

УДК 621.317.75

Портативний цифровий тестер-осцилограф

Андрієнко О.В., к.т.н., доц., Терлецький О.В.

Вступ

Осцилограф – найпоширеніший вимірювальний прилад, який використовується в усіх галузях науки і техніки, саме тому розробка нових рішень в цій галузі є на сьогодні актуальною. Основне завдання осцилографа – побудова часової залежності напруги сигналу $U(t)$ – осцилограми. Осцилограф, дозволяє проводити візуальний контроль таких характеристик електричних сигналів, як форма, період, амплітуда, полярність або тривалість та інші. Сучасний прогрес в електроніці обумовлює широке впровадження цифрових методів реєстрації та обробки електричних сигналів [1]. Ця тенденція вплинула і на вимірювальні прилади, з'явилася можливість створити портативний цифровий осцилограф. Такі осцилографи поступово набирають великої популярності у сфері, де основними факторами є портативність пристрою та можливість швидкого визначення необхідних параметрів сигналів, що досліджуються. Цей тип осцилографів використовуються за стислих та некомфортних умов виконання роботи а також для роботи в польових умовах, коли дуже важлива мобільність приладу.

Головні сфери використання портативних осцилографів - це розробка, ремонт та налаштування електронних пристроїв в галузях:

- автоматизовані виробничих лінії;
- радіозв'язок і радіопередавачі;
- системи безпеки;
- збір та передача телеметричних даних, в тому числі в системах нагляду та спостереження;
- первинні і вторинні джерела живлення;
- електрообладнання автотранспорт-ту.

Особливість використання портативного осцилографу полягає в здобутті візуального формату процесу, що розвивається в конкретному вузлі схеми електричної за значних обмежень габаритів робочого простору. Ідеальне вирішення – це вмонтувати осцилограф в щуп. Тоді можливо спостерігати процес в контрольній точці за будь-яких робочих обставин.

Така особливість портативного осцилографічного пристрою потребує зниження вимог до основних параметрів: точності і чутливості, але

перевищує відомі пропозиції у зменшенні габаритів.

Дослідження джерел технічної інформації не виявило широкого вибору портативних осцилографів із зазначеними вище технічними можливостями, тим паче таких, які могли би бути розташовані безпосередньо в електронному щупі інженера. Прилад з малими габаритами може застосовуватися у сферах ремонту автоматизованих виробничих ліній, джерел живлення, дрібної цифрової апаратури, швидкої перевірки працездатності основних вузлів друкованої плати в цифровій та аналоговій електроніці. На сьогодні такий прилад має шанс стати корисним і навіть необхідним у використанні як приватними особам так і сервісним центрам. Тому означена тема розробки є актуальною і перспективною з точки зору конкурентної здатності.

Метою та завданням є розробка портативного цифрового тестера-осцилографа, який би забезпечував можливість візуальної індикації та швидкого дослідження таких параметрів як залежність напруги від часу $U(t)$, надавав діаграму графіку в стислому робочому просторі, можливість масштабування отриманих даних, можливість використовувати прилад в польових умовах.

На сьогоднішній день елементна база РЕА розвивається швидкими темпами, з'являються компактні нові ІМС та контролери на кристалі, програмування яких може замінити велику кількість дискретних логічних

елементів. Виходячи з висунутих вище вимог та аналізу економічних та конструктивних показників було встановлено: що оптимальне вирішення конструкції осцилографа може бути розроблене на принципі аналого-цифрової обробки вхідного сигналу. Тоді цей підхід може бути використаний для створення цілого сімейства портативних осцилографів, що є другою ознакою актуальності наданої роботи.

Основна частина

На сьогоднішній день на ринку пропонують великі за розміром осцилографи, які можуть працювати тільки в лабораторних умовах. У більшості сервісних центрів з ремонту РЕА використовуються такі широко відомі осцилографи як: С1-91, С1-94. Ці прилади об'ємні, через що уповільнюють діагностику вузлів РЕА, та швидко виявити несправність. Часто потрібно демонтувати вузол з лінії та везти його в лабораторію для діагностики. Скористатися такими приладами безпосередньо на місці ремонту інколи неможливо.

