

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

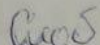
Вимірювач параметрів антенних систем

Назва теми

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
Освітня програма «Телекомунікації та радіотехніка»

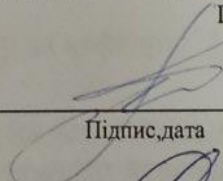
Шифр КПТР 20060.01.03.00ПЗ

Виконав: здобувач 3 курсу, група ТР2с-20-1


Підпис

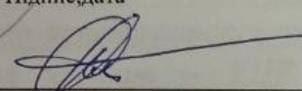
А.С. Слободянюк
Ініціали, прізвище

Керівник:..


Підпис, дата

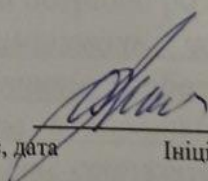
2.06.23 О.С. Пивовар
Ініціали, прізвище

Нормоконтроль:


Підпис, дата

В.І. Стецюк
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав.кафедри телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних
технологій


Підпис, дата

С.К. Підченко
Ініціали, прізвище

10 червня 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій (ТМІТ)

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр і назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр і назва

Освітня-професійна програма «Телекомунікації та радіотехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМІТ

Підпис, дата

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Слободянюку Андрію Сергіювичу

Прізвище, ім'я, по батькові здобувача

1 Тема проєкту Вимірювач параметрів антенних систем

керівник проєкту Пивовар Олег Сергійович, к.т.н, доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від « 3 » березня 2023р. № 5 .

2 Строк подання студентом проєкту на кафедру: 1.06.2023р.

3 Вихідні дані до проєкту Ескіз схеми електричної принципової та короткий опис її функціонування та ескіз передбачуваного конструкторського виконання. Напруга живлення пристрою – 12В. Діапазон частот – VHF або UHF. Точність вимірювання не гірше 5%. Наявність системи мікропроцесорного керування. Мінімізація вартості виробу. Загальна маса – до 1кг.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Техніко-економічне обґрунтування методу вимірювань через використання програмованого синтезатора. 2. Аналіз принципів роботи пристроїв, що застосовують метод вимірювання, представлені в короткій анотації роботи виробу. 3. Аналіз елементної бази та аналогів. 4. Опис структурної та принципової схеми 5. Аналіз похибок вимірювання. 6. Схемотехнічні та конструкторсько-технологічні розрахунки окремих елементів розроблюваного приладу..

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схеми електрична структурна вимірювача параметрів антенних систем (A1)..

2. Схема електрична принципова пристрою із переліком елементів (A1). 3.

Демонстраційні плакати та технічні рисунки (до 10 плакатів).

6 Консультанти розділів кваліфікаційного проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання 27.02.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	<i>Вибір тематики проєкту</i>	<i>до 1.03.23</i>	<i>обрано</i>
2	<i>Аналіз початкових даних проєкту</i>	<i>до 5.03.23</i>	<i>виконано</i>
3	<i>Написання вступу та 1 розділу</i>	<i>до 15.03.23</i>	<i>виконано</i>
4	<i>Написання 2 розділу</i>	<i>до 15.04.23</i>	<i>виконано</i>
5	<i>Оформлення креслення структурної схеми</i>	<i>до 15.04.23</i>	<i>виконано</i>
6	<i>Написання 3 розділу</i>	<i>до 1.05.23</i>	<i>виконано</i>
7	<i>Оформлення креслення принципової схеми та демонстраційних плакатів</i>	<i>до 10.05.23</i>	<i>виконано</i>
8	<i>Компоновка та формування висновків</i>	<i>до 15.05.23</i>	<i>виконано</i>
9	<i>Корекція зауважень керівника</i>	<i>до 17.05.23</i>	<i>виконано</i>
10	<i>Підготовка доповіді, оформлення документів супровіду проєкту</i>	<i>до 25.05.23</i>	<i>виконано</i>
11	<i>Подання готового проєкту на попередній захист</i>	<i>1.06.23</i>	<i>виконано</i>
12	<i>Корекція зауважень під час попереднього захисту</i>	<i>до 01.06.23</i>	<i>виконано</i>
13	<i>Рецензування, антиплагіат, підписи</i>	<i>до 06.06.23</i>	<i>виконано</i>

Здобувач

Слоб
Підпис

А.С. Слободянюк
Ініціали, прізвище

Керівник проєкту

[Підпис]
Підпис

О.С. Пивовар
Ініціали, прізвище

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ ескізу/літеру	Примітка
1.		№ рядка				
2.			<u>Документація загальна</u>			
3.						
4.	A4		Завдання на дипломний			
5.			проект	1		
6.	A4		Календарний план	1		
7.	A4	КПТР20060.01.03.00ПЗ	Пояснювальна записка	72		
8.	A4	КПТР20060.01.03.00ПЕЗ	Перелік елементів	4		
9.	A4		Копії креслень	2		
10.	A4		Копії довідок			
11.			антиплагіату	1		
12.	A4		Рішення каф. про допуск	1		
13.	A4		Копія відгуку			
14.			рецензента	1		
15.			Відгук керівника	1		
16.	A4		Копія заяви про			
17.			академічну доброчесність	1		
18.						
19.			<u>Документація графічна</u>			
20.						
21.	A1	КПТР20060.01.03.00Е1	Схема електрична			
22.			структурна	1		
23.	A1	КПТР20060.01.03.00Е3	Схема електрична			
24.			принципова	1		
25.				9		
26.						
27.						
28.						

КПТР20060.01.03.00ВП

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Слободянюк	<i>Слободянюк</i>	6.06
Перевір.		Пивовар О.С.	<i>Пивовар</i>	9.06
Н. Контр.		Стецюс В.	<i>Стецюс</i>	6.06.23
Затверд.		Підченко	<i>Підченко</i>	

**Вимірювач параметрів
антенних систем**
Відомість проекту

Літера	Аркуш	Аркушів
4	1	1

ХНУ, ФІТ,
ТР2с-20-1

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проекту:

«Вимірювач параметрів антенних систем».

Автор роботи : Слободянюк Андрій Сергійович

Керівник роботи : канд. техн. наук, доц. Пивовар Олег Сергійович

Пояснювальна записка : 72 сторінки , 22 рисунки , 32 джерел.

Графічна частина : 2 креслення , 9 презентаційних слайдів .

КЛЮЧОВІ СЛОВА : ВИМІРЮВАЧ ПАРАМЕТРІВ, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА АНТЕНА, МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, СИНТЕЗАТОР.

Метою даного проекту є розробка частини конструкторської документації необхідної для подальшого виготовлення, аналіз прийнятих технічних рішень з допомогою підтверджувальних розрахунків.

Вимірювач параметрів антенних систем має на меті сприяти розвитку антенно технології та забезпечити необхідні інструменти для проведення досліджень розробки та оптимізації антенних систем в різних галузях, включаючи безпроводов комунікації, радіолокацію, супутникову зв'язок, та багато інших. В результат реалізації цього вимірювача очікується забезпечення точних вимірювань параметрів антенних систем, що сприятиме подальшій розробці та удосконаленню технології зв'язку та передачі даних.

1.06.23

Слоб

Підпис, дата

А.С. Слободянюк

Ініціали, прізвище здобувача

ABSTRACT

Qualification project topic:

"Measurement of Parameters of Antenna Systems."

Author: Andrii Slobodianyuk

Project supervisor: PhD in Engineering, Associate Professor Oleh Pivovar

Explanatory Note: 72 pages, 23 figures, 32 sources.

Graphic Part: 2 drawings, 8 presentation slides.

KEYWORDS: PARAMETER MEASUREMENT, ELECTRICAL CIRCUIT, ANTENNA, MEASUREMENT METHODS, MICROCONTROLLER, SYNTHESIZER.

The aim of this diploma project is to develop and implement a measurement device for antenna system parameters that will accurately and reliably determine the main characteristics of antennas. The primary objective is to create a device that ensures high accuracy and representativeness of measurement results.

The measurement device for antenna system parameters aims to contribute to the development of antenna technology and provide necessary tools for research, development, and optimization of antenna systems in various fields, including wireless communications, radar, satellite communication, and many others. The implementation of this measurement device is expected to provide accurate measurements of antenna system parameters, which will contribute to further development and improvement of communication and data transmission technologies.

25.05.23

AS

A.S. Slobodianyuk

Signature, Date

Initials, Last Name of the applicant

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ	11
1.1 Загальні положення.....	11
1.1.1 Характеристика вимірювання параметрів антен.....	11
1.1.2 Виявлення несправностей та проблем	14
1.2 Антенні аналізатори – аналоги виробу	15
1.2.1 Антенний аналізатор RigExpert AA-230 Zoom.....	15
1.2.2 Антенний аналізатор MFJ-259C.....	17
1.3 Методи вимірювання	19
1.3.1 Методи вимірювання коефіцієнту стоячої хвилі	19
1.3.2 Вимірювання активних та реактивних опорів.....	21
2 СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИРОБУ	24
2.1 Елементна база пристрою, що розробляється	24
2.1.1 Застосування контролерів під час вимірювань	24
2.1.2 Операційні підсилювачі.....	27
2.2 Ескіз технічного завдання на виріб	31
2.2.1 Призначення та загальні відомості	31
2.2.2 Склад вимірювача на рівні структури	32
2.2.3 Тактико - технічні характеристики вимірювача.....	33
2.2.4 Структурна схема виробу	35
2.3 Схема електрична принципова	39

КПТР20060.01.03.00ПЗ				
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата
Розробив		Слободянюк	<i>[Signature]</i>	006
Перевірів		Пивовар	<i>[Signature]</i>	206
Н. контр.		Стецюк	<i>[Signature]</i>	6.06.23
Затв.		Підченко	<i>[Signature]</i>	

Флукуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв Пояснювальна записка		
Літера	Аркуш	Аркушів
	6	72
ХНУ, ФІТ		

2.3.1	Цифрова частина.....	39
2.3.2	Частина синтезатора частот.....	41
2.3.3	Аналогова частина вимірювача	43
2.3.4	Блок живлення вимірювача	45
3	РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	47
3.1	Функції та налаштування вимірювача	47
3.1.1	Керування та індикація результатів вимірювання.....	47
3.1.2	Калібрування вимірювача.....	49
3.1.3	Вимірювання додаткових параметрів антен	51
3.2	Зауваження щодо конструювання вимірювача	53
3.3	Розробка окремих модулів	56
3.3.1	Поняття про каскодну схему	56
3.3.2	Вхідний каскад підсилення струму	58
3.3.3	Каскодна частина підсилювача	60
3.4	Оцінювання параметрів надійності	63
	ВИСНОВКИ	68
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АС – антенна система

БЖ – блок живлення

ВЛ – вимірювальна лінія

ГПЛ – горизонтальна поляризація

ВПЛ – вертикальна поляризація

ЕМХ – електромагнітна хвиля

КБХ – коефіцієнт підсилення антени

ККД – коефіцієнт корисної дії

КНВ – каліброване навантаження

КСД – коефіцієнт спрямованої дії

КСХ – коефіцієнт стоячої хвилі

ВАС – вібраторна антенна система

МС – інтегральна схема середнього та низького рівня інтеграції

ОП – операційний підсилювач

DDS – синтезатор частот прямого синтезу

VHF – діапазон дуже високих частот

HF – діапазон високих частот

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Вимірювання та налаштування параметрів антенних систем відіграють критичну роль у забезпеченні оптимальної роботи радіозв'язку. Антена система є ключовим компонентом бездротових комунікаційних систем і використовується для передачі та отримання радіосигналів. Оптимальна робота антени залежить від точного вимірювання та налаштування різних параметрів, таких як коефіцієнт підсилення, діаграма направленості, положення та орієнтація антени.

