

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-  
передавальному тракті

**СПЕЦІАЛЬНІСТЬ**

172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ**

17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва

**ОСВІТНЯ ПРОГРАМА**


172 Телекомунікації та радіотехніка

Назва

КПТР.2018011.01.09 ПЗ

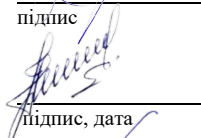
Виконала:

здобувач 4 курсу, група ТР-18-1

  
підпис

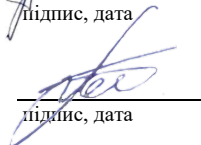
Олена ТОКАРСЬКА  
ініціали, прізвище

Керівник: канд. техн. наук, доцент

  
підпис, дата

Леся КАРПОВА  
ініціали, прізвище

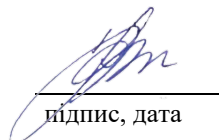
Нормоконтроль: канд. техн. наук, доцент

  
підпис, дата

Олег ПИВОВАР  
ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТМІТ  
д-р техн. наук, доцент

  
підпис, дата

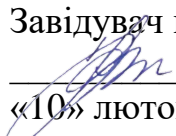
Сергій ПІДЧЕНКО  
Ініціали, прізвище

«25» травня 2022р.

Хмельницький, 2022

Хмельницький національний університет

Факультет	інформаційних технологій
Кафедра	телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій
Освітній рівень:	бакалавр
Галузь знань:	17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність:	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма:	172 Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ТМІТ  
 Сергій ПІДЧЕНКО  
«10» лютого 2022 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

ТОКАРСЬКІЙ Олені Ігорівні

Прізвище, ім'я по батькові здобувача

- 1 Тема проєкту: Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті  
Керівник проєкту: КАРПІОВА Леся Вікторівна  
Затверджено наказом по університету від «01» березня 2022р. № 18
- 2 Строк подання здобувачем проєкту на кафедру 25 травня 2022 року
- 3 Вихідні дані до проєкту: діапазон частот: 0 – 10 ГГц; хвильовий опір тракту: 50 Ом; динамічний діапазон вхідного сигналу 50 дБ; необхідна точність виміру 0,1 дБ; напруга живлення 12 В; вихідні інтерфейси: SPI, UART, I2C.
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
  - Оглядний розділ.
  - Конструкторсько-технологічний розділ.
  - Вибір, обґрунтування обладнання та компонентів вимірювача потужності.
- 5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):
  - функціональна схема;
  - електрично-принципова схема;
  - друкована плата пристрою;
  - презентаційні слайди.

6 Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

Розділ	Прізвища, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

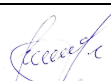
7 Дата видачі завдання 10 лютого 2022 року

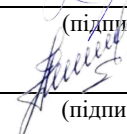
**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1.	Розробка завдання на кваліфікаційний проект	15.02.2022р.	виконано
2.	Складання індивідуального плану на кваліфікаційний проект	15.02.2022р.	виконано
3.	Написання першого (теоретичного) розділу	10.03.2022р.	виконано
4.	Написання другого розділу	26.03.2022р.	виконано
5.	Написання третього розділу	15.04.2022р.	виконано
6.	Написання вступу і загальних висновків та пропозицій до кваліфікаційного проекту	30.04.2022р.	виконано
7.	Оформлення кваліфікаційного проекту	10.05.2022р.	виконано
8.	Рецензування кваліфікаційного проекту	15.05.2022р.	виконано
9.	Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційного проекту	20.05.2022р.	виконано

Здобувач

Науковий керівник

  
 \_\_\_\_\_  
 (підпис, дата)

  
 \_\_\_\_\_  
 (підпис, дата)

Олена ТОКАРСЬКА

Леся КАРПОВА

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проєкту: «Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті»

Автор роботи: ТОКАРСЬКА Олена Ігорівна

Керівник роботи: канд. техн., доц. КАРПОВА Леся Вікторівна.

Пояснювальна записка: 66 сторінок, 65 рисунків, 2 таблиць, 25 джерела, 3 додатки.

Графічна частина: 1 плакати, 2 креслення, 16 презентаційних слайдів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИМІРЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ, ЛОГАРИФМІЧНИЙ ДЕТЕКТОР, МІКРОКОНТРОЛЕР.

*Метою кваліфікаційного проєкту* є синтез вимірювача потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті з використанням мікроконтролера.




У даній роботі розглянуто реалізацію вимірювача потужності НВЧ сигналів з використанням перетворювача на основі логарифмічного детектора та мікроконтролера. Проведено аналіз методів вимірювання потужності, та описано реалізацію вимірювача потужності радіотехнічних НВЧ сигналів.

Розроблено програмний код, структурну та електричну принципову схему пристрою, вибрано мікросхеми та інші елементи для вирішення поставлених завдань. Розроблено друковану плату. Виконані креслення та специфікація для всіх елементів готового пристрою.



## ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯДНИЙ РОЗДІЛ .....	11
1.1 Вимірювач потужності .....	11
1.1.1 Принципи вимірювання потужності НВЧ сигналу .....	11
1.1.2 Основні характеристики логарифмічних детекторів .....	14
1.2 Мікроконтролер .....	18
1.2.1 Пристрій та основні параметри .....	18
1.2.2 Пам'ять, що застосовується в мікроконтролерах.....	19
1.2.3 АЦП та ЦАП у мікроконтролерах .....	21
1.2.4 Послідовний та паралельний порти в мікроконтролерах .....	23
1.3 Цифрова фільтрація даних .....	27
1.3.1 Шуми та період вимірювань .....	27
1.3.2 Фільтр типу «Середнє, що біжить» .....	31
2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	33
2.1 Вибір мікросхеми логарифмічного детектора .....	33
2.2 Вибір мікроконтролера .....	37
2.3 Написання коду мікроконтролера .....	41
3 ВИБІР, ОБҐРУНТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТА КОМПОНЕНТІВ	
ВИМІРЮВАЧА ПОТУЖНОСТІ .....	47
3.1 Проектування мікросмужкової лінії передачі .....	47
3.2 Вибір мікросхеми перетворювача напруги .....	54
3.3 Проектування друкованої плати .....	56
3.4 Проектування корпусу пристрою .....	59

						КПТР. 2018011.01.09 ПЗ						
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата								
Розробив	Токарська О.І.			Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті						Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Карпова Л.В.											
Н. контр.			Пояснювальна записка						ХНУ, гр. ТР-18-1			
Затв.	Підченко С.К.											

ВИСНОВОК .....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	65
ДОДАТОК А	
ДОДАТОК Б	
ДОДАТОК В	





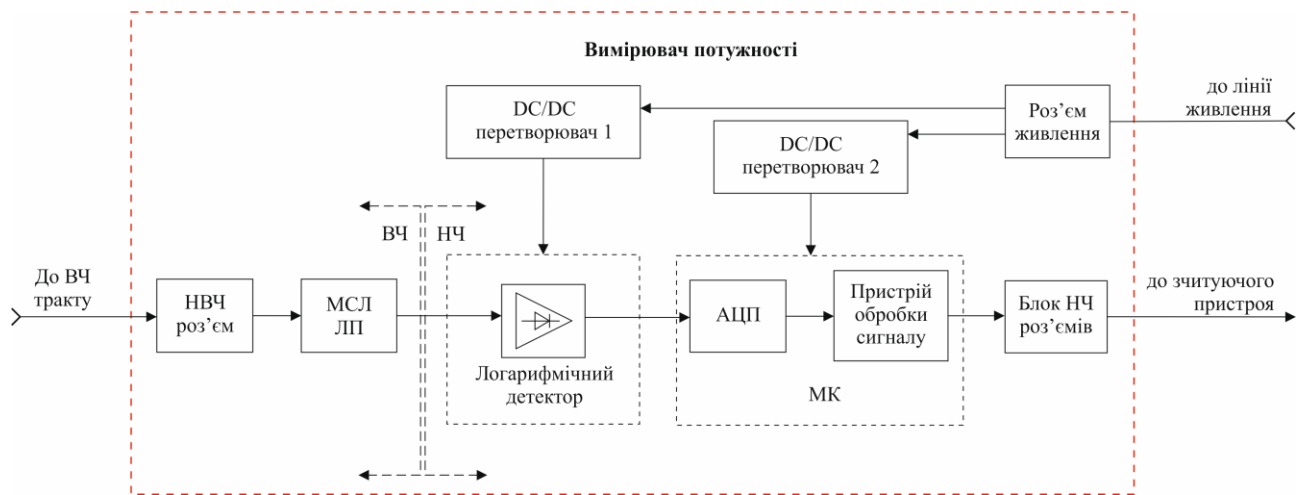


Рисунок 1.1 – Функціональна схема вимірювача потужності

Цю структурну схему умовно можна розділити на дві частини: високочастотну (ВЧ) та низькочастотну (НЧ). Так, високочастотний сигнал поширюється до логарифмічного детектора, після якого набуває вигляду квазіпостійного струму. Ця умова накладає обмеження на ВЧ частину пристрою. Усі елементи до логарифмічного детектора повинні мати однаковий хвильовий опір для забезпечення максимальної якості узгодження. До низькочастотної частини схеми таких вимог не пред'являється. Передбачається, що сигнал в основному радіочастотний тракт має велику потужність. На вимірювальний пристрій надходить сигнал малого рівня, отриманий шляхом включення тракт спрямованого відгалужувача, який пропускатиме в свою вторинну лінію малий рівень потужності.

У цій структурній схемі за безпосереднє вимір потужності відповідає мікросхема логарифмічного детектора. Сигнал з ВЧ тракту надходить на 50-омний НВЧ роз'єм. Далі, через мікросмужкову лінію передачі (МСЛ ЛП), хвильовий опір якої також має становити 50 Ом, сигнал проходить на мікросхему детектора. Напруга з виходу мікросхеми надходить на вхід мікроконтролера (МК). Мікроконтролер здійснює аналого-цифрове перетворення сигналу, за рахунок вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП), здійснює його обробку та фільтрацію вхідного сигналу

від різних перешкод, а також виводить інформацію по одному з цифрових інтерфейсів на пристрій для читання через один з низькочастотних (НЧ) роз'ємів. За живлення пристрою відповідатиме пара перетворювачів напруги з 12 В постійного вхідного струму до 5 В, необхідних для живлення мікроконтролера та логарифмічного детектора. Весь пристрій буде виконано на одній друкованій платі, яка, у свою чергу, розташовуватиметься в металевому корпусі.

					КПТР. 2018011.01.09 ПЗ	Арк
						10
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯДНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1. Вимірювач потужності

### 1.1.1. Принципи вимірювання потужності НВЧ сигналу

На сьогоднішній день існують різні методи вимірювання потужності НВЧ сигналу. При проектуванні пристрою необхідно розуміти їх принципи, переваги, недоліки та особливості застосування у тих чи інших пристроях.

Усі вимірювачі потужності НВЧ діапазону діляться на 3 категорії точності: I розряду, похибка яких 0.7-1.5%, II розряду, похибка яких 1.5-5% та прилади з похибкою п більше 5%.

Ватметри можуть вмикатися до тракту по-різному. Так розрізняють ватметри поглинаючого типу і проходить. Перший тип є двополіусник, який включається як кінцеве навантаження лінії передачі. Таке кінцеве навантаження поглинає всю потужність, що входить до неї. Другий тип ватметра представляє чотиріполіусник. У цьому чотиріполіуснику розсіюється лише мала частина проходить через тракт потужності. Поділ на типи носить умовний характер, оскільки якщо ватметр поглинаючого типу включити в основний тракт через спрямований відгалужувач, він вже буде ватметром прохідного типу. У даній роботі буде використовуватися детекторний пристрій прохідного типу [3].

Спрямований відгалужувач (СВ) – це пристрій, який використовується для спрямованого відгалуження частини потужності електромагнітної хвилі з однієї лінії передачі до іншої. Представляє два пов'язані особливим чином відрізка лінії передачі (рисунок 1.2). Властивості СВ описуються матрицею розсіювання або матрицею S-параметрів. Спрямовані відгалужувачі бувають різних типів за конструктивним виконанням та принципом дії.




					КПТР. 2018011.01.09 ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Токарська О.І.			Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті		11	
Перевірив		Карпова Л.В.						
Н. контр.					Пояснювальна записка	ХНУ, гр. ТР-18-1		
Затв.		Підченко С.К.						



Рисунок 1.2 – Функціональна схема направленого відгалужувача

Вважатимемо, що спрямований відгалужувач вже включений в основний радіочастотний тракт, тому займатися його розрахунком та реалізацією немає необхідності.

Вимірювати потужність НВЧ коливань можна з допомогою діодних детекторів. Також широко застосовуються датчики Холла та детекторні головки, основним елементом яких є термістор. Перші не вимогливі до погодження тракту. Другі змінюють свій опір під впливом ЕМ хвиль. Ця зміна вимірюється спеціальним пристроєм. На основі цього виміру обчислюється потужність. Обидва пристрої здатні вимірювати потужність сигналу, частота якого може становити кілька десятків ГГц. Однак, у даного методу є недолік – термістор не може нагріватися та остигати миттєво, внаслідок цього виникає інерційність, що не дозволяє відстежувати швидкі зміни рівня потужності сигналу. Іншим недоліком є те, що необхідний набір з термісторних головок під різні частотні діапазони, оскільки опір термістора нелінійно залежить від частоти [2].

Калориметричні та терморезисторні ватметри призначені для вимірювання середніх та високих рівнів потужності. Вони використовують принцип вимірювання температури чи опору елементів. Дані параметри змінюються через розсіювання ЕМ енергії коливань, що вивчаються в детекторному пристрої. Такі прилади зазвичай використовуються в лабораторних умовах через свою громіздкість і невелику швидкість вимірювання. Однак такі вимірники дуже точні та здатні працювати на вкрай високій частоті.



## 1.2 Основні характеристики логарифмічних детекторів

Як згадувалося вище, логарифмічний детектор перетворює вхідний сигнал на певний еквівалент, виражений в децибелах. Ця властивість дозволяє порівняти ЛД до вимірювального приладу. До того ж ЛД є нелінійним пристроєм, який переводить сигнал із однієї області до іншої.

Напряга на виході ЛД виглядає так:

$$U_{вих} = U_y \cdot \log\left(\frac{U_{вх}}{U_x}\right), \quad (1.1)$$

де  $U_{вих}$  – вихідна напруга ЛД,  $U_{вх}$  – напруга вхідного сигналу,  $U_y$  – напруга, що визначається крутістю характеристики, виявляється у В/декаду,  $U_x$  – напруга перехоплення.

Виходячи з виразу (1.1), охарактеризувати логарифмічний детектор можна двома параметрами:  $U_x$  та  $U_y$  (рисунок 1.4).

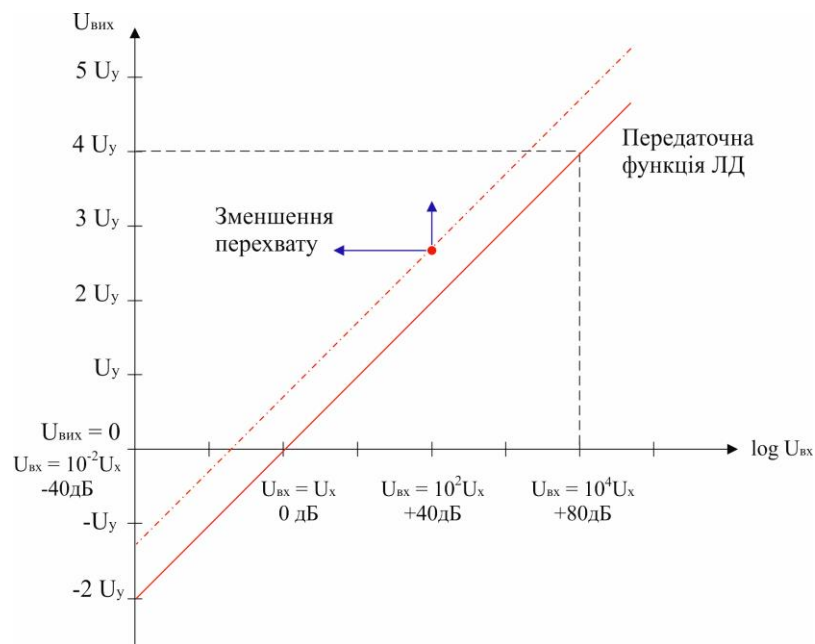


Рисунок 1.4 – Передатна функція ЛД



Оскільки вхідний сигнал логарифмічного детектора може мати широкий динамічний діапазон, це призводить до певних труднощів. Ідеальної лінійної характеристики логарифмічного детектора дуже складно досягти у всьому діапазоні. З цієї причини застосовується шматково-лінійна апроксимація передавальної функції. Такий вид апроксимації можна реалізувати шляхом введення багатокаскадної структури [4].

