

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

До захисту допущено:

В.о. зав.кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньою програмою «Радіозв'язок і оброблення сигналів»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Панорамний векторний аналізатор»

Виконав (-ла):

студент (-ка) III курсу, групи РА-п91

Аристов Антон Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові

Керівник: доцент, к.т.н., Дюжаєв Леонід Петрович

Посада, науковий ступінь, вчене звання Прізвище, ім'я, по батькові

Рецензент доцент каф.РТС, к.т.н. Піддубний В.О.

Посада, науковий ступінь, вчене звання, Прізвище, ім'я, по батькові

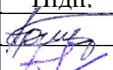
Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) Аристов А.М.

Київ – 2022 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	РАп91.411711.001 ТЗ	Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	РАп91.411711.001 ПЗ	Пояснювальна записка	48	
3	A4	РАп91.411711.001	Специфікація на пристрій	1	
4	A1	РАп91.411711.001 Е1	Схема структурна	1	
5	A1	РАп91.411711.001 Е3	Схема електрична принципова	1	
6	A4	РАп91.411711.001 ПЕ	Перелік елементів	3	
7	A1	РАп91.411711.001 СК	Складальний кресленик пристрою	1	
8	A1	РАп91.411711.002 СК	Складальний кресленик друкованої плати	1	
9	A1	РАп91.411711.002	Специфікація на друкований вузол	5	
10	A1	РАп91.758725.001	Друкована плата	1	

				РАп91.411711.001 ПЗ		
	ПІБ	Підп.	Дата	Панорамний векторний аналізатор	Лист	Листів
Розробн.	Аристов А.М.				1	1
Керівн.	Дюжаєв Л.П.					
Н/контр.	Попсуй В.І.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ПРЕ,Гр. РА-п91	
Зав.каф.						

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма «Радіозв'язок і оброблення сигналів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Аристову Антону Миколайовичу

1. Тема проєкту «Панорамний векторний аналізатор», керівник проєкту Дюжаєв Леонід Петрович, доцент, к.т.н, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2022 року
3. Вихідні дані до проєкту: Діапазон робочих частот 1-450 МГц, крок введення частоти 1 Гц, робота в системах з хвильовим опором 50 Ом, робота від акумулятора.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ, Розробка вимог до характеристик пристрою, Аналіз технічного завдання, Розробка схеми електричної принципової, Вибір елементної бази, Розробка ПЗ, Розробка ДП, Електричні розрахунки, Розрахунки, що підтверджують працездатність, Розробка конструкції пристрою, Висновки, Перелік джерел посилань.
5. Перелік графічного матеріалу Схема електрична структурна, Схема електрична принципова, Складальне креслення ДП, Складальне креслення пристрою, Друкована плата.
6. Дата видачі завдання 01 травня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Розробка та аналіз ТЗ	01.05.2022-03.05.2022	
2	Огляд наявних рішень	03.05.2022-04.05.2022	
3	Розробка структурної схеми	04.05.2022-06.05.2022	
4	Розробка схемотехнічного рішення	06.05.2022-12.05.2022	
5	Розробка програмного забезпечення	12.05.2022-22.05.2022	
6	Розробка друкованої плати	22.05.2022-24.05.2022	
7	Розробка конструкції приладу	24.05.2022-26.05.2022	
8	Розрахунки надійності	26.05.2022-28.05.2022	
9	Оформлення текстової та графічної документації	29.05.2022-30.05.2022	

Студент

Аристов А.М.

Керівник

Дюжаєв Л.П.

АНОТАЦІЯ

Пристрій призначений для вимірювання частото-залежних параметрів навантажень, таких як імпеданс, КСХ, зсув фаз, АЧХ.

Виміряні значення подаються у вигляді графіків на LCD дисплеї. Конструкція передбачає компактність та автономність.

Пояснювальна записка містить 46 ілюстрацій, 3 таблиці, 5 креслень, 25 бібліографічних посилань, загальний обсяг 48 аркушів.

Мета роботи — розробка конструкції Панорамного векторного аналізатора.

Публікація — не передбачена.

Ключові слова: векторний аналізатор, панорамний векторний аналізатор, антенний аналізатор, КСХ, вимірювання імпедансу.

ANNOTATION

Device is designed to measure frequency-dependent units of load, such as SWR, phase shift, frequency response. Measured values displays in a form of a graph on the LCD display. Device designed to be compact and autonomous.

The explanatory note contains 45 illustrations, 3 tables, 5 drawings, 25 bibliographic references, and a total of 48 sheets.

The aim of the work is to develop the design of panoramic vector analyzer.

Publication is not provided.

Keywords: vector analyzer, panoramic vector analyzer, antenna analyzer, SWR, impedance measurement.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: Панорамний векторний аналізатор**

Київ – 2022 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	3
Вступ.....	4
1 Розробка вимог до характеристик пристрою	5
1.1 Огляд наявних технічних рішень	5
1.1.1 Векторний аналізатор MiniVNA.....	5
1.1.2 Аналізатор RigExpert AA230	6
1.1.3 Аналізатор RigExpert AA30	7
2 Аналіз технічного завдання	8
3 Розробка схеми електричної принципової	9
3.1 Аналіз існуючих технічних рішень.....	9
3.2 Розробка схеми електричної структурної.....	9
3.3 Розробка схеми електричної принципової	11
4 Вибір елементної бази та матеріалів.....	15
5 Розробка програмного забезпечення.....	27
6 Розробка друкованої плати	32
6.1 Розрахунок мінімальної площі плати	32
6.2 Розрахунок ширини провідників.....	33
6.2.1 Розрахунок ширини провідників для сигнальної лінії.....	33
6.2.2 Розрахунок ширини провідників для силової лінії 5В зарядного пристрою	34

					РАп91.411711.001 ПЗ		
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Аристов А.М.			Панорамний векторний аналізатор		
Перевірів							
Н. Контр.		Попсуй В.І.					
Затвердив		Дюжаєв Л.П.					
						Лім.	Лист
							1
						Листів	48
						КПІ, РТФ, РА-п91	

6.2.3 Розрахунок ширини провідників для силової лінії 5 В живлення мікросхем	34
6.2.1 Розрахунок ширини провідників для силової лінії 3,3 В живлення мікросхем	35
6.2.2 Розрахунок мінімального діаметра перехідного отвору.....	35
6.3 Обґрунтування друкованої плати.....	36
7 Електричні розрахунки.....	37
7.1 Розрахунок номіналів резисторів для DC-DC перетворювача.....	37
8 Розрахунки, що підтверджують працездатність	38
8.1 Розрахунок надійності	38
8.2 Механічні розрахунки	41
9 Розробка конструкції пристрою	43
Висновки	45
Перелік джерел посилань	46
Додаток А Технічне завдання.....	49
1 Назва і підстава для виконання	49
2 Виконавець	49
3 Мета виконання дипломного проєкту і призначення продукції.....	49
4 Технічні вимоги.....	49
4.1 Призначення	49
4.2 Керування.....	50
4.3 Життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів і чинників.....	50
4.4 Надійності	50

4.5 Конструкції	50
5 Сировини, матеріалів і ПКВ	51
6 Вимоги до консервації, пакування і маркування.....	51
7 Матеріали, які подають під час закінчення ндр та її етапів	51
8 Вимоги до розроблюваної документації.....	51
Додаток Б Схема електрична структурна.....	53
Додаток В Схема електрична принципова	57
Додаток Г Перелік елементів.....	61
Додаток Д Друкована плата	65
Додаток Е Складальне креслення друкованої плати	69
Додаток Ж Складальне креслення пристрою	73
Додаток И Специфікація на друкований вузол	77
Додаток К Специфікація на пристрій	83
Додаток Л Лістинг програмних рішень	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВЧ — Високочастотний

USB — Universal Serial Bus

DDS — Direct Digital Synthesis

КСХ — Коефіцієнт стійних хвиль

АЦП — Аналогово-цифровий перетворювач

DC — Direct Current

ARM — Advanced RISC Machine

LCD — Liquid Crystal Display

TFT — Thin Film Transistor

SMD — Surface Mount Device

ДП — Друкована плата

ДДП — Двошарова друкована плата

					РАп91.411711.001 ПЗ	Лист
						3
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

При практичному конструюванні антен, фільтрів, та інших частотно-залежних приладів з'являється гостра необхідність у контролі отримуваних характеристик, таких як S_{11} (що може бути представлений як вхідний імпеданс, або КСХ антени), або S_{21} (наприклад АЧХ фільтрів). З цією метою використовуються вимірювачі побудовані за різними принципами. Часто один пристрій може виконувати вимірювання тільки однієї величини (наприклад прості вимірювачі КСХ антен), векторні аналізатори поєднують в собі широкий спектр функціоналу.

Особливістю панорамних векторних аналізаторів є те, що вимірювання проводиться в заданому діапазоні частот, а результат вимірювання подається у вигляді графіка.

Метою дипломної роботи є розробка конструкції Панорамного векторного аналізатора та комплекту конструкторської документації.

					РАп91.411711.001 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 РОЗРОБКА ВИМОГ ДО ХАРАКТЕРИСТИК ПРИСТРОЮ

1.1 Огляд наявних технічних рішень

1.1.1 Векторний аналізатор MiniVNA



Рисунок 1.1 — Зовнішній вигляд MiniVNA.

Характеристики:

- Частотний діапазон: 100 кГц – 200 МГц;
- Крок частоти 1Гц;
- Діапазон вимірювання Z 1 – 1000 Ом;
- Вихідна потужність ВЧ генератора 0 дБм;
- Живлення від USB;
- Струм споживання 220 мА;

Аналіз:

Пристрій має два роз'єми типу SMA, отже вимірює S_{11} та S_{21} , в якості ВЧ генератора використано доволі дорогий DDS AD9958, також суттєвим недоліком, що працює лише в парі з комп'ютером[2].

1.1.2 Аналізатор RigExpert AA230



Рисунок 1.2 — Зовнішній вигляд RigExpert AA230.

Характеристики:

- Діапазон робочих 0.3 – 230 МГц;
- Крок частоти 1кГц;
- Діапазон вимірювання Z 1 – 1000 Ом;
- Вихідна потужність ВЧ генератора +10 дБм;
- Живлення від вбудованого акумулятора;

Аналіз:

Пристрій призначений в основному для вимірювання імпедансу антен (S11). В якості генератора також використано DDS, досить дорогий AD9958[3].

1.1.3 Аналізатор RigExpert AA30



Рисунок 1.3 — Зовнішній вигляд аналізатора RigExpert AA30.

Характеристики:

- Діапазон робочих частот 0.1 – 30 МГц;
- Крок частоти 1 кГц;
- Діапазон вимірювань Z до 1000 Ом;
- Вихідна потужність +13 дБм;
- Живлення від акумулятора;

Аналіз:

В основі роботи пристрою лежить принцип вимірювання на гармоніках. В якості ВЧ генератору використано, порівняно низькочастотний (до 10 МГц), AD9833[4]. Синусоїдальний сигнал перетворюється в меандр і подається на вимірювальний міст. Сигнал з мосту потрапляє на змішувач, де виділяється необхідна гармоніка. Такий підхід дозволяє знизити вартість виробу, адже високочастотні DDS коштують в 10-15 раз дорожче.

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Згідно технічного завдання необхідно розробити конструкцію панорамного векторного аналізатора. Пристрій має бути автономним і компактним.

Повинен вимірювати S11, S21, відображати дані у вигляді графіків на дисплеї, у форматах комплексного опору, КСХ, та послаблення в дБ.

Повинен працювати в системах з хвильовим опором 50 Ом, в частотному діапазоні від 1 до 450 МГц. З цієї метою можна використати прямокутний вихідний сигнал генератора, для реалізації вимірювань на частотах гармонік, що виключає використання дорого вартісних DDS з синусоїдальним сигналом на виході, але дещо ускладнює схему.

В якості роз'єму живлення потрібно використати MiniUSB, він відповідає вимогам міцності, оскільки порівняно масивний і його буде важче привести в непридатність при активній експлуатації, також він є досить поширеним, що виключає необхідність додаткового придбання кабелів.

За показниками надійності пристрій повинен мати гарантійний термін не менше 1 року. Технічне обслуговування та ремонт може здійснюватися користувачем, попередньо відімкнувши живлення.

Використання пристрою передбачається в житлових приміщеннях та офісах, або на відкритому повітрі при полегшених зовнішніх чинниках. Необхідний ступінь захисту IP33.

Згідно ГОСТ 16019-2001 пристрій відповідає групі Н7 — портативна, призначена для довгострокової переноски на відкритому повітрі при полегшених зовнішніх чинниках або в опалюваних наземних і підземних спорудах і працює на ходу.

Слід зазначити, що оскільки в конструкції пристрою використовується літійовий акумулятор, то нижня гранично допустима температура використання приблизно дорівнює -20°C , оскільки літійові акумулятори мають здатність втрачати ємність при понижених температурах.

					РАп91.411711.001 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

3.1 Аналіз існуючих технічних рішень

Метою аналізу є вибір оптимальної базової структурної схеми векторного аналізатора.

При проведенні аналізу були розглянуті схемотехнічні і конструктивні рішення таких аналізаторів як «MiniVna», «RigExpert AA230», «RigExpert AA30», та ще декількох схожих моделей.

В результаті проведення аналізу було встановлено:

- Переглянуті векторні аналізатори використовують в своїй основі мостовий метод вимірювання імпедансу;
- Найбільш поширеним варіантом генерації ВЧ, для виконання вимірювань, є застосування синтезаторів прямого цифрового синтезу з вихідним синусоїдальним сигналом;
- Деякі з розглянутих варіантів потребують наявності комп'ютера для роботи;
- Більшість розглянутих аналізаторів мають змогу вимірювати тільки S_{11} ;

3.2 Розробка схеми електричної структурної

На основі проведеного огляду і аналізу існуючих технічних розробок зроблені наступні висновки:

- Основою вимірювальної частини схеми буде балансний мостовий метод вимірювання;
- В якості генератора ВЧ буде використовуватись дешевий та поширений синтезатор SI5351[5], з меандром на виході;
- Особливістю схеми є те що, меандр насичений гармоніками, і для «прямого» вимірювання не підходить, тому вимірювання буде реалізовано на гармоніках вихідного сигналу. Для цієї цілі необхідно застосувати змішувачі, які будуть забезпечувати лінійне

- перенесення спектру гармоніки потрібної для вимірювання частоти на проміжну частоту;
- В якості проміжної частоти доцільно обрати стандартне значення 455 кГц і використати поширені п'єзокерамічні фільтри;
 - Виміряні значення виводити на рідкокристалічний дисплей у вигляді графіків імпедансу, та КСХ;
 - Живлення від акумуляторної батареї;

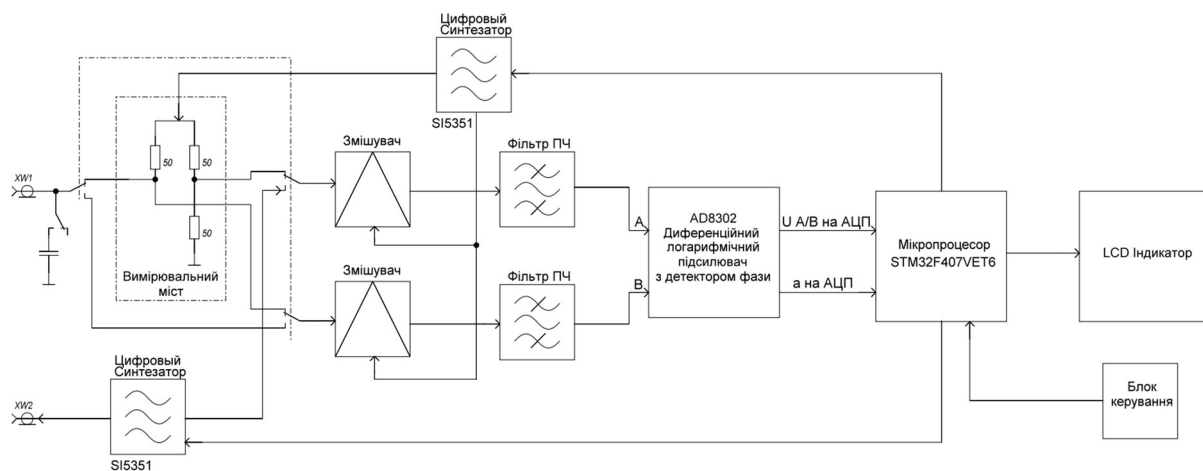


Рисунок 3.1 — Схема електрична структурна. Функційна частина.



Рисунок 3.2 — Схема електрична структурна. Живлення схеми.

Результатом підрозділу є розробка схеми структурної електричної.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

10

3.3 Розробка схеми електричної принципової

На основі структурної схеми було розроблено схему електричну принципову.

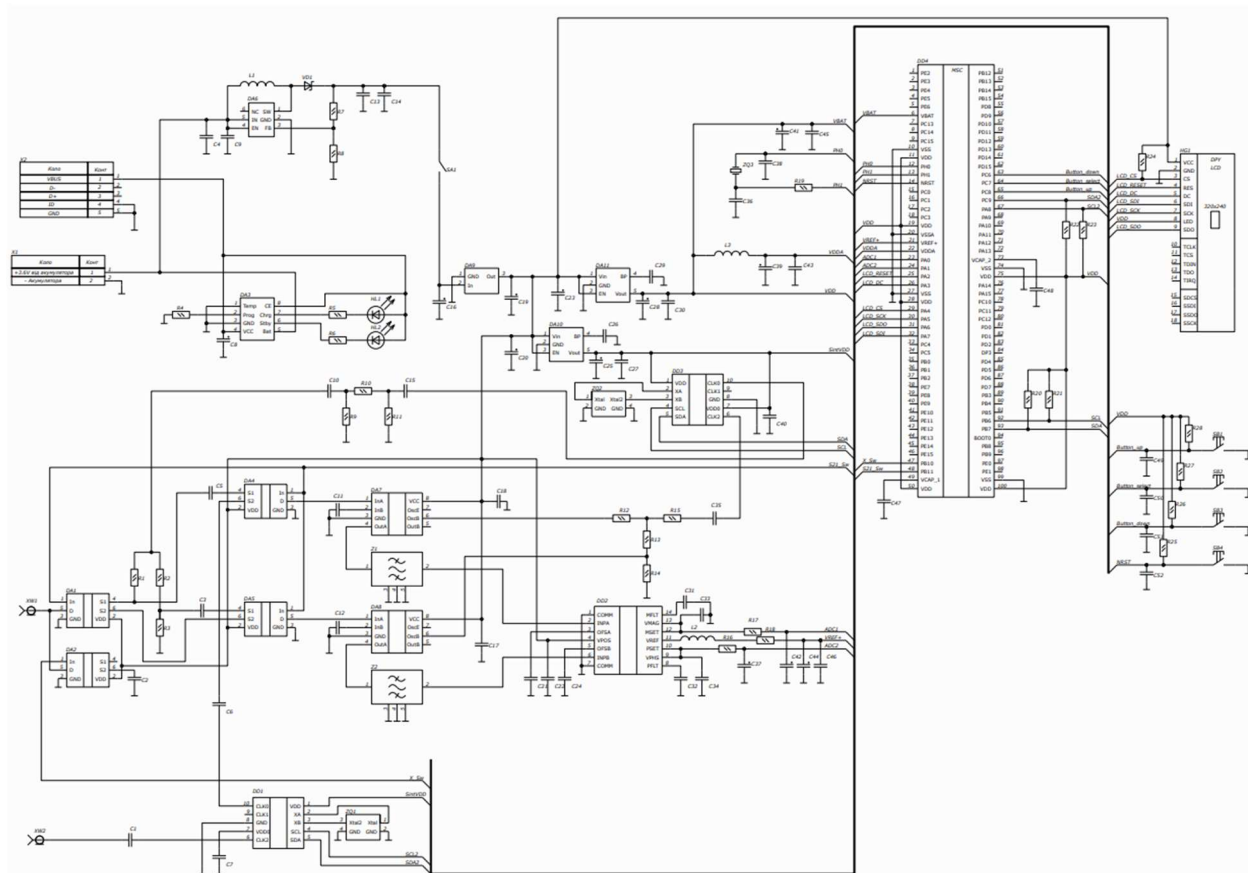


Рисунок 3.3 — Схема електрична принципова панорамного векторного аналізатора.