Вимірювач параметрів антенних систем є спеціальним пристроєм з комплексом програмного забезпечення, розробленим для визначення та аналізу параметрів антен. Цей інструмент дозволяє інженерам проводити точні вимірювання та визначати значення ключових параметрів антени.

Одним з основних параметрів, що частот вимірюється, є коефіцієнт підсилення антени. Він вказує на здатність антени зосереджувати енергію сигналу в певному напрямку та підвищувати силу сигналу, що передається чи отримується. Вимірювання коефіцієнта підсилення допомагає визначити ефективність антен та забезпечити оптимальний прийом та передачу сигналів.

Інший важливий параметр – діаграма напрямленості антени. Це графічне уявлення про розподіл енергії сигналу від антени у просторі. Вимірювання діаграми напрямленості дозволяє визначити, в якому напрямку антена має найвищу ефективність та які зони затухання мають місце. Ця інформація допомагає встановити правильне положення та орієнтацію антени для досягнення оптимального зв'язку.

Крім того, вимірювач параметрів антен може допомагати виявляти несправності або проблеми з антенною системою, такі як пошкодження антени, перешкоди в роботі або неправильне підключення. Шляхом регулярного моніторингу та вимірювання параметрів інженери можуть виявляти відхилення від нормальних значень та вживати заходів для усунення проблем.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Вимірювач параметрів антенних систем є незамінним інструментом для налаштування, моніторингу та оптимізації антенних систем. Він дозволяє забезпечити надійний та ефективний зв'язок, зменшити втрати сигналу та забезпечити високу якість комунікації в бездротових мережах.

Схемотехніка вимірювачів значно спрощується із застосуванням сучасних цифрових мікросхем прямого синтезу (DDS), що дозволяє розробляти вимірювальні пристрої із автоматизованим вимірюванням та відображенням результатів в графічній формі, що не поступається типовим промисловим аналогам.

Відправною точкою при розробці була мінімально можлива вартість приладу. Так, як подібні вироби від відомих брендів за вартістю зіставні з вартістю сучасних антенних систем для передавальних пристроїв значної потужності, витратити додаткові ресурси фірмам та підприємствам додатково, особливо в умовах стисненого бюджету не є доцільним, особливо в умовах радіоаматорства, що є ще досить поширеним на теренах України.

Часто під час конструювання пристроїв, не дуже переймаються ефективним підключенням антен, та особливо, вимірюванням їх параметрів та характеристик. Буває, що проста антена, але добре узгоджена та налаштована показує вищі результати, за теоретично більш ефективну антену, особливо в умовах близького розташування сторонніх предметів, таких як залізобетонних стін, інших антен, огорож, тощо. Завдяки сказаному, розробка пристроїв для налаштування антен залишається актуальним на даний час завданням, та вартим для приділення уваги в кваліфікаційному проєкті бакалавра спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка».

Метою кваліфікаційного проєкту є розробка частини конструкторської документації, необхідної для подальшого виготовлення та аналіз прийнятих технічних рішень за допомогою підтверджувальних розрахунків..

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ

1.1 Загальні положення

1.1.1 Характеристика вимірювання параметрів антен

Вимірювач параметрів антенних систем використання для проведення різноманітних вимірювань та аналізу для забезпечення оптимальної роботи антени. Це досягає кращої продуктивності, якості зв'язку та ефективного використання антенних систем. Під час вимірювань параметрів найчастіше спираються на параметри, що пов'язані із діаграмою спрямованості (рис.1) та вхідний імпеданс антени, що дозволяє правильно узгодити антену із живлячим фідером.

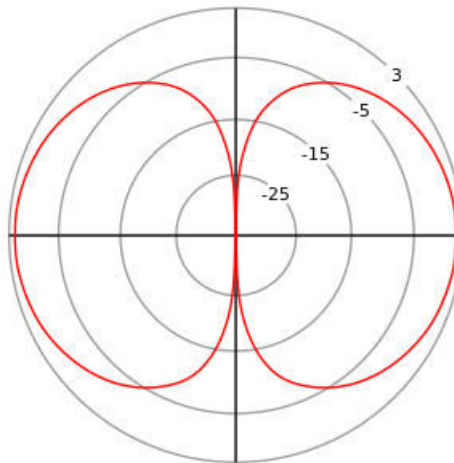


Рисунок 1 – Вимірювання діаграми спрямованості антени

Під час вимірювань в антенній техніці проводять наступні дослідження.

Вимірювання діаграми спрямованості. Діаграма спрямованості антени показує, як антена випромінює або приймає сигналів у різних напрямках або із різних напрямків, при цьому зазвичай аналізуються діаграми спрямованості в горизонтальній та вертикальній площині, що загалом дають хоча б мінімальне

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

уявлення про просторову діаграму спрямованості. Вимірювання діаграми спрямованості є високопрофесійним завданням та проводиться в спеціальних камерах (рис.2) і загалом дозволяє встановити, як саме розподіляється енергія в просторі і яка область визначається напрямком основної антени. Це розширення оптимальної орієнтації та положення антени для досягнення найкращого зв'язку.



Рисунок 2- Камера для вимірювання діаграми спрямованості антенних систем

Вимірювання коефіцієнтів підсилення (аналіз властивостей діаграми спрямованості антени): Професійний вимірювач параметрів антенних систем дозволяє розраховувати коефіцієнти підсилення антени автоматично, за діаграмою спрямованості та спеціальним алгоритмом розрахунків. Це важливий параметр, який характеризує здатність антени концентрувати енергію в певному напрямку, тобто, фактично вимірювач реалізує антенний аналіз взаємодії антени із відкритим середовищем і показує, наскільки ефективно антена передає або отримує радіосигнал.

Вимірювання коефіцієнту стоячої хвилі (Standing Wave Ratio, КСХ): КСХ є мірою відношення максимальної та мінімальної амплітуди струму або напруги

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

на вході антени. Тобто цей параметр відноситься до вхідних параметрів та пов'язаний із оптимальним узгодженням її як з боку фідера, так і з боку простору, в напрямку якого проходить випромінювання. Вимірювання КСХ намагається виявляти відбиті сигнали та стоячу хвилю, що може бути наслідком несумісних імпедансів між антеною та підключеною системою. Це важливо для ефективної передачі та отримання сигналів. Коефіцієнт стоячої хвилі також аналітично пов'язаний із коефіцієнтом біжучої хвилі, але із практичної точки зору коефіцієнт стоячої хвилі вимірювати значно простіше (рис.3).

З точки зору потужних антен важливим є вимірювання коефіцієнту корисної дії, або втрат сигналу. Втрати можуть виникати як через недосконалість конструкції антени, матеріалу вібраторів або покриття, не оптимальність узгодження, тощо.



Рисунок 3 – Промислові вимірювача коефіцієнта стоячої хвилі

Вимірювання втрат сигналу. Вимірювання втрат сигналу показує наскільки енергетично ефективно антена передає або отримує сигнали. Це включає вимірювання коефіцієнтів передачі антени, втрати сигналу на кабелі або конектора, а також втрати, пов'язані із сторонніми завадами, перевипромінюванням, нелінійними ефектами, або затуханням сигналу в середовищі.

Просторовий характер випромінювання характеризує не лише діаграма спрямованості, але і поляризація. Найчастіше застосовується горизонтальна,

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

вертикальна або кругова поляризація. За допомогою вимірювачів параметрів антен можливо провести аналіз поляризації. Поляризація змінює напрямок коливань електромагнітних хвиль, що передаються або підтримуються антеною. Аналіз поляризації забезпечує підвищення ефективності передачі та отримання сигналів через підлаштування розташування антен з відповідною поляризацією на приймальному та передавальному боці.

1.1.2 Виявлення несправностей та проблем

Антенні системи можуть стикатися з різноманітними проблемами, які впливають на їх продуктивність. Вимірювач параметрів дозволяє здійснювати регулярний моніторинг антен та виявляти відхилення від нормальних значень параметрів. Наприклад, зниження сигналу може бути показником пошкодження антени або наявності перешкод для ефективного випромінювання. Вимірювання параметрів антени допомагає оперативно виявляти такі проблеми та забезпечує можливість вжиття заходів щодо їх усунення (рис.4).

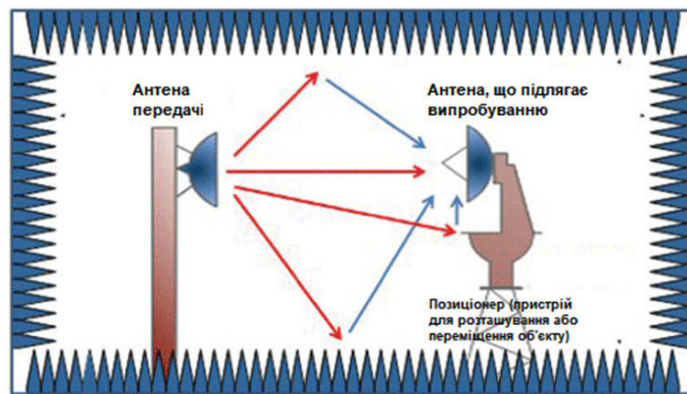


Рисунок 4 – Схема вимірювання параметрів антен в камері із без відлунням

Вимірювання параметрів антен допомагає інженерам проводити дослідження та оптимізацію роботи антенних систем. Це включає вивчення впливу різних параметрів на продуктивність антен та пошук шляхів їх покращення (рис.5).

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

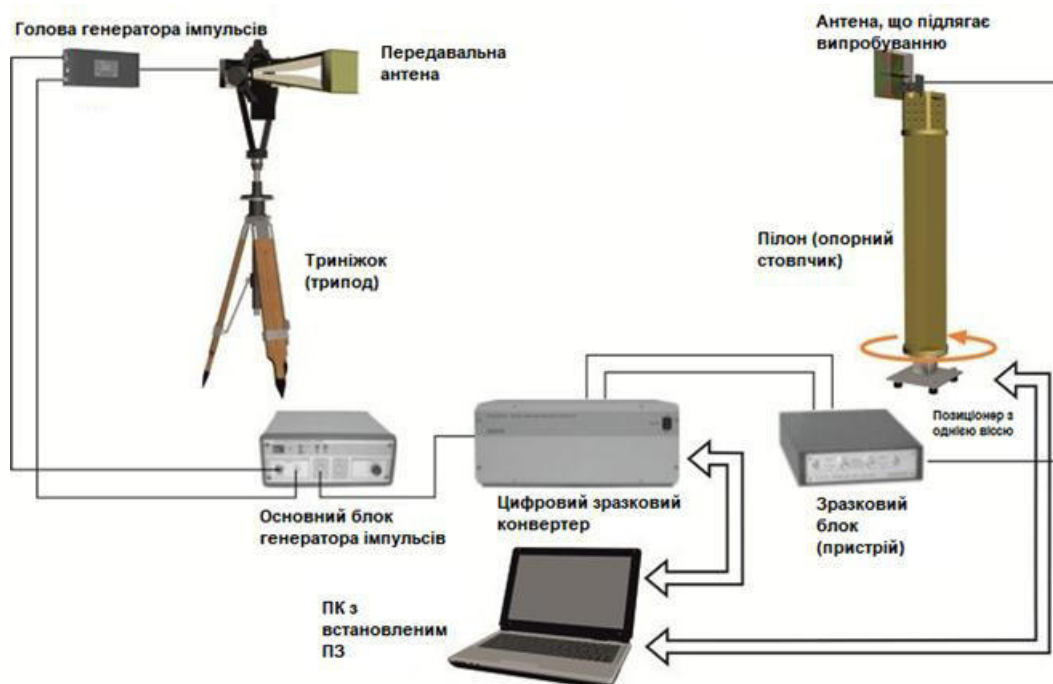


Рисунок 5 – Установка для вимірювання параметрів антенних систем

Наприклад, шляхом аналізу даних, отриманих з вимірювача параметрів, можна знайти оптимальні налаштування антени, які забезпечують найкращий прийом або передачу сигналу. Це допомагає досягти більшої продуктивності, забезпечити кращу якість зв'язку та ефективне використання ресурсів.