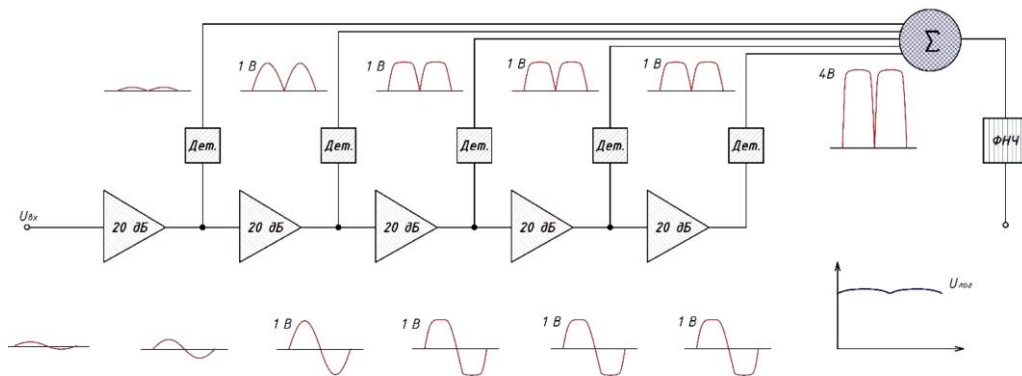


Рисунок 1.4 – Функціональна схема багатокаскадного логарифмічного детектора

В основі схеми лежать кілька з'єднаних підсилювачів. Кожен підсилювач має постійний коефіцієнт підсилення, крутість характеристики якого не змінюється. Припустимо, що ця крутість дорівнює 20 дБ на інтервалі від 0 до  $U_{вх} = E_k$ , а поза інтервалом дорівнює нулю (рисунок 1.6) [5].

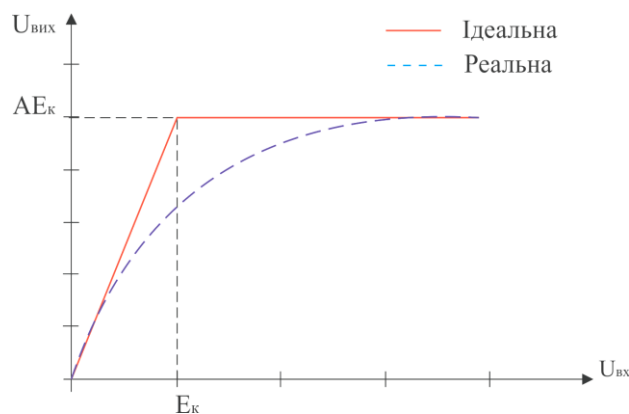


Рисунок 1.5 – Амплітудна характеристика логарифмічного детектора



можемо знайти другий. Так, у цій роботі знаючи рівень вихідної напруги ЛД, можна говорити про рівень потужності вхідного сигналу.

## 1.2. Мікроконтролер

### 1.2.1. Пристрій та основні параметри

Мікроконтролер – це пристрій, призначений для виконання логічних та арифметичних операцій, що працює при цьому з пристроями введення-виведення та іншими периферійними пристроями [6].

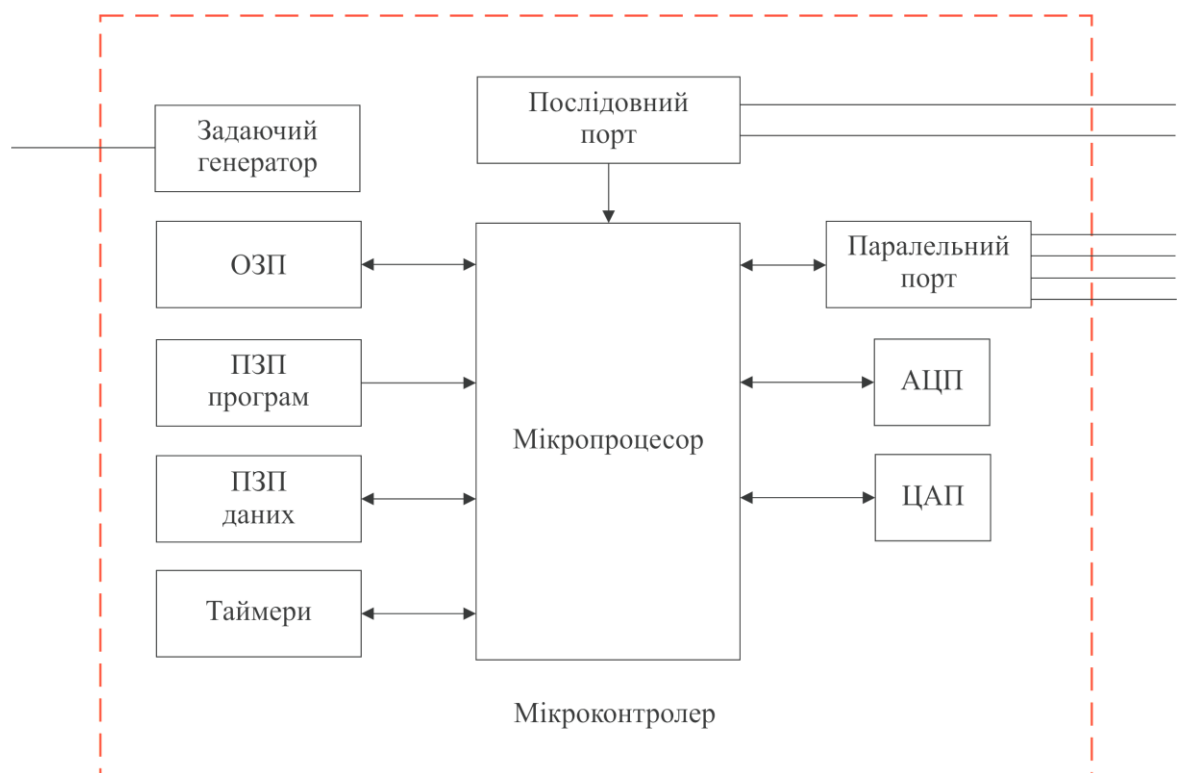


Рисунок 1.7 – Функціональна схема мікроконтролера

Мікроконтролер є мікросхемою, яка, за допомогою записаної в неї програми, може керувати різними пристроями, а також здійснювати різну обробку інформації. Мікроконтролер зазвичай складається з одного кристала, на якому розташовані всі основні та додаткові компоненти пристрою. Так,







$$y(t_i) = (n \cdot \Delta t). \quad (1.4)$$

Насправді частоту дискретизації вибирають приблизно 10 разів більше, ніж верхня гранична частота вхідного сигналу, щоб пристрій у разі працювало коректно. У нашому випадку сигнал, що надходить на АЦП повільно змінюється, а вбудовані в сучасні мікроконтролери АЦП мають досить високу частоту дискретизації, тому на даний параметр при виборі мікроконтролера обмеження практично відсутні.

При квантуванні за рівнем діапазон вимірюваної величини розбивається на  $n$  рівні інтервалів. Кожного часу відбувається округлення значення відліку у бік найближчого рівня квантування. Крок квантування залежить від розрядності АЦП і повинен перевищувати заданий рівень точності вимірювання. У нашому випадку на вбудований мікроконтролер АЦП надходитиме сигнал з мікросхеми логарифмічного детектора з динамічним діапазоном приблизно 15 дБ. Роздільна здатність пристрою повинна бути не гіршою, ніж 0.1 дБ. Весь діапазон необхідно розбити на 150 частин, це буде забезпечено при 8-розрядному АЦП, оскільки  $2^8=256$ . У сучасних мікроконтролерах застосовуються АЦП з розрядністю 10, 12, а іноді 16 біт, тому більшість мікроконтролерів підійдуть за цим параметром.

Перехід до цифрової форми дає велику завадостійкість та приріст до дальності передачі на відстань. Однак є недолік у вигляді помилки квантування:

$$\varepsilon_{кв} = 0.5 \cdot \Delta_{кв}; \quad (1.5)$$

$$\Delta_{кв} = \frac{S}{2^N}, \quad (1.6)$$

де  $N$  – розрядність коду,  $S$  – діапазон вхідної величини.

Якщо говорити про помилки, що виникають внаслідок роботи самого АЦП, то тут можуть бути динамічні помилки при перехідних процесах, дрейф нуля, дерен молодшого розряду і т.д.

						КПТР. 2018011.01.09 ПЗ	Арк 22
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			

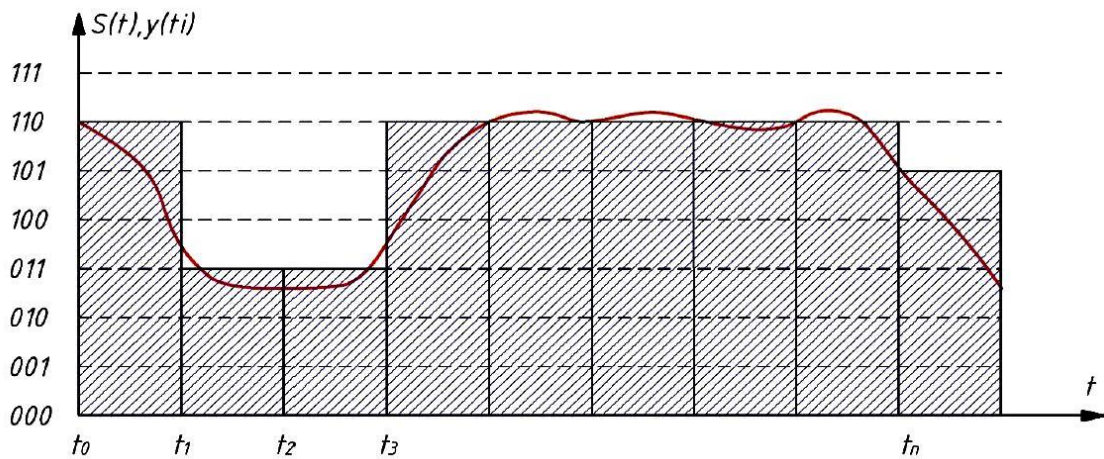


Рисунок 1.10 – Принцип аналого-цифрового перетворення

#### 1.2.4. Послідовний та паралельний порти в мікроконтролерах

Послідовний порт і паралельний порт служать для обміну інформацією з іншими пристроями. Ключовою особливістю послідовного порту є послідовний тип передачі. У паралельного порту дані передаються всі разом, а не один за одним. Перевагою послідовного виду зв'язку служить можливість реалізації з використанням меншої кількості провідників, ніж при паралельному зв'язку, однак такий метод потребує синхронізації.



Рисунок 1.11 – Схема передачі для різних типів зв'язку

Розглянемо послідовні типи зв'язку. Їх можна розділити на синхронний, коли приймач і передавач мають загальну систему тактування, асинхронний, коли синхронізатор відсутній зовсім, а приймач і передавач працюють зі своїми незалежними системами тактування.

SPI (Serial Peripheral Interface) – це послідовний синхронний тип зв'язку, що складається з двох ліній даних (MOSI та MISO), однієї тактової лінії або лінії тактування (SCK) та лінії вибору підлеглих (SS), тобто. лінії, що використовується для вибору веденого пристрою, з яким пристрем, що забезпечує синхронізацію, хоче встановити зв'язок. Через цей інтерфейс підключається необмежену кількість пристроїв. Причому прості пристрої можна підключати до виводів загального призначення (GPIO), а приймання та передачу даних здійснювати за допомогою спеціальних функцій у кодї програми. Більш складні пристрої з великим потоком даних вимагають підключення апаратних виводів мікроконтролера.

SPI припускає, що може бути тільки один провідний пристрій та кілька відомих, які відповідають лише на виклик ведучого. Вся обробка інформації проводиться провідним пристроєм, при цьому жодне ведене не може надсилати дані без сигналу. Ведучий надсилає дані через лінію MOSI, а ведені відправляють по лінії MISO. SS (Вибір веденого) використовується для звернення до конкретного пристрою.

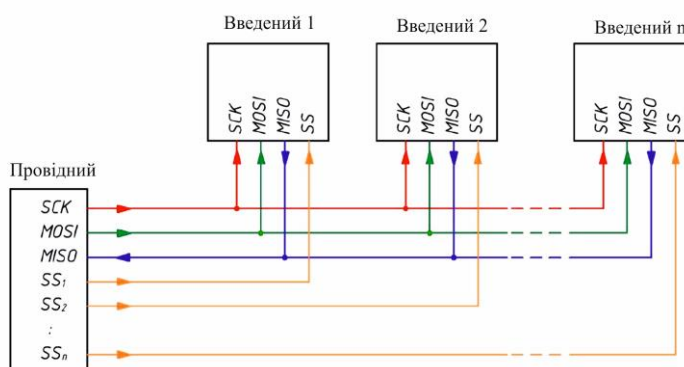


Рисунок 1.12 – Функціональна схема протоколу SPI

До переваг протоколу SPI можна віднести швидкість передачі даних, забезпечення набагато надійнішого зв'язку, ніж асинхронні типи, і навіть можливість підключення кількох ведених пристроїв одного ведучого.

До недоліків протоколу SPI можна віднести безліч ліній вибору ведених для підключення декількох пристроїв, а також те, що ведені пристрої не можуть безпосередньо передавати один одному інформацію.

I2C (Inter-Integrated Circuit) – це синхронний протокол послідовного зв'язку, який використовує лише два провідники. На відміну від SPI, I2C підтримує як ведені пристрої, а й ведучі. Так кожен із пристроїв відправляє або приймає дані по SDA провіднику. По SCL проводиться послідовне тактування, що забезпечує синхронізацію між пристроями. Такий інтерфейс може обслуговувати до 128 паралельно підключених пристроїв, будучи шиною.

I2C використовує адресно-кодний принцип роботи. Кожен ведений пристрій має унікальну адресу. Для передачі інформації провідний пристрій спочатку надсилає адресу. Ведомий пристрій порівнює свою адресу і той, що запитують і відповідає у разі їхнього збігу.

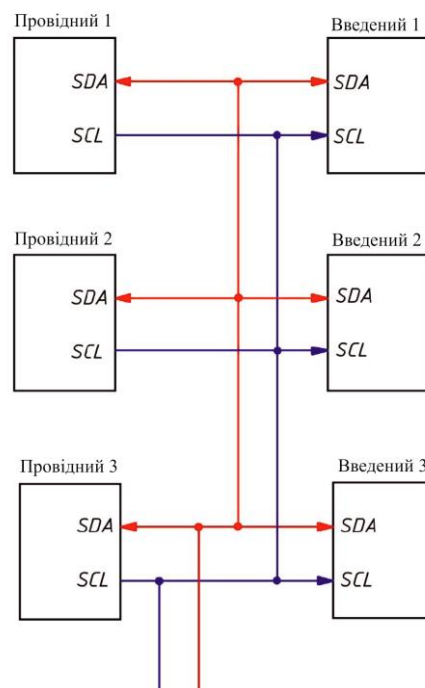


Рисунок 1.13 – Функціональна схема протоколу I2C

До переваг протоколу I2C можна віднести можливість передачі між кількома провідними і кількома веденими пристроями, і навіть мінімальна кількість провідників.

До недоліків протоколу I2C можна віднести меншу швидкість передачі в порівнянні з SPI, оскільки виконується безліч операцій з кадрами даних.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) – це універсальний асинхронний приймач та передавач. Тут, як і в I2C, використовуються два провідники: Rx і Tx. Оскільки використовується асинхронний тип передачі, то приймач і передавач використовують внутрішні незалежні друг від друга системи тактування. Особливість полягає в тому, що одночасно лише два пристрої можуть використовувати цей протокол обмінюватись інформацією. Передача даних відбувається за рахунок того, що лінія Tx (Transmitter) одного пристрою передає інформацію на лінію Rx (Receiver) іншого пристрою та навпаки.