На ринку є також пропозиція цифрових осцилографів [8]. Вони надають метрологічний сервіс та значний перелік каліброваних тестових сигналів. Але вартість приладів теж відповідно висока Їх габарити в три рази менші за С1-91, але до портативних такі прилади не відносяться. Тому діагностику несправності електронних вузлів та ремонт ліній виробництва навіть за допомогою цифрового осцилографа

часто не можливо здійснити безпосередньо на місці.

З'явилися нові дослідні зразки портативних кишенькових осцилографів [9]. Але вони також не можуть бути вмонтовані в електронний щуп інженера.

Перелік бажаних можливостей портативного осцилографа складає:

- функцію відображення сигналу у заданому діапазоні частот;
- відображення форми сигналу у заданому діапазоні амплітуд;

– прийнятний час індикації приладу;

– вимірювання тривалості та амплітуди сигналів;

– масштабування зображення осцилограми;

– захист від високої напруги на вході;

– живлення від акумуляторної батареї.

Проведене дослідження дозволило відсіяти багато варіантів реалізації задуму та зупинитись на варіанті побудови портативного осцилографа на основі модуля Arduino [10], рис.1.

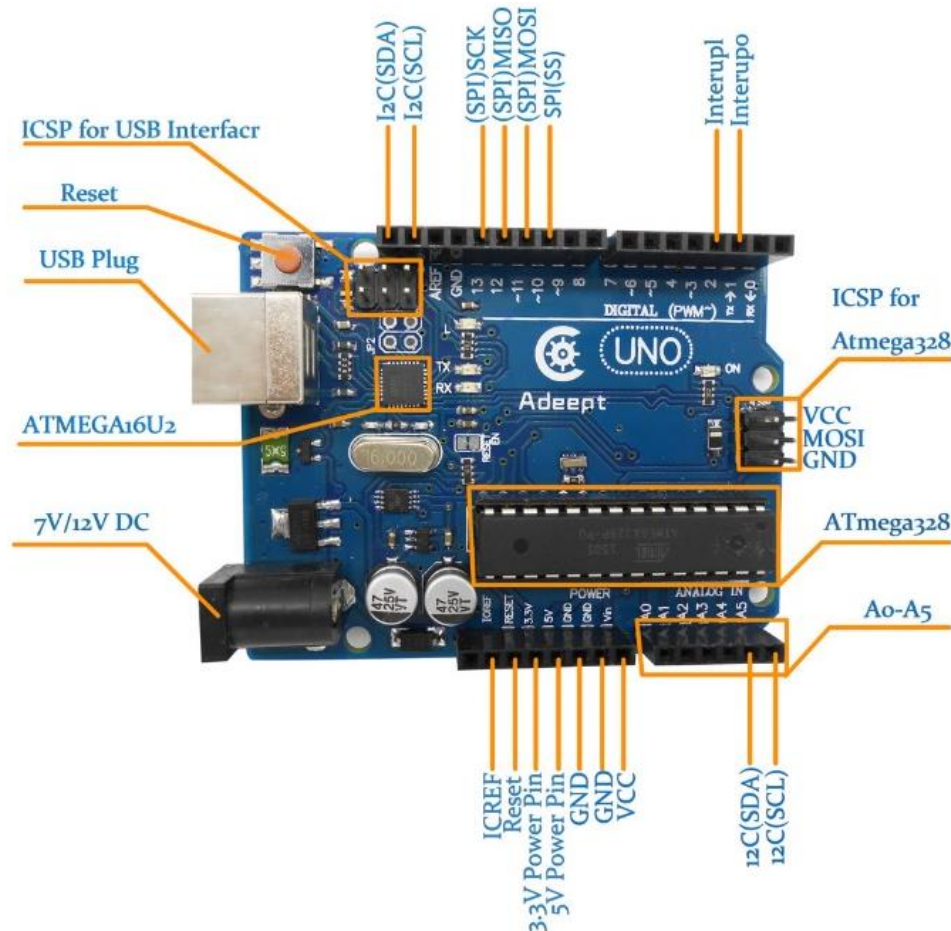


Рис.1. Модуль Arduino