1.2 Антенні аналізатори – аналоги виробу

1.2.1 Антенний аналізатор RigExpert AA-230 Zoom

RigExpert AA-230 Zoom (рис.6) - це потужний та зручний пристрій для налагодження та аналізу антен та ліній передачі на різних діапазонах. Він дозволяє отримувати точні дані про імпеданс, КСВН та інші параметри, що допомагає забезпечувати максимальну ефективність та продуктивність антенної системи.

AA-230 Zoom має суттєвий діапазон частот, що становить від 0,1 до 230 МГц, і це дозволяє вимірювати параметри антен та лінії передачі на кількох

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

частотах та порівнювати їх значення. Такий вимірювальний прилад характеризується високою точністю та відповідно – вартістю. Точність коефіцієнта коефіцієнта стоячої хвилі (КСХ) менше 0,1%, що дозволяє віднести цей прилад до прецизійних вимірювальних апаратів.

Основні технічні характеристики AA-230 Zoom:

1. Діапазон частот для вимірювання : 0,1-230 МГц.
2. Кількість окремих точок виміру: 100.
3. Точність вимірювання вхідного імпедансу : 0,1 Ом.
4. Точність вимірювання КСХ: 0,1%.
5. Максимальна потужність на вході вимірювача: 100 Вт.
6. Розмір екрану дисплею для відображення: 320x240 пікселів.
7. Зовнішні інтерфейси: USB, Bluetooth.
8. Тип живлення: 3 акумулятора типу AA.



Рисунок 6 – Антенний аналізатор RigExpert AA-230 Zoom

Антенний аналізатор RigExpert AA-230 Zoom має вбудований акумулятор, що дозволяє використовувати його в польових умовах, крім того він може бути підключений до персонально комп'ютера через USB-інтерфейс, із забезпеченням додаткових можливостей налаштування та аналізу вторинних

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

параметрів. У комплекті з RigExpert AA-230 Zoom присутні антенні адаптери та перехідні кабелі, що дозволяють зручно підключати антенний аналізатор до різноманітних інтерфейсів антен та фідерів.

AA-230 Zoom має ергономічний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс споживача, який дозволяє просто налаштовувати та використовувати прилад під час вимірювань. Прилад також має додаткову функцію збереження та відновлення вже виміряних профілів антен, що дозволяє досить швидко та легко переключатися між антенами різних типів та фідерами різних конфігурацій.

AA-230 Zoom має також ряд додаткових функцій, такі як спектроаналізатор, що дозволяє аналізувати характер впливу неоднорідностей в фідерах та нелінійних спотворень в системах передачі радіосигналів в напрямку антени. Крім того, вимірювач має компактний та «карманний» дизайн, що робить його зручним для транспортування та використання в польових умовах.

Загалом, аналізатор RigExpert AA-230 Zoom - це потужний та зручний вимірювач параметрів антен та їх фідерів на різних частотах як для радіоаматорського так і для професійного застосування.

1.2.2 Антенний аналізатор MFJ-259C

Антенний аналізатор MFJ-259C (рис.7) - це пристрій, який використовується для аналізу і вимірювання параметрів антен та інших радіотехнічних пристроїв. Він є дуже популярним серед радіоаматорів та професійних радіоінженерів.

Основні характеристики MFJ-259C:

1. Діапазон робочих частот: від 0,53 до 230 МГц.
2. Точність вимірювання параметрів антени: $\pm 1\%$ або менше.
3. Рівень затухання: менше 0,2 дБ.
4. Динамічний діапазон вхідних сигналів: більше 60 дБ.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

5. Нормативний вхідний імпеданс: 50 Ом.
6. Тип відображення - LCD дисплей з підсвічуванням.
7. Тип інтерфейсу взаємодії - USB.
8. Тип живлення: 6 або 8 батарей типу AA або зовнішнє джерело живлення від промислової мережі.
9. Основні функції: вимірювання КСХ, вхідного імпедансу, активної і реактивної складових імпедансу окремо, визначення резонансної частоти, довжини хвилі, коефіцієнта підсилення антени.
10. Розміри: 155 x 92 x 38 мм.
11. Вага: 350 грам.
12. Додаткові функції можливість збереження до 10 налаштувань, автоматичний вимірювальний режим.



Рисунок 7 – Антенний аналізатор MFJ-259C (зовнішній вигляд)

Основні функції вимірювання параметрів аналізатора MFJ-259C включають такі пункти:

1. Вимірювання КСХ та вхідного імпедансу антени на різних частотах в межах діапазону вимірювання.
2. Вимірювання резонансних частот антенної системи на основній частоті та її більш високих гармоніках.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

3. Вимірювання довжини хвилі в фідерах.
4. Вимірювання відносної амплітуди сигналу та початкової фази сигналу в лініях передачі та на вході антенної системи.

Дисплей цього аналізатора відображає вимірювальні параметри антени в режимі реального часу, присутній також вбудований генератор стандартних сигналів широкого діапазону, що дозволяє фіксувати параметри антени без використання зовнішнього тестового генератора.

Крім того, аналізатор MFJ-259C має можливість зберігання профілю налаштувань до 10 різних груп параметрів, а також має можливість підключення до персонального комп'ютера через USB-порт для додаткової та вторинної обробки вимірних даних.

Таким чином, антенний аналізатор MFJ-259C є широкосмуговим потужним вимірювальним інструментом для аналізу параметрів антен, а також інших радіотехнічних пристроїв в широкій смузі частот, що охоплює діапазони високих (HF) та дуже високих частот (VHF).

1.3 Методи вимірювання

1.3.1 Методи вимірювання коефіцієнту стоячої хвилі

Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) є важливою фізичною величиною, яка характеризує взаємодію хвилі з дисперсним середовищем її поширення. Для його вимірювання існують різні методи, зазвичай використовуються два найбільш відомих.

Метод з використанням генератора із змінною частотою та зонду:

Цей метод полягає в тому, що зонд або робочий орган приладу для вимірювання розміщують у середовищі у середовищі, де він взаємодіє із електромагнітною хвилею (EMX). Генератор стандартних частот змінює частоту сигналу, що надходить на зонд, що призводить до зміни розподілу

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

максимумів та мінімумів в стоячій хвилі (рис.8) і за допомогою вольтметра та фазометра реєструється амплітуда вихідного сигналу та фазовий кут.

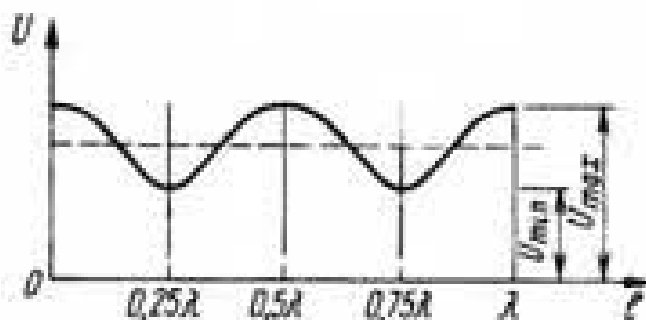


Рисунок 8 – Амплітуда сигналу в різних точках лінії через появу стоячих хвиль

Коефіцієнт стоячої хвилі визначається як:

$$КСХ = (1 - V/L)/(1 + V/L), \quad (1)$$

де V - максимальне значення амплітуди на вхідній лінії,

L - максимальне значення амплітуди на виході зонда.

Метод (1) використовується на доволі низьких частотах та широсмугових колах, наприклад для аналізу КСВ в лініях передачі.

Метод з використанням двох зондів, є більш коректним із практичної точки зору. Цей метод впливає фактично із визначення стоячої хвилі. В ньому використовується вимірювальна лінія (рис.9) із довжиною декілька довжин хвилі. Два окремих зонда розміщують у середовищі на різній відстані один від одного і фіксують значення амплітуди вхідного і вихідного сигналів, знаходячи мінімум та максимум амплітуди сигналу (2).

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

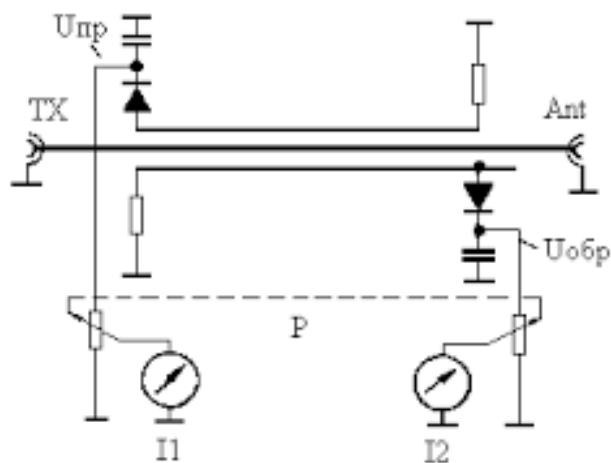


Рисунок 9 – Вимірювання коефіцієнту стоячої хвилі двозондовим методом

Коефіцієнт стоячої хвилі визначається за формулою:

$$КСХ = (L1 - L2) / (L1 + L2), \quad (2)$$

де $L1$ та $L2$ - амплітуди вхідного сигналу на першому і другому зондах відповідно.

Кожен метод має свої переваги та недоліки, але через розвиток техніки синтезу частот, перший метод є переважальними під час вимірювання у промислових антенних аналізаторах.

1.3.2 Вимірювання активних та реактивних опорів

Активний і реактивний опори - це важливі показники для опису електричних кіл. Вимірювання цих параметрів є необхідною умовою для проектування та налагодження електричних систем.

Активний опір описує співвідношення між потужністю і електричним струмом, який протікає через електричне коло. Реактивний опір відображає взаємодію між напругою та струмом, що залежить від характеристик компонентів кола.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Існує кілька методів вимірювання активного та реактивного опорів. Один з найбільш поширених методів полягає в використанні вимірювальних приладів, таких як осцилографи, мультиметри та ватметри.

Для вимірювання активного опору (R) використовують кола струму та напруги з вимірювальним приладом між ними (3). В залежності від типу вимірювального приладу метод може бути змінним струмом або постійним струмом.