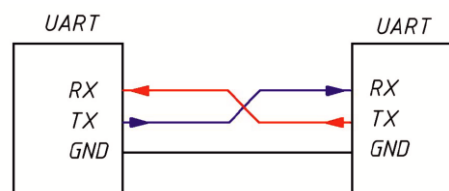


Рисунок 1.14 – Функціональна схема протоколу UART

Для синхронного режиму в протоколі USART, який може здійснювати синхронну та асинхронну передачу, використовується додатковий вивід XCK. Імпульси тактування генеруються пристроєм, який надсилає дані.

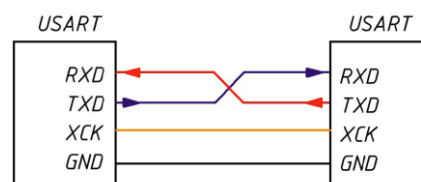


Рисунок 1.15 – Функціональна схема протоколу USART





```

1 int count = 0;
2 float cleanSignal = 0.0;
3
4 void setup() {
5   Serial.begin(9600);
6 }
7
8 void loop() {
9   process();
10  Serial.print(cleanSignal);
11  Serial.println();
12  count++;
13 }
14
15 void process() {
16   cleanSignal = 3.0 * sin(radians(count));
17 }

```

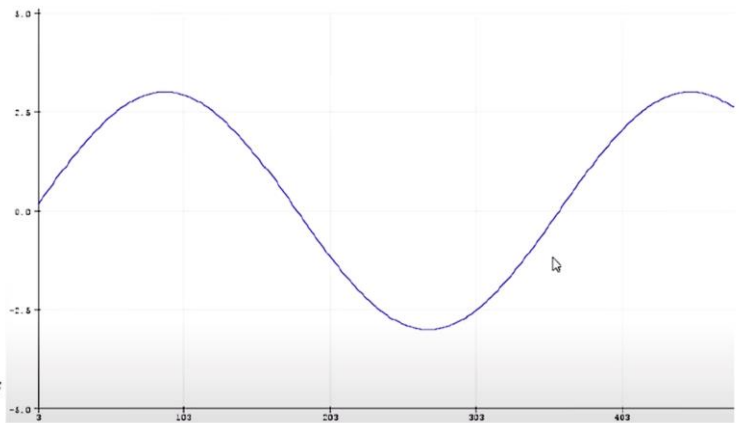


Рисунок 1.17 – Програмний код та його реалізація

Наступним кроком додамо постійний вхідний шум і випадковий. Значення викидів випадкового шуму визначає функція `random()`, яка є аргументом функції `if()` (рисунок 1.18).

```

// имитация сигнала с датчика
void process() {
  // синусоида
  cleanSignal = 4.0 * sin(2 * radians(x));
}

float getSignal() {
  noiseSignal = cleanSignal;

  // постоянный шум
  noiseSignal += (random(-8, 9) / 5.0);

  // случайные выбросы
  if (!random(30)) noiseSignal += random(-5, 6);

  return noiseSignal;
}

```

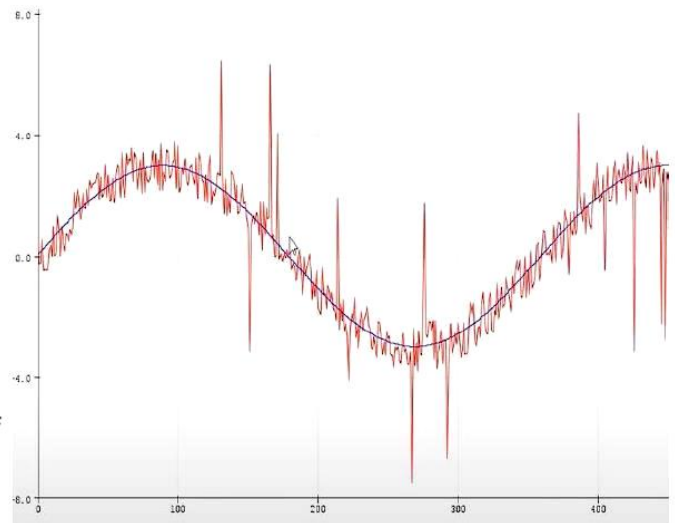


Рисунок 1.18 – Програмний код зашумленого сигналу та його реалізація

За допомогою функції таймера будемо проводити вимірювання із заданим у мілісекундах тимчасовим проміжком. На рисунку 1.19 можна бачити, що чим меншим буде час між вимірами, тим точніше графік, отриманий шляхом періодичного виміру, повторюватиме еталонний.

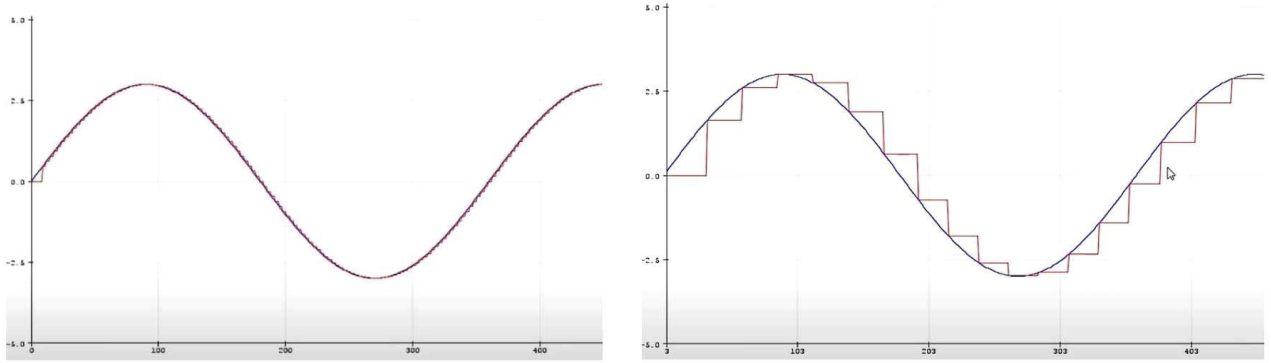


Рисунок 1.19 – Вимірювання (червона лінія) з різним кроком

Це правило перестає працювати у разі зашумленого сигналу. Чим частіше будуть вимірювання, тим точніше фільтрований сигнал повторюватиме шум. Ми ж намагаємося досягти максимального збігу з вихідним сигналом.

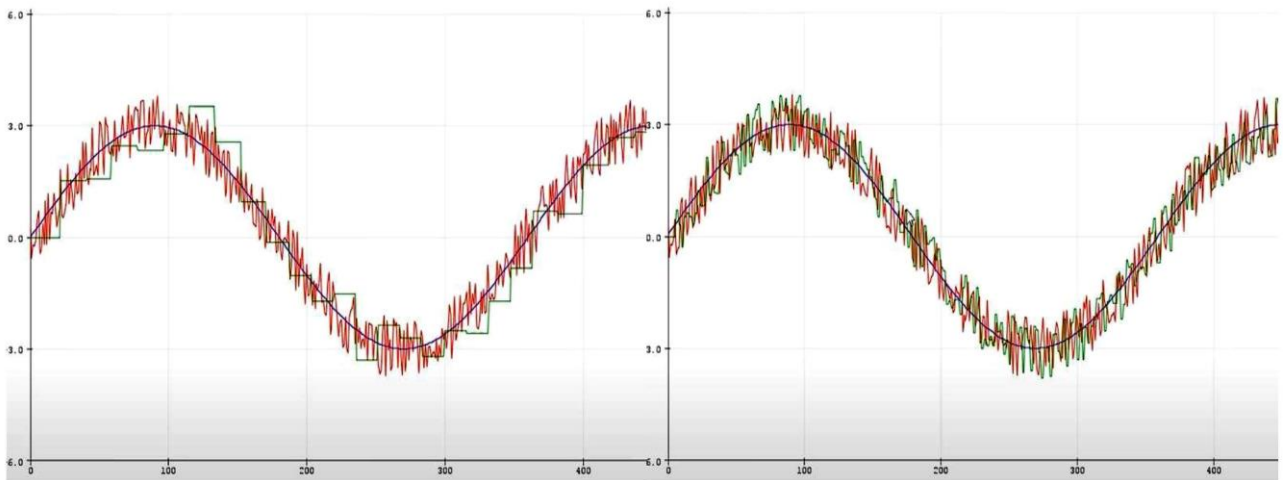


Рисунок 1.20 – Вимірювання сигналу на фоні шуму (зелена лінія) з різним періодом вимірювання

Таким чином, частота опитування будь-якого датчика повинна бути достатньою для фільтрації шуму та відображення реального значення сигналу.



```

int x = 0; // счётчик процесса
float cleanSignal = 0.0; // чистый сигнал
float noiseSignal = 0.0; // сигнал + шум
float filtSignal = 0.0; // фильтрованный сигнал
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  delay(500);
  Serial.flush();
  Serial.println("clean, noise, filter");
  delay(100);
}
void loop() {
  process();
  measure();
  Serial.print(cleanSignal);
  Serial.print(',');
  Serial.print(noiseSignal);
  Serial.print(',');
  Serial.println(filtSignal);
  x++;
}
// измерение с заданным периодом
void measure() {
  static uint32_t tmr;
  if (millis() - tmr >= 5) {
    tmr = millis();
    filtSignal = expRunningAverage(getSignal());
  }
}
// имитация сигнала с датчика
void process() {
  // синусоида
  cleanSignal = 4.0 * sin(2 * radians(x));
}
float getSignal() {
  noiseSignal = cleanSignal;
  // постоянный шум
  noiseSignal += (random(-8, 9) / 5.0);
  // случайные выбросы
  if (!random(30)) noiseSignal += random(-5, 6);
  return noiseSignal;
}
float expRunningAverage(float z){
  static float y = 0;
  y += (z - y) * 0.2;
  return y;
}

```

Рисунок 1.21 – Программный код

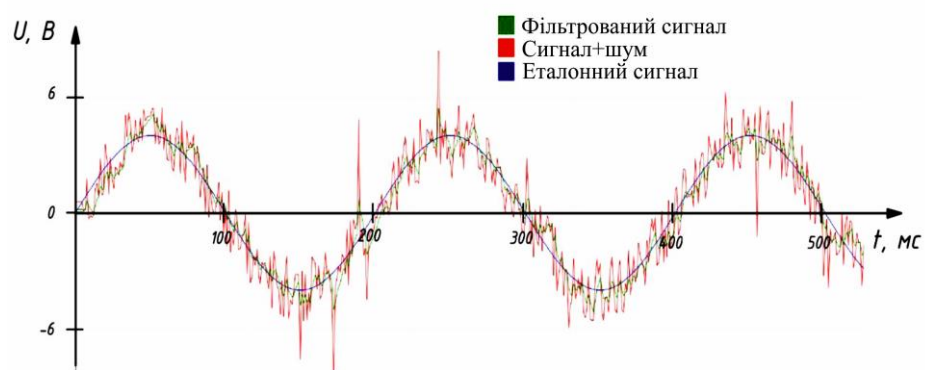


Рисунок 1.22 – Відфільтрований сигнал

## 2 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Вибір мікросхеми логарифмічного детектора

Основним критерієм для вибору логарифмічних детекторів служить максимальна частота сигналу, що надходить на його вхід, і динамічний діапазон. Оскільки на вхід пристрою надходитиме сигнал із частотою 10 ГГц, коло детекторів, здатних працювати на даній частоті різко звужується.

Найбільшого поширення серед логарифмічних детекторів отримали мікросхеми фірми Analog Devices. Серед мікросхем цієї фірми існує багато різних мікросхем логарифмічних детекторів, розрахованих на різні частотні діапазони. Виберемо мікросхему AD8317, оскільки вона є високочастотною. Ця мікросхема є логарифмічний підсилювач (ЛП), що забезпечує перетворення ВЧ сигналу у відповідне вихідне напруга, виражене в децибелах.

В основі структури мікросхеми лежить метод прогресивної компресії. Функціональна схема пристрою наведено на рисунку 2.1 [11].

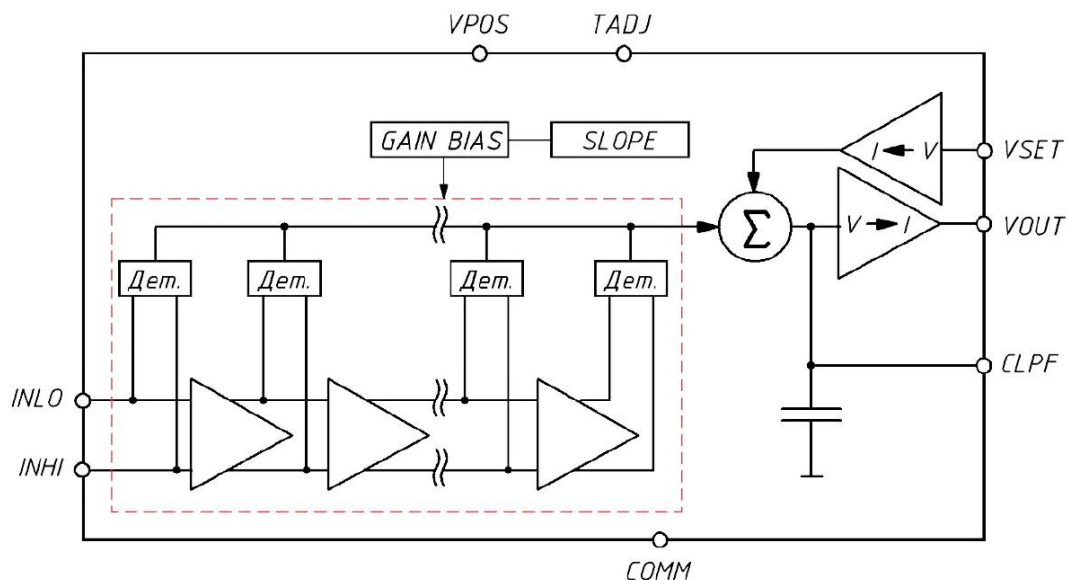


Рисунок 2.1 – Функціональна схема мікросхеми AD8317

					КПТР. 2018011.01.09 ПЗ			
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Токарська О.І.	<i>[Signature]</i>				33	
Перевірив		Карпова Л.В.	<i>[Signature]</i>		Пояснювальна записка	ХНУ, гр. ТР-18-1		
Н. контр.								
Затв.		Підченко С.К.	<i>[Signature]</i>					

Мікросхема складається з 6 підсилювальних комірок з диференціальними виходами та 7 детекторних комірок. Час спаду та наростання становить 8 наносекунд та 10 наносекунд відповідно. Напруга живлення від +3.0 до +5.5 В. Споживаний струм дорівнює 22 мА. Динамічний діапазон - 50 дБ у смузі частот до 8 ГГц з меншою точністю, ніж  $\pm 1$  дБ.

Мікросхема може бути використана для виміру вихідного сигналу з виводу VOUT. Для цього виводу VOUT підключається до виводу VSET. Крутизна логарифмічної характеристики при цьому становитиме  $-22$  мВ/дБ та визначатиметься за величиною VSET. Точка перехоплення дорівнює +15 дБм при вихідному опорі джерела 50 Ом сигналу, який підключають до виведення INHI.

Мікросхема виконана за технологією SiGe. Випускається у восьмививідному корпусі LFCSP\_VD розміром  $2 \times 3$  мм і здатна працювати у температурному діапазоні від  $-40$  до  $+85$  °С. Виробник наказує підключати мікросхему так, як показано на рисунку 2.2.