В основі методу вимірювання розроблюваного аналізатора лежить мостовий метод вимірювання імпедансу навантаження, так як він має досить широку частотну смугу роботи і є легким у реалізації. Для вимірювання S_{11} , навантаження під'єднується до роз'єму XW1, сигнал від навантаження проходить через аналоговий ключ(положення ключа — 1), потрапляє на вимірювальний міст, в одне з плечей якого увімкнено вихід одного з синтезаторів.

З вимірювального мосту сигнал знімається у двох точках і подається на аналогові ключі(положення ключів — 1), з ключів сигнал подається на змішувачі, які виконують лінійне перенесення спектру на потрібній для вимірювання частоті гармоніки.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

11

Сигнал фільтрується п'єзокерамічними фільтрами і надходить на мікросхему AD8302 — диференційного логарифмічного підсилювача з детектором фази[6]. На виході у цієї мікросхеми формуються два сигнали — напруга різниці вхідних амплітуд, та напруга зсуву фази між ними. Ці два сигнали подаються на АЦП мікроконтролера STM32F407VET6 [7], мікроконтролер виконує керування процесами вимірювання та відображення результатів на рідкокристалічному дисплеї.

Пояснення щодо методів обчислень:

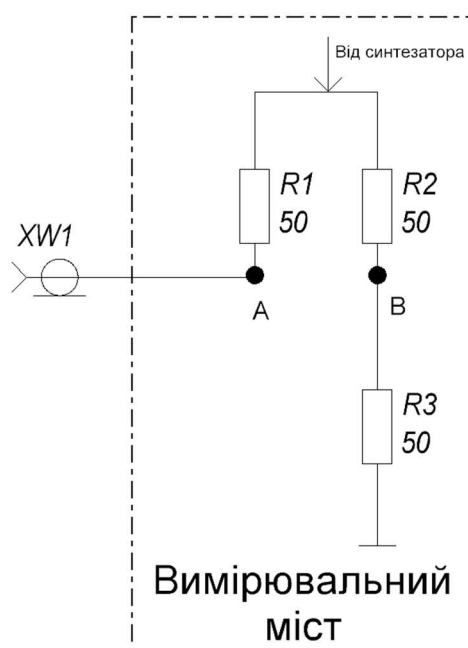


Рисунок 3.4 — Частина структурної схеми з вимірювальним мостом.

За основу розрахунків взято вимірювання різниці амплітуд сигналів в точках А і В (U_A, U_B), а також фазового зсуву між ними (α)[1].

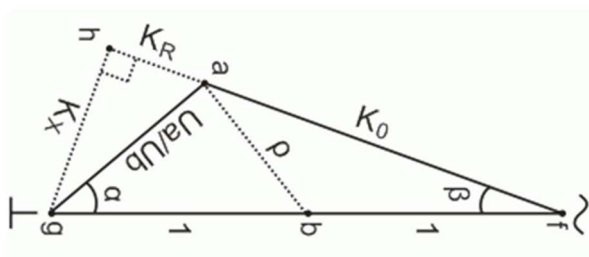


Рисунок 3.5 — Векторна діаграма амплітуд.

Спосіб вимірювання параметрів проілюстровано на рисунку Рисунок 3.5. Точки а,в відповідно до схеми на Рисунок 3.4, g — спільна шина, f — сигнал

від синтезатора. Відрізки bg, af, bf відповідають напругам на резисторах вимірювального мосту, відрізок ag — напрузі на вимірюваному навантаженні, що підключено до XW1.

Якщо напруга на R2 і R3(відрізки bf та bg) дорівнює одиниці, то довжина відрізка ag буде відповідати вимірюваному співвідношенню $\frac{U_A}{U_B}$, а кут між відрізками ag і bg — куту α . Довжина відрізка ab буде рівна коефіцієнту відбиття ρ , що також визначає КСХ[1].

$$\rho = \sqrt{\left(\frac{U_A}{U_B}\right)^2 + 1 - 2 \frac{U_A}{U_B} \cos \alpha}.$$

$$\text{КСХ} = \frac{1+\rho}{1-\rho}.$$

З діаграми також визначаються коефіцієнти, що необхідні для визначення імпедансу навантаження на заданій частоті[1]:

$$K_0 = \sqrt{\left(\frac{U_A}{U_B}\right)^2 + 4 - 4 \frac{U_A}{U_B} \cos \alpha}.$$

$$\beta = \arcsin \left(\frac{\frac{U_A}{U_B} \sin \alpha}{K_0} \right).$$

$$R = \frac{2 \cos \beta - K_0}{K_0} \cdot 50.$$

$$X = \frac{2 \sin \beta}{K_0} \cdot 50.$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

Для визначення знаку реактивності до навантаження паралельно через електронний ключ вмикається ємність малого номіналу, після чого відслідковується в яку сторону змінюється реактивна складова.

Для вимірювання S21 задіюється другий синтезатор, один з його виходів використовується як референсне джерело сигналу(положення ключів — 2). В цьому випадку навантаження вмикається між XW2 та XW1, таким чином на вхід А мікросхеми AD8302 надходить референсний сигнал, а на її вхід В — сигнал, що пройшов через підключене навантаження. На АЦП потрапляє різниця потужності цих сигналів та різниця їх фаз.

Керування пристроєм здійснюється за допомогою трьох кнопок.

В якості системи живлення використано акумулятор з підвищуючим DC-DC перетворювачем, напруга акумулятора 3,7В , на виході перетворювача — 6В(тому що далі на стабілізаторах вона просяде через втрати), ця напруга подається на стабілізатори 5В та 3,3В для живлення елементів схеми.

					РАп91.411711.001 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ТА МАТЕРІАЛІВ

Мікроконтролер STM32F407VET6

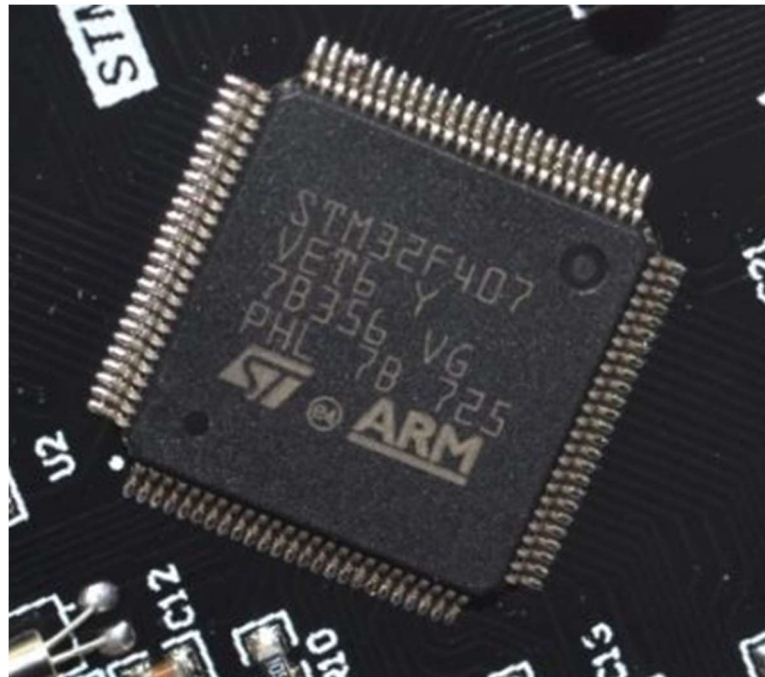


Рисунок 4.1 — Мікроконтролер STM32F407VET6.

Мікроконтролер STM32F407VET6 — один з розповсюджених ARM контролерів, має чудове співвідношення вартості до функціоналу. На практиці має достатній об'єм вбудованої пам'яті, велику кількість периферійних інтерфейсів, та високу швидкість роботи. Також, що важливо, має три незалежних 12-bit АЦП[7].

Характеристики:

- Ядро: ARM Cortex-M4;
- Робоча частота: до 168 мГц;
- Пам'ять: 512kB Flash, 192K SRAM;
- DMA 16-ти поточковий контролер з FIFO і пакетною підтримкою;
- Три 12-bit АЦП;
- Два 12-bit ЦАП;
- Дванадцять 16-bit таймерів загального призначення;
- Два 32-bit таймера загального призначення;
- RNG - генератор справжніх випадкових чисел;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

15

- Вбудовані інтерфейси: 3xSPI, 4xUSART, 2xUART, 2xI2S, 3xI2C; 1xFSMC, 1xSDIO, 2xCAN, 2xUSB 2.0, 1x10/100 Ethernet, 1x8-14bit паралельний інтерфейс підключення відеокамери;
- Напруга живлення 3,3 В;

Синтезатор SI5351

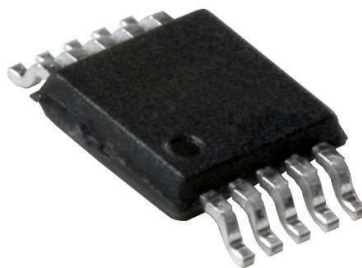


Рисунок 4.2 — Синтезатор SI5351.

Дуже поширений і не дорогий синтезатор з широким частотним діапазоном, з меандром в якості вихідного сигналу. Має три виходи, два з яких є незалежними. Дозволяє отримати сигнал з максимальною частотою 160 МГц[5].

Характеристики:

- Вихідний частотний діапазон від 8 кГц до 160 МГц;
- Інтерфейс підключення I2C;
- Напруга живлення 3,3-5В;
- Споживаний струм 22 мА;
- Вихідний імпеданс 50 Ом;

AD8302



Рисунок 4.3 — Функціональна мікросхема AD8302.

Інтегрована система для вимірювання коефіцієнта підсилення і втрат в різних вимірювальних пристроях. Майже не потребує обв'язки, працює з сигналами до 2,7 ГГц. Номінальний вхідний імпеданс 3кОм[6].

Характеристики:

- Діапазон потужностей вхідного сигналу -60 дБм до 0 дБм в 50 Ом системі;
- Нелінійність вимірювання співвідношення потужностей <0,5 дБ;
- Нелінійність вимірювання фази <1 градуса;
- Напруга живлення 2,7 – 5,5 В;

Електронний аналоговий ключ ADG779

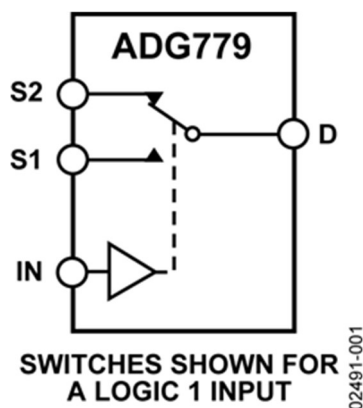


Рисунок 4.4 — Функційне зображення електронного ключа ADG779.

Дешевий і розповсюджений аналоговий ключ з частотою роботи до 500 МГц.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

17

Активний змішувач SA612

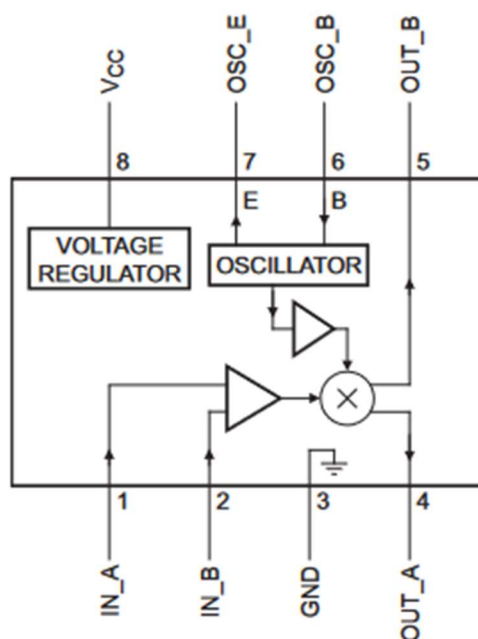


Рисунок 4.5 — Блок-діаграма змішувача SA612.

Дешевий і дуже розповсюджений змішувач, розрахований на роботу в частотній смузі до 500 МГц. Може працювати в режимі балансних входів. Потребує мінімальної обв'язки[8].

Характеристики:

- Низький рівень шуму <4,7 дБ;
- Робоча смуга частот до 500 МГц;
- Напруга живлення 4 – 8 В;
- Струм споживання 3 мА;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

18

П'єзокерамічний фільтр CF455 FW



Рисунок 4.6 — Зовнішній вигляд п'єзокерамічного фільтра .
Дешевий п'єзокерамічний фільтр з частотою 455 кГц[9].

Характеристика:

- Центральна частота 455 кГц;
- Смуга пропускання $\pm 12,5$ кГц;
- Вхідний/вихідний імпеданс 1,5 кОм;
- Затухання сигналу поза смугою пропускання 40 дБ;

LCD дисплей з контролером ILI9341



Рисунок 4.7 — Зовнішній вигляд дисплея.
Доволі якісний і поширений TFT дисплей з SPI інтерфейсом[10].

Характеристики:

- Діагональ 2,8 дюйми;
- Розширення 240x320;
- Інтерфейс підключення SPI;
- Драйвер ILI9341;
- Напруга живлення 3,3 - 5В;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

19

Кварцовий тактовий генератор АВМ8



Рисунок 4.8 — Кварцовий тактовий генератор АВМ8.

Характеристики[11]:

- Частота 25 МГц;
- Стабільність частоти ± 50 ppm;
- Навантажувальна ємність 18 пФ;

Кварцовий резонатор типу КХ-КТ



Рисунок 4.9 — Кварц.

Характеристики[12]:

- Частота 8 МГц;
- Корпус HC-49/S-SMD (QSMD12,3x4,5x4,2);
- Навантажувальна ємність 16 пФ;
- Стабільність ± 30 ppm;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

20

Кнопки SWT-34/5



Рисунок 4.10 — Тактові кнопки.

Звичайні тактові кнопки для поверхневого монтажу.

Характеристики[13]:

- Розмір 6х6 мм;
- Висота 5 мм;
- Тип контактів SPST-NO;

Літієвий акумулятор



Рисунок 4.11 — Літієвий акумулятор.

Літій-полімерний акумулятор з вбудованою платою захисту[14].

Характеристики:

- Ємність 650 мАг;
- Напруга 3,7 В;
- Максимальний струм розряду 1,3 А;
- Габарити 6х22х48;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

21

Мікросхема заряду акумулятора TP4056

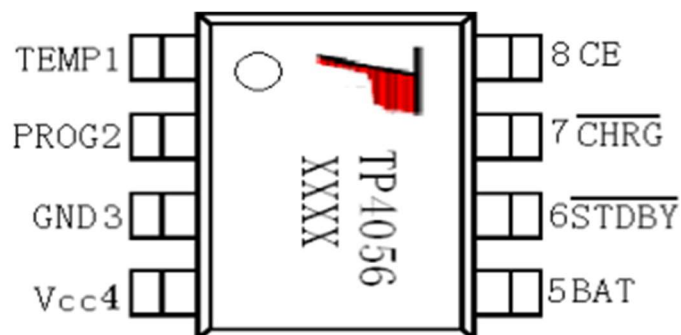


Рисунок 4.12 — Мікросхема заряду акумулятора TP4056.

Характеристики[15]:

- Регульований струм заряду акумулятора;
- Максимальний струм заряду 1,2 А;
- Напруга заряду 4,2 В;
- Напруга живлення до 8В;

DC-DC перетворювач MT3608

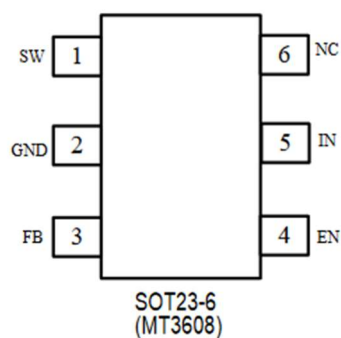


Рисунок 4.13 — DC-DC перетворювач MT3608.

Характеристики[16]:

- Вхідна напруга 2 – 24 В;
- Максимальний вихідний імпульсний струм 4А;
- Максимальна вихідна напруга 28 В;
- ККД до 97%;

Лінійний стабілізатор на 5В AMS1117-5

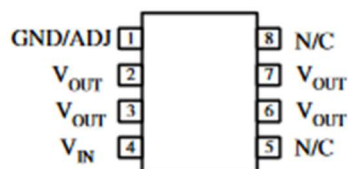


Рисунок 4.14 — Стабілізатор на 5В AMS1117.

Характеристики[17]:

- Вихідна напруга 5В;
- Максимальний вихідний струм 1А;
- Максимальна вхідна напруга 12В;

Лінійний стабілізатор на 3,3В RT9193

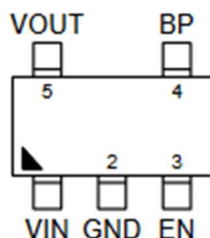


Рисунок 4.15 — Лінійний стабілізатор на 3,3В.

Лінійний стабілізатор з низьким рівнем шуму[18].