Метод змінного струму полягає в тому, що змінний струм подається на коло, і за допомогою осцилографа вимірюється амплітуда струму та напруги. Звідси визначається активний опір R , за допомогою формули:

$$R = V_{rms} / I_{rms}, \quad (3)$$

де V_{rms} та I_{rms} - ефективні значення напруги та струму відповідно.

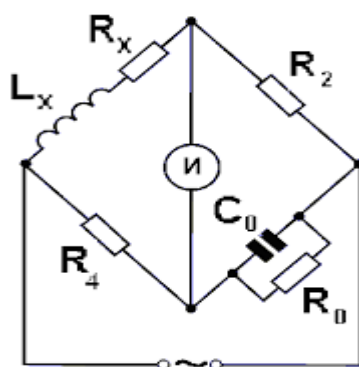


Рисунок 10 – Схема мостового вимірювач активного та реактивного опорів

Реактивний опір (4) є відображенням ємності або індуктивності елемента в електричній мережі. Вимірювання реактивних опорів можна здійснити за допомогою мостових схем, таких як міст Штрауса(рис.10), міст Венгера і міст Максвелла. Розглянемо метод вимірювання реактивних опорів за допомогою моста Штрауса.

Міст Штрауса складається з чотирьох резисторів, які підключені в певному порядку, і регульованого джерела електричної енергії. Метою моста є визначення значення реактивного опору X зі знанням активного опору R та індуктивності L або ємності C , що підключені до моста. При цьому резистори R_1 і R_2 мають однакові значення, а резистори R_3 і R_4 також мають однакові значення, проте вони можуть бути різними від R_1 і R_2 .

У мості Штрауса використовуються два показники, відношення яких дорівнює значенню реактивного опору X :

$$X = \omega RC \quad (4)$$

де ω - кутова частота,

R - активний опір,

C - ємність елемента або індуктивність.

Крім того, використовується також співвідношення, яке дозволяє виміряти значення реактивного опору X з точністю:

$$X = R_2/R_1 \times R_4/R_3 \quad (5)$$

де R_1 , R_2 , R_3 і R_4 - значення резисторів, що використовуються в мості.

Таким чином, метод вимірювання реактивних опорів (5) дозволяє точно визначити значення реактивного опору X зі знанням активного опору R та індуктивності L або ємності C . Тобто такий метод є фактично методом порівняння, що є основою практично всіх низько та високочастотних методів визначення імпедансу.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

2 СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИРОБУ

2.1 Елементна база пристрою, що розробляється

2.1.1 Застосування контролерів під час вимірювань

Контролер - це основний компонент, який відповідає за керування роботою інших елементів системи вимірювання параметрів антен. Його призначення полягає в організації точного та швидкого контролю різноманітних процесів у системі вимірювання. Контролер може виконувати різноманітні функції в залежності від застосування, наприклад, регулювання потоку даних, опрацювання сигналів, керування відображенням, тощо.

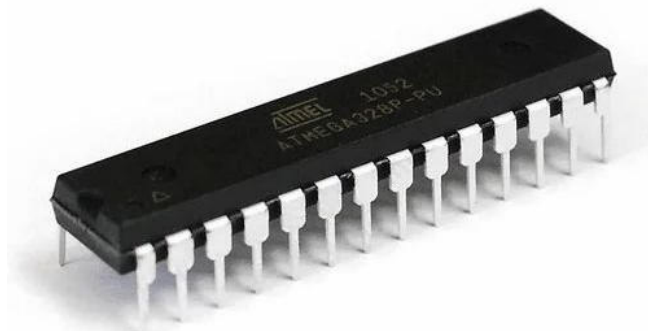


Рисунок 11 – Зовнішній вигляд корпусу DIP типового мікроконтролера

Параметри промислових контролерів можуть змінюватися виробником в залежності від його призначення та застосування. Зазвичай це можуть бути такі параметри, як частота роботи, напруга живлення, кількість вхідних та вихідних портів, тип зв'язку з іншими елементами та складовими системи вимірювання, тощо.

Корпус контролера (рис.11) може бути виготовлений з різноманітних матеріалів, включаючи пластик, метал, кераміку тощо. Корпус слугує для

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

-
захисту електронних компонентів від зовнішніх факторів, та забезпечує можливість складання кінцевого виробу на основі розміщення в несівному елементів нижнього структурного рівня ієрархії конструкції – друкованій платі.

Групи виводів контролера зазвичай складаються із вхідних та вихідних сигналів, окремих інтерфейсів зв'язку з іншими елементами системи, а також виводів живлення. Кількість виводів змінюється від десятка до декількох сотен в залежності від конкретного контролера.

Схема контролера може містити і цифрові і аналогові мікрокомпоненти, включаючи схеми обслуговування обчислень, окремі транзистори, діоди, , АЦП, ЦАП, тощо. Власне поняття контролера спрямовано на вирішення конкретних завдань, контролери є менш універсальними пристроями. Все залежить від того, яку кінцеву функцію повинен виконувати контролер.

Особливості використання контролера залежать від конкретного призначення. Наприклад, він може використовувати функцію керування роботом, системою автоматичного керування, індустриальними процесами, медичною апаратурою, автомобільними системами тощо. В нашому випадку контролер відповідальний за правильну обробку вимірювальної інформації та відображення результатів на дисплеї.

Одна з особливостей застосування контролерів полягає в тому, що вони можуть бути програмовані для виконання певних дій відповідно до вхідних вимірювальних сигналів. Наприклад, контролер може бути програмований для керування рухом робота, що дозволяє йому виконувати певні операції у виробництві або побутовому середовищі. Контролери також можуть бути використані для збору даних, що дозволяє збирати, аналізувати та зберігати різноманітну інформацію.

Іншою особливістю застосування контролерів є їх здатність до комунікації з іншими електронними пристроями та системами. Контролери можуть бути підключені до різних пристроїв, таких як сенсори, монітори, приводи, схеми керування та інші. Це дозволяє їм виконувати різноманітні

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

функції та задачі, такі як автоматичне керування та контроль систем. Власне таку функцію контролер виконує в даному пристрої.

Ще одною важливою особливістю контролерів є їх можливість підтримувати різні інтерфейси власного програмування (рис.12) та перепрограмування. Контролери можуть бути програмовані за допомогою різноманітних мов програмування, таких як C, C++, Java, Python та інші. Це дозволяє розробникам програмного забезпечення використовувати свої улюблені мови програмування та розвивати складні системи контролю та керування.

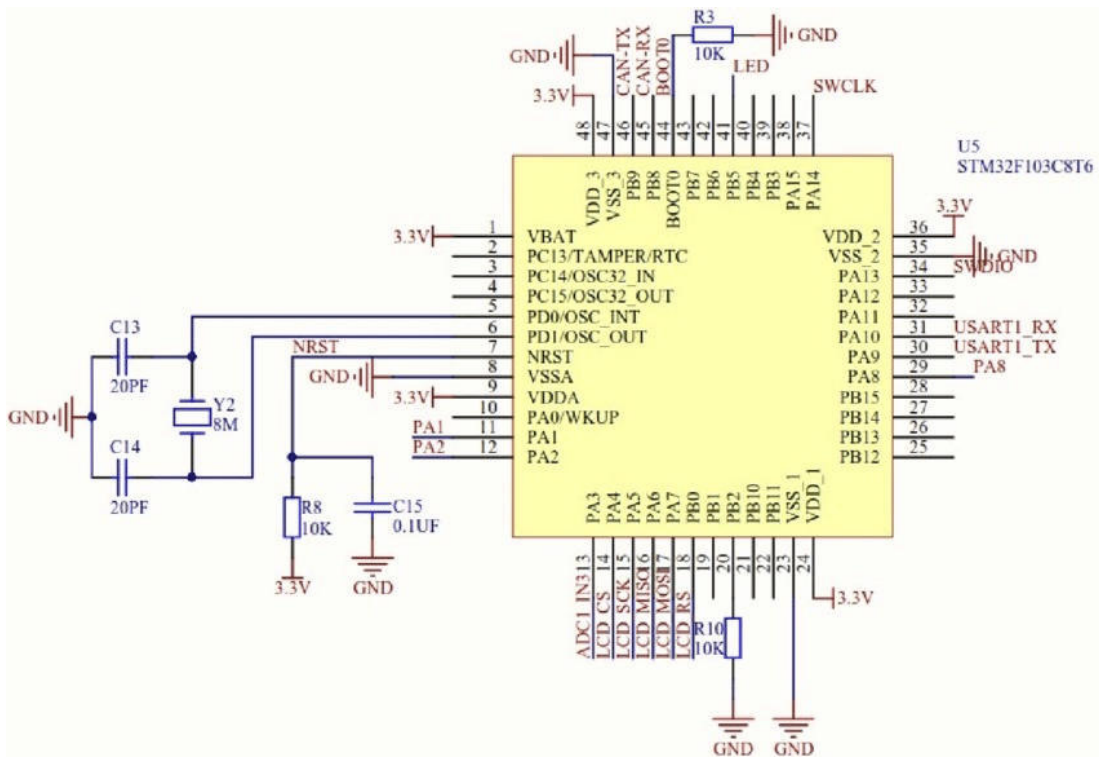


Рисунок 12 – Типова схема підключення мікроконтролера до виміральної системи

Окрім того, контролери можуть мати різні параметри, такі як швидкість обробки даних, кількість пам'яті, кількість виводів та інші. Ці параметри дозволяють вибрати контролери для різних завдань залежно від їх вимог до швидкості та потужності. Наприклад, для виконання простих завдань може бути

-
достатньо контролера з меншими параметрами, а для складних завдань потрібні більш потужні контролери.

2.1.2 Операційні підсилювачі

Операційний підсилювач (ОП) – це багатокаскадний підсилювач постійного струму (ППС) з високоомним симетричним входом, дуже великим підсиленням, з потенційною завадостійкістю до синфазних завад, повною відсутністю внутрішньої зворотної передачі сигналу з виходу до входу і з несиметричним виходом.

Типовий реальний операційний підсилювач (рис.13) має наступні особливості та характеристики:

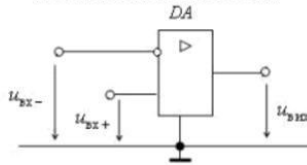
1. Має два входи: неінвертуючий та інвертуючий (диференційні входи) та один уніполярний вихід.
2. Обидва входи характеризуються надвисоким входним опором (від 100МОм), а вихід – низьким вихідним опором (до 1кОм).
3. Операційний підсилювач може працювати із ємнісним навантаженням.
4. Напруга зміщення ОП невелика і складає до 10мВ, струм зміщення зазвичай складає не більше 10 пА.
5. Коефіцієнт підсилення ОП із розімкненим колом зворотного зв'язку зазвичай не менше 0,1млн.
6. ОП має низький коефіцієнт шуму, широкий робочий діапазон частот (не менше 1МГц), та слабку чутливість до завад по шинам живлення та слабку чутливість до зовнішніх факторів впливу (менше 1%).