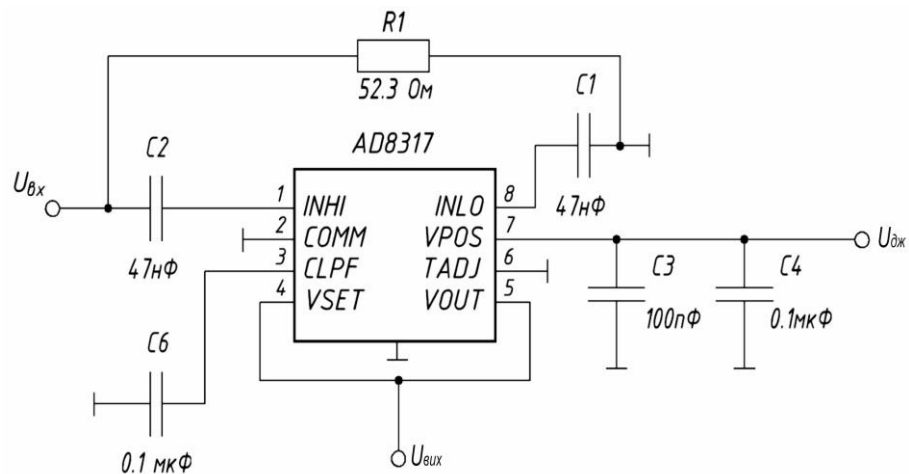


Рисунок 2.2 – Типова схема підключення мікросхеми AD8317

Конденсатор С6 підбирається з швидкості зміни рівня вхідного сигналу. Оскільки передбачається, що рівень сигналу буде змінюватися дуже повільно, вважатимемо, що верхня частота опитування  $F_v$  дорівнює 1 КГц.

Виробник рекомендує шукати ємність фільтруючого конденсатора  $C_{LPF}$  за такою формулою:

$$C_{LPF} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1500 \cdot F_v} - 3.5 \cdot 10^{-12} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1500 \cdot 100} - 3.5 \cdot 10^{-12} = 1.06 \cdot 10^{-7} \approx 0.1 \mu\text{кФ} \quad (2.1)$$

Вхідний та вихідний інтерфейси мікросхеми наведені відповідно на рисунках 2.3 та 2.4. відповідно.

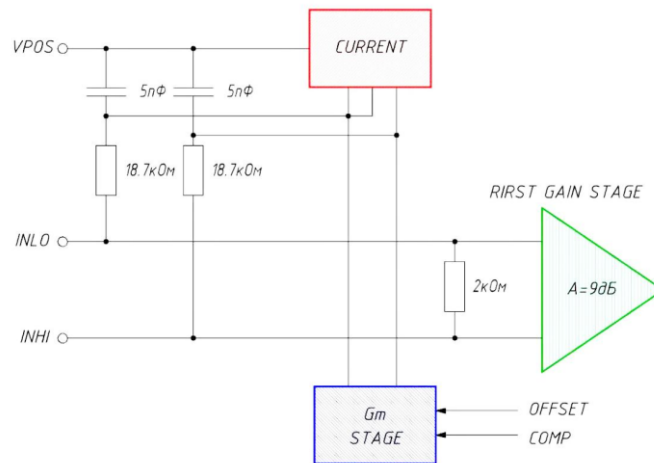


Рисунок 2.3 – Вхідний інтерфейс мікросхеми AD8317

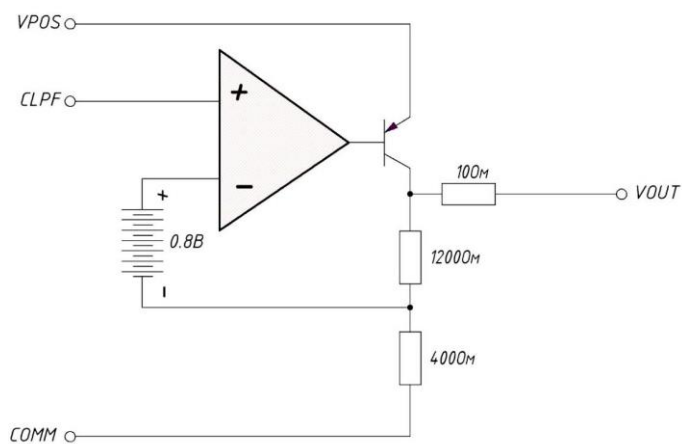


Рисунок 2.4 – Вихідний інтерфейс мікросхеми AD8317

Характеристика режиму вимірювання потужності вхідного сигналу наведено рисунку 2.5.

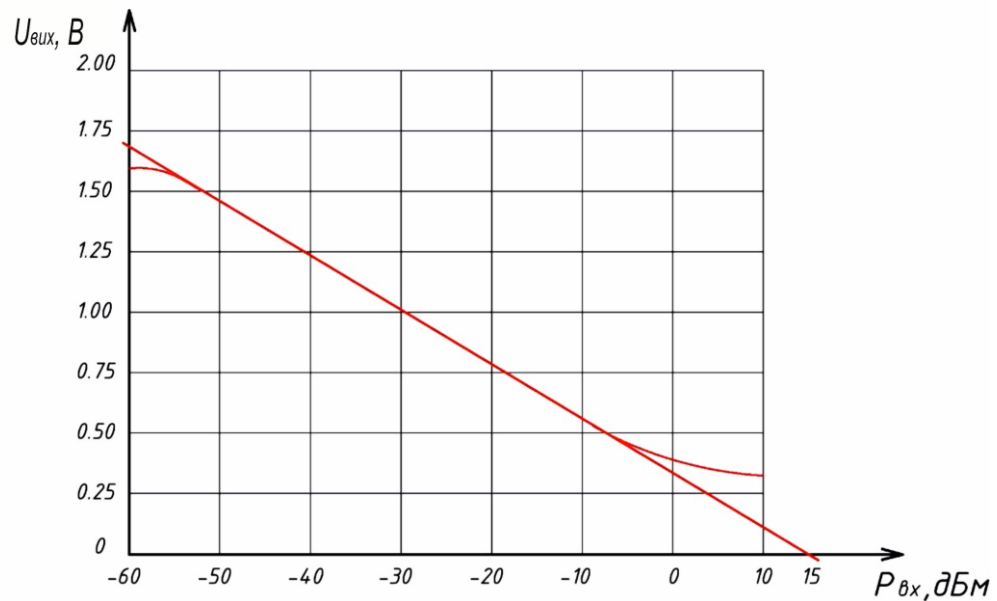


Рисунок 2.5 – Залежність вихідної напруги від величини вхідної потужності

У даної мікросхеми характеристика має негативний нахил, що з характером управління рівнем посилення підсилювачів з ООС.

Залежність вихідної напруги залежно від потужності вхідного сигналу, вираженого в децибелах, є лінійною у всьому діапазоні. Вихідна напруга мікросхеми ЛП може бути знайдена за формулою:

$$U_{вих} = X \cdot S \cdot 20 \cdot \lg\left(\frac{U_{вх}}{U_{пер}}\right); \quad (2.2)$$

$$U_{set} = \frac{U_{вих}}{X}, \quad (2.3)$$

де  $X$  – фактор зворотного зв'язку;  $S$  – номінальна крутість,  $S = 22$  мВ/дБ;  
 $U_{пер}$  – напруга точки перехоплення  $U_{пер} = +2$  дБВ.



- Умовні позначення кольорів
- Аналоговий порт
  - Налаштовувальний порт
  - Цифровий порт
  - Синхросигнал
  - Живлення
  - Земля

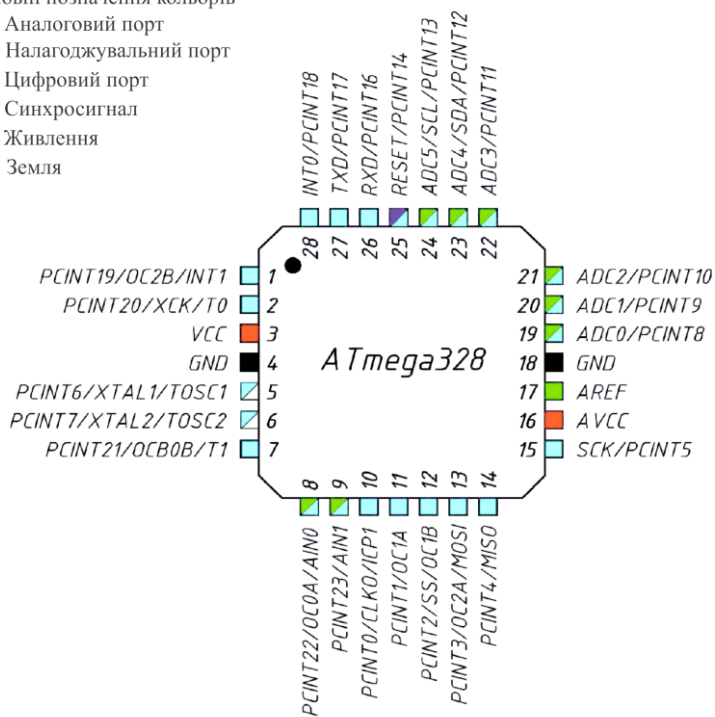


Рисунок 2.6 – Конфігурація виводів АТmega328

Програмування мікроконтролера здійснюється через ISP програматор. Для розширення можливостей і для зручності користування додамо можливість програмування та передачі інформації в послідовний порт через інтерфейс UART за допомогою USB-UART перетворювача (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Приклад ISP програматора та USB-UART перетворювача

У таких перетворювачах застосовуються різні мікросхеми, за допомогою яких відбувається обмін даними з комп'ютером за інтерфейсом USB. Серед таких мікросхем можуть бути АТmega8U2, АТmega16U2 або більш поширена СН340G,

про роботу якої йтиметься далі. Мікросхема CH340G створює віртуальний COM-порт передачі інформації.

Передача даних здійснюється за стандартом TTL (Transistor-Transistor Logic). Це асинхронний тип передачі, якого не потрібен синхросигнал (SCK). Для позначення початку та закінчення передачі потрібно однакове налаштування параметрів обох пристроїв. Таких параметрів 4: кількість біт даних, кількість біт синхронізації, біт контролю парності та швидкість передачі даних.

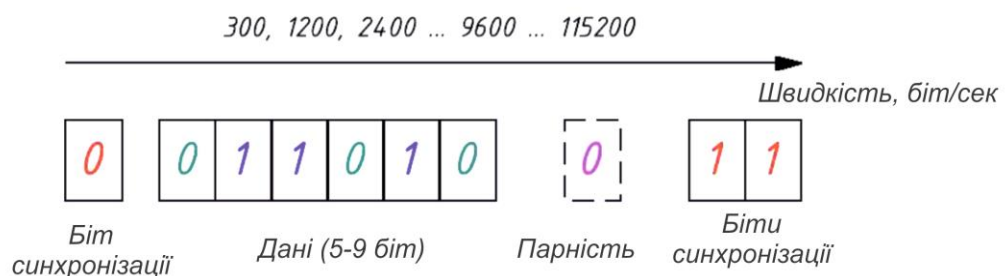


Рисунок 2.8 – Пакет даних, що передаються

Стандарт запису настройок для цього пакета виглядає так: 9600 602. Перше число показує швидкість передачі, через пропуск записується кількість біт даних, контроль парності і кількість стоп-біт. Всі UART модулі працюють з налаштуваннями 8N1, швидкість передачі при цьому визначається в коді програми.

Програмування «порожнього» мікроконтролера за UART неможливе. Для цього необхідно спочатку через програму ISP виконати прошивку завантажувача, тому наявність ISP програматора необхідно.

До переваг завантаження коду через ISP програматор, а не через UART та завантажувач можна віднести кілька переваг. По-перше, це набагато швидше швидкість прошивки, що позитивно позначається при налагодженні великих проектів. По-друге, завантаження через bootloader може перериватися через невідповідність швидкостей та інші негативні фактори. По-третє, bootloader – це програма, яка займає від 512 до 2048 байт пам'яті мікроконтролера, що становить приблизно 6% від усієї пам'яті вибраного мікроконтролера.

Для підключення ISP програматора та USB-UART перетворювача на платі будуть передбачені роз'єми, призначення виводів яких представлені рисунку 2.9.

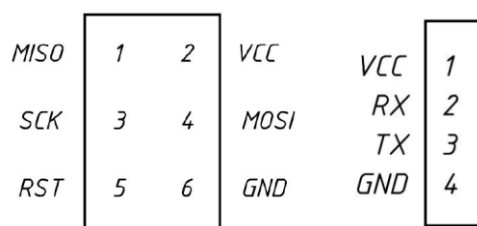


Рисунок 2.9 – Призначення виводів ISP (ліворуч) та USB-UART (праворуч)

Відповідно до ТЗ, потрібно забезпечити можливість передачі через інтерфейси SPI і I2C. Для цього додамо в схему ще два роз'єми для роботи з цими інтерфейсами.

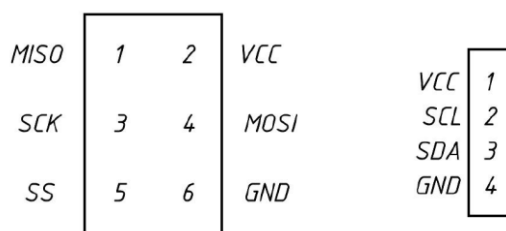


Рисунок 2.10 – Призначення виводів SPI (ліворуч) та I2C (праворуч) роз'ємів

Оскільки напруга живлення становитиме 5В, то максимальна частота роботи мікроконтролера дорівнюватиме 16 МГц.

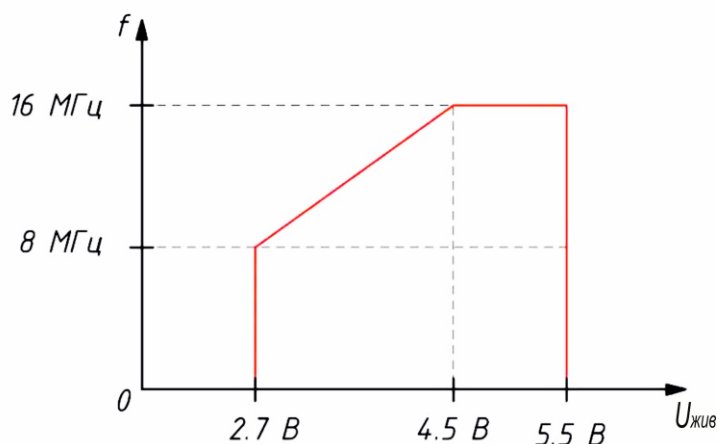


Рисунок 2.11 – Залежність частота роботи мікроконтролера від напруги живлення



Для подальшого обчислення рівня потужності вхідного сигналу необхідно перевести отриману величину вольти. Оскільки в якості опорного джерела напруги АЦП виступає напруги живлення, що дорівнює 5, вихідне значення (від 0 до 1023) необхідно помножити на 5 і розділити на 1024.

Знаючи залежність для знаходження рівня вихідної напруги при відомій потужності вхідного сигналу, висловимо з неї рівень потужності вхідного сигналу. Для цього потрібно побудувати трохи видозмінений графік залежності вихідної напруги ЛД від вхідної потужності (рис. 2.13).

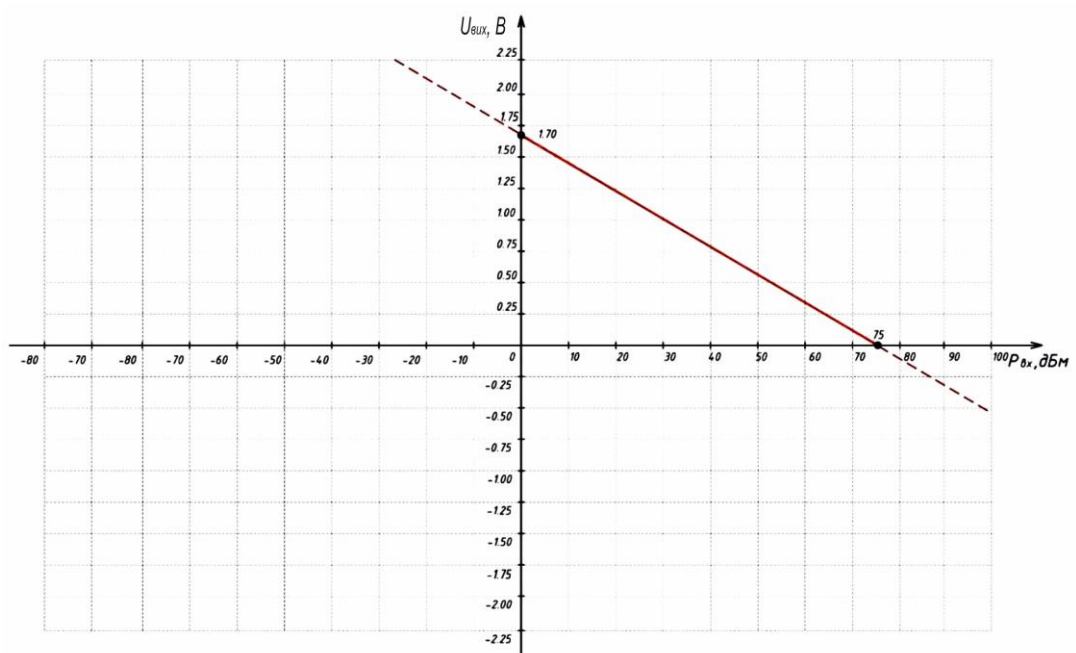


Рисунок 2.13 – Видозмінена передавальна функція ЛД

Ця залежність являє собою пряму, яка може бути представлена у вигляді рівняння:

$$y = kx + b, \quad (2.4)$$

де  $x$  – це  $P_{вх}$ , а  $y$  – це  $U_{вих}$ .