Модуль приваблює тим, що містить мікроконтролер серії ATmega 328P та дозволяє підключити рідинно-кристалічний дисплей у модульному виконанні. Більш того, він містить 6-канальний, або 10-канальний АЦП в залежності від типу корпусу. Але дослідження [11] показали, що використання внутрішнього аналого-цифрового перетворювача (АЦП) є недоцільним, бо забезпечує частоту дискретизації лише 8,9 кГц. Щоправда, при роботі за перериваннями можлива частота 77 кГц. Але тоді неможливо оперувати з масштабуванням вхідного сигналу і

рівень вхідного сигналу обмежений діапазоном 1 В.

Таким чином, при використанні мікропроцесорного модуля Arduino виникла задача розширення вхідного динамічного діапазону та частоти дискретизації вхідного сигналу. Ця задача вирішується застосуванням зовнішнього АЦП до вхідного блоку та керованого масштабування вхідного сигналу.

Відповідь на розв'язання цього та інших супутніх питань відображає структурна схема портативного осцилографа, що наведена на рис.2.

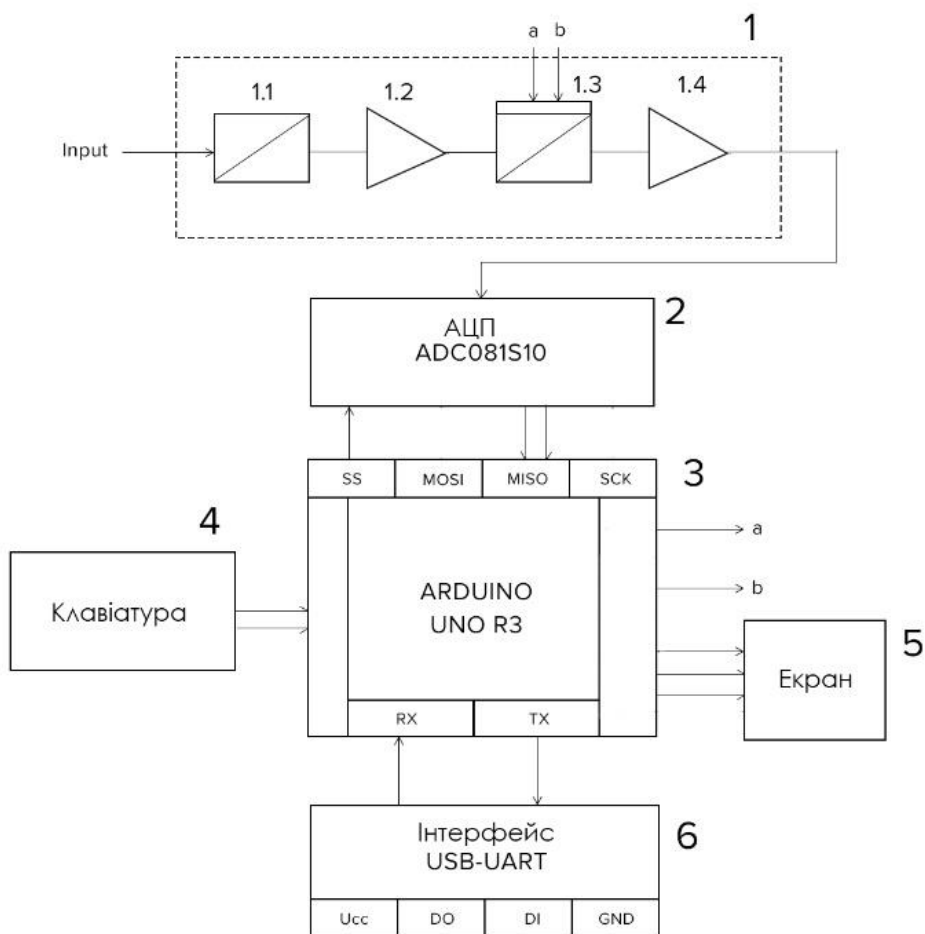


Рис.2. Структурна схема портативного цифрового тестер – осцилографа. 1 – блок попередньої обробки сигналу (1.1 – подільник напруги, 1.2 – буферний підсилювач, 1.3 – керований подільник, 1.4 – підсилювач