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

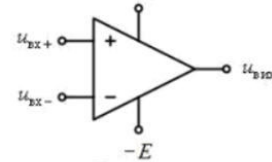
Зовнішній вигляд



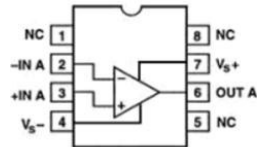
Позначення на схемі



Типове функціональне позначення

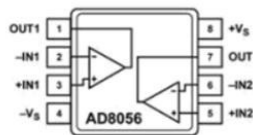


Поодинокий в корпусі



в)

Поодинокий в корпусі



г)

Множинний в корпусі

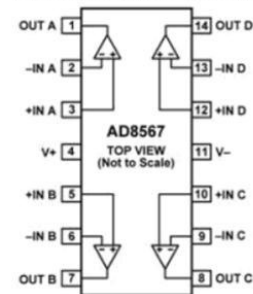


Рисунок 13 – Операційний підсилювач та позначення на схемах

Декілька ОП часто об'єднують в одному корпусі. Такі ОП мають ідентичні характеристики, завдяки виготовленню в єдиному технологічному циклі. Для спрощення розгляду схем на базі ОП вводять поняття ідеального операційного підсилювача, що має мати наступні властивості:

1. Коефіцієнт підсилення та вхідний опір прямують до нескінченності.
2. Вихідний опір та струми зміщення прямують до нуля.
3. АЧХ - рівномірне, ФЧХ - лінійне в діапазоні радіочастот (до 3 ТГц)!
4. Повна відсутність шумів, струмів та напруг зміщення.

Важливим параметром, що характеризує роботу ОП є *добуток коефіцієнта підсилення на ширину смуги прозорості*. Цей добуток чисельно дорівнює значенню частоти ОП при якому коефіцієнт підсилення складає 1. Таким чином, чим більше підсилення має каскад на ОП, тим менше частотна смуга підсилення сигналу. В підсилювальних схемах сенсорів що мають точність порядку 1% та зібрані на ОП, слід дотримуватись правила: коефіцієнт підсилення без зворотного зв'язку має хоча б у 100 разів більше коефіцієнта підсилення із зворотним зв'язком на найвищій робочій частоті.

									КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						28

Для чутливих схем на ОП слід особливо ретельно віднестись до впливу напруг та струмів зміщення (e_0 та i_0), що викликають появу напруги на виході під час відсутності вхідної напруги:

$$V_0 = A(e_0 + i_0 R_{eqv}) \quad (6)$$

де R_{eqv} – еквівалентний вхідний опір входів ОП.

Із схемотехнічної точки зору ОП (рис.14) складається із декількох диференційних транзисторних каскадів підсилення та вихідних емітерних повторювачів для зменшення вихідного опору, а також допоміжних схем та схем корекції тих самих напруг зміщення (6).

З точки зору входів ОП часто характеризують макромоделями вхідного та вихідного опору. З точки зору вхідного імпедансу (рис.14) сенсорного інтерфейсу вхідний опір ОП являє собою комплексний резистивно-ємнісний характер (RC-коло). З точки зору вихідного імпедансу ОП то він в переважній більшості чисто резистивний (R).

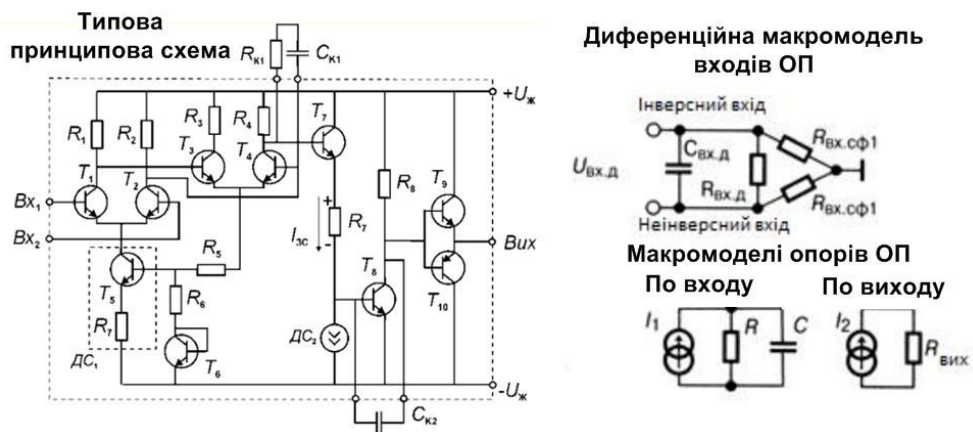


Рисунок 14 – Принципова схема та макромоделі операційного підсилювача

Основні характеристики ОП мають відношення до стійкості ОП, тобто унеможливлення перетворення схеми на ОП в генератори. Частотна залежність

логарифмічного коефіцієнта підсилення практично будь-якого ОП без схем зворотного зв'язку гарно апроксимується лінійно спадаючою прямою із кутом нахилу 20 дБ на декаду (рис.15). Частота на якій підсилення стає рівним 1 називають граничною частотою підсилення, але більш поширеним є застосування для ОП поняття швидкість зростання вихідного сигналу (або перехідна характеристика) реакція ОП на дію функції Хевісайда (поодинокі ввімкнення) (В/мкс).

Важливим поняттям для ОП є стійкість - це віддаленість стану ОП від стану самозбудження (генерації) в діапазоні частот за умови усіх можливих рівнів сигналів, шумів, завад, допустимих коливаннях температури і напруг джерел живлення. Загальноживаним критерієм стійкості ОП є частотний критерій Боде (рис.3), який чітко вказує, як саме зробити ОП стійким: для цього треба, щоб модуль фазового зсуву колового підсилення каскаду на ОП був меншим від 180 градусів на частотах сигналу (чутливого елемента сенсора). Тобто для визначення критерію Боде слід отримати фазочастотну характеристику підсилювача.

Для забезпечення стійкості каскадів на ОП необхідно зменшувати запізнення за фазою, тобто заздалегідь коригувати передавальну функцію — АЧХ, ФЧХ самого ОП без зовнішніх кіл, тому в схему ОП вводять кола корекції (найчастіше через підключення зовнішніх реактивних елементів — конденсаторів).

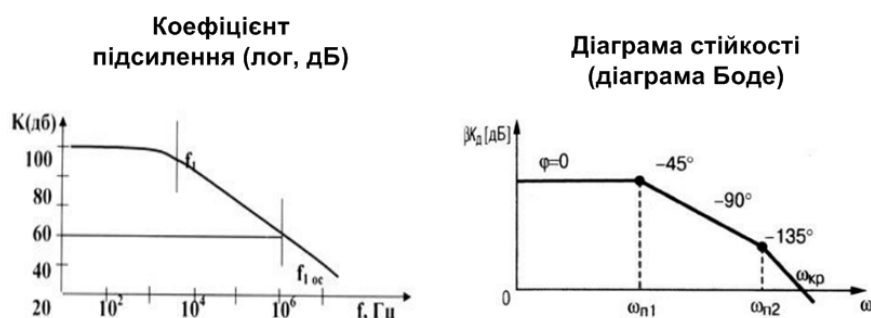


Рисунок 15 – Базові характеристики операційного підсилювача

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Для зменшення часу встановлення та амплітуди викидів вихідного імпульсу бажаний запас має становити від до 45 градусів за діаграмою Бодє (рис.3).

Сама назва «операційний підсилювач» походить від того, що за його допомогою можна виконувати більшість операцій, потрібних для підсилення і обробки сигналів. До того ж ОП виготовляються у вигляді ІМС, габарити, вага та вартість яких не набагато перевищує аналогічні показники для звичайного дискретного транзистора.

2.2 Ескіз технічного завдання на виріб

2.2.1 Призначення та загальні відомості

Вимірювач параметрів антенних систем призначено для визначення параметрів антен та фідерів в рамках техніки високих та ультрависоких частот за допомогою методу одно точкового зонду через вимірювання амплітуди високочастотних сигналів на вході вимірювального пристрою за допомогою каліброваного навантаження у вигляді активного імпедансу.

Метою розробки є створення частини комплекту конструкторської документації на вимірювач із метою його подальшого виготовлення в умовах мілко серійного виробництва із вимогою мінімізації вартості, простоти використання та без застосування зовнішнього допоміжного вимірювального устаткування – автономного виробу.

Вимірювач параметрів призначений для забезпечення оптимізації узгодження антенних систем із живлячим фідером для вузькосмугових радіосигналів.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Склад вимірювача на рівні структури

До складу вимірювача входять наступні частини (рис.16):

1. Цифрова частина, представлена мікроконтролером та його чіпсетом, а також кнопковим пультом керування та рідкокристалічним індикатором результатів вимірювання та режимів роботи виробу.
2. Аналогова частина, що складається із трьох незалежних каналів обробки та фактично являє собою лінійний детектор із коефіцієнтом підсилення. Використовується для визначення амплітуд високочастотних сигналів на вході інтерфейса антени (фідера).
3. Частина синтезатора частот, що виконана на інтегральній схемі DDS синтезатора, фільтра та високочастотного підсилювача потужності.
4. Блок живлення, що виробляє стабілізовані напруги для живлення аналогової та цифрової частини, а також частини синтезатора, із одночасним забезпечення достатнього рівня фільтрації пульсацій.



Рисунок 16 – Укрупнена схема взаємодії частин вимірювача

Конструктивно вимірювач розташовується в окремому корпусі об'ємом не більше 1куб. дм. Первинне живлення забезпечує нестабілізований

малогабаритний блок живлення із напругою 18...24В та максимальним струмом 0,5А.

На передню панель пристрою виносяться індикатор параметрів антени (рис.16), антенний інтерфейс, інтерфейс живлення та кнопковий пульт керування. Корпус виробу має бути виготовлено із металевого сплаву для забезпечення достатнього рівня екранування.

Під час модернізації виробу можлива заміна елементної бази та програмного забезпечення для роботи в іншому діапазоні частот.

2.2.3 Тактико - технічні характеристики вимірювача

Технічні характеристики (табл.1) вимірювача визначаються на базі аналогічних схемотехнічних, методологічних та конструкторсько – технологічних рішень в галузі вимірювання параметрів антенних систем та ліній передачі із розподіленими параметрами. Тактико-технічні характеристики можуть бути уточнені, розширені або суттєво змінені під час подальшої роботи над проектом [].

Таблиця 1 – Основні технічні вимірювача параметрів антенних систем

№	Найменування параметру	Одиниця	Значення	Примітки
1	Вимірювальні параметри:		КСХ, реактивний опір, активний опір	
2	Точність вимірювання параметрів для каліброваного навантаження 50 Ом	%	1,5	не гірше
3	Точність вимірювання	%	5	не гірше

	параметрів для каліброваного навантаження 300 Ом			
4	Максимальна робоча частота	МГц	300	не менше
5	Мінімальна робоча частота	МГц	3	не більше
6	Тривалість циклу вимірювання	мс	40	не більше
7	Тип індикатора	-	LCD	з підсвічуванням
8	Напруга первинного живлення	В	18...24В	не стабіліз
9	Напруга вторинного живлення		+5, +12В	стабіліз
10	Максимальний струм живлення	А	0,3А	не більше
11	Діапазон робочих температур	градус	0..+45	не ширше
12	Середній час напрацювання на відмову	год	3000	не менше
13	Середній час використання на добу	год	1	не більше
14	Габаритні розміри	см	130x100x40	не більше
15	Маса виробу	кг	1	не більше

Підключення в рамках антенного інтерфейсу та інтерфейсу джерела живлення має виконуватись через типові роз'єкти. Проектантом має бути усунена можливість неоднозначного підключення фідера антени та джерела первинного живлення.