У цьому  $k < 0$ ;  $b > 0$ . Коефіцієнт  $k$  виражає кут нахилу прямої і в даному випадку дорівнює:

$$k = \frac{1.7}{75}. \quad (2.5)$$

Коефіцієнт  $b$  показує, наскільки ця пряма зміщена вгору щодо початку координат і дорівнює 1.7.

Таким чином, підставивши значення рівняння (2.4), отримаємо:

$$U_{вих} = -\frac{1.7}{75} \cdot P_{вих} + 1.7. \quad (2.6)$$

Так як вихідна напруга нам буде відома, висловивши  $P_{вих}$ , отримаємо залежність для знаходження рівня вхідної потужності:

$$P_{вих} = 15 - 45 \cdot U_{вих}. \quad (2.7)$$

Оскільки на сигнал може накладатися шум, зчитуватимемо його через певну кількість часу за допомогою функції таймера. Цей час можна змінювати в коді програми в залежності від швидкості зміни сигналу. Далі виконується фільтрація за допомогою функції «середнє, що біжить», про яку йшлося в розділі 1.3.2. Коефіцієнт  $k$ , у своїй теж можна змінювати в коді. Ці параметри налаштовуються шляхом візуального контролю прийнятого та відфільтрованого сигналів.

Функція `Serial` дозволяє надсилати та приймати дані через послідовний порт. Команда `Serial.begin(<speed>)` запускає передачу даних. Аргументом функції служить швидкість передачі у бітах за секунду. Команда `Serial.println()` виводить дані до порту з перекладом рядка.

Таким чином, програмний код, представлений на рисунку 2.14, приймає сигнал з логарифмічного детектора та оцифровує його, потім переводить отриману величину у вольти, обчислює рівень вхідного сигналу, здійснює



який передбачає підключення змінного резистора до мікроконтролера. Для зручності роботи з мікроконтролером скористаємося платою ArduinoNANO, на якій розміщений такий же мікроконтролер, як і в пристрої, що розробляється. Крім цього, плата оснащена системою тактування у вигляді кварцового резонатора, USB-TTL перетворювачем та системою живлення, а також безліччю рознесених виводів для зручнішого підключення. Схема включення представлена рисунку 2.15.

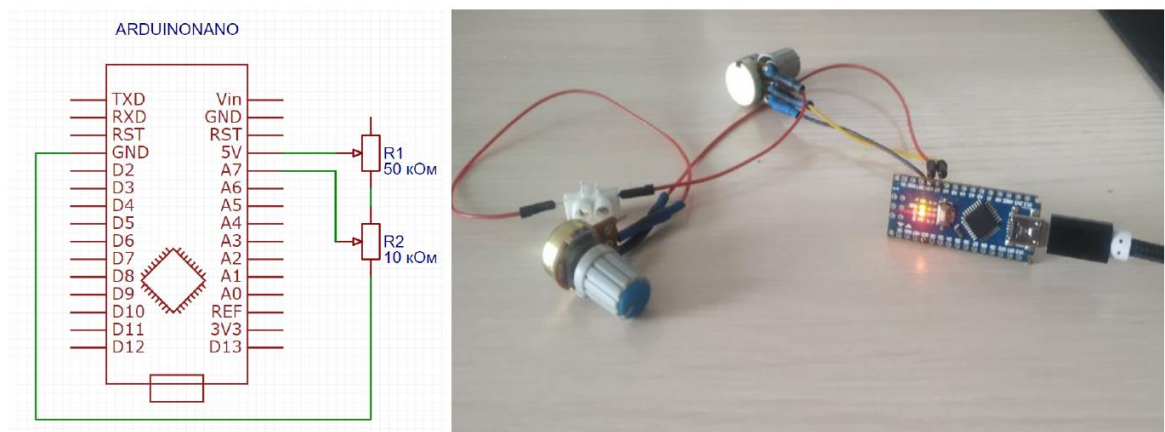


Рисунок 2.15 – Схема підключення тестового станду та його практична реалізація

У даній схемі включення змінний резистор R1 служить для підстроювання вхідної напруги змінного резистора R2 так, щоб максимальний рівень сигналу на вхід мікроконтролера A7 при мінімальному опорі резистора R2 становив 1.7, що відповідає вхідної потужності -60 дБм, згідно розділу 2.1, 0, що відповідає потужності +15 дБм при максимальному опорі резистора R2. За допомогою змінного резистора R2 плавно змінюватимемо напругу на вході A7 від 0 до 1.7 В, імітуючи плавну зміну рівня вхідної потужності.

Через послідовний порт вихідні дані USB кабелю будуть передаватися на комп'ютер. За отриманими значеннями автоматично виводитиметься графік залежності вхідної потужності від часу (рисунок 2.16).



### 3 ВИБІР, ОБҐРУНТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ТА КОМПОНЕНТІВ ВИМІРЮВАЧА ПОТЖНОСТІ

#### 3.1 Проектування мікросмужкової лінії передачі

Мікросмужкова лінія – це лінія передачі, виконана на діелектричній підкладці, відносна діелектрична проникність якої більша за одиницю (рисунок 3.1) [14].

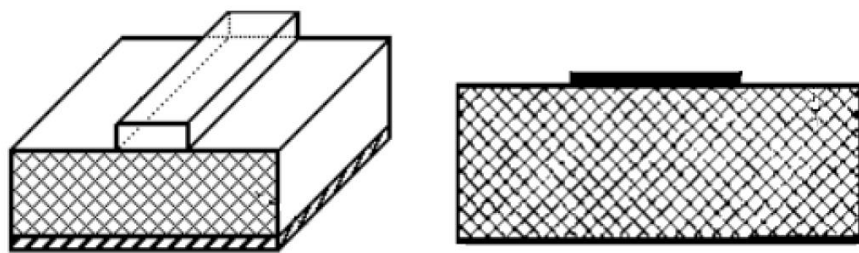


Рисунок 3.1 – Мікросмужкова лінія передачі

У цій роботі мікросмужкова лінія служить передачі високочастотного сигналу від роз'єму на вхід мікросхеми детектора. Необхідність розрахунку мікросмужкової ЛП обумовлена високою частотою сигналу, саме 10 ГГц. На такій частоті довжина хвилі співмірна з розмірами пристрою, а значить лінія передачі може вносити паразитні ємнісні та індуктивні втрати. Правильно виконана МПЛ забезпечує найкраще узгодження, тим самим знижуючи втрати потужності відображення.

У готовому пристрої застосовуватиметься НВЧ роз'єм SMA-KWE902 з хвильовим опором 50 Ом [15].

					КПТР. 2018011.01.09 ПЗ		
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Токарська О.І.			Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Карпова Л.В.				47	
Н. контр.					ХНУ, гр. ТР-18-1		
Затв.		Підченко С.К.					
					Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті		
					Пояснювальна записка		

Таблиця 3.1 – Основні параметри роз'єму SMA-KWE902

№	Назва параметра	Значення
1	Діапазон частот	0-12.4 ГГц
2	Номінальну напругу	220 В
3	КСВН	1.15±0.02
4	Опір ізоляції	5 ГОм
5	Діапазон температур	-55°C...+155°C
6	Гарантована кількість процедур з'єднання	500
7	Матеріал корпусу	Латунь
8	Матеріал центральної жили	Латунь, позолота
9	Матеріал ізолятора	PTFE
10	Хвильовий опір	50 Ом

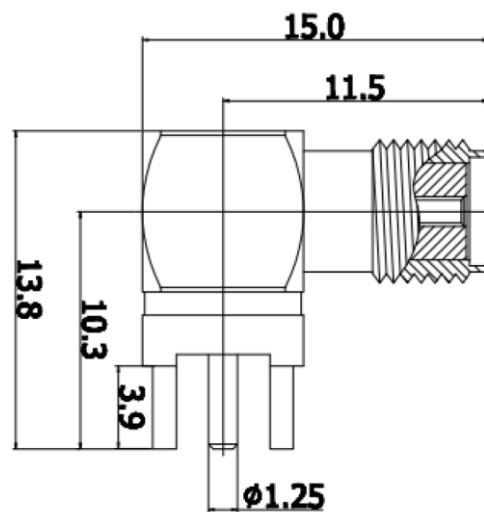


Рисунок 3.2 – Габаритні розміри роз'єму SMA-KWE902

МПЛ повинна мати хвильовий опір 50 Ом. Для розрахунку опору необхідно вибрати матеріал підкладки, де будуть розташовані всі компоненти пристрою. Як матеріал такої підкладки виберемо ФЛАН-5.0.

Таблиця 3.2 - Основні параметри підкладки ФЛАН-5.0

Показник	Одиниці виміру	Значення
Поверхневий електричний опір	Ом	5·10 <sup>11</sup>
Питомий об'ємний опір	Ом·м	5·10 <sup>11</sup>
Діелектрична проникність на частоті 10 ГГц		5.0±0.2
Тангенс кута діел. втрат на частоті 10 ГГц		0.0015
Міцність на відшаровування фольги	Н/мм	1
Міцність на вигин	Н/см <sup>2</sup>	8000
Щільність без фольги	г/см <sup>3</sup>	1.55±0.1
Товщина листів (включаючи мідну фольгу)	мм	2±0.1
Товщина мідної фольги	мкм	35

Виконаємо моделювання відрізка МПЛ лінії передачі серед AWR. Спочатку створимо схематичну модель. Задамо параметри елемента MSUB відповідно до параметрів підкладки ФЛАН-5.0. Створимо два 50-омні порти, які з'єднані елементом MLIN, що імітує відрізок ЛП. На даному етапі довжину та ширину цього елемента поставимо довільно (рисунок 3.3).

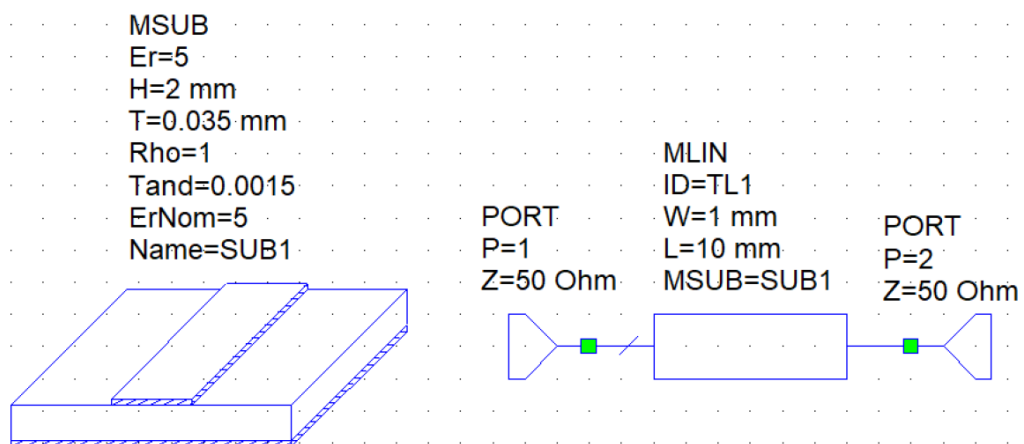


Рисунок 3.3 – Схематична модель МПЛ у середовищі AWR

Для визначення оптимальної довжини та ширини мікросмузка скористаємося утилітою TXLINE, у якій поставимо необхідні параметри у полі Electrical Characteristics. У вікні Physical Characteristics відобразяться потрібні параметри мікросмужки.

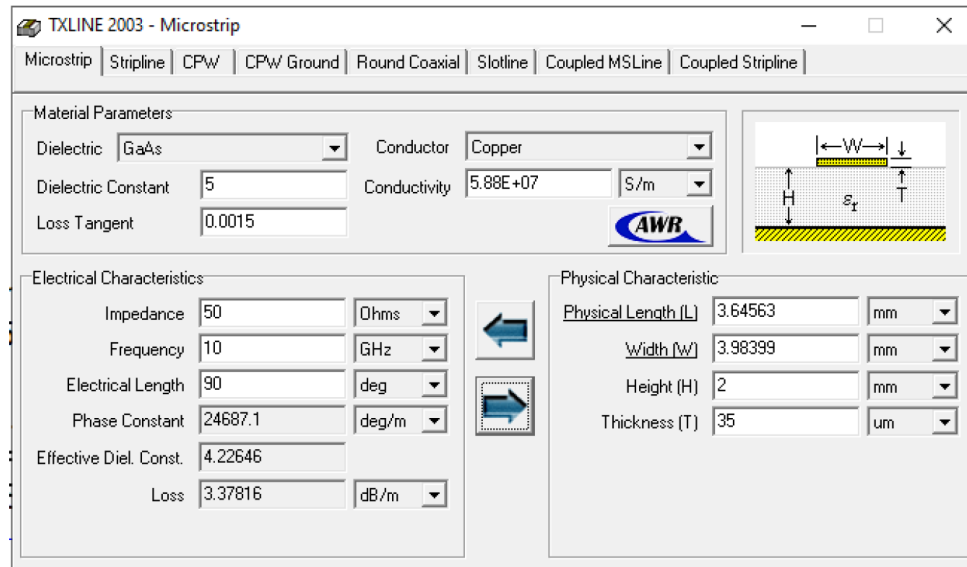


Рисунок 3.4 – Вікно налаштування утиліти TXLINE

Результат моделювання можна оцінити за отриманим графіком залежності коефіцієнта відображення  $S_{11}$  від частоти.

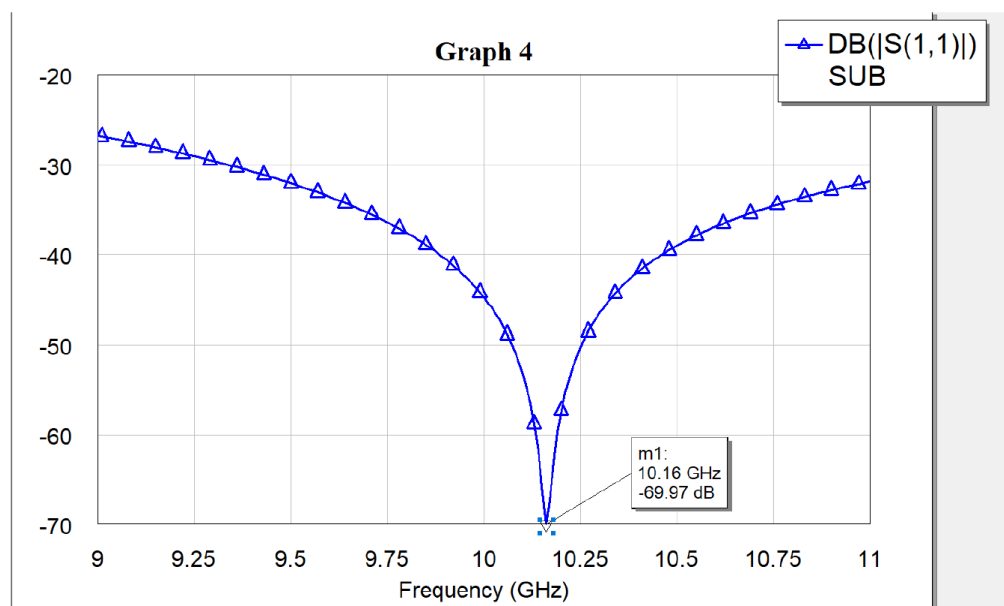


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта відображення  $S_{11}$  від частоти

На цьому графіку видно, що найбільший провал досягається не точно на потрібній частоті. Виправимо це, скориставшись інструментом Tuner. Переміщенням повзунка, що відповідає за зміну довжини, досягаємо більш точного налаштування.