нормування сигналу), 2 – АЦП, 3 – блок керування, 3 – клавіатура, 5 – екран, 6 – перетворювач USB-UART

Ця структурна схема не є повним відображенням блоків, що взаємодіють між собою, бо модуль Arduino не забезпечує висвітлення реальних зв'язків між блоками, але надає можливість програмувати роботу внутрішніх складових. Для розробки пристрою з урахуванням викладених вище досліджень прийняті наступні параметри:

- розрядність 8 біт;
- частота дискретизації 1 МГц;
- діапазон вимірювання напруги 0 ... +50В;
- напруга живлення 7...12В;
- похибка вимірювання $\pm 5\%$;
- максимальна частота вимірювання 200 кГц;
- вхідний опір не менше ніж 100 кОм;
- робота схеми в температурному діапазоні від -10 до +40°C.

Отже, сигнал, що поступає на вхід осцилографа, проходить попередню обробку блоком **1**: масштаб сигналу узгоджується з розрядною сіткою АЦП. Для цього великий за розмахом напруги сигнал послабляється скоригованим за частотою подільником напруги, а слабкий сигнал посилюється. Таким чином відбувається нормування вхідного сигналу по динамічному діапазону АЦП.

Подільник напруги **1.1** зменшує у 10 разів розмах вхідного сигналу, наближуючи його до вхідного діапазону АЦП.

Далі сигнал через буферний підсилювач **1.2** з одиничним коефіцієнтом підсилення надходить на керований подільник напруги **1.3**, що узгоджує межі вхідного сигналу з вхідним діапазоном АЦП з адаптацією до розмаху вхідного сигналу. Цей подільник керується за допомогою мікроконтролера через входи «а» та «б».

Підсилювач **1.4** виконує функцію підсилення сигналу у 10 разів та фільтрацію високих частот сигналу, аби забезпечити належні умови для аналого-цифрового перетворення. АЦП **2** виконує оцифрування сигналу та передачі його до керуючої плати (мікроконтролера).

Нормований по амплітуді вхідний сигнал надходить до АЦП **2** і перетворюється у цифрову форму. Цифрові відліки сигналу записуються в цифрову пам'ять. Швидкість запису визначається тактовою частотою АЦП. Цим же фактором обмежена і смуга частот вхідного сигналу. Нижня межа не обмежена, що дозволяє досліджувати сигнали з малою частотою, навіть рівні постійної напруги.

Блок керування **3** складається з мікроконтролера та інтерфейса користувача, який використовується

для налаштування осцилографа при дослідженні параметрів вхідних сигналів. Мікроконтролер виконує функції: керування блоком попередньої обробки сигналу **1**, обробки команд з клавіатури **4**, запису сигналу, що досліджується, в оперативну пам'ять, а також обробку та виведення записаної інформації на екран **5** пристрою.

Панель керування забезпечує можливість користувачу налаштувати осцилограф на вимірювання параметрів сигналу, що досліджується. Панель керування **4** включає в себе кнопки вибору режиму роботи осцилографа, перемикачі, що забезпечують калібрування амплітуди вхідного сигналу, вибір частоти дискретизації при запису осцилограм та при виведенні її на екран. Запис, зчитування та передачу цифрових даних в процесі дослідження вхідного сигналу виконує мікропроцесорна платформа Arduino **5**. Екран використовується для відображення даних і керується мікроконтролером через інтерфейс модуля Arduino. Світлодіоди слугують індикацією передачі даних по відповідним інтерфейсам зв'язку МК. Перетворювач інтерфейсів **6** USB – UART надає змогу оновлення прошивки мікроконтролера та синхронізації за допомогою підключення його до ПК.