Характеристики:

- Вихідна напруга 3,3В;
- Низьке падіння напруги, максимум 220 мВ;
- Максимальний вихідний струм 400 мА;
- Максимальна вхідна напруга 5,5В;

Вибір роз'ємів

В якості роз'єму живлення доцільно вибрати MINI-USB, оскільки він володіє гарною механічною міцністю.

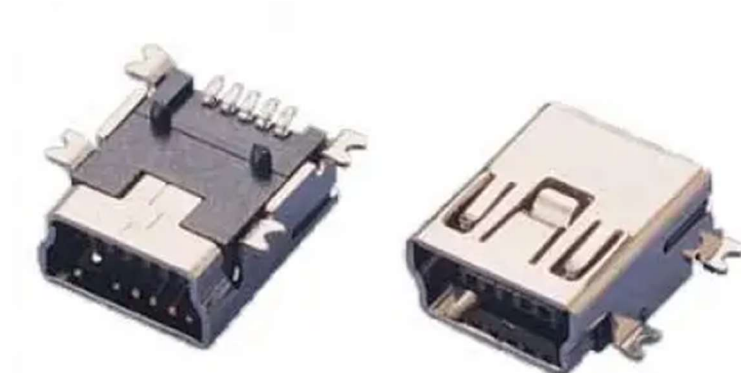


Рисунок 4.16 — MINI-USB роз'єм.

В якості ВЧ роз'ємів хорошим варіантом буде SMA-F[19].



Рисунок 4.17 — Роз'єм SMA-F.

Характеристики:

- Імпеданс 50 Ом;
- Частотний діапазон роботи 0 – 18 ГГц;

Вибір світлодіодів:

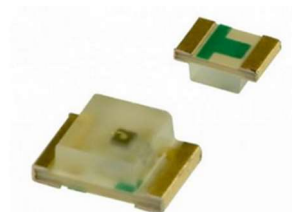


Рисунок 4.18 — KLS9-L-0805UWC.

SMD світлодіоди типорозміру 0805. Білого та червоного кольору[20].

Вибір індуктивностей

В якості силової індуктивності для DC-DC перетворювача доцільно використати Wruth 744771127



Рисунок 4.19 — Індуктивність Wruth 744771127.

Індуктивність 27 мкГ, максимальний струм 3 А[21].

Для фільтрів доцільно використати феритовий кульковий індуктор MLF1608A3R3J з індуктивністю 3,3 мкГ. Типорозмір 0603 [22].



Рисунок 4.20 — Феритовий кульковий індуктор MLF1608A3R3J.

Вибір конденсаторів та резисторів



Рисунок 4.21 — Зовнішній вигляд конденсаторів та резисторів SMD0805.

В якості резисторів та неполярних керамічних конденсаторів доцільно використати SMD компоненти типорозміру 0805

В якості полярних конденсаторів — SMD танталові конденсатори типорозміру В[23].

Вибір діода для DC-DC перетворювача

В якості діода доцільно використати SS34 — діод з бар'єром Шоткі, що відрізняється від звичайних діодів низьким падінням напруги при прямому включенні[24].



Рисунок 4.22 — Діод SS34.

Характеристики:

- Максимальний прямий струм 3 А;
- Падіння напруги 0,2-0,5 В;
- Максимальна зворотна напруга 40 В;
- Корпус DO-214AC;

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

При розробці програмного забезпечення необхідністю є створення прототипу. Прототип зібрано на основі модулів синтезатора SI5351, AD8302 та налагоджувальної плати з мікроконтролером STM32F407VET6.

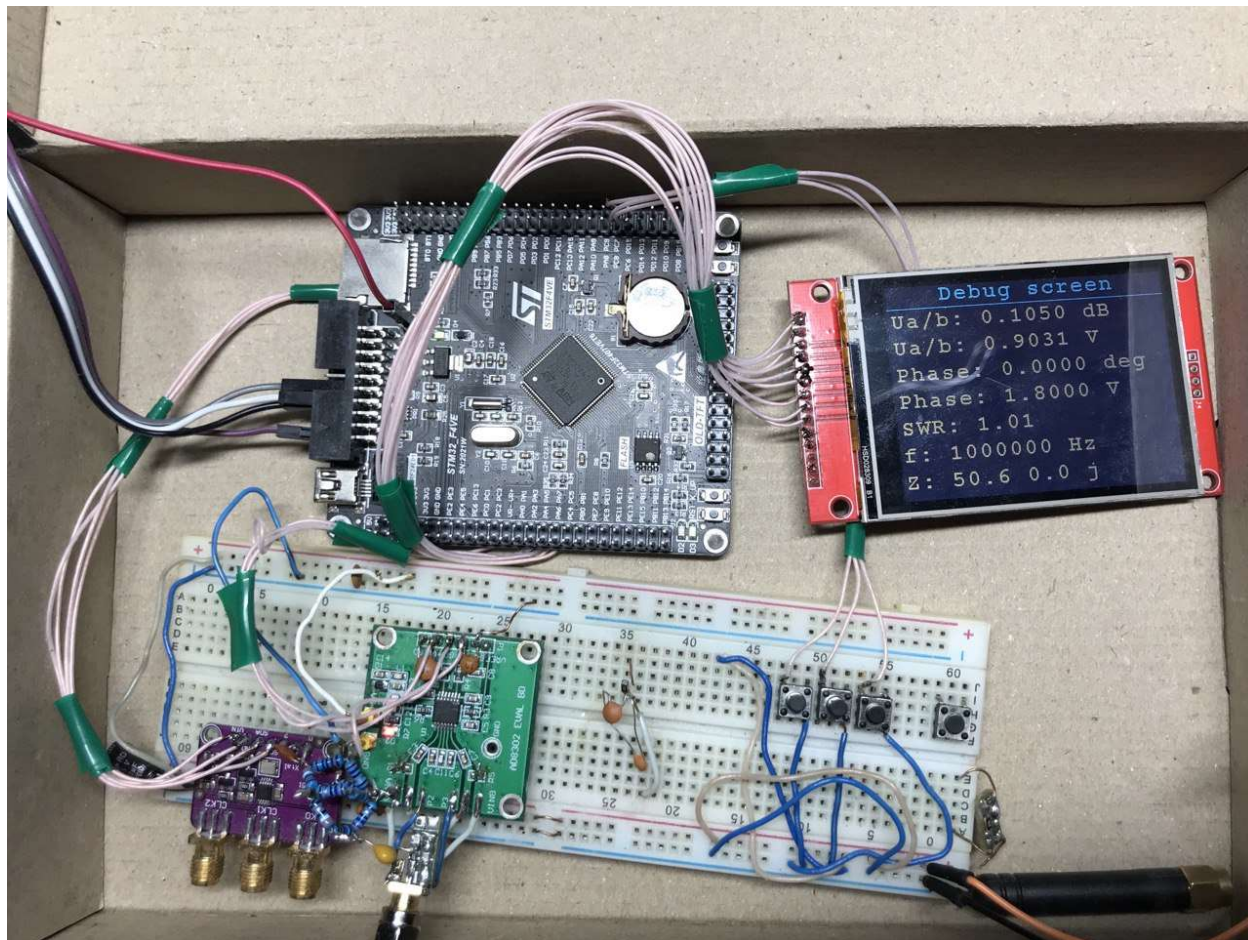


Рисунок 5.1— Фото налагоджувального макету.

На рисунку Рисунок 5.1 можна побачити відображення на дисплеї вимірювань та конвертації вимірних значень напруги в значення фази, КСХ та комплексний опір Z . В якості вимірювального навантаження під'єднано навантаження номіналом 50 Ом. В даному випадку вимірювання виконується на частоті 1 МГц, частоту можна змінювати кнопками.

Мовою програмування обрано C в середовищі CubeIDE.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

27

Нижче наведено деякі функції, які реалізують необхідну математику:

```
128 float32_t get_swr(float32_t Uab, float32_t a){ // Uab - різниця Uab, a - кут між a б в градусах
129     float32_t swr = sqrt(pow(log_to_u(Uab), 2)+1-2*log_to_u(Uab)*arm_cos_f32(deg_to_rad(a)));
130     swr = fabs((1+swr)/(1-swr));
131     return swr;
132 }
```

Рисунок 5.2 — Функція обрахунку КСХ.

```
196 float32_t convert_adc_to_X(float32_t adc_Uab, float32_t adc_a){
197     float32_t X = 0;
198     float32_t k = 0;
199     float32_t beta = 0;
200     adc_Uab = convert_adc_to_Uab_dB(adc_Uab);
201     adc_a = convert_adc_to_phase_shift_deg(adc_a);
202     k = sqrt(pow(log_to_u(adc_Uab), 2)+4-4*log_to_u(adc_Uab)*arm_cos_f32(deg_to_rad(adc_a)));
203     beta = asin((log_to_u(adc_Uab)*arm_sin_f32(deg_to_rad(adc_a)))/(k));
204     X = ((2*arm_sin_f32(beta))/(k))*50;
205     return X;
206 }
```

Рисунок 5.3 — Функція обрахунку реактивності.

```
209 float32_t convert_adc_to_R(float32_t adc_Uab, float32_t adc_a){
210     float32_t R = 0;
211     float32_t k = 0;
212     float32_t beta = 0;
213     adc_Uab = convert_adc_to_Uab_dB(adc_Uab);
214     adc_a = convert_adc_to_phase_shift_deg(adc_a);
215     k = sqrt((pow(log_to_u(adc_Uab), 2))+4-(4*(log_to_u(adc_Uab))*arm_cos_f32(deg_to_rad(adc_a))));
216     beta = asin((log_to_u(adc_Uab)*arm_sin_f32(deg_to_rad(adc_a)))/(k));
217     R = (2*arm_cos_f32(beta)-k)/(k)*50;
218     return R;
219 }
```

Рисунок 5.4 — Функція обрахунку активного опору.

Функції вимірювань та конвертації заміряних величин напруги у фазу та різницю амплітуд у дБ:

```
30 uint16_t measure(ADC_HandleTypeDef adc){ //приймає номер ацп hadc1 hadc2 і тд ...
31     uint32_t ADC_measure = 0;
32     for (int i = 0; i < 100; ++i) {
33         HAL_ADC_Start(&adc);
34         HAL_ADC_PollForConversion(&adc, 100);
35         ADC_measure += (uint32_t) HAL_ADC_GetValue(&adc);
36         HAL_ADC_Stop(&adc);
37     }
38     return (ADC_measure/100);
39 }
```

Рисунок 5.5 — Загальна функція отримання значень з АЦП.

При замірах використовується вибірка з 100 вимірів.

Функції конвертації:

```

69 float32_t convert_adc_to_Uab_dB(float32_t adc_Uab_value){ //measure(adc_Uab) here
70     float32_t ADC_buffer = 0;
71     ADC_buffer = convert_adc_to_Uab_volts(adc_Uab_value);
72     if (ADC_buffer < 0.9) {
73         ADC_buffer = 30-ADC_buffer/0.03;
74         ADC_buffer = -ADC_buffer;
75     }
76     if (ADC_buffer == 0.9) {
77         ADC_buffer = 0;
78     }
79     if (ADC_buffer > 0.9) {
80         ADC_buffer = ADC_buffer/0.03-30;
81     }
82     return ADC_buffer;
83 }

```

Рисунок 5.6 — Функція конвертації значень АЦП у різницю амплітуд у дБ.

```

115 float32_t convert_adc_to_phase_shift_deg(float32_t adc_a_value){
116     float32_t ADC_buffer = 0;
117     ADC_buffer = convert_adc_to_phase_shift_volts(adc_a_value);
118     if(ADC_buffer > 1.8){
119         ADC_buffer = 0;
120     }
121     else{
122         ADC_buffer = 180-(ADC_buffer/0.01);
123     }
124     return ADC_buffer; //return deg val
125 }

```

Рисунок 5.7 — Функція конвертації значень АЦП у різницю фаз у градусах.

```

12 float32_t deg_to_rad(float32_t deg_value){
13     float32_t rad = (deg_value*pi)/180;
14     return rad;
15 }
16
17
18 float32_t rad_to_deg(float32_t rad_value){
19     float32_t deg = (rad_value*180)/pi;
20     return deg;
21 }
22
23
24 float32_t log_to_u (float32_t log_value){
25     float32_t u = pow(10, log_value/20);
26     return u;
27 }

```

Рисунок 5.8 — Функції конвертації величин.

Таким чином, в результаті прототипування було підтверджено теоретичну працездатність на практиці.

Боротьба з тремтінням клавiш реалізована також програмно. Використовуючи апаратний таймер, створено затримку натискання на кнопки в декілька мілісекунд.

```

670 void HAL_GPIO_EXTI_Callback (uint16_t GPIO_Pin)
671 {
672     if(ui_is_SelectPressed() && tim_state == 1){
673         HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim2);
674         tim_state = 0;
675     }
676     if(ui_is_DownPressed() && tim_state == 1){
677         HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim2);
678         tim_state = 0;
679     }
680     if(ui_is_UpPressed() && tim_state == 1){
681         HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim2);
682         tim_state = 0;
683     }
684 }
685 void HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef *htim){
686     if(ui_is_SelectPressed()){
687         tim_state = 1;
688         is_select = 1;
689         HAL_TIM_Base_Stop_IT(&htim2);
690     }
691     if(ui_is_DownPressed()){
692         tim_state = 1;
693         is_down = 1;
694         HAL_TIM_Base_Stop_IT(&htim2);
695     }
696     if(ui_is_UpPressed()){
697         tim_state = 1;
698         is_up = 1;
699         HAL_TIM_Base_Stop_IT(&htim2);
700     }
701 }
702 }

```

Рисунок 5.9 — Програмне рішення запобігання тремтінню контактів тактових кнопок.

Для вимірювання на гармоніках частота гетеродина(в якості проміжної частоти обрано 455кГц) встановлюється в залежності від номеру гармоніки за принципом:

Для вимірювання на частоті сигналу:

$$— f_{\Gamma} = f_c + 455 \text{ кГц};$$

Для вимірювання на третій гармоніці:

$$— f_{\Gamma} = f_c + 151,6 \text{ кГц};$$

Таким чином діапазони вимірювання поділені на 2:

Таблиця 1 — Відповідність частот гетеродина до частот вимірювання

Піддіапа- зон	Частоти	Частота f_c	Частота ге- теродина f_r	Гармоніка
1	1...150,9 МГц	1...150,9 МГц	f_c+455 кГц	1
2	151...450 МГц	50,333...150 МГц	$f_c+151,6$ кГц	3

Також в залежності від діапазону потрібно змінювати вихідну потужність сигналу синтезатора SI5351(програмується). По мірі збільшення номеру гармоніки, вихідну потужність необхідно збільшувати.

Загальний принцип роботи полягає в тому, що вимірювання здійснюються в заданому діапазоні частот з певним кроком, після чого масив значень потрібним образом обробляється і подається на екрані у вигляді графіка.

6 РОЗРОБКА ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

6.1 Розрахунок мінімальної площі плати

Розрахунок площі плати здійснюється виходячи з розрахунку площі елементів, що виконується за формулою:

$$S_{\text{елем}} = \sum S_{\text{мг}} + 1,5 \sum S_{\text{сг}} + 2 \sum S_{\text{вг}} + S_{\text{кр}},$$

де $S_{\text{мг}}$ — Площа малогабаритних елементів(1-2 виводи), $S_{\text{сг}}$ — Площа середньо-габаритних елементів(3-8 виводів), $S_{\text{вг}}$ — Площа велико-габаритних елементів(більше 8 виводів), $S_{\text{кр}}$ — Площа яку займають кріплення.

$$S_{\text{мг}} = 39(6,51) + 28(6,51) + 2(5,735) + (163,48) + 2(3,25) + 12(15,659) + (100,32) + (22,954) + (4,555) + (201,585) + (4311,506) = 5466 \text{ мм}^2.$$

$$S_{\text{мг}} = 5466 \text{ мм}^2.$$

$$S_{\text{сг}} = 2(39,235) + 4(69,541) + (111,649) + 2(22,697) + 2(83,387) + 2(20,945) + 2(11,827) + (43,372) + (57,105) + 4(9,263) + (14,235) + (41,625) = 939,384 \text{ мм}^2.$$

$$S_{\text{сг}} = 939,384 \text{ мм}^2.$$

$$S_{\text{вг}} = 289 \text{ мм}^2.$$

$$S_{\text{кр}} = 4(9,9 \cdot 9,9) = 392,04 \text{ мм}^2.$$

$$S_{\text{елем}} = 5466 + 1,5(939,384) + 2(289) + 392,04 = 7800 \text{ мм}^2.$$

Оскільки більшу частину плати покриває дисплей, але його висота дозволяє встановлювати SMD компоненти під ним, то доцільно вибрати розміри плати трохи більші за площу дисплею. Приймаємо площу плати рівною $100 \times 65 = 6500 \text{ мм}^2$.

6.2 Розрахунок ширини провідників

Оскільки в приладі три силові лінії (5В силова для зарядного пристрою акумулятора, 5В силова для живлення мікросхем, 3,3В силова для живлення мікросхем), то розрахунок для них буде виконано окремо.

Клас точності ДДП — 4.

6.2.1 Розрахунок ширини провідників для сигнальної лінії

Розрахунок мінімального значення ширини друкованого провідника $t1$ у вузькому місці, мм:

За класом точності $tminD_S = 0,15$ мм.

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{нос_S} = -0,03$ мм.

$$t1V_S = tminD_S + |\Delta t_{нос_S}| = 0,18 \text{ мм.}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника $t1$ у широкому місці, мм:

Вибираємо за класом точності (на один менше) $tminD_S = 0,25$ мм.