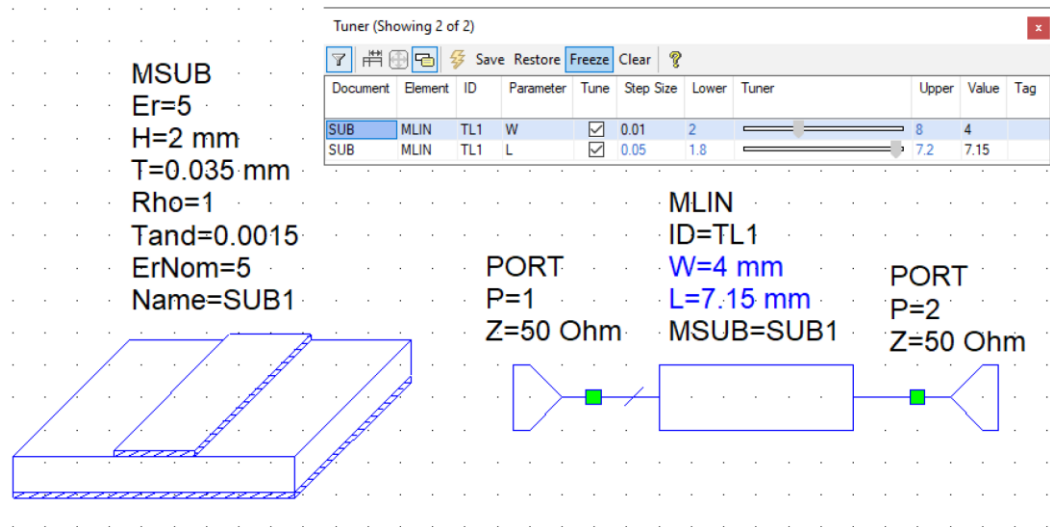


Рисунок 3.6 – Вікно налаштування інструментів Tuner

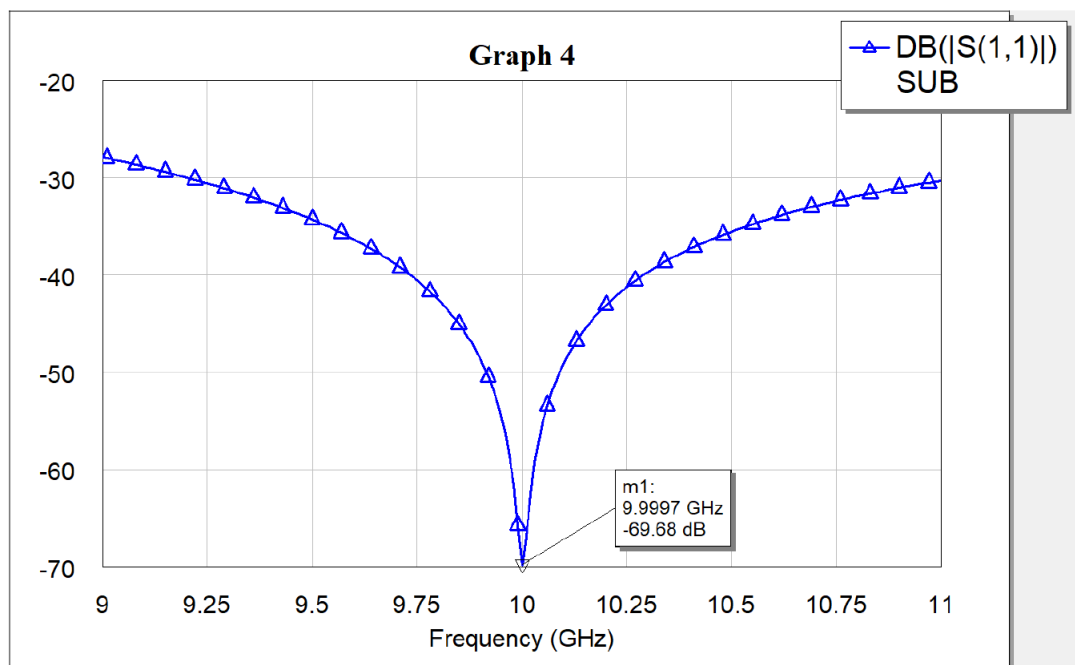


Рисунок 3.7 – Залежність коефіцієнта відображення  $S_{11}$  від частоти



коефіцієнт  $S_{11}$  модернізованої схеми на частоті 10 ГГц приблизно на 12 дБ менше, що добре. Однак така залежність не є лінійною, що погано.

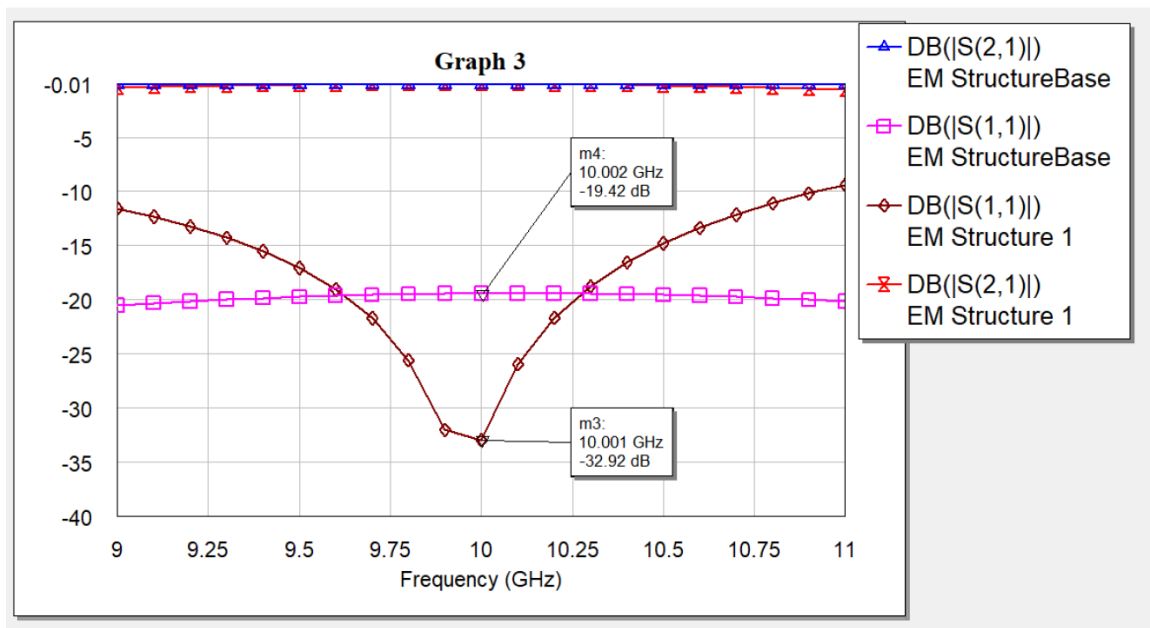


Рисунок 3.10 – Залежність коефіцієнтів  $S_{11}$  та  $S_{12}$  від частоти для різних моделей ЛП

На рисунку 3.11 наведено графіки залежностей коефіцієнтів передачі від частоти при проходженні від першого порту до другого. Видно, що коефіцієнт передачі, відзначений червоним кольором для модернізованої схеми вище приблизно 0.5 дБ. Проте також має яскраво виражений нелінійний характер, що погано. Оскільки виграш у коефіцієнті передачі незначний, доцільніше застосувати схему, рекомендовану виробником логарифмічного детектора, яка має на увазі пряме з'єднання двох мікросмужок різної ширини з переходом у формі усіченої піраміди. Включення довгого та широкого відрізка лінії передачі істотно збільшить габарити пристрою і матиме резонансний ефект на певній частоті, що негативно позначиться на точності вимірювання сигналу, частота якого змінюватиметься в деяких межах.

Таким чином, лінія передачі буде представляти мікросмужок, ширина якого з однієї дорівнюватиме товщині центрального контакту ВЧ роз'єму, а з іншого ширині виведення мікросхеми ЛП.

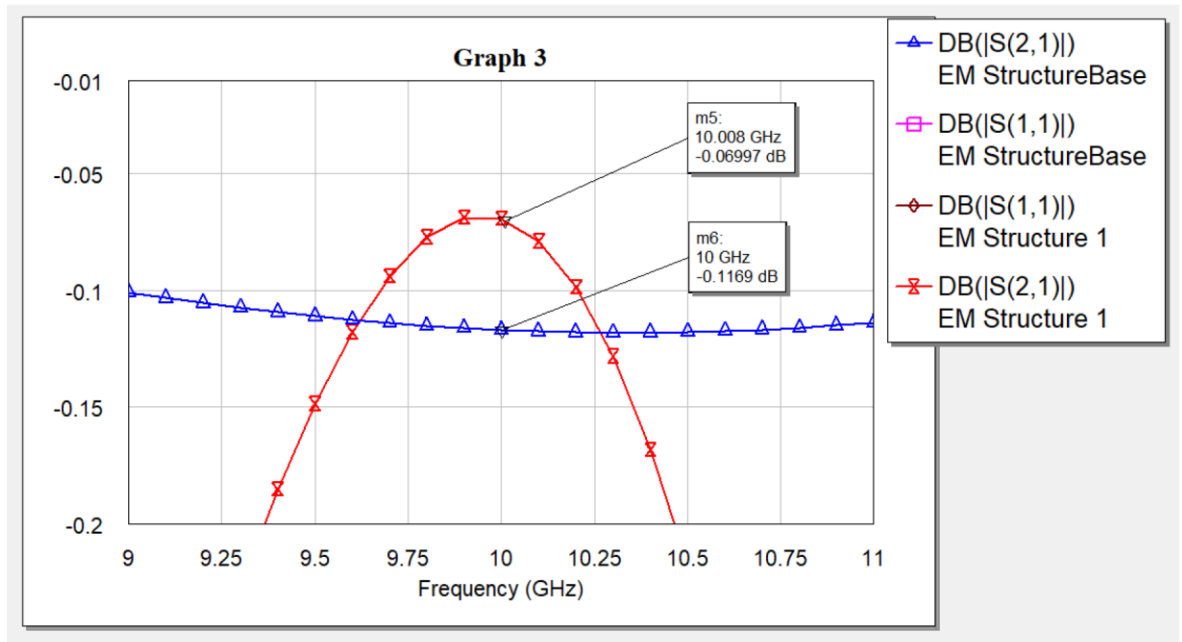


Рисунок 3.11 – Залежність коефіцієнтів  $S_{12}$  від частоти для різних моделей ЛП

### 3.2 Вибір мікросхеми перетворювача напруги

Оскільки обидві мікросхеми вимагають однакової напруги живлення 5, то в якості мікросхеми понижуючого імпульсного стабілізатора напруги виберемо мікросхему серії LM78L05 в корпусі SOT-89. Будемо використовувати 2 мікросхеми стабілізатора зменшення взаємного впливу компонентів друг на друга. Ці мікросхеми відрізняються надійністю, поширеністю та високим рівнем технічних характеристик. Максимальний вихідний струм LM78L05 становить 100 мА [16]. Вихідний струм мікросхеми стабілізатора багаторазово більше максимального споживаного струму мікроконтролера та логарифмічного детектора.



### 3.3 Проектування друкованої плати

Проектування друкованої плати здійснимо серед Easy EDA [17]. Спочатку створимо схему електричну в принципову, аналогічну до тієї, що наведена в додатку. Використовуватимемо при цьому компоненти з бібліотеки даного сервісу.

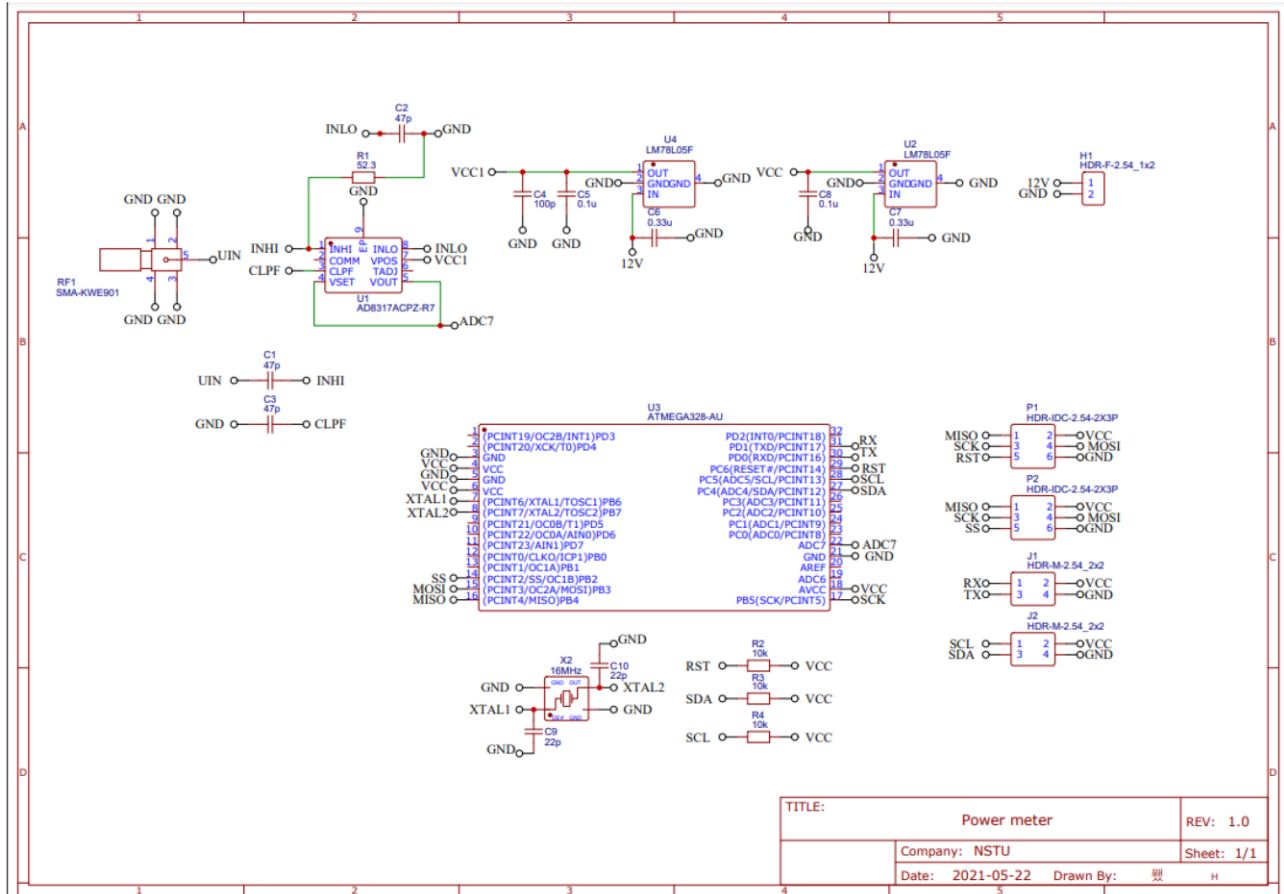


Рисунок 3.14 – Схема електрична принципова

Потім зробимо конвертацію цієї важливої схеми в друковану плату. Розташуємо елементи максимально компактно і проведемо доріжки між потрібними виводами, а також зробимо безліч перехідних отворів навколо компонентів ВЧ. Друкована плата двостороння. Всі з'єднання виконані на верхньому шарі, нижній шар є суцільною металізацією. Розмір друкованої плати, що вийшла, склав 48×54 мм. Діаметр отворів під кріплення дорівнює 4 мм.



