduino Uno [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all-arduino.ru/product/arduino-uno>
7. Модуль ADS1115 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod2118-16-bit-4-kanala-i2c-аср>
8. Характеристики РСF8574 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://3v3.com.ua/product_7395.html
9. Arduino Nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>
10. Характеристики Arduino Nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/>
11. АЦП [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mymcu.ru/articles/kak-rabotayut-analogo-tsifrovie-preobrazovateli-что-mozhno-uznat-iz-spetsifikatsii-na-atsp.html>