Допуск на ширину провідника (нижнє відхилення) $\Delta t_{нос_S} = -0,05$ мм.

$$t1Ш_S = tminD_S + |\Delta t_{нос_S}| = 0,3 \text{ мм.}$$

Мінімально-допустима ширина провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Питомий опір провідників $\frac{(\Omega \cdot \text{мм}^2)}{\text{м}}$

$$\rho = 0,0175 \frac{\Omega \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

Довжина провідника (м)

$$l_S = 0,1 \text{ м.}$$

Товщина фольги (мм)

$$h_S = 70 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

Прикладена напруга (В)

$$U_{жив_S} = 3,3 \text{ В.}$$

Максимальний струм (А)

$$I_{max_S} = 0,05 \text{ А.}$$

$$t2_S = \frac{l_S I_{max_S} \rho}{h_S U_{жив_S} 0.03} = 13 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

Мінімально-допустима ширина провідника $t3$ з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (А)

$$I_{max_S} = 0,05 \text{ А.}$$

Товщина фольги (мм)

$$h_S = 70 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

Допустима щільність струму в провіднику ($\frac{A}{mm^2}$) $J_S = 20 \frac{A}{mm^2}$.

$$t3_S = \frac{I_{max_S}}{h_S J_S} = 0,036 \text{ мм.}$$

Розрахунок зазорів S між елементами друкованого монтажу:

Найменша номінальна відстань S_M між елементами провідникового рисунку (між двома провідниками):

Мінімально-допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами (мм) $S_M = 0,15 \text{ мм.}$

Допуск на ширину провідника (верхнє відхилення) (мм) $\Delta t_{во} = 0,05 \text{ мм.}$

$$S_{min} = S_m + \Delta t_{во} = 0,2 \text{ мм.}$$

6.2.2 Розрахунок ширини провідників для силової лінії 5В зарядного пристрою

Мінімально допустима ширина провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Прикладена напруга (В) $U_{жив_S} = 5 \text{ В.}$

Максимальний струм (А) $I_{max_S} = 0,5 \text{ А.}$

$$t2_p = \frac{l_p I_{max_P} \rho}{h_P U_{жив_P} 0.03} = 0,083 \text{ мм.}$$

Мінімально-допустима ширина провідника $t3$ з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

Максимальний струм (А) $I_{max_P} = 0,5 \text{ А.}$

$$t2_P = \frac{I_{max_P}}{h_S J_S} = 0,357 \text{ мм.}$$

6.2.3 Розрахунок ширини провідників для силової лінії 5 В живлення мікросхем

Мінімально-допустима ширина провідника $t2$ з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Прикладена напруга (В) $U_{жив_S} = 5 \text{ В.}$

Максимальний струм (А) $I_{max_S} = 0,3 \text{ А.}$

$$t2_p = \frac{l_p I_{max_P} \rho}{h_P U_{жив_P} 0.03} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t_1 у широкому місці, мм:

Максимальний струм (А)

$$I_{max_p} = 0,3 \text{ А.}$$

$$t_{2_p} = \frac{I_{max_p}}{h_s J_s} = 0,214 \text{ мм.}$$

6.2.1 Розрахунок ширини провідників для силової лінії 3,3 В живлення мікросхем

Мінімально-допустима ширина провідника t_2 з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

Прикладена напруга (В)

$$U_{жив_s} = 3,3 \text{ В.}$$

Максимальний струм (А)

$$I_{max_s} = 0,07 \text{ А.}$$

$$t_{2_p} = \frac{l_p I_{max_{pp}}}{h_p U_{жив_p} 0.03} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника t_1 у широкому місці, мм:

Максимальний струм (А)

$$I_{max_p} = 0,07 \text{ А.}$$

$$t_{2_p} = \frac{I_{max_p}}{h_s J_s} = 0,05 \text{ мм.}$$

Таблиця 2 — Ширина друкованих провідників та зазорів:

Тип лінії	Напруга, В	Струм, А	Ширина провідника, мм		Зазор, мм
			У вузькому	У широкому	
Силова 1	5	0,5	0,3	0,357	0,2
Силова 2	5	0,3	0,214	0,3	0,2
Силова 3	3,3	0,07	0,18	0,3	0,2
Сигнальна	3,3	0,05	0,18	0,3	0,2

6.2.2 Розрахунок мінімального діаметра перехідного отвору

Розрахунок перехідного отвору виконуємо використовуючи параметри з таблиці класів точності ДП, за формулою:

$$d = H\gamma,$$

де H — товщина діелектрика, γ — відношення номінального значення діаметра найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати.

$$d = 1,5 \cdot 0,25 = 0,375 \text{ мм.}$$

Приймаємо $d = 0,4 \text{ мм.}$

6.3 Обґрунтування друкованої плати

Друкована плата буде двошаровою, це полегшить задачу трасування та зменшить її габарити. Враховуючи щільність елементів та мінімальну відстань між їх педами, клас точності ДП — 4.

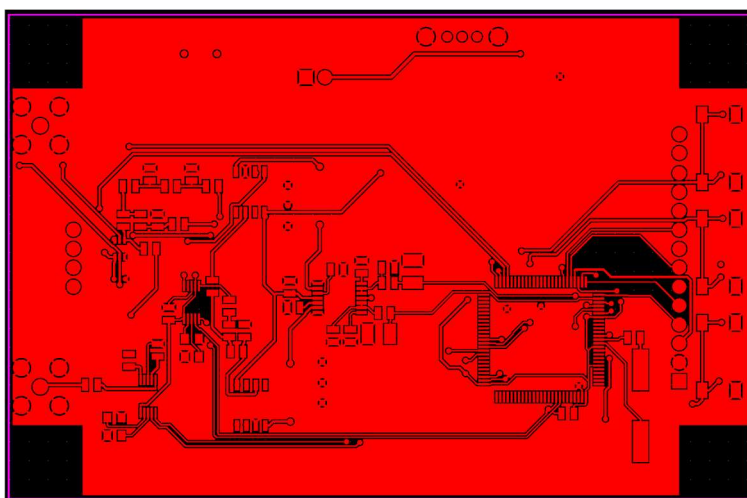


Рисунок 6.1 — Друкована плата (Top Layer).

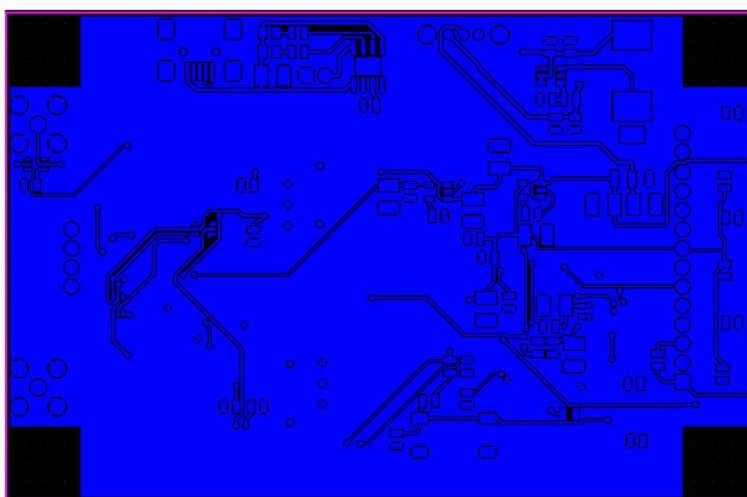


Рисунок 6.2 — Друкована плата (Bottom Layer).

Виготовити ДДП можна Комбінованим негативним методом, оскільки на ДП наявні перехідні отвори.

7 ЕЛЕКТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

7.1 Розрахунок номіналів резисторів для DC-DC перетворювача

Перетворювач використовується для підвищення напруги з акумулятора (3,7В) до робочої напруги схеми у 5 вольт.

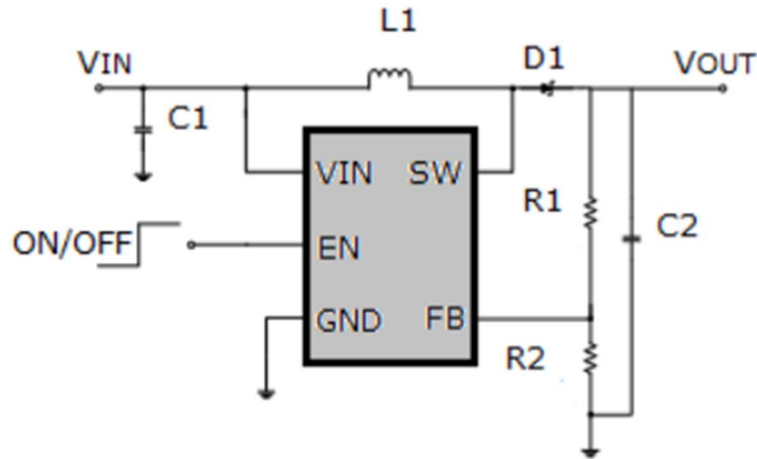


Рисунок 7.1 — Типова схема включення DC-DC перетворювача.

Вихідна напруга обчислюється за формулою:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R1}{R2} \right)$$

де: V_{OUT} — вихідна напруга, V_{REF} — внутрішня референсна напруга мікросхеми, яка дорівнює 0,6 В[16].

Потрібно отримати 6 В вихідної напруги, отже задамося такими вхідними даними:

$$V_{OUT} = 6 \text{ В.}$$

$$V_{REF} = 0,6 \text{ В.}$$

Нехай $R1 = 110 \text{ кОм}$, тоді:

$$R2 = \frac{R1}{\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1} = \frac{110 \cdot 10^3}{\frac{6}{0,6} - 1} = 12,222 \cdot 10^3 \text{ Ом.}$$

Обираємо найближчий по номіналу резистор з ряду E24 — $R2 = 12 \text{ кОм}$.

8 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

8.1 Розрахунок надійності

Розроблюваний пристрій є відновлюваною РЕА, оскільки при відмові він підлягає відновленню.

Тривалість припрацювання складає десятки - сотні годин, тривалість робочої ділянки сотні тисяч годин. Розрахунок проводиться для робочої ділянки. На робочій ділянці $\lambda_0(t) = \text{constant}$ і справедливий експонентний закон $P(t) = e^{(-k \cdot \lambda_0 \cdot t)}$

Так як блок складний, то на даній ділянці справедливе співвідношення:

$$\lambda_0 = \sum_{i=0}^n \lambda_i,$$

де, λ_0 – параметр потоку відмов системи, λ_i – параметр потоку відмов i -го елемента системи, k – поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації.

На робочій ділянці середнє напрацювання на відмову при експонентному законі за формулою

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_0}.$$

Розрахунок надійності раптових відмов виконується для найбільш несприятливих факторів, а саме:

- максимальної температури оточення;
- максимальних внутрішніх перегрівів елементів;
- максимальної вологості.

Параметр потоку відмов i -го елемента визначається за формулою

$$\lambda_i = \lambda_{0i} a_i,$$

де λ_{0i} – параметр потоку відмов i -го елемента в нормальних умовах (відповідно до нормативно-технічної документації), a_i , – коефіцієнти, що враховують вплив температури та коефіцієнта завантаження K_n і вологість відповідно.

Прийняті припущення дозволяють використовувати теорему множення вірогідності.

Розбиваємо елементи на рівнонадійні групи.

Розрахунок значень надійності для всіх рівнонадійних груп, що входять до складу пристрою приведений в Таблиця 3.

Таблиця 3 — Результати розрахунків надійності приладу

Тип елемента	Кількість N_j	Інтенсивність відмов для нормальних умов, $\lambda_{0i} 10^{-6} [1/\text{год}]$	k_n	a_i	Інтенсивність відмов групи в реальних умовах $\lambda_{0j}=N_j a_i \lambda_{0i} 10^{-6} [1/\text{год}]$
Резистори	28	0,12	0,24	0,5	1,02
Конденсатори керамічні	40	0,3	0,24	0,08	0,96
Конденсатори танталові	13	0,42	0,3	0,05	0,273
Роз'єми	3	0,5	0,125	0,15	0,225
Світлодіоди	2	0,88	0,3	0,3	0,528
Дисплей	1	0,88	0,5	0,3	0,264
Мікросхеми	15	0,34	0,5	0,2	1,02
Індуктивності	3	0,3	0,8	0,05	0,045
Діод	1	0,85	0,36	0,4	0,34
Кварцові генератори	2	0,09	0,02	0,42	0,0756
Кварцовий резонатор	1	0,01	0,02	0,2	0,002

Продовження Таблиця 3

Тип елемента	Кількість N_j	Інтенсивність відмов для нормальних умов, $\lambda_{0i} 10^{-6}$ [1/год]	k_n	a_i	Інтенсивність відмов групи в реальних умовах $\lambda_{0j}=N_j a_i \lambda_{0i} 10^{-6}$ [1/год]
Фільтри	2	0,12	0,02	0,1	0,024
Акумулятор	1	7,2	0,2	0,5	3,6
Вимикач	1	3	0,3	0,23	0,69
Кнопки тактові	4	9	0,3	0,03	1,08
Плата друкована	1	0,011	1	0,03	0,00033
Пайки з'єднувальні	461	0,007	1	0,05	0,16135
Σ					10,968

Параметр потоку відмов складає:

$$\lambda_0 = 10,968 \cdot 10^{-6} \text{ [1/год]}.$$

Середній час напрацювання пристрою на відмову в заданих умовах експлуатації:

$$T_0 = 1 / 10,968 \cdot 10^{-6} = 91174 \text{ [год]}.$$

Установимо ймовірність безвідмовної роботи при $t=10000$ год

$$P(10000) = e^{(-10,968 \cdot 10^{-6} \cdot 10000)} = 0,89.$$

Отже за розрахунками отримуємо, що ймовірність безвідмовної роботи пристрою при часі напрацювання в 10 тис. год. становить 90%. В цей показник суттєвий вклад вносить літєвий акумулятор, що з часом втрачає свою ємність, але може бути замінений при ремонті, а також механічні контакти кнопок.

Зобразимо графік ймовірності безвідмовної роботи.

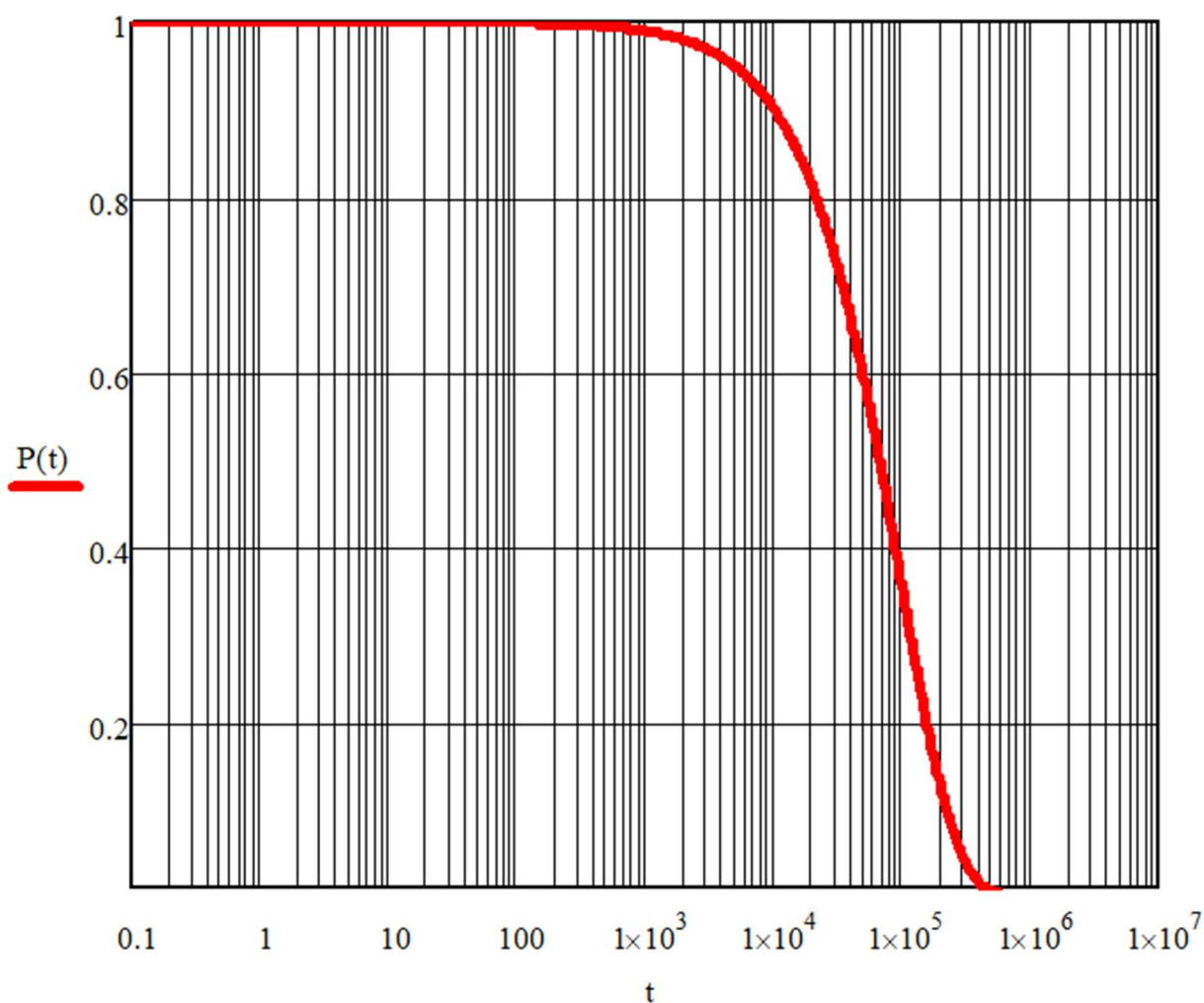


Рисунок 8.1 — Графік ймовірності безвідмовної роботи.

8.2 Механічні розрахунки

Виконаємо розрахунок віброміцності друкованого вузла. Розрахунок частоти власних коливань друкованої плати.[25]

Вихідні данні:

- довжина плати $a = 0,1$ м;
- ширина плати $b = 0,065$ м;
- товщина плати $h = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м;

Матеріал плати – двосторонній фольгований склотекстоліт FR4 70/70 1,5 з параметрами:

- модуль пружності $E = 3,02 \cdot 10^{10}$ Н/м²;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

41

- щільність $\rho = 2,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$;
- коефіцієнт Пуассона $\xi = 0,22$;
- Маса встановлених елементів $M = 0,203 \text{ кг}$;

Визначимо приведену масу друкованої плати:

$$m_n = \rho h = 2,05 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 3,075 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

Визначимо приведену масу плати з деталями:

$$m = m_n m_e = 3,075 \frac{0,203}{0,1 \cdot 0,065} = 34,342 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

Розрахуємо циліндричну жорсткість:

$$D = \frac{E h^3}{12(1 - \xi^2)} = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1 - 0,22^2)} = 8,926 \text{ Нм}.$$

Визначаємо значення функції $\varphi(\beta)$ для кріплення в чотирьох точках:

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}},$$

де, β — співвідношення довжини і ширини ДП.

$$\beta = \frac{a}{b} = \frac{0,1}{0,065} = 1,538.$$

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \sqrt{\frac{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{1,538} + \frac{1}{1,538^2}}{1 + 1,621 \cdot \frac{1}{1,538^3} + \frac{1}{1,538^6}}} = 11,719.$$

Визначаємо значення резонансної частоти плати:

$$f_0 = \frac{\varphi(\beta)}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{m}} = \frac{11,719}{2\pi 0,1^2} \sqrt{\frac{8,926}{34,342}} = 95 \text{ Гц}.$$

Виходячи з розрахунків можна зробити висновок, що отримана резонансна частота перевищує максимально можливу за групою механічних впливів М1 за ГОСТ-17516.1-90. Отже вибраний тип закріплення плати , а саме – за допомогою чотирьох гвинтів, підходить для даного виробу.