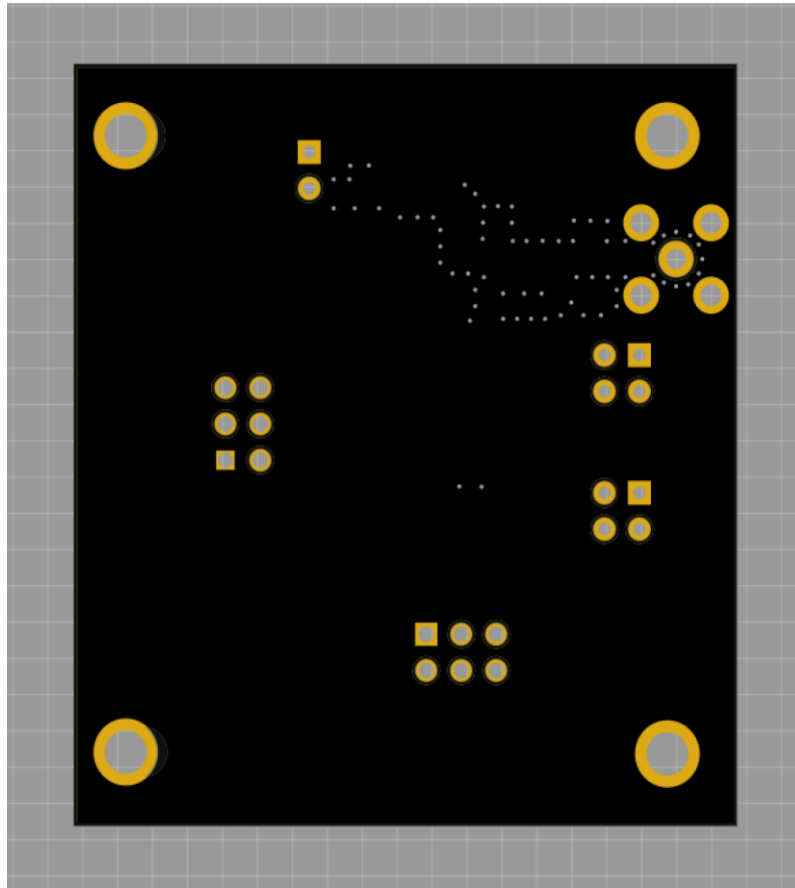


Рисунок 3.17 – Фото-вид зворотної сторони друкованої плати без елементів

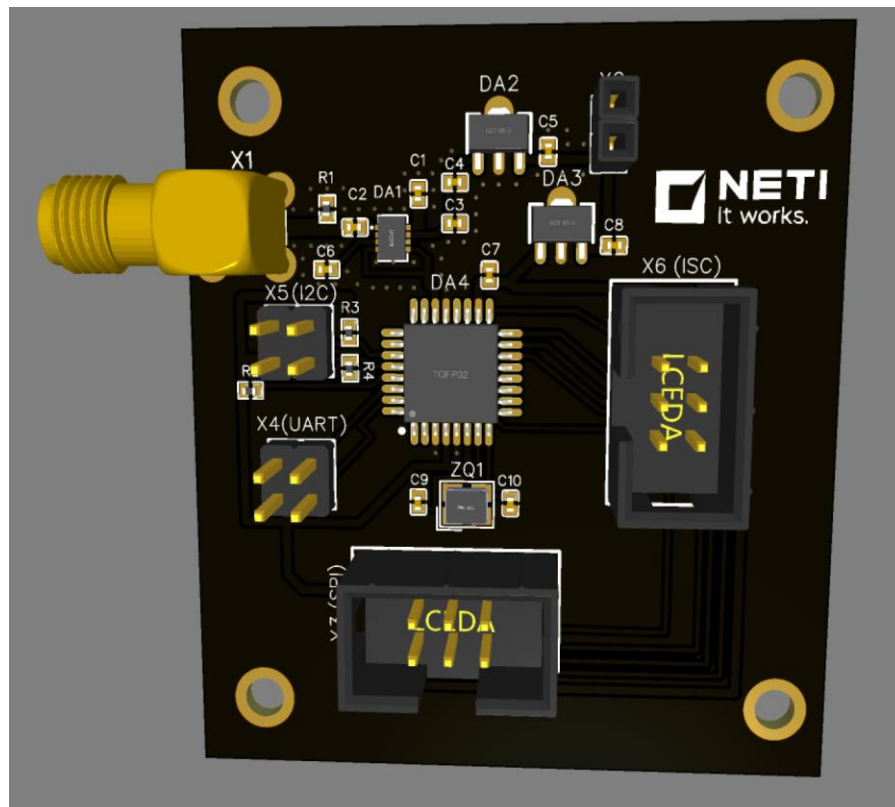


Рисунок 3.18 – 3D вид лицьової сторони друкованої плати із встановленими елементами

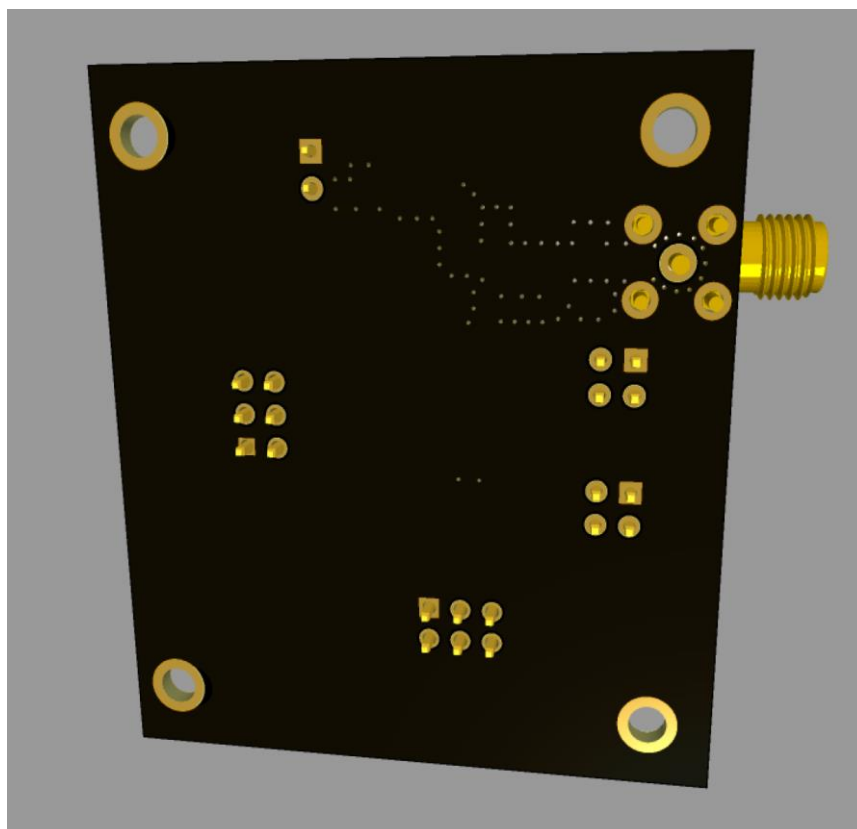


Рисунок 3.19 – 3D вид друкованої зворотної сторони плати із встановленими елементами

Креслення друкованої плати, складальне креслення та специфікація до нього наведено у додатку.

### 3.4 Проектування корпусу пристрою

Корпус пристрою виконуватимемо у програмному комплексі САПР SolidWorks [18]. Спочатку виконаємо 3D модель друкованої плати з НВЧ роз'ємом на ній. Інші елементи друкованої плати не цікавлять нас, оскільки не виступають за її габарити.



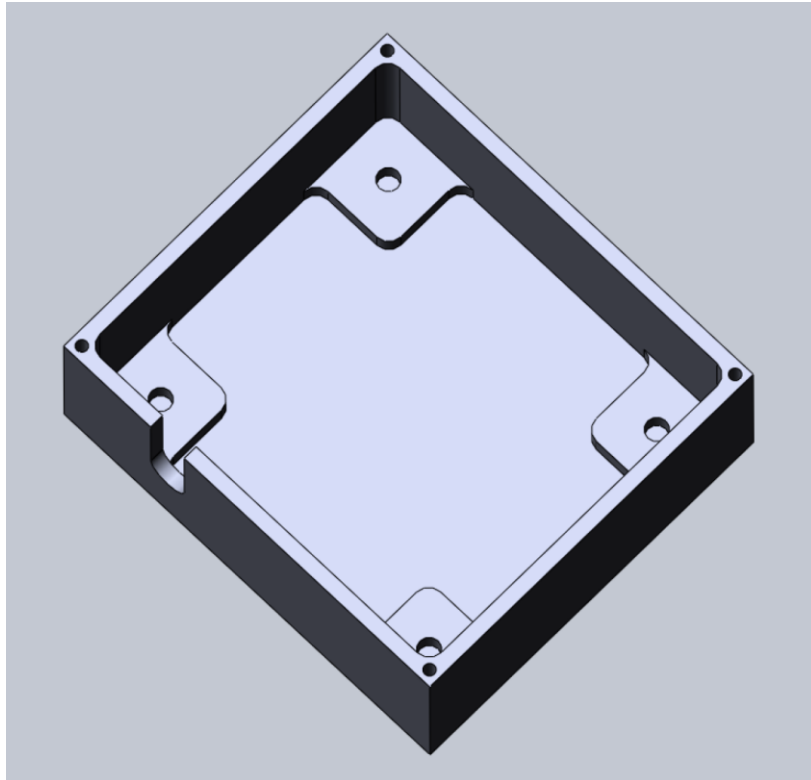


Рисунок 3.21 – 3D модель корпусу пристрою

Оскільки роз'єми для підключення плати до комп'ютера розташовані вертикально, вибірку для підключення частин у відповідь виконаємо в кришці, яку виготовимо з листа того ж сплаву АЛ8 товщиною 2 мм. У кришці необхідно передбачити 4 наскрізні отвори для кріплення до корпусу чотирма гвинтами М 1.6.

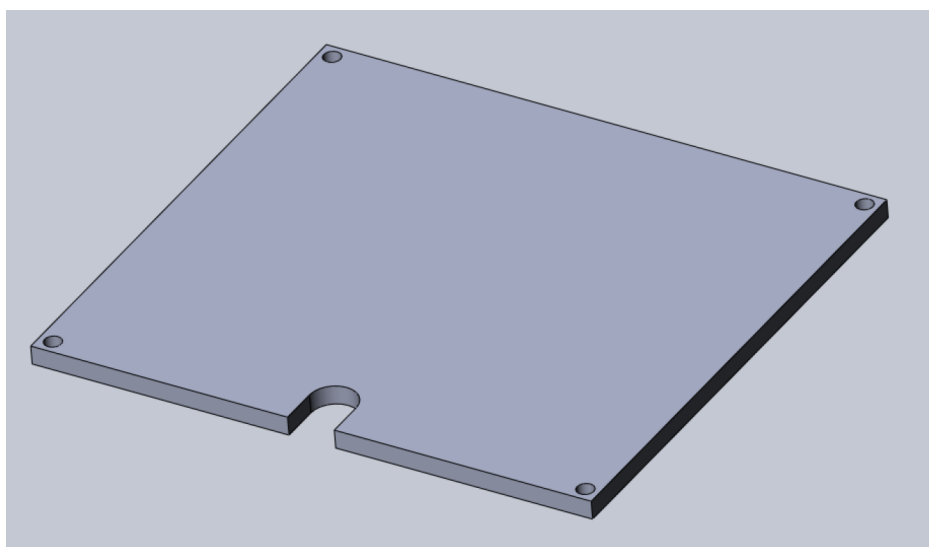


Рисунок 3.22 – 3D модель кришки корпусу

Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата



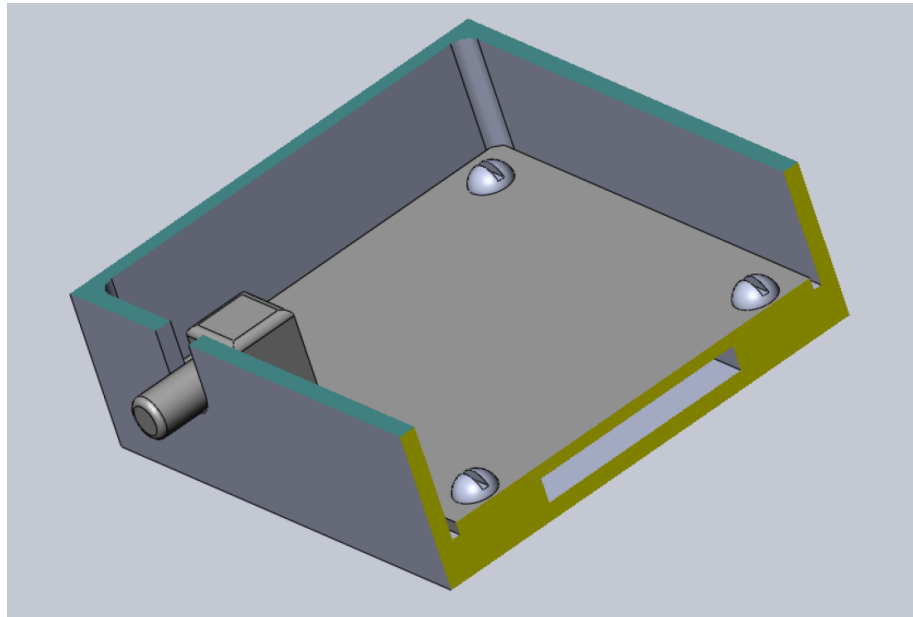


Рисунок 3.25 – Розріз складання

Креслення всіх елементів корпусу, складальне креслення та специфікація на пристрій наведено у додатку.

					КПТР. 2018011.01.09 ПЗ	Арк
						63
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У ході виконання випускної кваліфікаційної роботи було спроектовано вимірювач потужності у НВЧ тракті. Зроблено синтез структурної схеми пристрою з описом роботи цієї схеми. Було зроблено вибір всіх основних та додаткових елементів пристрою.




За допомогою програми AWR промодельовали різні варіанти виконання лінії передачі. Зроблено синтез електричної принципової схеми. Зроблено синтез друкованої плати та корпусу пристрою з використанням САПР. Розроблено пакет конструкторської документації.

					КПТР. 2018011.01.09 ПЗ	Арк
						64
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		





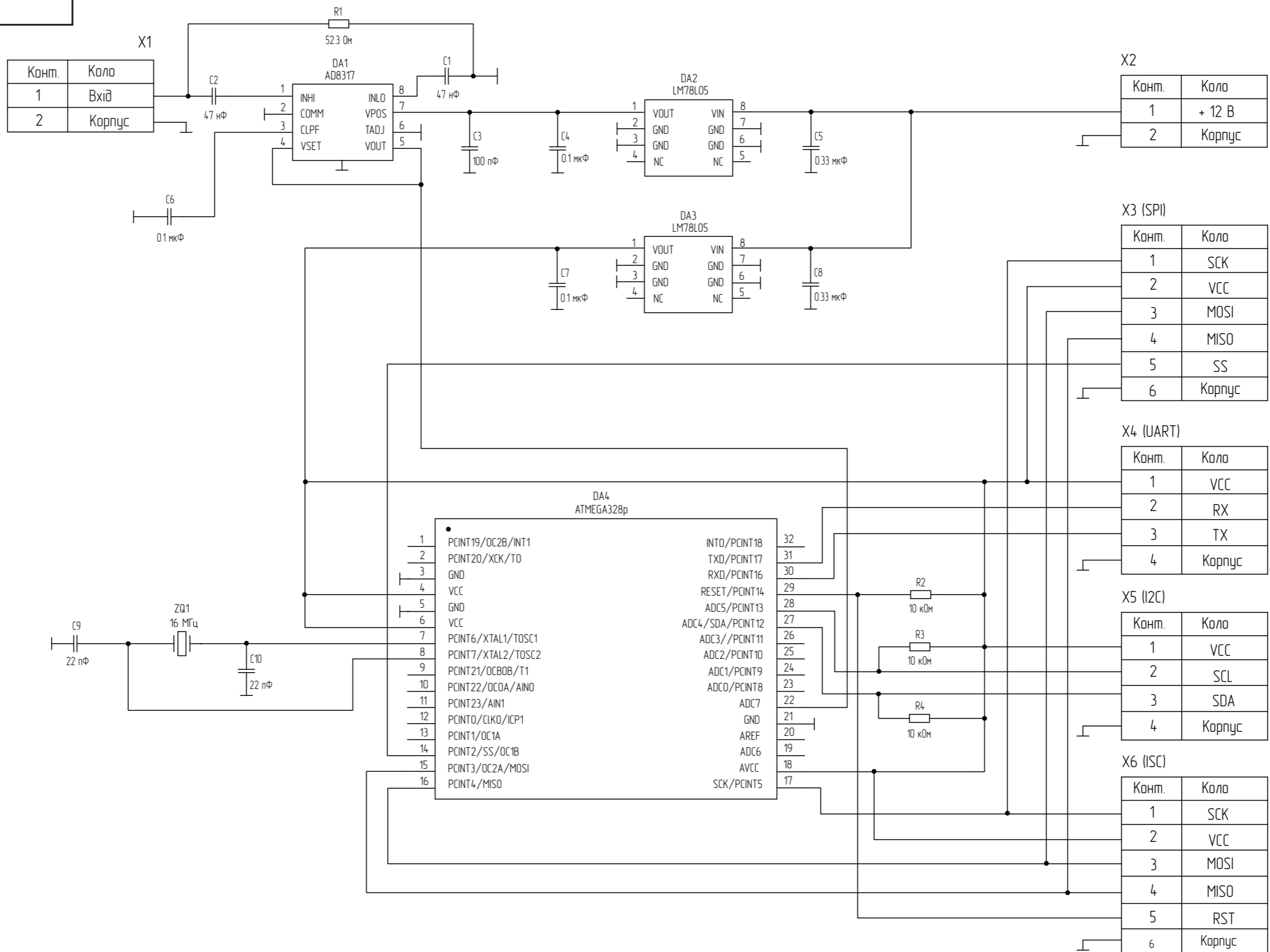
№ строки	Формат	Позначення	Найменування	Кіл.	№.	Примітки
			<b><u>Текстова частина</u></b>			
1	A4	КПТР.2018011.01.09 ПЗ	Пояснювальна записка	1		
			<b><u>Графічна частина</u></b>			
2	A3	КПТР.2018011.01.09 Е2	Вимірювач потужності Схема електрична функціональна	1		
3	A3	КПТР.2018011.01.09 Е3	Вимірювач потужності Схема електрична принципова	1		
4	A3	КПТР.2018011.01.09 ДП	Вимірювач потужності Друкована плата	1		

					<b>КПТР.2018011.01.09 ВП</b>					
Ви	Арк	№ докум.	Підпис.	Дат						
Розраб.	Токарська О.				Автоматизована система вимірювання характеристик МПД- транзисторів			Арк.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Карпова Л. В.									
Н.конт					Відомість кваліфікаційного проєкту			ХНУ, гр. ТР-18-1		
Затв..	Підченко С. К.									