2.2.4 Структурна схема виробу

Вимірювач параметрів антенних систем побудовано таким чином, щоб мати самодостатній прилад без застосування зовнішнього генераторного та вимірювального устаткування. Під час виконання кваліфікаційного проекту бакалавра розроблено докладну схему електричну структурну КПТР 20060.01.03.00E1 (рис.17).

Структурну схему можливо поділити на три частини:

1. Обчислювальна частина.
2. Частина синтезатора частот.
3. Аналогова частина.
4. Блок живлення.

Обчислювальна частина представлена мікроконтролером обчислення параметрів із схемою початкової ініціалізації та інтерфейсом керування. Схема початкової ініціалізації формує команду скидання для мікроконтролера під час подання живлення на всі елементи вимірювача. Інтерфейс керування представлений ключами керування, за допомогою яких встановлюються значення частот та режими обчислення відповідно програмному забезпеченню. Команди керування подаються на порти мікроконтролера, що постійно зчитуються внутрішньою схемою та за їх результатами реалізується виконання певних програмних модулів.

До схеми інтерфейсу керування також відноситься схема керування опорами навантаження, що дозволяє перемикати калібровані опори навантаження для забезпечення найкращої точності вимірювання трьох основних характеристик – КСХ, активного та реактивного імпедансів. Відображення цих значень відбувається на дисплеї цифровому LCD, що також входить до обчислювальної частини. Обмін даними між інтерфейсом керування, мікропроцесором, синтезатором прямого синтезу (DDS) проходить через спільну шину портів вводу-виводу.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Частина синтезатора частот складається із інтегрального синтезатора прямого синтезу (DDS), тактового генератора та аналогової частини фільтрації та підсилення гармонічного сигналу. Для забезпечення підвищення стабільності генерації живлення тактового генератора реалізується через фільтр живлення генератора тактового. Встановлення частоти інтегрального синтезатора проходить за командами з боку мікроконтролера через спільну цифрову шину.

Для створення сигналу синусоїдальної форми цифровий сигнал на виході синтезатора підлягає фільтрації за допомогою П-подібного LC фільтру гармонік. Після фільтра гармонік сигнал потребує підсилення, що реалізується в широкосмуговому підсилювачі.

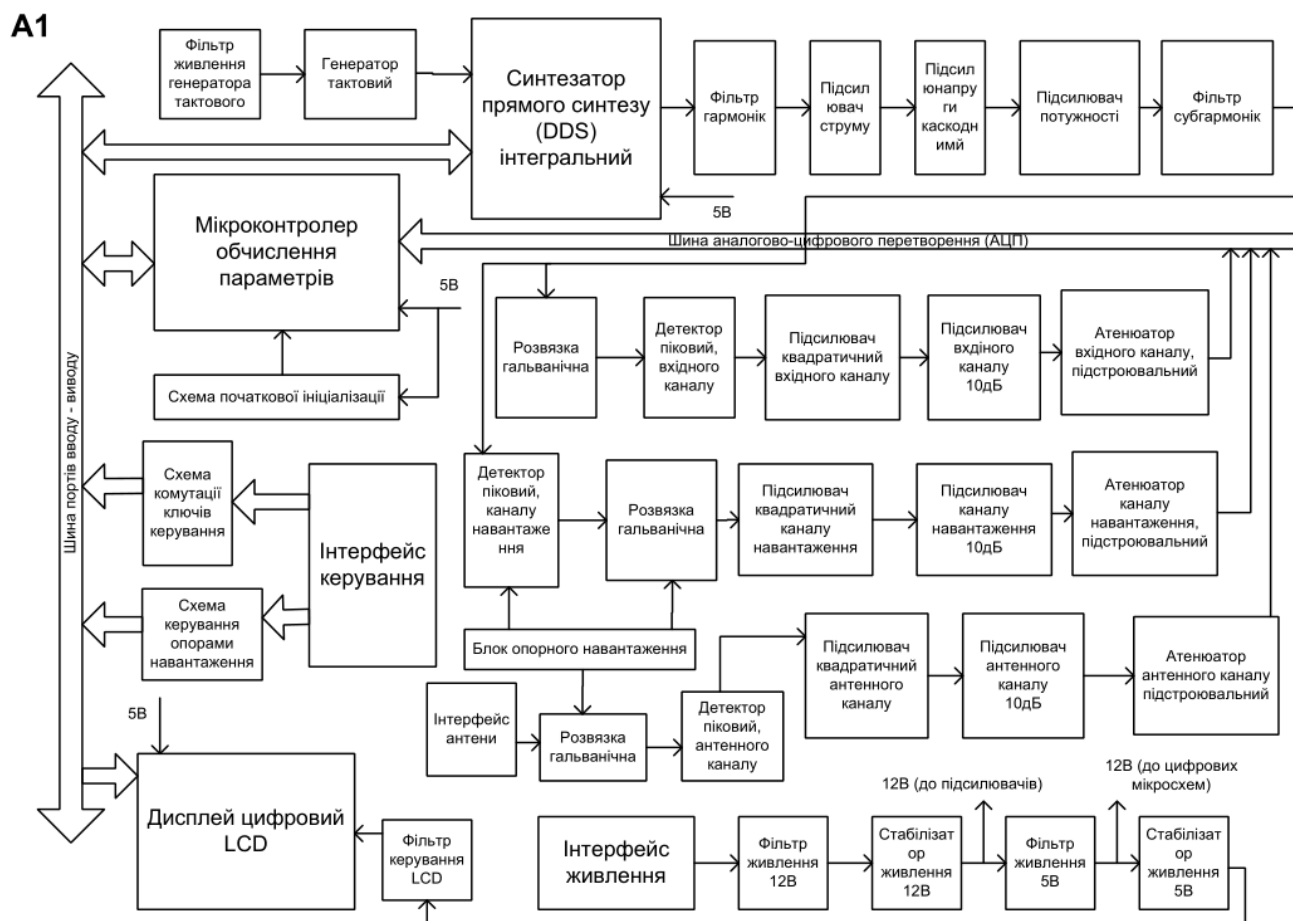


Рисунок 17 – Структурна схема вимірювача параметрів антенних систем

Ширококутовий підсилювач аналогової частини синтезу частот складається із трьох транзисторних каскадів. Перший каскад – підсилювач струму має високий вхідний опір, для забезпечення роботи фільтра гармонік. Наступні два каскади підсилення являють собою каскодний підсилювач напруги виконаний на високочастотних транзисторах та спроможний стабільно працювати в широкому діапазоні частот. Для додаткової фільтрації та запобігання проникненню сторонніх наведень на вихід аналогової схеми встановлено фільтр субгармонік. Сигнали з виходу аналогової частини надходять на вхід антени через калібрований імпеданс. Вимірюючи напругу на вході, виході і власне каліброваному імпедансі легко визначити всі пошукувані параметри на основі методу 3-х вольтметрів.

Аналогова частина, відповідно методиці вимірювання складається із трьох незалежних підсилювачів постійного струму, що виконано на операційних підсилювачах із безпосереднім зв'язком. Таким чином, утворюється канал навантаження, вхідний та антенний канал підсилення. На вході всіх каналів аналогової частини встановлено піковий детектор, що випрямляє високочастотну напругу із виділенням постійної складової.

Для отримання значення енергетичної величини перший каскад підсилення на операційному підсилювачі охоплено нелінійним зворотним зв'язком для компенсації спотворень в зоні малих значень високочастотного сигналу під час лінійного детектування. Другий каскад підсилення на операційному підсилювачі має коефіцієнт підсилення близько 10дБ та призначено для компенсації втрат в наступному каскаді – атенюаторі. Атенюатор використовується для калібрування вимірювача параметрів антенних систем під час налагоджування, або переналагоджування за умови використання різних опорів навантаження.

Вихідні сигнали каналів аналогової частини у вигляді значень постійних напруг надходять на АЦП вбудовані в мікроконтролера, ще оцифровуються та використовуються для обчислення параметрів. Для обчислення КСХ виникає

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

-
потреба пере налаштування частоти генератора, що робиться автоматично за окремо розробленою програмою. Для недопущення проникнення високочастотного сигналу в низькочастотні тракти і навпаки використовується гальванічна розв'язка.

Передбачається живлення пристрою від зовнішнього нестабілізованого джерела живлення із напругою живлення 15...20В та струмом живлення до 1А, що надходить до внутрішнього інтерфейсу живлення. Основним завданням блоку живлення вимірювача параметрів антенних систем є забезпечення високого коефіцієнту стабілізації та мінімальних пульсації живлячої напруги.

Джерело живлення вимірювача на виході створює дві напруги живлення окремо для цифрової частини (+5В) та окремо для аналогової частини (+12В). Для покращення рівня стабілізації, стабілізатори 12 та 5В ввімкнено послідовно, таким чином на мікроконтролера та синтезатор подається напруга живлення 5В підвищеної стабільності. Між інтегральними стабілізаторами включені фільтри живлення, що складаються із паралельних електролітичних та керамічних високочастотних конденсаторів. Також безпосередній близькості до відповідальних модулів включено окремі фільтри пригнічення завад по шинам живлення.

Прилад працює в автоматичному режимі і є самодостатнім для реалізації процесу вимірювання фактично через наявність вбудованого синтезатора гармонічних сигналів та 3-канального вольтметра постійного струму. Прилад призначений для роботи із 50-омним навантаженням, хоча простим перекалібруванням його можливо пере налаштувати і на інші опори навантаження.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

2.3 Схема електрична принципова

2.3.1 Цифрова частина

Основою цифрової частини схеми (рис.17) є мікроконтролера типу PIC16F819 із тактовим генератором VCO, зібраним на мікросхемі XCMOS/TTL що працює на робочій частоті 66МГц та забезпечує швидкісне тактування контролера. Швидкість обробки сигналів мікроконтролером дозволяє йому видавати результати в реальному часі, що важливо під час вимірювання КСХ із пере налаштуванням частоти та забезпечує підвищений рівень зручності для користувача.

Живиться тактовий генератор DD3 від джерела живлення 5В через фільтр пульсацій C1L1C2, що забезпечує підвищену стабільність частоти на виході, що необхідна не тільки для тактування мікроконтролера, але як і опорна для синтезатора частот.