9 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

В ході проектування було розроблено конструкцію Панорамного векторного аналізатору. Корпус виконано з пластику. Габарити корпусу 104x69x29 мм. На лицьовій панелі знаходиться дисплей та три кнопки керування. З правого боку — роз’єми для підключення вимірюваного пристрою. На нижній частині корпусу знаходиться роз’єм MiniUSB для підключення зарядного пристрою, індикатор заряду акумулятора та вимикач.



Рисунок 9.1 — Загальний вигляд пристрою.

Кріплення друкованої плати до корпусу виконано за допомогою стійок, що проходить через отвори ДП, також вони забезпечують кріплення нижньої кришки корпусу.

Акумулятор розміщується між друкованою платою та нижньою кришкою корпусу. Його слід закріпити на клейкий діелектричний ущільнювач. До пристрою під’єднується пайкою проводів в отвори на платі.

На задній кришці є невеличкий отвір під скріпку або голку для натискання на кнопку «Reset» у випадку збою програмного забезпечення.

Оскільки за ТЗ ступінь захисту IP33, ущільнювачів у корпусі не передбачено.

Друкована плата майже повністю закрита дисплеєм, під дисплеєм розташовуються SMD компоненти.

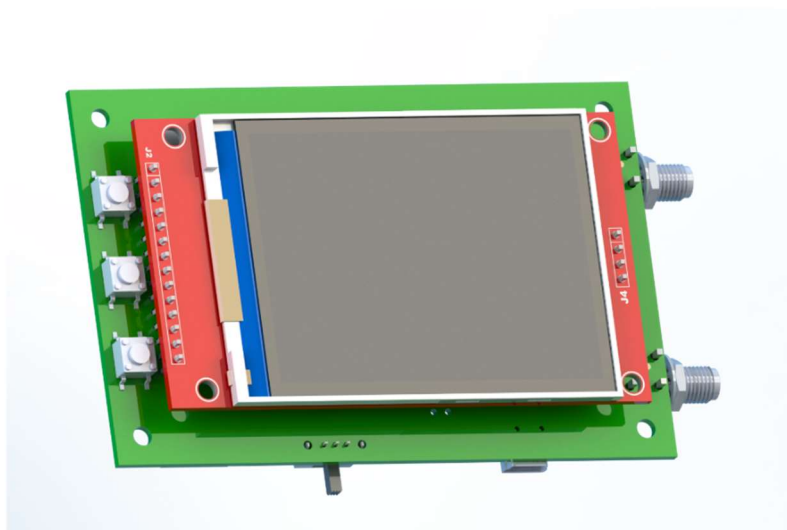


Рисунок 9.2 — Електронний модуль.

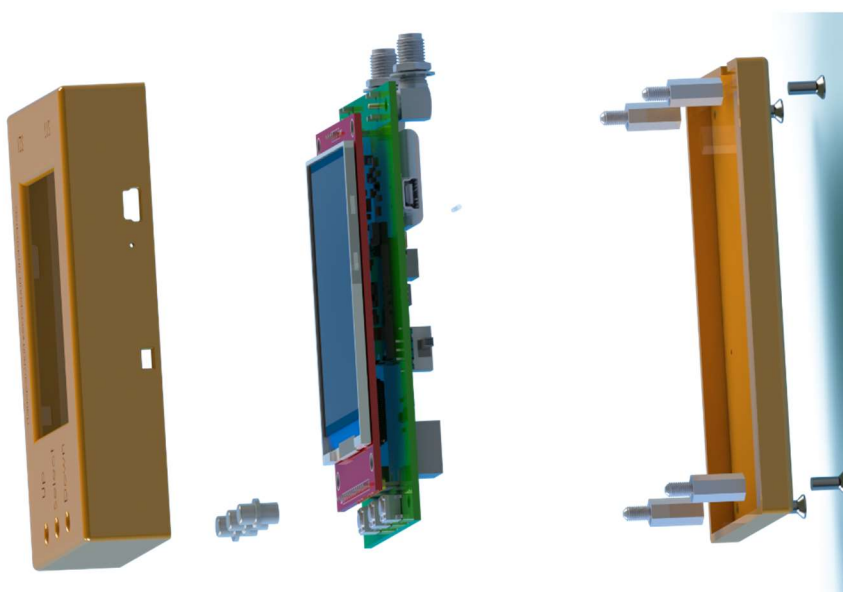


Рисунок 9.3 — Вигляд розібраного пристрою.

В якості елементів індикації використано SMD світлодіоди, вони розміщені на платі в притул один до одного. В отвір в корпусі вставляється прозора пластикова трубочка яка виконує роль світловода, вона розташовується прямо над світлодіодами. Таким чином два світлові індикатори суміщені в один.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РАп91.411711.001 ПЗ

Лист

44

ВИСНОВКИ

В ході дипломного проектування, мною було розроблено конструкцію Панорамного векторного аналізатора, що працює в системах з хвильовим опором 50 Ом, на частотах від 1 до 450 МГц.

Було написано основу прошивки пристрою мовою програмування C, а саме — було реалізовано функціонал проведення вимірювань, конвертація виміряних значень у необхідні величини, меню та навігація, а також клавіатура введення частот.

Розроблено мобільну конструкцію корпусу із пластику, габаритами 104x69x29 мм.

Проведено розрахунки надійності і віброміцності друкованої плати. За розрахунками надійності, вірогідність безвідмовної роботи пристрою після 10 тис. год. роботи відповідає 90%.

Друкована плата виконана за 4 класом точності. В якості матеріалу ДП обрано двошаровий фольгований склотекстоліт FR4 70/70 1,5. Метод виготовлення плати комбінованим негативний.

					РАп91.411711.001 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Panoramic SWR-meter . Стаття. URL: <https://rigexpert.com/uk/panoramic-swr-meter/> (Дата звернення 20.05.22).
2. Векторний аналізатор MiniVna. Сайт виробника. URL: <http://miniradiosolutions.com/minivna-pro/> (Дата звернення 25.05.22).
3. Векторний аналізатор RigExpert AA230. Сайт виробника. URL: https://rigexpert.com/files/manuals/aa230230pro520/aa_manual.pdf (Дата звернення 25.05.22).
4. Векторний аналізатор RigExpert AA30. Сайт виробника. URL: <https://rigexpert.com/uk/products/ua-antenna-analyzers/aa-30/> (Дата звернення 25.05.22).
5. Даташит на синтезатор SI5351. URL: <https://www.skyworksinc.com/-/media/Skyworks/SL/documents/public/data-sheets/Si5351-B.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
6. Даташит на мікросхему AD8302. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8302.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
7. Даташит на мікроконтролер STM32F407VET6. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/dm00037051.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
8. Даташит на мікросхему SA612. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/datasheet/SA612A.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
9. Даташит на п'єзокермічний фільтр. URL: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/218165/ETC2/LTM450/455FW.html> (Дата звернення 25.05.22).
10. Даташит на LCD дисплей. URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
11. Даташит на кварцовий генератор ABM8. URL: <https://abracon.com/Resonators/abm8.pdf> (Дата звернення 25.05.22).

12. Даташит на кварцовий резонатор КХ-КТ. URL: https://www.geyer-electronic.com/uploads/tx_userartikelfrequenz/GEYER-KX-K_01.pdf (Дата звернення 25.05.22).
13. Сторінка в магазині з інформацією про кнопки. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/knopka-swt-34-5-analogi-yp1138b-tsm144a_29519.html (Дата звернення 25.05.22).
14. Сторінка в магазині з інформацією про акумулятор. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/602248-3-7v-650mah-lipo-1c-2c-pcb-2wires-24awg-80mm-6x22x48mm_174478.html (Дата звернення 25.05.22).
15. Даташит на контролер заряду акумулятора. URL: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
16. Даташит на DC-DC перетворювач MT3608. URL: <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
17. Даташит на стабілізатор AMS1117 URL: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
18. Даташит на стабілізатор RT9193 URL: https://www.richtek.com/assets/product_file/RT9193/DS9193-16.pdf (Дата звернення 25.05.22).
19. Даташит на роз'єм SMA-F URL: <https://www.farnell.com/datasheets/1681616.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
20. Сторінка в магазині з інформацією про світлодіоди. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/cls9-l-0805uwc_121926.html (Дата звернення 25.05.22).
21. Даташит на індуктивність Wruth 744771127. URL: <https://eu.mouser.com/datasheet/2/445/744771127-1722718.pdf> (Дата звернення 25.05.22).

22. Даташит на індуктивність MLF1608A3R3J.
URL: <https://www.mouser.co.uk/ProductDetail/TDK/MLF1608A3R3J?qs=sGAEpiMZZMsg%252By3WIYCKU2FgH-SPBrhMUdX%2FVpFjYfXk%3D> (Дата звернення 25.05.22).
23. Даташит на танталові конденсатори AVX. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/AVX%20tantalum%20cap_datasheet.pdf (Дата звернення 25.05.22).
24. Даташит на діод Шоткі SS34.
URL: <https://www.vishay.com/docs/88751/ss32.pdf> (Дата звернення 25.05.22).
25. Методика розрахунку віброміцності плати. URL: <https://kivra.kpi.ua/wp-content/uploads/file/%D0%9C%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D1%96%D0%BA%D0%B0.pdf> (Дата звернення 26.05.22).

ДОДАТОК А ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1 НАЗВА І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проєкту «Панорамний векторний аналізатор».

Підставою для виконання є завдання, видане Кафедрою прикладної радіоелектроніки від 1 травня 2022 року.

2 ВИКОНАВЕЦЬ

Виконавець — студент групи РА-п91 Аристов Антон Миколайович.

3 МЕТА ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Метою дипломного проєкту є розробка конструкції Панорамного векторного аналізатора, розробка та оформлення необхідної конструкторської документації.

Панорамний векторний аналізатор — пристрій, призначений для вимірювання значення частотно-залежних комплексних опорів. Може бути використаний для вимірювання параметрів узгодження антен, АЧХ фільтрів та інших пристроїв, що працюють в ВЧ лініях.

4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

4.1 Призначення

Пристрій повинен:

- Працювати від акумулятора, тобто бути автономним;
- Проводити виміри в діапазоні від 1 до 450 МГц;
- Крок вводу частоти 1Гц;

- Працювати в системах з хвильовим опором 50 Ом;
- Вимірювати S_{11} , S_{21} ;
- Всю інформацію виводити на дисплей;
- Подавати виміряні значення у вигляді чисел та графіків;
- Подавати виміряні значення у форматі ослаблення в дБ, опору $Z+jX$ та КСХ.

4.2 Керування

Керування пристроєм повинно виконуватись за допомогою мінімальної кількості органів управління. Інформація повинна виводитись на кольоровий дисплей.

4.3 Життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів і чинників

Кліматичні вимоги У2, але при температурі повітря не нижче -20°C

Ступінь захисту IP33

4.4 Надійності

Середній час безвідмовної роботи не менше 100000 год.

Середній строк служби не менше одного року.

4.5 Конструкції

Конструкція приладу має бути мобільна, тобто якомога компактніша.

Габаритні параметри $\Pi \times \text{Д} \times \text{В}$, не більше, мм 120x70x50, можуть уточнюватись в процесі проектування.

Орієнтовна загальна вага не більше 500г.

Для заряджання акумулятора використати поширений роз'єм MiniUSB.

Вимог до форми корпусу — не пред'являється.

5 СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ І ПКВ

При розробці й виготовленні пристрою повинні застосовуватися комплектувальні вироби, ЕРЕ й матеріали за діючими стандартами або ТУ.

Виключити можливість використання радянської елементної бази в конструкції приладу.

6 ВИМОГИ ДО КОНСЕРВАЦІЇ, ПАКУВАННЯ І МАРКУВАННЯ

Маркування: нанести позначення на корпусі вимірювальних роз'ємів та кнопок. Нанести назву приладу на лицьову панель.

Пакування — не передбачено.

Консервація — не передбачено.

7 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ НДР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

По закінченню роботи подаються:

- Пояснювальна записка;
- Додатки та графічні матеріали (ТЗ, Е1, Е3, ПЕ, СК на електронний модуль, специфікація на електронний модуль, СК на пристрій, специфікація на пристрій);
- Презентація у форматі PowerPoint.

8 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Оформлення документації згідно ДСТУ 3008:2015 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення»

Склад розроблюваної документації:

- Пояснювальна записка
- Розрахунки

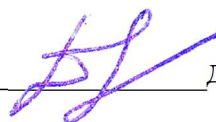
— Висновки

— Додатки (ТЗ, Е1, Е3, ПЕ, СК на електронний модуль, специфікація на електронний модуль, СК на пристрій, специфікація на пристрій).

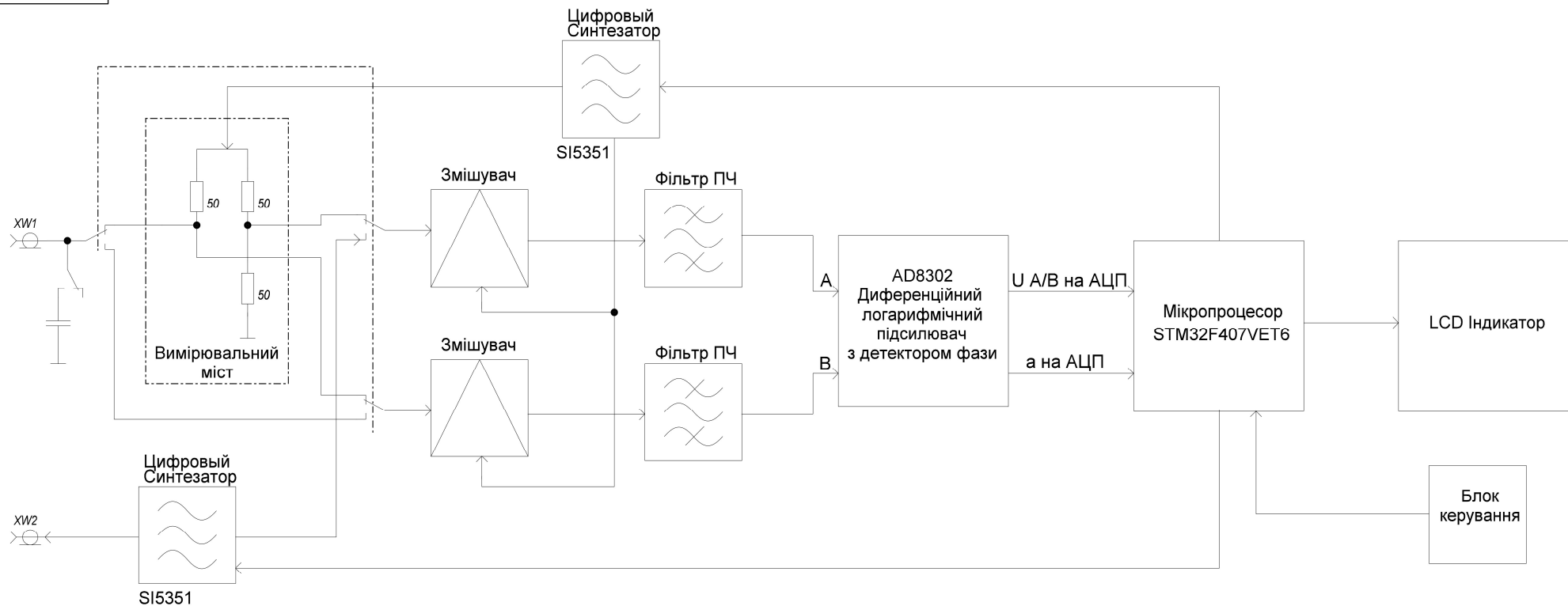
Виконавець

 А.М. Аристов

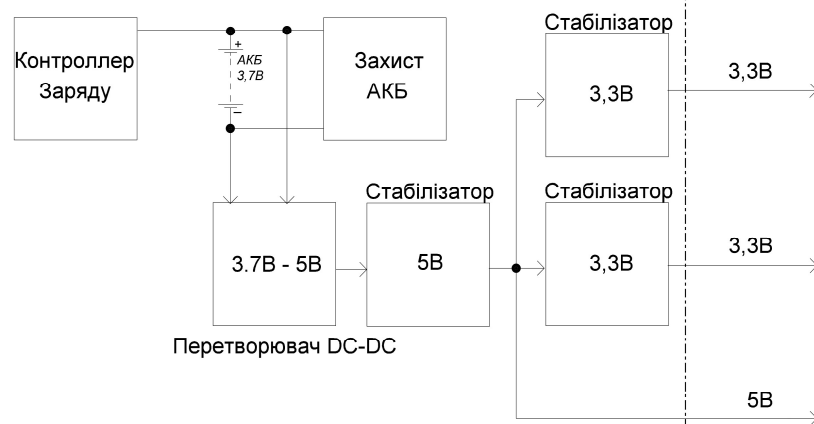
Керівник

 доцент Л.П. Дюжаєв

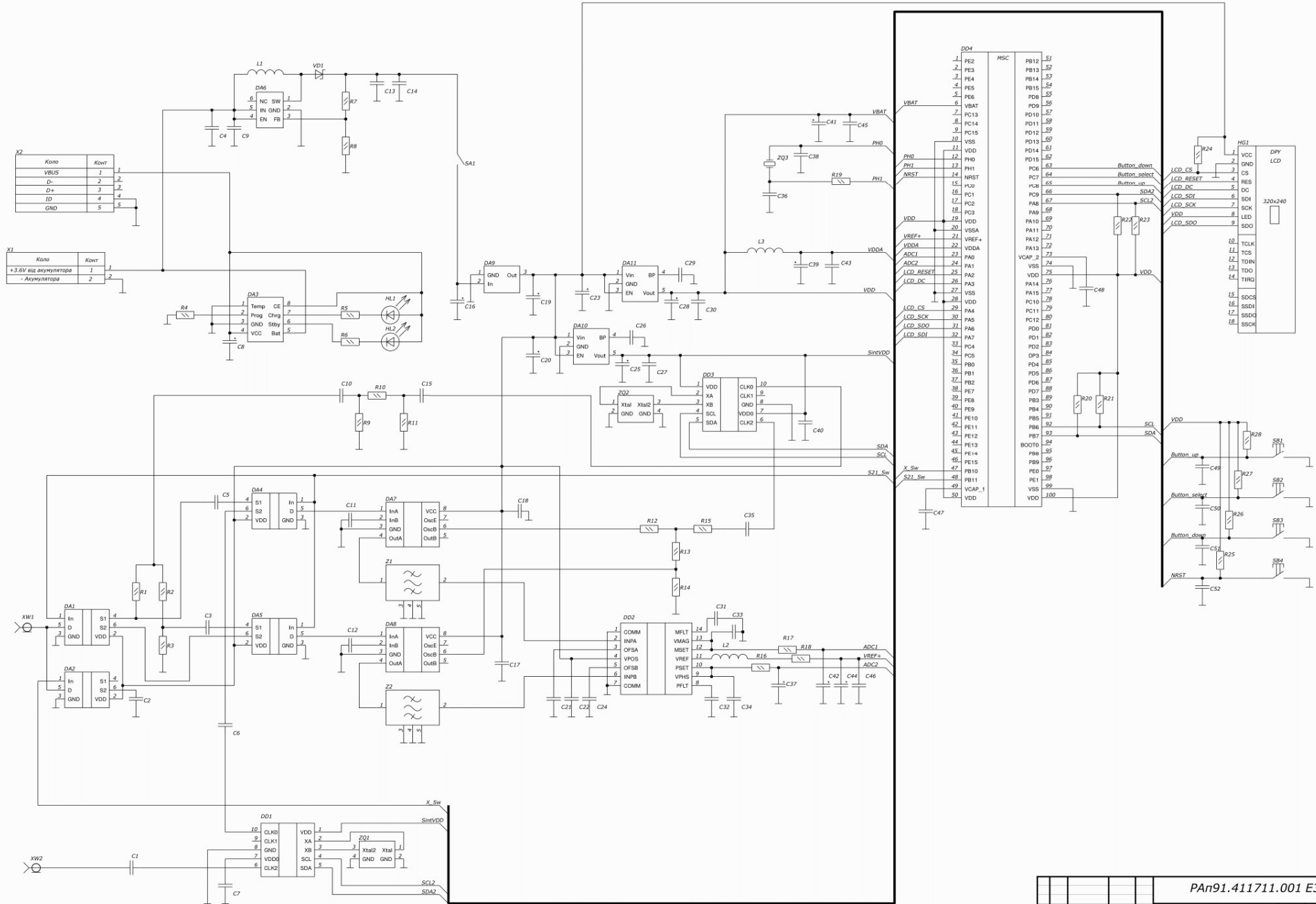
ДОДАТОК Б
СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУКТУРНА