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата



КПТР. 2018011.01.09 ДП						
Вим. Лист	№ докум	Підпис	Дата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Токарська О.	<i>[Signature]</i>				
Перевір.	Карпова Л.	<i>[Signature]</i>				
Т. Контр.				Лист	Листів 1	
Н. Контр.				ХНУ, зр. ТР-18-1		
Затвер.		<i>[Signature]</i>				





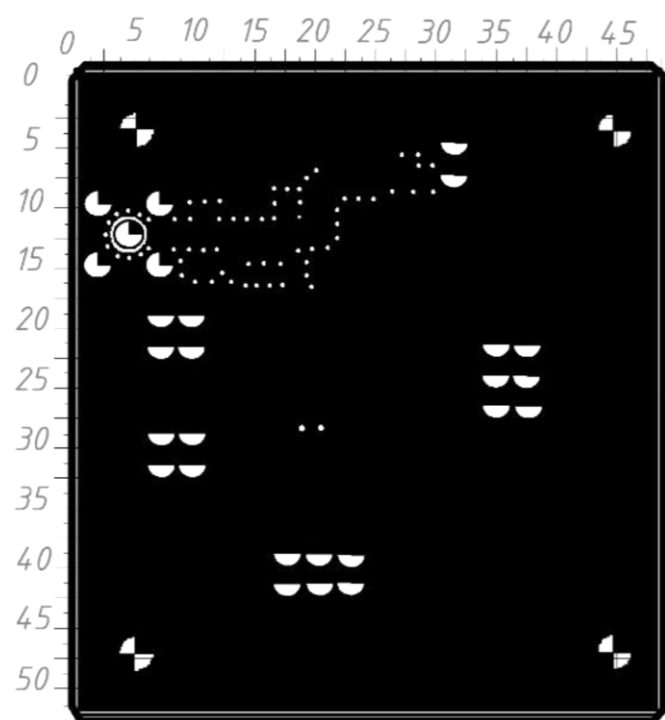
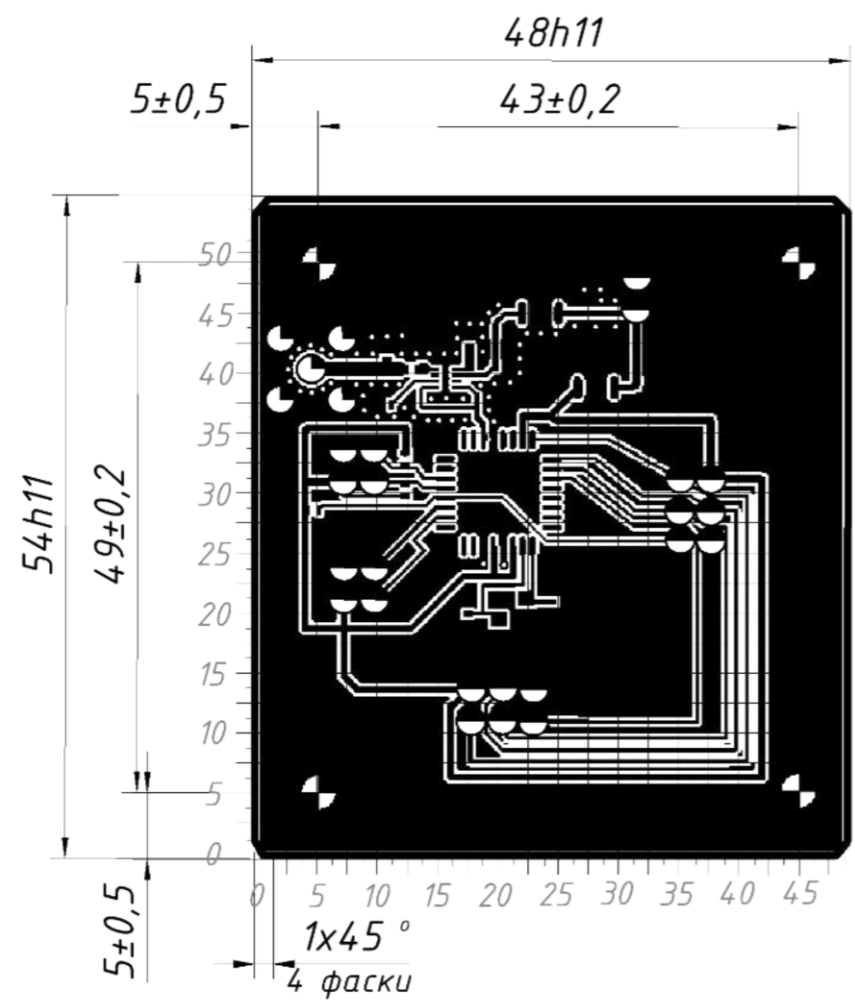
Инд. № підп.	Підп. і дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Взам. инв. №	Підп. і дата

КПТР. 2018011.01.09 ЕЗ					
Изм/Лист	№ докум	Підпис	Дата		
Разраб.	Токарська О.	<i>[Signature]</i>			
Проб.	Карпова Л.	<i>[Signature]</i>			
Т. Контр.					
Н. Контр.					
Затверд.		<i>[Signature]</i>			
Вимірювач потужності Схема електрична принципова			Лист	Маса	Масштаб
			Лист	Листів 1	
			ХНУ, зр. ТР-18-1		

Познач.	Найменування	Кіл.	Примітки
<i>Конденсатори</i>			
C1, C2	GRM155R61C473KA01D	2	
C3	GRM216C1H101JA01A	1	
C4	GRM188R71C104KA01D	1	
C5	GRM21BR71E334KA01L	1	
C6, C7	GRM188R71C104KA01D	2	
C8	GRM21BR71E334KA01L	1	
C9, C10	GRM21A5C2E220JW01	2	
<i>Мікросхеми</i>			
DA1	AD8317	1	
DA2, DA3	LM78L05	2	
DA4	Atmega328p	1	
<i>Резистори</i>			
R1	CR04FL-53R6	1	
R2-R4	RC0402FR-0710K1	3	
<i>Роз'єми</i>			
X1	SMA-KWE902	1	
X2	HR-F-2.54-1x2	1	
X3	HR-IDC-2.54-2X3P	1	
X4, X5	HR-IDC-2.54-2X2	2	
X6	HR-IDC-2.54-2X3P	1	
<i>Кварцові фільтри</i>			
VD1	CXC3X160000GHVRN00	1	

КПТР. 2018011.01.09 ПЕЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Токарська Олена			Вимірювач потужності Перелік елементів до схеми електричної принципової	Лист	Лист	Листів
Перевір.		Карпова Леся					1	1
Реценз.						ХНУ, зр. ТР-18-1		
Н. Кантр.								
Затверд.		Підченко Сергій К.						



Таблиця 1

Умовне позначення	Діаметр отворів, мм	Наявність металізації	Діаметр контактних майданчиків, мм	Кількість отворів
○ перехідний	0,3 <sub>-0,1</sub>	да	0,6	65
◐	0,9 <sub>-0,1</sub>	да	1,5	10
◑	1,1 <sub>-0,1</sub>	да	1,5	12
◒	1,5 <sup>+0,05</sup> <sub>-0,15</sub>	да	2,5	4
◔	4,0 <sup>+0,1</sup> <sub>-0,15</sub>	да	4,5	4

- \*Розмір для справок.
- Клас точності 3 за ГОСТ 23751-86.
- Кроккоординаторної мітки 1,25 мм, лінії сітки нанесені через одну.
- Невказані граничні відхилення між осями двох будь-яких отворів 0,08 мм.
- Характеристика отворів приведена в таблиці 1. площа до 0,15 мм.
- Інші ТТ - по ОСТ 4 ГО.070.014.

Инд. № подл.	Подл. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Подл. и дата	Подл. и дата

				КПТР. 2018011.01.09 ДП			
Вим/Лист	№ докум	Підпис	Дата	Вимірювач потужності Друкована плата	Лист	Маса	Масштаб
Розроб.	Токарська О.	<i>[Signature]</i>				9 г	1:1
Перевір.	Карпова Л.	<i>[Signature]</i>			Лист	Листів 1	
Т. Контр.							
Н. Контр.							
Затвер.		<i>[Signature]</i>					
					ХНУ, зр. ТР-18-1		

Завідувачу кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних  
технологій  
д.т.н., доценту ПІДЧЕНКУ Сергію  
здобувача вищої освіти  
ТОКАРСЬКОЇ Олени  
ФІТ, гр. ТР-18-1


### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25 травня 2022 р.  
дата

  
підпис

Имя пользователя:  
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:  
1011435708

Дата проверки:  
02.06.2022 16:36:07 EEST

Тип проверки:  
Doc vs Internet

Дата отчета:  
02.06.2022 16:45:06 EEST

ID пользователя:  
100005657

Название файла: Токарська\_TP-18-1\_1

Количество страниц: 64 Количество слов: 7755 Количество символов: 58260 Размер файла: 2.09 MB ID файла: 1011315524

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

## 0.21% Совпадения

Наибольшее совпадение: 0.1% с Интернет-источником ([https://energooblik.com.ua/sites/default/files/instrukciya\\_z\\_eks](https://energooblik.com.ua/sites/default/files/instrukciya_z_eks)).

0.21% Источники из Интернета

7

Страница 66

Поиск совпадений с Библиотекой не производился

## 0.12% Цитат

Цитаты

1

Страница 67

Не найдено ни одной ссылки

## 0% Исключений

Нет исключенных источников

## Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы

21

Подозрительное форматирование

17

страниц

Sat Jun 04 20:14:10 EEST 2022, Стецюк Віктор Іванович, Хмельницький національний університет, ХНУ

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 0.0%

Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибок в документах: 9%

ID: 104478 Название: Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті Добавлено в БД: 2022-06-04 Авторы: Токарська Олена Ігорівна Руководители: Карпова Леся Вікторівна Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	40818	668	517 (1%)	12 (2%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

## РІШЕННЯ

### кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

#### ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЄКТУ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Пристрій вимірювання потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті

Автор: Токарська Олена Ігорівна

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: к.т.н., доцент Карпова Леся Вікторівна

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

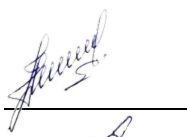

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	-
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	відповідає
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	-
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	-
5	Інше:	-

Підтвердження: Виявленні запозичення не є плагіатом так як розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), складають 0,21% та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«02» червня 2022 р.

Науковий керівник

Завідувач кафедру ТМІТ

Леся КАРПОВА

Сергій ПІДЧЕНКО

## ВІДГУК

на кваліфікаційний проєкт

студентки групи ТР-18-1 Олени ТОКАРСЬКОЇ

### «ПРИСТРІЙ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ НВЧ-СИГНАЛУ В ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНОМУ ТРАКТІ»

Найбільш ефективними та часто використовуваними на даний момент є мікросхеми логарифмічних детекторів. Такий вид вимірювачів потужності відрізняється вкрай компактною схемотехнікою та простотою реалізації, проте має досить високу вартість.

Під час виконання кваліфікаційного проєкту спроектовано вимірювач потужності НВЧ сигналу в приймально-передавальному тракті. Цей пристрій передбачається використовувати не для одноразових вимірювань, а для безперервного відстеження поточного рівня потужності.

У процесі роботи використовувався досвід розробки електричних принципів схем, а також досвід експлуатації сучасного автоматизованого проєктування. Розроблено програмний код, структурну та електричну принципіву схему пристрою, вибрано мікросхеми та інші елементи для вирішення поставлених завдань. Розроблено друковану плату. Виконані креслення та специфікація для всіх елементів готового пристрою.

Під час роботи над кваліфікаційним проєктом Олена Токарська виконала детальний аналіз вітчизняної, закордонної технічної літератури та патентних матеріалів, що дозволило прийняти оптимальні рішення під час виконання роботи.

Під час виконання роботи Олена Токарська проявила креативність, ініціативність, старанність, наполегливість, здатність та вміння застосовувати набуті знання для вирішення складних завдань, обізнаність у сучасних системних та інформаційних технологіях.

Кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних телекомунікацій, а студентка Олена Токарська заслуговує оцінки **«відмінно»**.

Керівник:  
к.т.н., доцент



Леся КАРПОВА

## РЕЦЕНЗІЯ

на бакалаврський кваліфікаційний проєкт  
тема: «Пристрій вимірювання потужності нвч-сигналу  
в приймально-передавальному тракті»  
студентка групи ТР-18-1 Олени ТОКАРСЬКОЇ

Для коректного вимірювання тієї чи іншої величини необхідно перетворити енергію НВЧ коливань на електричний еквівалент. На даний момент є безліч рішень щодо вимірювання потужності радіотехнічних сигналів. Вибір конкретного засобу вимірювання потужності визначається рівнем потужності та діапазоном частот.

Найбільш ефективними та часто використовуваними на даний момент є мікросхеми логарифмічних детекторів. Такий вид вимірювачів потужності відрізняється вкрай компактною схемотехнікою та простотою реалізації

Метою кваліфікаційного проєкту є синтез вимірювача потужності НВЧ-сигналу в приймально-передавальному тракті з використанням мікроконтролера. У даній роботі розглянуто реалізацію вимірювача потужності НВЧ сигналів з використанням перетворювача на основі логарифмічного детектора та мікроконтролера. Проведено аналіз методів вимірювання потужності, та описано реалізацію вимірювача потужності радіотехнічних НВЧ сигналів.

Розроблено програмний код, структурну та електричну принципову схему пристрою, вибрано мікросхеми та інші елементи для вирішення поставлених завдань. Розроблено друковану плату. Виконані креслення та специфікація для всіх елементів готового пристрою.

В цілому кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних технологій телекомунікацій, а студент Олена ТОКАРСЬКА заслуговує оцінки **«відмінно»**.

Опонент:

к.т.н., доцент кафедри

фізики та електротехніки



Олександр СРЬОМЕНКО