Підтримку коректності запуску програми ініціалізації мікроконтролера реалізує мікросхема DD2 (MC33064P-5) спеціально розроблена для такої мети. Фактично мікросхема є таймером живлення та генерує сигнал скидання мікроконтролера під час первинного ввімкнення та короточасних збоїв живлення. Вона також запобігає отриманню результатів у вигляді промахів під час вимірювання за рахунок короточасних втрат стабільності живлення, та унеможливорює паразитне за циклювання процесів в пам'яті мікроконтролера. Затримка подачі живлення на DD2 реалізується через RC фільтр на R5C3 із значним інтервалом затримки близько 0,1с.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

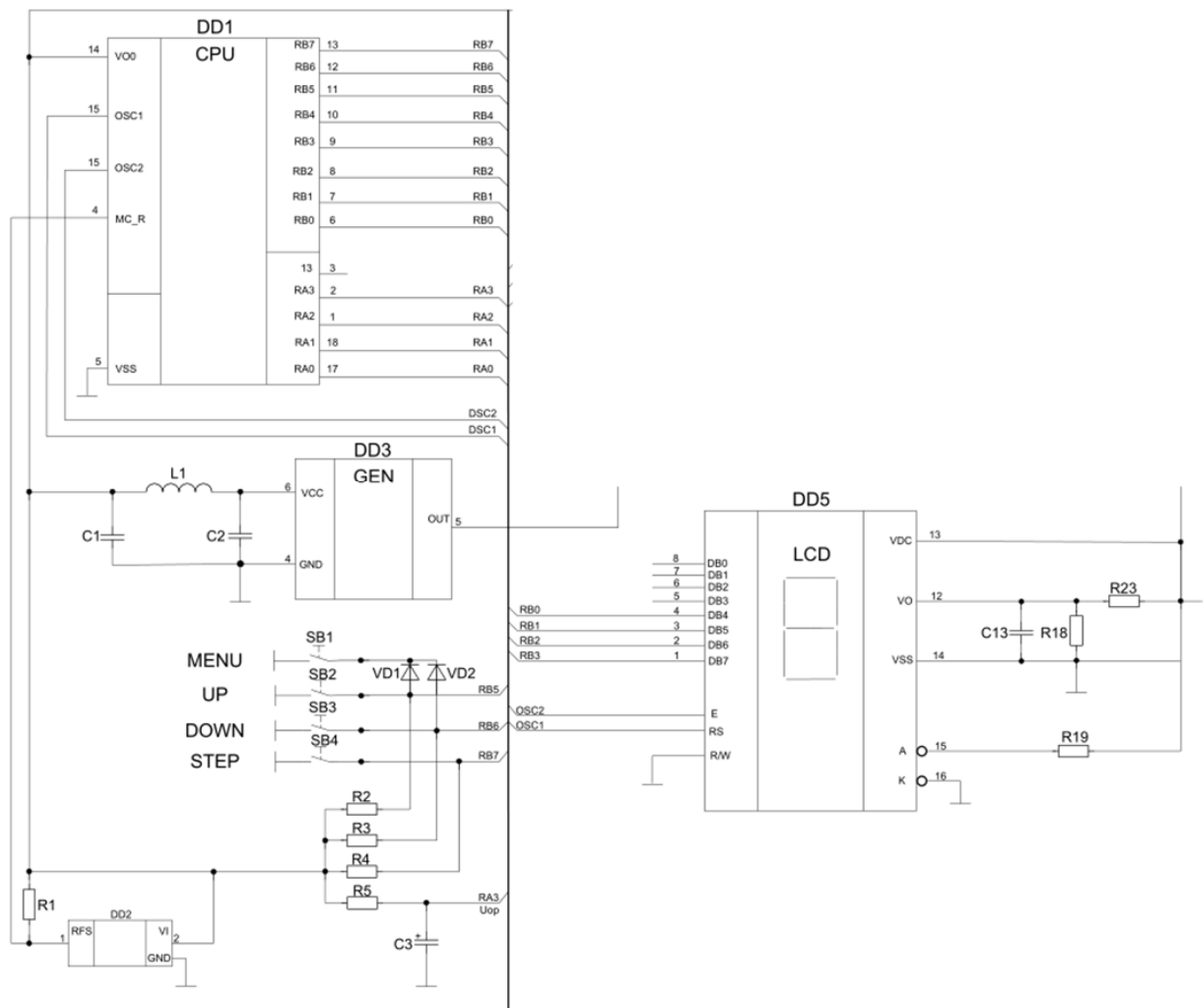


Рисунок 18 - Цифрова частина вимірювача (фрагмент схеми електричної принципової)

Система керування цифрою частиною складається із блоку кнопок SB1-SB6, та «підтягувальних» резисторів R2-R4 та системи діодного логічного елементу на VD1-VD2, унеможливує одночасної подачі команд, що протирічать одна одній, в даному випадку такими командами є збільшення та зменшення частоти одночасно.

Рідкокристалічний дисплей в інтегральному виконанні представлено у цифровій частині мікросхемою DD5 (HY1602B3) із функціональним чіпсетом R18,R19,R23,C13. Чіпсет підключено до джерела живлення 5В, він

									КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						40

застосовується для почергового подання живлення на внутрішні елементи індикатора. Обмін інформацією між елементами цифрової частини та іншими частинами схеми проходить через спільну шину портів мікроконтролера DD1 (RA, RB).

2.3.2 Частина синтезатора частот

Синтезатор частот DD4 застосовується як переналаштовуваний генератор високих частот в діапазоні до 300МГц. Такі функції забезпечує мікросхема прямого синтезу AD9835BRU (DD4 рис.19) від фірми Analog Devices. Чіпсет мікросхеми DD4 складає окремий фільтр аналогового живлення R8C4, роздільний конденсатор C9, та виносні елементи внутрішніх кіл перетворення R9,C5.

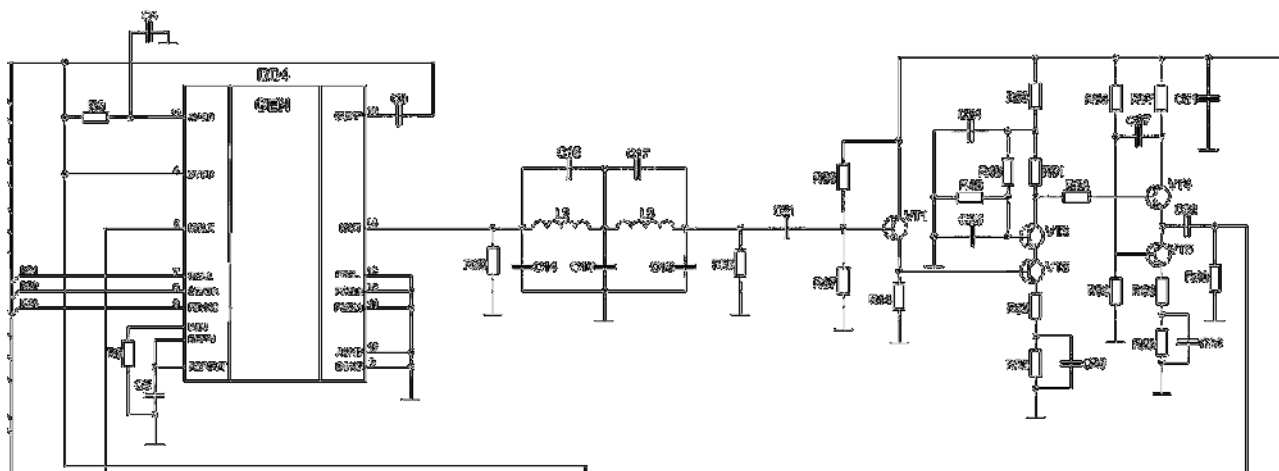


Рисунок 19 – Частина синтезатора частот (фрагмент схеми електричної принципової)

Синтезатор утворює сигнал, що має значну кількість паразитних спектральних складових, що можуть суттєво спотворити результат вимірювання параметрів антен. Тому його вихідний сигнал фільтрується ФНЧ з частотою

зрізу близько 35 МГц, для використання більш вищих частот параметри елементів фільтра мають бути змінені.

Фільтр гармонік являє собою фактично П-подібний LC дволанковий фільтр 5-6 порядків на елементах C14-C17, C19, L2,L3. Узгоджене навантаження фільтру по входу реалізується резистором R20,а по виходу – опором резистора R33.

Далі сигнал через родільний конденсатор C21 посилюється трикаскадним (рис.19) і досить потужним широкосмуговим транзисторним підсилювачем VT1-VT5. Амплітуда сигналу з його виході може досягати 2В і більше. Підсилювач живиться від стабілізованого джерела живлення 12В зібраного на мікросхемі інтегрального стабілізатора DD4.

Перший каскад широкосмугового підсилювача зібрано на транзисторі VT1, резистори R36,R37 задають робочу точку транзистора таким чином, щоб на навантаженні R44 встановилась напруга близька до половини напруги живлення. Чим задається найбільший динамічний діапазон. Підсилювач на VT1 є підсилювачем струму та забезпечує узгодження вихідного опору фільтру із вхідним опором другого каскаду підсилення. Зв'язок між першим та другим каскадом підсилення – гальванічний.

Другий та третій каскади підсилення зібрані за каскадною схемою, що забезпечує високу широкосмуговість та значний коефіцієнт підсилення. Зв'язок між каскадами гальванічний. Тобто всі каскади охоплено відємним зворотним зв'язком, що стабілізує робочі точки усіх транзисторів підсилювача. Живлення другого каскаду реалізується через фільтр живлення R50C24, навантаженням каскаду є резистор R51. Резистори R49, R48 та конденсатор C25 забезпечують встановлення робочої точки транзисторного каскаду із загальною базою на VT2. Зворотний зв'язок за змінним струмом забезпечується через невеликий опір R52, зворотний зв'язок за постійним струмом реалізується елементами R52, R53,C26.

Передача сигналу від другого каскаду підсилення до третього реалізується за допомогою резистора R54. Третій каскад зібрано по аналогічній схемі та

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

особливих пояснень не потребує. На виході каскаду встановлено узгоджене навантаження 50 Ом через резистор R60. Подача сигналу на навантаження реалізується через роздільний конденсатор C29. Конденсатор C27 забезпечує охоплення третього каскаду підсилення негативним зворотним зв'язком за змінним струмом, що стабілізує його роботу та забезпечує більшу широкосмуговість.

Загалом підсилувач необхідний для роботи із потужними сигналами, що забезпечують подальшу роботу детекторів аналогової частини у лінійному режимі.

2.3.3 Аналогова частина вимірювача

Аналогова частина складається із трьох однакових підсилувачів постійного струму, що реалізовано на операційних підсилувачах широкого застосування. На рис.20 наведений фрагмент схеми підсилувача сигналу, що діє безпосередньо на антенній системі, що підключена до конектора XS1.

За рис.1 сигнал від антенного входу потрапляє через роздільний конденсатор C7 на амплітудний детектор на високочастотному діоді VD5, що виділяє постійну складову, пропорційну амплітуді високочастотного сигналу. Навантаженням детектора є RC фільтр на елементах R14,C11,R16, а також неінвертуючим вхід операційного підсилувача DA1.3. ОП DA1.3 охоплено нелінійним зворотним зв'язком через діод VD7 та резистор R21. Нелінійний зворотний зв'язок утворює із каскаду квадратичний підсилувач, якщо кола корекції ВАХ діода R29, R30 розраховано коректно. Це необхідно для розрахунків КСХ за потужністю на різних частотах та лінеаризації ВАХ детекторних діодів в широкому діапазоні частот.

Другий каскад підсилувача постійного струму зібрано на ОП DA2.3 за схемою неінвертуючого підсилувача та гальванічним зв'язком із попереднім

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

каскадом. Зворотний зв'язок забезпечує коефіцієнт підсилення близько 10дБ через встановлення певних значень елементів R31,R34.

Точнее налаштування підсилювача постійного струму відбувається за допомогою резистивного подільника R40,R43,R47. Процес налаштування відбувається під час калібрування вимірювача за методикою, описаною нижче.