Блок живлення



ДОДАТОК В
СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА



PA-n91.411711.001 E3				Лит.		
Эл. Лист	№ докум.	Подпис.	Дата	Лит.	Масш.	Масштаб
Разроб.	Аристов А.М.	Л.С.	2014			
Перев.						
Т. контр.						
Н. контр.	Полсуй В.Л.					
Зав.	Дюжасов П.П.					
Панорамный векторный анализатор				Лист 1 Листов 1		
Схема электрическая принципиальная				РФ, КТЛ, РА-n91		

ДОДАТОК Г
ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

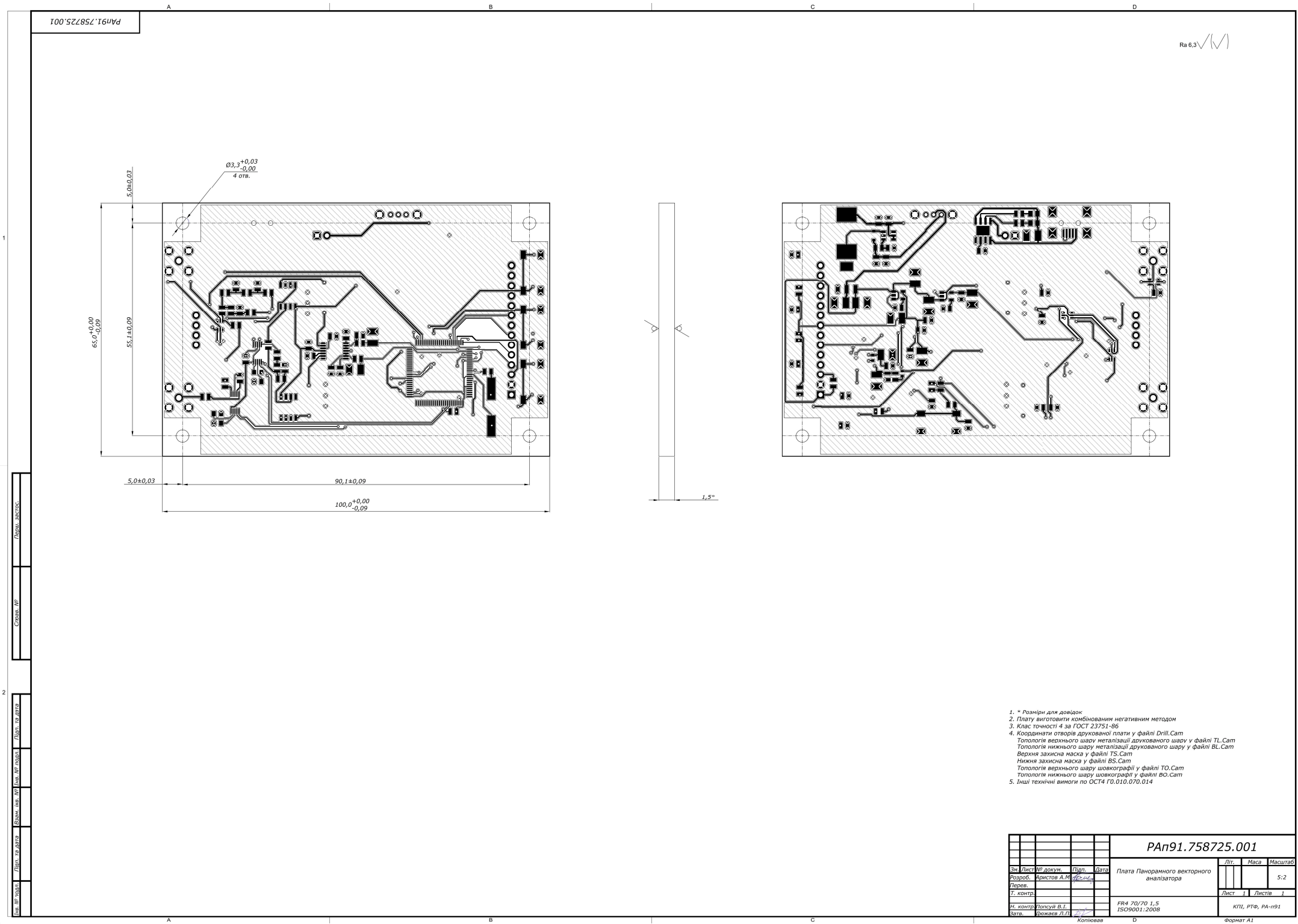
[illegible]

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Мікросхеми</u>		
DA1-DA2	ADG779	2	
DA3	TP4056	1	
DA4-DA5	ADG779	2	
DA6	MT3608	1	
DA7,DA8	SA612	2	
DA9	AMS1117-5	1	Стабілізатор 5В
DA10,DA11	RT9193	2	Стабілізатор 3.3В
DD1,DD3	SI5351	2	
DD2	AD8302	1	
DD4	STM32F407VET6	1	
HG1	Дисплей 2.8" 240x320 з контролером ili9341	1	
	<u>Світлодіоди</u>		SMD0805
HL1	KLS9-T0805URC	1	Червоний
HL2	KLS9-T0805UWC	1	Білий
	<u>Індуктивності</u>		
L1	Wruth 744771127 27 мкГн ±5%	1	
L2-L3	MLF1608A3R3J 3.3 мкГн ±5%	2	
	<u>Резистори RC0805FR-HITANO</u>		SMD0805
R1-R3	50 Ом 0,125 Вт ±5%	3	
R4	3 кОм 0,125 Вт ±5%	1	
R5-R6	1 кОм 0,125 Вт ±5%	2	

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки
R7	110 кОм 0,125 Вт ±5%	1	
R8	12 кОм 0,125 Вт ±5%	1	
R9,R11	51 Ом 0,125 Вт ±5%	2	
R10	390 Ом 0,125 Вт ±5%	1	
R12,R13,R15	18 Ом 0,125 Вт ±5%	3	
R14	280 Ом 0,125 Вт ±5%	1	
R16-R17	330 Ом 0,125 Вт ±5%	2	
R18	47 Ом 0,125 Вт ±5%	1	
R19	220 Ом 0,125 Вт ±5%	1	
R20-R24	10 кОм 0,125 Вт ±5%	5	
R25-R28	100 кОм 0,125 Вт ±5%	4	
SA1	Вимикач EG1213	1	
SB1-SB4	Кнопка SWT-34/5	4	
VD1	Діод SS34	1	
X2	Роз'єм Mini USB/M-1J SMD (KLS1-229-5FB-B)	1	
XW1-XW2	Радіочастотний роз'єм SMA-F (EM-SA072-GGT)	2	
Z1-Z2	П'єзокерамічний фільтр MURATA CF455FW	2	
ZQ1-ZQ2	Кварцовий генератор ABM8 25 MHz	2	
ZQ3	Кварцовий резонатор KX-KT 8 MHz	1	
			Арк.
			3
Зм.	Арх.	Недокум.	Підпис
			Дата

РAn91.411711.001 ПЕ

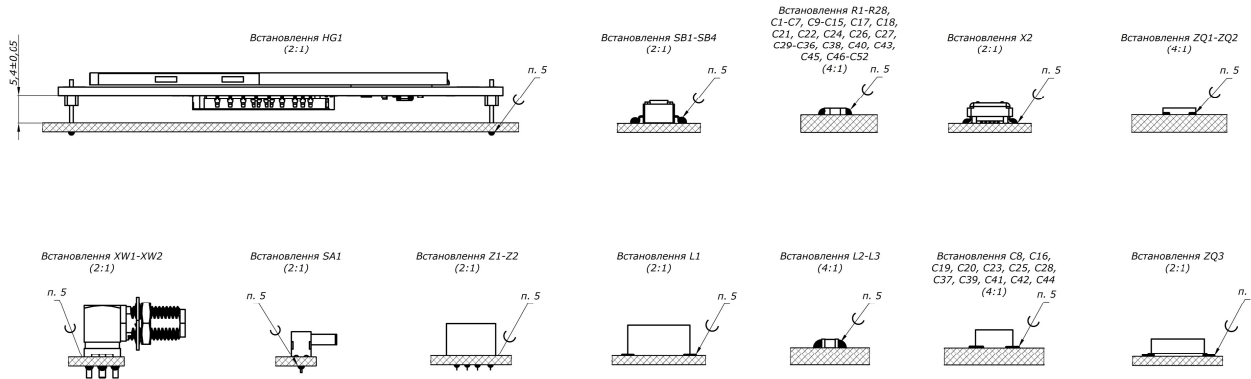
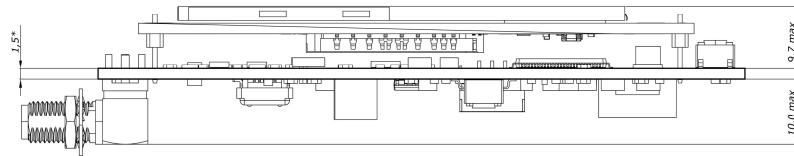
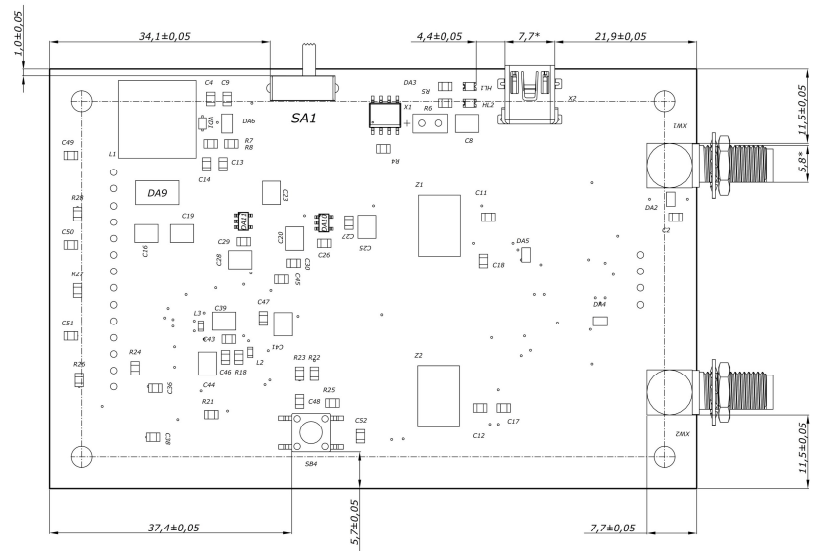
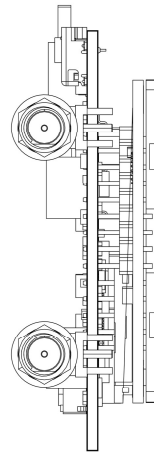
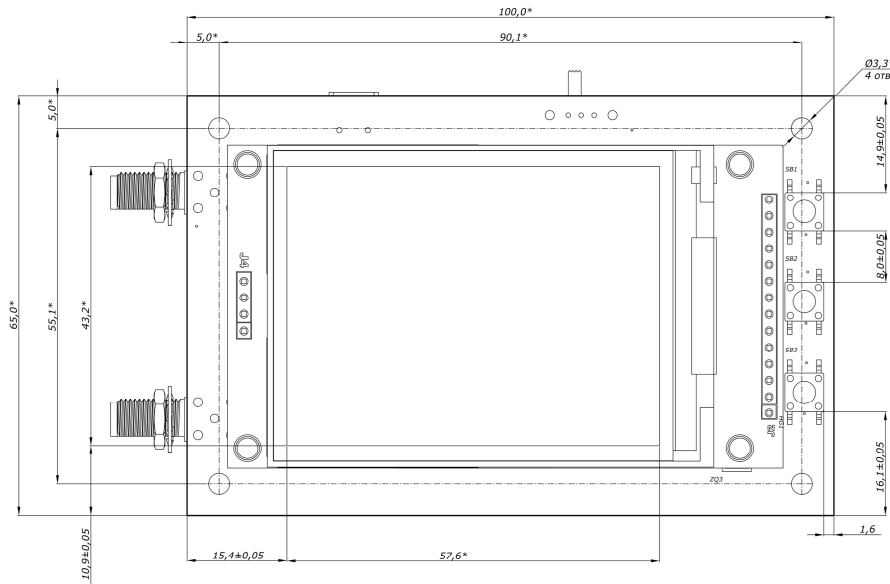
ДОДАТОК Д
ДРУКОВАНА ПЛАТА



1. - Розміри для довідок
2. Плату виготовити комбінованим негативним методом
3. Клас точності 4 за ГОСТ 23751-86
4. Координати отворів друкованої плати у файлі Drill.Cam
Топологія верхнього шару металізації друкованого шару у файлі TL.Cam
Топологія нижнього шару металізації друкованого шару у файлі BL.Cam
Верхня захисна маска у файлі TS.Cam
Нижня захисна маска у файлі BS.Cam
Топологія верхнього шару шовкографії у файлі TO.Cam
Топологія нижнього шару шовкографії у файлі BO.Cam
5. Інші технічні вимоги по ОСТ4 Г0.010.070.014

РАп91.758725.001				Лист 1		
Плата Панорамного векторного анализатора				Лист	Маса	Масштаб
Зм. Лист 01 докум. Підп. Дата				5:2		
Розроб. Аристов А.М. 18.04.18				Лист 1		
Перев. Г. контр.				Листів 1		
Н. контр. Волосий В.Г.				КПІ, РПФ, РА-191		
Дат. 18.04.18				Формат А1		

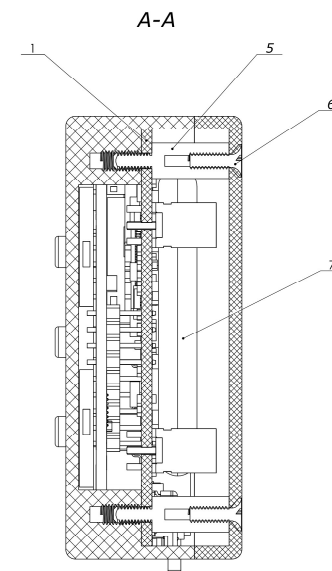
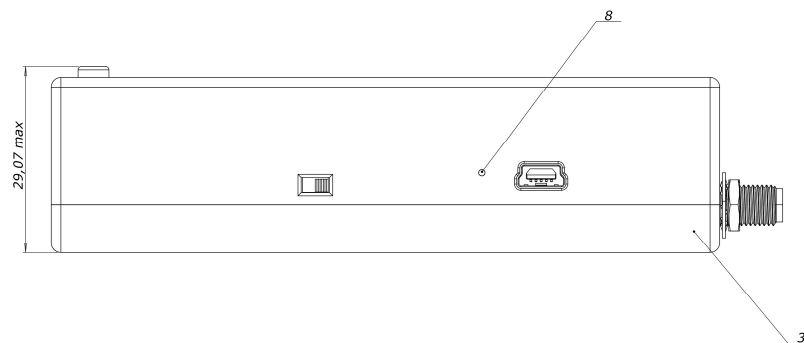
ДОДАТОК Е
СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ



- * Розміри для довідок
- Монтаж виконано відповідно до схеми електричної принципи РАп91.436431.001 ЕЗ
- Позиції позначення елементів показано відповідно до схеми електричної принципи РАп91.436431.001 ЕЗ
- Встановлення елементів виконувати за ГОСТ 29137-91 DA1 DA11, DD1 DD4 встановлювати згідно зразку 360; VD1 встановлювати згідно зразку 070; HG1, SB1-SB4, R1-R28, C1-C52, X2, ZQ1-ZQ3, XW1-XW2, SA1, Z1-Z2, L1-L3 встановлювати згідно з кресленнями;
- САС 305 ISO9453:2014. Дотримуватися для елементів поверхневого монтажу використання пасти припійної ПП-140 АУ70.033.013 ТУ
- Інші технічні вимоги за ОСТ4 Г0.010.070.015

РАп91.411711.002 СК				Панорамний векторний аналізатор			Лист 1		Листів 1	
Зм.	Лист	Від докум.	Підп.	Дата	Лист	Маса	Масштаб	5:2		
Розроб.	Аристов А.М.	Відп.	Відп.	Відп.	Лист	Маса	Масштаб	5:2		
Т. контр.	Відп.	Відп.	Відп.	Відп.	Лист	Маса	Масштаб	5:2		
Н. контр.	Відп.	Відп.	Відп.	Відп.	Лист	Маса	Масштаб	5:2		
Затв.	Відп.	Відп.	Відп.	Відп.	Лист	Маса	Масштаб	5:2		