Оскільки апаратна обчислювальна платформа Arduino Uno базується на мікроконтролері ATmega 328P, в якому вже вбудований завантажувач, то зовнішній програматор не потрібен.

Це полегшує процес розробки програмного забезпечення для приладу, а також дозволяє швидко змінювати модулі програмного забезпечення. Відповідно до умов зазначених вище, частота дискретизації АЦП повинна бути не менше 1 МГц, а розрядність 8 біт. АЦП повинен мати змогу передавати дані на мікроконтролер для можливості їх обробки та відображення. Це враховано таким чином, що мікросхема має змогу передавати дані за допомогою інтерфейсу SPI. Також було враховано: розміри корпусу мікросхеми (корпусу типу SMD надавався більший пріоритет під час вибору), наявність та доступність АЦП на ринку та ціну на відповідні моделі. Тому обрано АЦП фірми Texas Instruments ADC081S101 основні характеристики наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики ADC081S10

Напруга живлення	+2,7В ... 5,25В
Діапазон робочих температур	-40°C ... +85°C
Вхідна напруга	0В ... +5.25В
Розрядність	8 біт
Частота дискретизації	1 МГц

При виборі екрану пристрою керувалися такими його властивостями та параметрами: портативність, роздільна здатність, напруга живлення, малий струм споживання, габаритні розміри екрану, швидкість відображення (оновлення інформації), доступні вбудовані інтерфейси (UART, SPI,

I2C), доступність на ринку, ціну та можливість швидкої заміни екрану у разі виходу його з ладу. Виходячи з вище сказаного, обрано готовий екранний модуль фірми Waveshare 1.3inch OLED екранний модуль з роздільною здатністю 128 x 64. Для лабораторного приладу така роздільна здатність замала, але для електронного щупа інженера – достатня. Зразки осцилограм наведені в [11]. Екранний модуль має вже вбудований контролер SH1106. Це полегшує розробку пристрою та надає змогу у разі певної несправності легко замінювати модуль. Екран керується за інтерфейсом SPI за доданим програмним забезпеченням модуля Arduino.

Основні критерії для вибору операційного підсилювача та аналогового мультиплексора: напруга живлення, смуга пропускання сигналу повинна бути не менше ніж в 10 разів більшою за частоту дискретизації АЦП, що в 5 разів перевищує мінімум за теоремою Котельникова і дає змогу спостерігати імпульсні сигнали без зазначних у теоремі Котельникова узгоджених фільтрів. Мультиплексор являє собою перемикач вхідного діапазону – на його основі побудовано керований подільник напруги. Відповідно до цих критеріїв обрано аналоговий мультиплексор фірми Analog Devices ADG704, та операційний підсилювач фірми Analog Devices AD8033, що виконує функцію буфера (повторювача) для передачі сигналу до АЦП. Також обрано регулятор напруги, основні критерії вибору: вихідна напруга повинна

складати 5В та вихідний струм, що споживають боки тестера-осцилографа. Виходячи з вище сказаного обрано стабілізатор напруги фірми Texas Instruments UA78M05. Arduino Uno представляє собою готову відкриту платформу, що поєднує у собі МК, перетворювач USB-UART та стабілізатор живлення, а це полегшує розробку, налаштування та оновлення пристрою. Для обробки вхідного сигналу, що поступає на АЦП, використовується частота дискретизації (тактова частота) з блоку управління, який регулює цю частоту в залежності від обраної тривалості розгортки і параметрів вхідного досліджуваного сигналу. Програмне забезпечення тестера-осцилографа розроблено у середовищі програмування Arduino IDE на мові програмування C++. Програма наочно реалізовує відповідні функції пристрою а саме:

- можливість відображення сигналу;
- отримання та оброблення інформації зі входу АЦП;
- можливість керування пристроєм;
- прийнятний час індикації.

Відповідно до вищезазначених умов створено алгоритм програми, що описує основні функції програмного забезпечення та допомагає зрозуміти та розробити програмне забезпечення для пристрою.