ДОДАТОК Ж
СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ ПРИСТРОЮ



1. *Розміри для довідок
2. Монтаж проводиться згідно схеми електричної принципової РАп91.411711.001 ЕЗ
3. Інші вимоги по ОСТ4.ГО.070.0

[illegible]

ДОДАТОК И
СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ДРУКОВАНІЙ ВУЗОЛ

<i>Форм.</i>	<i>Зона</i>	<i>Поз.</i>	<i>Позначення</i>	<i>Назва</i>	<i>Кільк.</i>	<i>Прим.</i>
				<u>Документація</u>		
A1			PAn91.411477.002 СК	Складальне креслення		
A1			PAn91.411477.001 Е1	Схема електрична структурна		
A1			PAn91.411477.001 Е3	Схема електрична принципова		
A4			PAn91.411711.001 ПЕ	Перелік елементів		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	PAn91.758725.001	Друкована плата		
				<u>Інші вироби</u>		
				Вимикач EG1213	1	SA1
				Дисплей 2.8” 240х320 з контролером ілі9341	1	HG1
				Діод SS34	1	VD1
				PAn91.411711.002		
Зм	Арк.	№ докум.	Підп	Дата		
Розробив	Аристов				Lім.	Аркуш Аркушів
Перевір.						1 5
T.kонт					КПІ, РТФ, РА-n91	
H.kонт	Попсуй					
Затверд.	Дюжаєв					
Друкований вузол Панорамний векторний аналізатор						

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				<u>Індуктивності</u>		
				Wruth 744771127 27 мкГн ±5%	1	L1
				MLF1608A3R3J 3.3 мкГн ±5%	2	L2-L3
				Кварцовий генератор АВМ8 25 MHz	2	ZQ1-ZQ2
				Кварцовий резонатор КХ-КТ 8 MHz	1	ZQ3
				Кнопка SWT-34/5	4	SB1-SB4
				<u>Конденсатори AVX</u>		
				TAJB476K016RNJ 47 мкФ 16 В ±10%	3	C16,C19,C20
				TAJB476K016RNJ 47 мкФ 16 В ±10%	1	C23
				TAJB106K016RNJ 10 мкФ 16 В ±10%	3	C8,C25,C28
				TAJB105K016RNJ 1 мкФ 16 В ±10%	3	C9,C37,C39
				TAJB105K016RNJ 1 мкФ 16 В ±10%	3	C41,C42,C44
				<u>Конденсатори YAGEO</u>		
				CC0805JR9BB225 2.2 мкФ 50 В ±5%	2	C47,C48
				CC0805JR9BB474 0.47 мкФ 50 В ±5%	3	C7,C27,C30
				РAn91.411711.002		
Зм	Акр	№ докум.	Підп	Дата		

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				CC0805JR9BB474 0.47 мкФ 50 В ±5%	1	C40
				CC0805JR9BB104 100 нФ 50 В ±5%	1	C14
				CC0805JR9BB104 100 нФ 50 В ±5%	2	C17-C18
				CC0805JR9BB104 100 нФ 50 В ±5%	3	C21,C22, C24
				CC0805JR9BB104 100 нФ 50 В ±5%	4	C31-C34
				CC0805JR9BB104 100 нФ 50 В ±5%	3	C43,C45, C46
				CC0805JR9BB104 100 нФ 50 В ±5%	4	C49-C52
				CC0805JR9BB223 22 нФ 50 В ±5%	2	C26,C29
				CC0805JR9BB101 100 нФ 50 В ±5%	1	C1
				CC0805JR9BB101 100 нФ 50 В ±5%	4	C3-C6
				CC0805JR9BB101 100 нФ 50 В ±5%	5	C10-C13, C15
				CC0805JR9BB101 100 нФ 50 В ±5%	1	C35
				CC0805JR9BB200 20 нФ 50 В ±5%	2	C36,C38
				CC0805JR9BB100 10 нФ 50 В ±5%	1	C2
				<u>Мікросхеми</u>		
				STM32F407VET6	1	DD4
				AMS1117-5	1	DA9
				SA612	2	DA7,DA8
				AD8302	1	DD2
				SI5351	2	DD1,DD3
				MT3608	1	DA6
				PAn91.411711.002		
Зм	Акр	№ докум.	Підп	Дата		
						3

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				TP4056	1	DA3
				ADG779	4	DA1,DA2, DA4,DA5
				RT9193	2	DA10 ,DA11
				П'єзокерамічний фільтр	2	Z1-Z2
				MURATA CF455FW		
				<u>Резистори RC0805FR-HITANO</u>		
				110 кОм 0,125 Вт ±5%	1	R7
				100 кОм 0,125 Вт ±5%	4	R25-R28
				12 кОм 0,125 Вт ±5%	1	R8
				10 кОм 0,125 Вт ±5%	5	R20-R24
				3 кОм 0,125 Вт ±5%	1	R4
				1 кОм 0,125 Вт ±5%	2	R5-R6
				390 Ом 0,125 Вт ±5%	1	R10
				330 Ом 0,125 Вт ±5%	2	R16-R17
				280 Ом 0,125 Вт ±5%	1	R14
				220 Ом 0,125 Вт ±5%	1	R19
				51 Ом 0,125 Вт ±5%	2	R9,R11
				50 Ом 0,125 Вт ±5%	3	R1-R3
				47 Ом 0,125 Вт ±5%	1	R18
				18 Ом 0,125 Вт ±5%	3	R12,R13, R15
				PAn91.411711.002		
Зм	Акр	№ докум.	Підп	Дата		

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим
				<u>Роз'єми</u>		
				SMA-F (EM-SA072-GGT)	2	XW1-XW2
				Mini USB/M-1J (KLS1-229-5FB-B)	1	X2
				<u>Світлодіоди</u>		
				KLS9-T0805URC	1	HL1
				KLS9-T0805UWC	1	HL2
				<u>Матеріали</u>		
				Приніт SAC 305 ISO9453:2014		
				РAn91.411711.002		
Зм	Акр	№ докум.	Підп	Дата		5

ДОДАТОК К
СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ПРИСТРІЙ

[illegible]

ДОДАТОК Л

ЛІСТИНГ ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ

Лістинг коду з файлу `calc_and_measurement.c`, що відповідає за обробку обчислень.

```
/*
 * calc_and_measurement.c
 *
 * Created on: 19 трав. 2022 р.
 * Author: Vega
 */

#include <calc_and_measurement.h>

//functions

float32_t deg_to_rad(float32_t deg_value){
    float32_t rad = (deg_value*pi)/180;
    return rad;
}

float32_t rad_to_deg(float32_t rad_value){
    float32_t deg = (rad_value*180)/pi;
    return deg;
}

float32_t log_to_u (float32_t log_value){
    float32_t u = pow(10, log_value/20);
    return u;
}

uint16_t measure(ADC_HandleTypeDef adc){ //приймає номер ацп hadc1 hadc2 і тд ...
    uint32_t ADC_measure = 0;
    for (int i = 0; i < 100; ++i) {
        HAL_ADC_Start(&adc);
        HAL_ADC_PollForConversion(&adc,100);
        ADC_measure +=(uint32_t) HAL_ADC_GetValue(&adc);
        HAL_ADC_Stop(&adc);
    }
    return (ADC_measure/100);
}

float32_t get_Uab_volts(ADC_HandleTypeDef adc_Uab){
    float32_t ADC_buffer = 0;
    ADC_buffer = measure(adc_Uab)*ref_adc_voltage/adc_sampling;
    return ADC_buffer;
}

float32_t convert_adc_to_Uab_volts(float32_t adc_Uab_value){ //measure(adc_Uab) here
    float32_t ADC_buffer = 0;
    ADC_buffer = adc_Uab_value*ref_adc_voltage/adc_sampling;
    return ADC_buffer;
}

float32_t get_Uab_dB(ADC_HandleTypeDef adc_Uab){
    float32_t ADC_buffer = 0;
    ADC_buffer = get_Uab_volts(adc_Uab);
    if (ADC_buffer < 0.9) {
        ADC_buffer = 30-ADC_buffer/0.03;
    }
}
```

```

        ADC_buffer = -ADC_buffer;
    }
    if (ADC_buffer == 0.9) {
        ADC_buffer = 0;
    }
    if (ADC_buffer > 0.9) {
        ADC_buffer = ADC_buffer/0.03-30;
    }
    return ADC_buffer;
}
float32_t convert_adc_to_Uab_dB(float32_t adc_Uab_value){ //measure(adc_Uab) here
    float32_t ADC_buffer = 0;
    ADC_buffer = convert_adc_to_Uab_volts(adc_Uab_value);
    if (ADC_buffer < 0.9) {
        ADC_buffer = 30-ADC_buffer/0.03;
        ADC_buffer = -ADC_buffer;
    }
    if (ADC_buffer == 0.9) {
        ADC_buffer = 0;
    }
    if (ADC_buffer > 0.9) {
        ADC_buffer = ADC_buffer/0.03-30;
    }
    return ADC_buffer;
}

float32_t get_phase_shift_volts(ADC_HandleTypeDef adc_a){
    float32_t ADC_buffer = 0;
    ADC_buffer = measure(adc_a)*ref_adc_voltage/adc_sampling;
    if (ADC_buffer > 1.8){
        ADC_buffer = 1.8;
    }
    return ADC_buffer;
}
float32_t convert_adc_to_phase_shift_volts(float32_t adc_a_value){
    float32_t ADC_buffer = 0;
    ADC_buffer = adc_a_value*ref_adc_voltage/adc_sampling;
    if (ADC_buffer > 1.8){
        ADC_buffer = 1.8;
    }
    return ADC_buffer;
}

float32_t get_phase_shift_deg(ADC_HandleTypeDef adc_a){
    float32_t ADC_buffer = 0;
    ADC_buffer = get_phase_shift_volts(adc_a);
    if(ADC_buffer > 1.8){
        ADC_buffer = 0;
    }
    else{
        ADC_buffer = 180-(ADC_buffer/0.01);
    }
    return ADC_buffer; //return deg val
}
float32_t convert_adc_to_phase_shift_deg(float32_t adc_a_value){
    float32_t ADC_buffer = 0;
    ADC_buffer = convert_adc_to_phase_shift_volts(adc_a_value);
    if(ADC_buffer > 1.8){
        ADC_buffer = 0;
    }
    else{
        ADC_buffer = 180-(ADC_buffer/0.01);
    }
}

```

```

        return ADC_buffer; //return deg val
    }

float32_t get_swr(float32_t Uab, float32_t a){ // Uab - різниця Uab , a - кут між a б
в градусах
    float32_t swr = sqrt(pow(log_to_u(Uab), 2)+1-
2*log_to_u(Uab)*arm_cos_f32(deg_to_rad(a)));
    swr = fabs((1+swr)/(1-swr));
    return swr;
}

float32_t measure_swr(ADC_HandleTypeDef adc_Uab, ADC_HandleTypeDef adc_a){
    float32_t SWR = 0;
    float32_t ADC_buffer[2];
    // міряємо різницю амплітуд
    ADC_buffer[0] = measure(adc_Uab)*ref_adc_voltage/adc_sampling;
    // міряємо фазу
    ADC_buffer[1] = measure(adc_a)*ref_adc_voltage/adc_sampling;
    // Обробник для фази
    if(ADC_buffer[1] > 1.8){
        ADC_buffer[1] = 0;
    }
    else{
        ADC_buffer[1] = 180-(ADC_buffer[1]/0.01);
    }
    // Обробник для амплітуди
    if (ADC_buffer[0] < 0.9) {
        ADC_buffer[0] = 30-ADC_buffer[0]/0.03;
        ADC_buffer[0] = -ADC_buffer[0];
    }
    if (ADC_buffer[0]== 0.9) {
        ADC_buffer[0] = 0;
    }
    if (ADC_buffer[0] > 0.9) {
        ADC_buffer[0] = ADC_buffer[0]/0.03-30;
    }
    // розрахунки КСВ
    SWR = get_swr(ADC_buffer[0], ADC_buffer[1]);
    // SWR = get_swr(get_Uab_dB(adc_Uab), a)
    return SWR;
}

float32_t convert_adc_to_swr(float32_t adc_Uab, float32_t adc_a){
    float32_t SWR = 0;
    float32_t ADC_buffer[2];
    // міряємо різницю амплітуд
    ADC_buffer[0] = convert_adc_to_Uab_volts(adc_Uab);
    // міряємо фазу
    ADC_buffer[1] = convert_adc_to_phase_shift_volts(adc_a);
    // Обробник для фази
    if(ADC_buffer[1] > 1.8){
        ADC_buffer[1] = 0;
    }
    else{
        ADC_buffer[1] = 180-(ADC_buffer[1]/0.01);
    }
    // Обробник для амплітуди
    if (ADC_buffer[0] < 0.9) {
        ADC_buffer[0] = 30-ADC_buffer[0]/0.03;
        ADC_buffer[0] = -ADC_buffer[0];
    }
    if (ADC_buffer[0]== 0.9) {
        ADC_buffer[0] = 0;
    }
}

```

```

    if (ADC_buffer[0] > 0.9) {
        ADC_buffer[0] = ADC_buffer[0]/0.03-30;
    }
    //попрахунки ксх
    SWR = get_swr(ADC_buffer[0], ADC_buffer[1]);
    return SWR;
}

float32_t convert_adc_to_X(float32_t adc_Uab, float32_t adc_a){
    float32_t X = 0;
    float32_t k = 0;
    float32_t beta = 0;
    adc_Uab = convert_adc_to_Uab_dB(adc_Uab);
    adc_a = convert_adc_to_phase_shift_deg(adc_a);
    k = sqrt(pow(log_to_u(adc_Uab),2)+4-
4*log_to_u(adc_Uab)*arm_cos_f32(deg_to_rad(adc_a)));
    beta = asin((log_to_u(adc_Uab)*arm_sin_f32(deg_to_rad(adc_a)))/(k));
    X = ((2*arm_sin_f32(beta))/(k))*50;
    return X;
}

float32_t convert_adc_to_R(float32_t adc_Uab, float32_t adc_a){
    float32_t R = 0;
    float32_t k = 0;
    float32_t beta = 0;
    adc_Uab = convert_adc_to_Uab_dB(adc_Uab);
    adc_a = convert_adc_to_phase_shift_deg(adc_a);
    k = sqrt((pow(log_to_u(adc_Uab),2))+4-
(4*(log_to_u(adc_Uab))*arm_cos_f32(deg_to_rad(adc_a))));
    beta = asin((log_to_u(adc_Uab)*arm_sin_f32(deg_to_rad(adc_a)))/(k));
    R = (2*arm_cos_f32(beta)-k)/(k)*50;
    return R;
}

void set_frequency(uint32_t freq){
    si5351_SetupCLK0(freq, SI5351_DRIVE_STRENGTH_2MA);
}

```

Лістинг з файлу ui.c, що відповідає за інтерфейс.

```
/*
 * ui.c
 *
 * Created on: 20 трав. 2022 р.
 * Author: Vega
 */

#include "ui.h"
//Variables
//extern const int32_t correction;
//extern uint32_t current_freq;
extern const int32_t correction;
extern int32_t current_freq;
extern int32_t start_freq;
extern int32_t stop_freq;

extern volatile uint8_t current_menu_id;
extern volatile uint8_t cursor_position;

extern volatile uint8_t is_select;
extern volatile uint8_t is_up;
extern volatile uint8_t is_down;

uint8_t input_buffer[9];
//int input_buffer[9] = {0xff,0xff,0xff,0xff,0xff,0xff,0xff,0xff,0xff};
char string_buffer[40];
float32_t ADC_Buffer_Uab = 0;
float32_t ADC_Buffer_a = 0;
//structures inits
char *main_menu_points[] = {
    "Measurement",
    "Setup frequency",
    "Debug screen"
};
char *measurement_menu_points[] = {
    "Measure SWR",
    "Measure |Z|",
    "Measure R+Xj",
    "Setup frequency",
    "Exit"
};
char *freq_setup_menu_points[] = {
    "Start freq",
    "Stop freq",
    "Exit"
};
uint8_t numberpad_menu_points[10] = {
    1,
    2,
    3,
    4,
    5,
    6,
    7,
    8,
    9,
    0
};
ui_menu_t main_menu = {
    0,
    0,
```

```

        3,
        main_menu_points
};
ui_menu_t measurement_menu_p = {
    2,
    0,
    5,
    measurement_menu_points
};
ui_menu_t setup_freq_menu = {
    3,
    0,
    3,
    freq_setup_menu_points
};
ui_menu_numpad_t numberpad_menu_p = {
    4,
    0,
    12,
    .item_lable = numberpad_menu_points
};

// functions
bool ui_is_DownPressed(void)
{
    return (HAL_GPIO_ReadPin(NAV_Down_Port, NAV_Down_Pin) == GPIO_PIN_RESET);
}

bool ui_is_SelectPressed(void)
{
    return (HAL_GPIO_ReadPin(NAV_Select_Port, NAV_Select_Pin) == GPIO_PIN_RESET);
}

bool ui_is_UpPressed(void)
{
    return (HAL_GPIO_ReadPin(NAV_Up_Port, NAV_Up_Pin) == GPIO_PIN_RESET);
}

void ui_pos_selector(uint8_t pos){
    switch(pos){
        case 1:
            TFT9341_DrawRect(TFT9341_CYAN, 0, 29, 320, 51);
        default: return;
    }
}

void set_cursor(uint8_t cursor_pos){
    cursor_position = cursor_pos;
}

uint8_t get_cursor_position(void){
    return cursor_position;
}

void cursor_position_down(void){
    cursor_position++;
}

```

```

void cursor_position_up(void){
    cursor_position--;
}

```

```

uint8_t get_cord_for_cursor(uint8_t cursor_pos){
    switch (cursor_pos){
        case 1:
            return cursor_pos = cursor_point_pos_1;
            break;
        case 2:
            return cursor_pos = cursor_point_pos_2;
            break;
        case 3:
            return cursor_pos = cursor_point_pos_3;
            break;
        case 4:
            return cursor_pos = cursor_point_pos_4;
            break;
        case 5:
            return cursor_pos = cursor_point_pos_5;
            break;
        case 6:
            return cursor_pos = cursor_point_pos_6;
            break;
        case 7:
            return cursor_pos = cursor_point_pos_7;
            break;
        default: return cursor_pos = cursor_point_pos_1;
    }
}

```

```

uint8_t get_point_number(uint8_t menu_id){
    switch (menu_id){
        case 1:
            return main_menu.items_number;
            break;
        case 2:
            return measurement_menu_p.items_number;
            break;
        case 3:
            return setup_freq_menu.items_number;
            break;
        case 4:
            return numberpad_menu_p.items_number;
            break;
        default: return 0;
    }
}

```

```

void draw_cursor(void){
    TFT9341_SetTextColor(TFT9341_CYAN);
    if(get_cursor_position()==1){
        //TFT9341_FillRect(cursor_style_x1,
        get_cord_for_cursor(get_cursor_position()+cursor_style_y1, cursor_style_x2,
        get_cord_for_cursor(get_cursor_position()+cursor_style_y2, TFT9341_RED);
        TFT9341_DrawChar(cursor_style_x1,
        get_cord_for_cursor(get_cursor_position()), '<');
    }
    if(is_down){
        if (get_cursor_position() != 0){
            if((get_cursor_position()) == 1){

```

```

        TFT9341_FillRect(cursor_style_x1,
get_cord_for_cursor(get_point_number(current_menu_id))+cursor_style_y1,
cursor_style_x2,
get_cord_for_cursor(get_point_number(current_menu_id))+cursor_style_y2,
TFT9341_BLACK);
    }
    else{
        TFT9341_FillRect(cursor_style_x1,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()-1)+cursor_style_y1, cursor_style_x2,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()-1)+cursor_style_y2, TFT9341_BLACK);
    }
    //TFT9341_FillRect(cursor_style_x1,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()+cursor_style_y1, cursor_style_x2,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()+cursor_style_y2, TFT9341_RED);
    TFT9341_DrawChar(cursor_style_x1,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()), '<');
}
}
if(is_up){
    if (get_cursor_position() != 0){
        if((get_cursor_position()) == get_point_number(current_menu_id)){
            TFT9341_FillRect(cursor_style_x1,
get_cord_for_cursor(1)+cursor_style_y1, cursor_style_x2,
get_cord_for_cursor(get_point_number(1))+cursor_style_y2, TFT9341_BLACK);
        }
        else{
            TFT9341_FillRect(cursor_style_x1,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()+1)+cursor_style_y1, cursor_style_x2,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()+1)+cursor_style_y2, TFT9341_BLACK);
        }
        //TFT9341_FillRect(cursor_style_x1,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()+cursor_style_y1, cursor_style_x2,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()+cursor_style_y2, TFT9341_RED);
        TFT9341_DrawChar(cursor_style_x1,
get_cord_for_cursor(get_cursor_position()), '<');
    }
}
TFT9341_SetTextColor(menu_text_colour);
}

void draw_main_menu(void){
    TFT9341_FillScreen(TFT9341_BLACK);
    TFT9341_SetTextColor(TFT9341_CYAN);
    TFT9341_SetFont(&Font24);
    TFT9341_String(75, 0, "Main menu");
    TFT9341_DrawLine(TFT9341_CYAN, 0, 25, 320, 25);
    TFT9341_SetTextColor(menu_text_colour);
    TFT9341_String(menu_point_pos_1, main_menu.item_lable[0]);
    TFT9341_String(menu_point_pos_2, main_menu.item_lable[1]);
    TFT9341_String(menu_point_pos_3, main_menu.item_lable[2]);
}

void ui_init(void){
    TFT9341_ini(240,320);
    TFT9341_FillScreen(TFT9341_BLACK);
    TFT9341_SetRotation(3); //horizontal
    TFT9341_SetTextColor(menu_text_colour);
    TFT9341_SetFont(&Font24);
    TFT9341_FillRect(0, 0, 320, 20, 0x043F);
    TFT9341_FillRect(0, 20, 320, 40, 0xFFA0);
    TFT9341_FillRect(0, 200, 320, 220, 0x043F);
    TFT9341_FillRect(0, 220, 320, 240, 0xFFA0);
    TFT9341_String(100, 100, "RTF KPI");
}

```

```

TFT9341_String(30, 120, "Vector Analyzer");
TFT9341_String(90, 140, "Kyiv 2022");
//HAL_Delay(5000);
TFT9341_FillScreen(TFT9341_BLACK);
//draw_main_menu();
}

void display_current_start_stop_f(void){
    TFT9341_SetFont(&Font12);
    TFT9341_SetTextColor(TFT9341_CYAN);
    sprintf(string_buffer, "Start f: %lu Hz", start_freq);
    TFT9341_String(10, 220, string_buffer);
    sprintf(string_buffer, "Stop f: %lu Hz", stop_freq);
    TFT9341_String(170, 220, string_buffer);
    TFT9341_SetFont(&Font24);
    TFT9341_SetTextColor(menu_text_colour);
    TFT9341_DrawLine(TFT9341_CYAN, 0, 210, 320, 210);
}

void debug_menu_every_single_measure(void){
    TFT9341_FillScreen(TFT9341_BLACK);
    current_freq = 1000000;
    while(1){
        if(is_up){
            if(current_freq<MAX_Freq){
                si5351_SetupCLK0(current_freq, SI5351_DRIVE_STRENGTH_2MA);
                current_freq+=1000000;
                is_up = 0;
            }
            else{
                current_freq = 1000000;
                si5351_SetupCLK0(current_freq, SI5351_DRIVE_STRENGTH_2MA);
                is_up = 0;
            }
        }
        if(is_down){
            if(current_freq <= 1000000){
                is_down = 0;
            }
            else{
                current_freq -= 1000000;
                si5351_SetupCLK0(current_freq, SI5351_DRIVE_STRENGTH_2MA);
                is_down = 0;
            }
        }
        sprintf(string_buffer, "f: %lu Hz",current_freq);
        TFT9341_String(10, 175, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "Ua/b: %.4f dB", get_Uab_dB(hadc1));
        TFT9341_String(10, 50, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "Ua/b: %.4f V", get_Uab_volts(hadc1));
        TFT9341_String(10, 75, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "Phase: %.4f deg", get_phase_shift_deg(hadc2));
        TFT9341_String(10, 100, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "Phase: %.4f V", get_phase_shift_volts(hadc2));
        TFT9341_String(10, 125, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "SWR: %.2f", measure_swr(hadc1, hadc2));
        TFT9341_String(10, 150, string_buffer);
        if(is_select){
            current_menu_id = 1;
            is_select = 0;
            draw_main_menu();
            set_cursor(1);
            draw_cursor();
        }
    }
}

```

```

        break;
    }
}
}
void debug_menu(void){
    TFT9341_FillScreen(TFT9341_BLACK);
    TFT9341_SetTextColor(TFT9341_CYAN);
    TFT9341_SetFont(&Font24);
    TFT9341_String(60, 0, "Debug screen");
    TFT9341_DrawLine(TFT9341_CYAN, 0, 25, 320, 25);
    TFT9341_SetTextColor(menu_text_colour);
    current_freq = MIN_Freq;
    set_frequency(current_freq);
    while(1){
        if(is_up){
            if(current_freq<MAX_Freq){
                current_freq+=1000000;
                //si5351_SetupCLK0(current_freq,
SI5351_DRIVE_STRENGTH_2MA);
                set_frequency(current_freq);
                is_up = 0;
            }
            else{
                current_freq = 1000000;
                //si5351_SetupCLK0(current_freq,
SI5351_DRIVE_STRENGTH_2MA);
                set_frequency(current_freq);
                is_up = 0;
            }
        }
        if(is_down){
            if(current_freq <= 1000000){
                is_down = 0;
            }
            else{
                current_freq -= 1000000;
                //si5351_SetupCLK0(current_freq, SI5351_DRIVE_STRENGTH_2MA);
                set_frequency(current_freq);
                is_down = 0;
            }
        }
        ADC_Buffer_Uab = measure(hadc1);
        ADC_Buffer_a = measure(hadc2);
        sprintf(string_buffer, "Ua/b: %.4f dB",
convert_adc_to_Uab_dB(ADC_Buffer_Uab));
        TFT9341_String(menu_point_pos_1, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "Ua/b: %.4f V",
convert_adc_to_Uab_volts(ADC_Buffer_Uab));
        TFT9341_String(menu_point_pos_2, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "Phase: %.4f deg",
convert_adc_to_phase_shift_deg(ADC_Buffer_a));
        TFT9341_String(menu_point_pos_3, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "Phase: %.4f V",
convert_adc_to_phase_shift_volts(ADC_Buffer_a));
        TFT9341_String(menu_point_pos_4, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "SWR: %03.2f", convert_adc_to_swr(ADC_Buffer_Uab,
ADC_Buffer_a));
        TFT9341_String(menu_point_pos_5, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "f: %lu Hz",current_freq);
        TFT9341_String(menu_point_pos_6, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "Z: %.1f %.1f j", convert_adc_to_R(ADC_Buffer_Uab,
ADC_Buffer_a),convert_adc_to_X(ADC_Buffer_Uab, ADC_Buffer_a));
        TFT9341_String(menu_point_pos_7, string_buffer);
        if(is_select){
            current_menu_id = 1;

```

```

        is_select = 0;
        draw_main_menu();
        set_cursor(1);
        draw_cursor();
        break;
    }
}
}

```

```

void draw_measurement_menu(){
    TFT9341_FillScreen(TFT9341_BLACK);
    TFT9341_SetTextColor(TFT9341_CYAN);
    TFT9341_SetFont(&Font24);
    TFT9341_String(20, 0, "Measurement menu");
    TFT9341_DrawLine(TFT9341_CYAN, 0, 25, 320, 25);
    TFT9341_SetTextColor(menu_text_colour);
    /*for (int i = 0; i < measurement_menu.items_number; ++i) {
        TFT9341_String(menu_point_pos_1, main_menu.item_lable[i]);
    }*/
    TFT9341_String(menu_point_pos_1, measurement_menu.p.item_lable[0]);
    TFT9341_String(menu_point_pos_2, measurement_menu.p.item_lable[1]);
    TFT9341_String(menu_point_pos_3, measurement_menu.p.item_lable[2]);
    TFT9341_String(menu_point_pos_4, measurement_menu.p.item_lable[3]);
    TFT9341_String(menu_point_pos_5, measurement_menu.p.item_lable[4]);
}

```

```

void cursor_numpad_switcher(void){
    if(is_down | is_up){
        if (get_cursor_position() != 0){
            switch(get_cursor_position()){
                case 1:
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_12);
                    TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_1);
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_2);
                    break;
                case 2:
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_1);
                    TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_2);
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_3);
                    break;
                case 3:
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_2);
                    TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_3);
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_4);
                    break;
                case 4:
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_3);
                    TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_4);
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_5);
                    break;
                case 5:
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_4);
                    TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_5);
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_6);
                    break;
                case 6:
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_5);
                    TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_6);
                    TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_7);
                    break;
                case 7:

```

```

        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_6);
        TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_7);
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_8);
        break;
    case 8:
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_7);
        TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_8);
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_9);
        break;
    case 9:
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_8);
        TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_9);
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_10);
        break;
    case 10:
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_9);
        TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_10);
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_11);
        break;
    case 11:
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_10);
        TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_11);
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_12);
        break;
    case 12:
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_11);
        TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_12);
        TFT9341_DrawRect(TFT9341_BLACK, num_cursor_point_pos_1);
        break;
    }
}

}

}

void draw_numberpad_cursor(void){
    if(get_cursor_position()==1){
        TFT9341_DrawRect(0xBFEB, num_cursor_point_pos_1);
    }
    cursor_numpad_switcher();
}

void draw_number_pad_boxes(void){
    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_1, '1');
    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_2, '2');
    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_3, '3');

    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_4, '4');
    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_5, '5');
    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_6, '6');

    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_7, '7');
    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_8, '8');
    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_9, '9');

    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_10, '0');
    TFT9341_DrawChar(numberpad_menu_point_pos_11, 'M');
    TFT9341_String(numberpad_menu_point_pos_12, ">");
}

void draw_number_pad(char *header){
    TFT9341_FillScreen(TFT9341_BLACK);
    TFT9341_SetTextColor(TFT9341_CYAN);
    TFT9341_SetFont(&Font24);
}

```



```

        is_select = 0;
        number_pad(2); //for stop
        break;
    case 3:
        is_select = 0;
        menu_procesor();
        break;
    default: is_select = 0;
    }
}
}
if (is_down){
    if (current_menu_id != 0){
        if (get_cursor_position()!=(get_point_number(current_menu_id))){
            cursor_position_down();
            draw_cursor();
        }
        else{
            set_cursor(1);
            draw_cursor();
        }
    }
    is_down = 0;
    //HAL_Delay(300);
}
if (is_up){
    if (current_menu_id != 0){
        if (get_cursor_position()!= 1){
            cursor_position_up();
            draw_cursor();
        }
        else{
            set_cursor(get_point_number(current_menu_id));
            draw_cursor();
        }
    }
    is_up = 0;
    //HAL_Delay(300);
}
}
}

```

```

void clear_input_buf(){
    for(int i=9; i!=0;i--)
        input_buffer[i] = 0xFF;
}

```

```

// 1 for start . 2 for stop
void number_pad(uint8_t mode){
    switch(mode){
        case 1:
            draw_number_pad("Start freq setup");
            break;
        case 2:
            draw_number_pad("Stop freq setup");
            break;
    }
    current_menu_id = 4;
    uint8_t enter_finish = 0;
    uint32_t entered_value = 0;
    uint8_t digit = 0;
    memset(input_buffer, 0xFF, sizeof(input_buffer));
    //clear_input_buf();
    set_cursor(1);
}

```

```

draw_numberpad_cursor();
while(current_menu_id == 4){
    //sprintf(string_buffer, "cursor: %d ", get_cursor_position());
    //TFT9341_String(30, 220, string_buffer);
    if (is_select){
        if(current_menu_id == 4){
            switch(get_cursor_position()){
            case 1:
                if(digit < 9){
                    input_buffer[digit] = 1;
                    digit ++;
                }
                is_select = 0;
                break;
            case 2:
                if(digit < 9){
                    input_buffer[digit] = 2;
                    digit ++;
                }
                is_select = 0;
                break;
            case 3:
                if(digit < 9){
                    input_buffer[digit] = 3;
                    digit ++;
                }
                is_select = 0;
                break;
            case 4:
                if(digit < 9){
                    input_buffer[digit] = 0;
                    digit ++;
                }
                is_select = 0;
                break;
            case 5:
                if(digit < 9){
                    input_buffer[digit] = 4;
                    digit ++;
                }
                is_select = 0;
                break;
            case 6:
                if(digit < 9){
                    input_buffer[digit] = 5;
                    digit ++;
                }
                is_select = 0;
                break;
            case 7:
                if(digit < 9){
                    input_buffer[digit] = 6;
                    digit ++;
                }
                is_select = 0;
                break;
            case 8:
                //clear_curent_input();
                entered_value = input_to_int(input_buffer,
sizeof(input_buffer));

                entered_value = entered_value*MIN_Freq;
                enter_finish = 1;
                is_select = 0;
                break;
            case 9:

```

```

        if(digit < 9){
            input_buffer[digit] = 7;
            digit ++;
        }
        is_select = 0;
        break;
    case 10:
        if(digit < 9){
            input_buffer[digit] = 8;
            digit ++;
        }
        is_select = 0;
        break;
    case 11:
        if(digit < 9){
            input_buffer[digit] = 9;
            digit ++;
        }
        is_select = 0;
        break;
    case 12:
        is_select = 0;
        clear_curent_input();
        entered_value = input_to_int(input_buffer,
sizeof(input_buffer));

        //clear_input_buf();
        sprintf(string_buffer, "%lu", entered_value);
        TFT9341_String(30, 200, string_buffer);
        enter_finish = 1;
        break;
    default: is_select = 0;
    }
}
//display_current_input(digit);
}
if(!enter_finish){
    display_current_input(input_buffer);
}
if(enter_finish){
    //clear_input_buf();
    //memset(input_buffer, 0xFF, sizeof(input_buffer));
    if (entered_value > MAX_Freq){
        entered_value = MAX_Freq;
    }
    if(entered_value < MIN_Freq){
        entered_value = MIN_Freq;
    }
    switch(mode){
    case 1:
        if(entered_value > stop_freq){
            stop_freq = MAX_Freq;
        }
        start_freq = entered_value;
        break;
    case 2:
        if(entered_value < start_freq){
            start_freq = MIN_Freq;
        }
        stop_freq = entered_value;
        break;
    }
    setup_f_menu();
}
if (is_down){
    if (current_menu_id != 0){

```

```

        if
        (get_cursor_position()!=(get_point_number(current_menu_id))){
            cursor_position_down();
            draw_numberpad_cursor();
        }
        else{
            set_cursor(1);
            draw_numberpad_cursor();
        }
    }
    is_down = 0;
    //HAL_Delay(300);
}
if (is_up){
    if (current_menu_id != 0){
        if (get_cursor_position() != 1){
            cursor_position_up();
            draw_numberpad_cursor();
        }
        else{
            set_cursor(get_point_number(current_menu_id));
            draw_numberpad_cursor();
        }
    }
    is_up = 0;
    //HAL_Delay(300);
}
}
//return 0;
}

```

```

void measurement_menu(void){
    draw_measurement_menu();
    display_current_start_stop_f();
    current_menu_id = 2;
    set_cursor(1);
    draw_cursor();
    /*if (get_cursor_position() != 1){
        set_cursor(1);
        draw_cursor();
    }*/
    while(current_menu_id == 2){
        /*sprintf(string_buffer, "cursor: %d ", get_cursor_position());
        TFT9341_String(30, 170, string_buffer);
        sprintf(string_buffer, "menu_id: %d ", current_menu_id);
        TFT9341_String(30, 200, string_buffer);*/
        if (is_select){
            /*if(current_menu_id == 2){
                is_select = 0;
                if (get_cursor_position() != 1){
                    set_cursor(1);
                    draw_cursor();
                }
            }*/
            if(current_menu_id == 2){
                switch(get_cursor_position()){
                    case 1:
                        is_select = 0;
                        break;
                    case 2:
                        is_select = 0;
                        break;
                    case 3:
                        is_select = 0;

```



```

        is_select = 0;
        current_menu_id = 3;
        setup_f_menu();
        break;
    case 3:
        is_select = 0;
        current_menu_id = 4;
        debug_menu();
        break;
    default: is_select = 0;
    }
}
}
if (is_down){
    if (current_menu_id != 0){
        if (get_cursor_position()!=(get_point_number(current_menu_id))){
            cursor_position_down();
            draw_cursor();
        }
        else{
            set_cursor(1);
            draw_cursor();
        }
    }
    is_down = 0;
    //HAL_Delay(300);
}
if (is_up){
    if (current_menu_id != 0){
        if (get_cursor_position()!= 1){
            cursor_position_up();
            draw_cursor();
        }
        else{
            set_cursor(get_point_number(current_menu_id));
            draw_cursor();
        }
    }
    is_up = 0;
    //HAL_Delay(300);
}
//HAL_Delay(300);
}
}

```