Алгоритм програми передбачає:

- підключення бібліотек для використання інтерфейсу SPI

- (SPI.h) та графічної бібліотеки екрану (U8glib.h);
- ініціалізацію змінних та констант;
- ініціалізацію портів (на вхід/вихід);
- ініціалізацію інтерфейсів SPI, I2C та UART інтерфейсів;
- ініціалізацію графічної бібліотеки екрану, що працює через інтерфейс I2C.

Ініціалізація роботи SPI з АЦП, полягає у встановленні частоти тактування $F_{clk}/4T=4\text{MHz}$, налаштування на зчитування спочатку старшого біта – MSBFIRST та встановлення режиму роботи – SPI_MODE3. Швидкість обміну даними через послідовний порт налаштовано на 9600 бод.

Головний цикл програми включає зчитування та обробку даних з АЦП, виведення даних на екран та перевірку отримання даних через послідовний інтерфейс.

Для отримання даних за допомогою інтерфейсу SPI до АЦП відправляються два байти нулів. У відповідь АЦП відправляє два інформаційних байти. Також відповідно до обраних користувачем функцій (стабілізація авторозгортки та ін.) програмно встановлюється формат даних для відображення на екрані.

Для виведення даних на екран використовується бібліотека "U8glib.h", яка включає основні функції для відтворення на екрані осцилограми та її параметрів:

- `u8g.drawStr()` – вивести текст
- `u8g.drawPixel()` – відтворити піксель
- `u8g.drawLine()` – відтворити лінію.

Відтворення осцилограми на екрані відбувається поступово – спочатку формується статичний текст (назви, величини), а потім відтворюється динамічна інформаційна складова – осцилограма сигналу та вибрана шкала частот. Передбачено можливість зміни користувачем через інтерфейс UART функцій обробки даних АЦП.

Висновки

1. В інженерній практиці доволі часто при ремонті та налагоджуванні електронної техніки в реальних умовах експлуатації виникає потреба в визначенні форми та параметрів електричного сигналу в конкретній точці електронної схеми за стислих та некомфортних умов виконання роботи. В цьому плані запропонована розробка портативного цифрового тестера-осцилографа є вельми актуальною.
2. Прилад реалізовано з використанням Arduino UNO на основі МК ATmega328P, що дало можливість суттєво скоротити час та витрати на розробку лабораторного макету пристрою.
3. Представлений в статті тестер-осцилограф має обмежені частотні та амплітудні характеристики на перевагу зменшення габаритів пристрою. На даному етапі це є основною задачею, а в подальшій розробці пристрою частотні та

амплітудні характеристики можна буде налаштувати на інші необхідні параметри.

4. Досягнуте зменшення габаритів портативного цифрового тестера-осцилографа дає можливість його виконання у вигляді електронного щупа інженера.

Література

1. Дьяконов В.П. Современная осциллография и осциллографы. Серия «Библиотека инженера» — М.: СОЛОН-Пресс, 2013. —320 с.:ил.
2. Осцилограф [Електронний ресурс] Режим доступу:<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D1%86%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84>
3. Документація на ATmega328P [Електронний ресурс] – Режим доступу:http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf.
4. Документація на ADC081S101 [Електронний ресурс] – Режим доступу:<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/adc081s101.pdf>.
5. Документація на екран 1.3inch OLED (B) [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.waveshare.com/wiki/1.3inch_OLED_\(B\)](http://www.waveshare.com/wiki/1.3inch_OLED_(B)).
6. Документація на ADG704 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADG704.pdf>.
7. Документація на AD8033 [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8033_8034.pdf.
8. Електронний ресурс — <https://toolboom.com/ru/articles-and-video/review-of-attends1000cm-series-digital-storage-oscilloscope/>
9. Електронний ресурс — <https://mysku.ru/blog/china-stores/57001.html>
10. Електронний ресурс https://www.fecegypt.com/uploads/dataSheet/1522237550_arduino%20uno%20r3.pdf
11. Електронний ресурс <http://robotosha.ru/arduino/analog-measurements-arduino.html>.