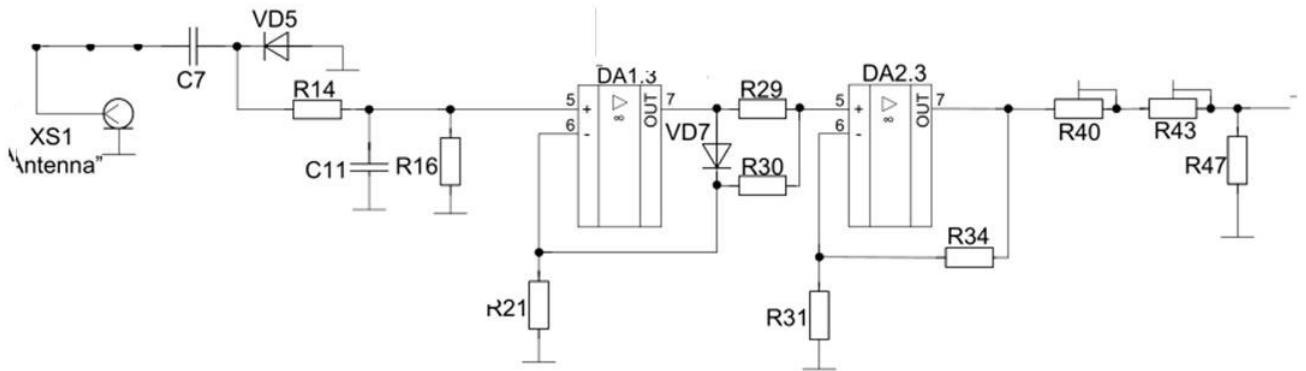


Рисунок 20 – Аналогова частина вимірювача (фрагмент схеми електричної принципової)

Таким чином аналогова частина фактично є високочастотним вольтметром, що перетворює сигнал у постійну напругу, значення якої вимірюється за допомогою АЦП мікроконтролера. Таких схем вольтметрів є три, перший вимірює сигнал на каліброваному опорі, другий із виходу підсилювача синтезатора, третій – безпосередньо на антені.

Калібрований опір також входить до аналогової частини вимірювача та може бути як реактивним так і активним, зазвичай обирається під час калібрування. Калібрований опір має витримувати потужності високочастотного сигналу, що діють на виході високочастотного підсилювача частини синтезатора частот.

2.3.4 Блок живлення вимірювача

Живлення приладу здійснюється за допомогою нестабілізованого зовнішнього джерела постійного струму із напругою 15-30В і струмом до 250мА. Чим більша напруга буде подаватися, тим більша потужність буде розсіюватися на стабілізаторах, відповідно вони будуть сильніше грітися. Струм споживання від 12В теоретично не більше 150 мА, за умови застосування підсвічування індикатора може зрости до до 200 мА і більше. Можливо задатись граничним струмом близько 0,5А із суттєвим запасом.

Блок живлення вимірювача (рис.21) параметрів антенних систем зібрано на інтегральних стабілізаторах DA4 та DA3. Стабілізатор DA4 має напругу стабілізації 12В, що живить аналогову частину та високочастотний підсилювач сигналу синтезатора. Електролітичні та керамічні конденсатори C28,C32,C33,C34 забезпечують стабільну роботу підсилювача та мають бути розміщені в безпосередній близькості до його виводів.

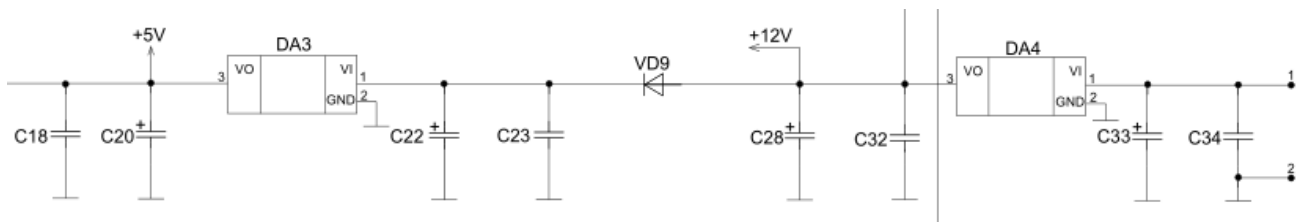


Рисунок 21 – Блок живлення вимірювача (фрагмент схеми електричної принципової)

Для спрощення схеми стабілізація напруги живлення цифрової частини вимірювача +5В відбувається з виходу стабілізатора +12В. Для запобігання можливому зворотному розряду конденсаторів фільтру C22,C23 через входні кола DA4, між інтегральними стабілізаторами включено імпульсний силовий діод VD9.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

-

Фільтрація напруги живлення +5В здійснюється конденсаторами С18,С20 включеними на виході інтегрального стабілізатора DA3. Додаткова фільтрація в різних точках схеми реалізується окремими RC фільтрами, що розташовано у безпосередній близькості до відповідних інтегральних мікросхем.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

3.1 Функції та налаштування вимірювача

3.1.1 Керування та індикація результатів вимірювання

Здебільшого антенні вимірювачі (аналізатори) призначаються для проведення вимірювань у лініях, на хвильовий опір яких вони і налаштовані, а не як універсальні прилади для вимірювання R, C, L, Z, X на будь-яких частотах. Тому під час розробки прилад розроблено більш спеціалізованим та розрахованим на певні хвильові опори, що найбільш часто застосовуються, і за рахунок цього мінімізувати вартість. Здоровий глузд у такому разі підказує - купити готову антену, встановити її і спокійно працювати в ефірі, не забиваючи собі голову придбанням коштовного та універсального приладу.

Залежно від типу застосовуваної DDS вихідна гранична частота генератора може бути від 20 МГц до 300 МГц. Так як, передбачається саме застосування для бюджетного варіанту, тобто мінімально можлива ціна, то усі елементи схеми обмежимо із умови використання частот до 30 МГц, хоча технічні можливості забезпечують використання схеми без змін в зоні частот до 500МГц.

Керування вимірювачем реалізується всього чотирма кнопками - дві кнопки K2 (UP) , K3 (DOWN) для перебудови частоти вгору або вниз , третя кнопка K1 (MENU) - меню та четверта K4 (STEP) - крок перебудови за частотою . Крок перебудови частоти може встановлюватись 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц, 1 МГц.

Вимірювання можна проводити в лініях або антенах із хвильовим опором 50 Ом, 75 Ом, 300 Ом, 600 Ом. За замовчуванням програма активована на

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

проведення вимірювань у 50-омних фідерах або за умови використання антен розрахованих на вхідний опір 50 Ом.

Для пере налаштування для роботи із іншими типами опорів служать два додаткові резистори R6, R7. При під'єднанні цих резисторів до шин RB2, RB3 процесора та загального проводу програмне забезпечення контролера буде перемикатися на вимірювання в лініях із іншими вхідними опорами. Якщо прилад буде використовуватися для проведення вимірювання тільки в лініях з хвильовим опором 50 Ом, резистори R6, R7 в плату можна не встановлювати.

Якщо прилад калібрований на 50 - омне навантаження , то під час вимірювання опору до 300 Ом похибка складатиме не більше 1% , по 500 Ом близько 5% , вище 500 Ом різко зростає , 600 Ом вже близько 10 % . Далі прилад міряє майже до 1 кОм з похибкою 15-20%. Зростання похибки пояснюється особливостями вимірювання за методом 3-х вольтметрів.

На дисплей антенного аналізу виводиться наступна інформація у формі 4-х інформаційних повідомлень:

1. робоча частота в кГц (f);
2. КСХ (S);
3. активний опір (R);
4. реактивний опір(X).

Програмне забезпечення передбачає процедуру, щоб визначити знак реактивності: слід натиснути кнопку K1 або K2 – за умови підвищення частоти ємнісна складова буде зменшуватися, індуктивна - збільшуватися, а під час зменшення значення частоти - навпаки.

Так як використовується сучасний мікропроцесор з високою швидкодією, то він встигає зробити всі розрахунки і вивести їх результати на РК в процесі перебудови частоти. Тобто. скажімо , нас цікавить , на якій частоті реалізується мінімальний КСВ? Для цього тиснемо K1 або K2 і спостерігаємо, як змінюються значення активної та реактивної складової. Якщо реактивна складова сягає нуля, а активна опору калібрування – 50 Ом, то маємо резонанс,

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

частота, що відповідає цьому випадку дорівнює частоті резонансу. Таким чином управління приладом спрощено до мінімуму, і більш-менш толковий фахівець із телекомунікацій та радіотехніки може написати подібну програму.

3.1.2 Калібрування вимірювача

Перед використанням та періодично будь-який вимірювальний прилад потребує калібрування, в тому числі і антенний вимірювач параметрів. В даному приладі для цього слід натиснути кнопку MENU. Після натискання спостерігаємо на дисплеї меню, де у верхньому кутку робоча частота в кГц, V_i - вхідний рівень на вході, у нижньому ряду: V_{50} - падіння напруги на зразковому резисторі (калібрувальному опорі), V_0 - напруга на навантаженні. Вказані напруги відображаються у відносних величинах. За методом 3-х вольтметрів вони мають бути одного порядку для досягнення точності. Напруги вимірюються за допомогою вбудованих АЦП мікроконтролера.

Надалі, виставляємо частоту, на якій має працювати досліджувана антена (при включенні аналізатора за замовчуванням, встановлюється 7050 кГц). Якщо потрібно далеко відійти від цієї частоти, щоб не тиснути довго кнопки перегону частоти, виставляємо найгрубіший крок в 1 МГц і швидко перебудовуємо ближче до необхідної частоти кнопками UP або DOWN. Потім більш точно підлаштовуємося, вибравши менший крок перебудови.

Алгоритм встановлення кроку пере налаштування наступний. Натискаємо на кнопку STEP (вибір кроку) і кнопками пере налаштування частоти ввверх-вниз вибираємо потрібний крок. Для повернення знову натискаємо на кнопку вибору кроку STEP - вибраний крок перебудови запам'ятовується.

Потім на вибраній частоті резисторами градування R38-R43 виставляємо відносний рівень на вимірювачі вхідного каналу $V_i=1021-1022$. Це пояснюється тим, що граничне значення напруги, що вимірюється внутрішнім АЦП мікроконтролера складає максимум 1022 кроки квантування, тому якщо подати

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

на його вхід напругу більшого рівня (більше напруги живлення, тобто більше 12В), то все одно результатом буде 1022 .

Виходячи із цього підстроювальним резистором слід виставити такий рівень напруги вхідного каналу, щоб напруга на вході АЦП була близькою до граничного, але не перевищувала його, наприклад 10В. Тобто. цифри на дисплеї вимірювача можуть періодично змінюватися з 1022 до 1021. Також ніхто не заважає виставити і менше значення, але в цьому випадку звужується діапазон вимірюваних рівнів і похибка вимірювача параметрів антен зростає, особливо під час вимірювання опорів, що значно відрізняються від калібрувального (у найбільш типовому випадку 50 Ом).

Наприклад, якщо використовувати повну шкалу опорного напруги на АЦП, тобто значення 1021-1022, то під час вимірювання опорів із великим відхиленням від 50 Ом похибка вимірювань буде вкладатися в наведені вище для похибок значення. А якщо ж опорну напругу на вході вбудованого в мікропроцесор АЦП виставити, скажімо 1000, то під час вимірювання опорів вище 300 Ом похибка може досягати вже не 1%, а 10%.

Із загальних позицій для пошуку резонансу антени в багатьох випадках похибка не дуже сильно впливає на процес, , адже ми ж все одно змінюватимемо параметри антени, щоб увігнати її в необхідні 50 Ом вхідного опору, і нам не важливо знати, яке значення опору має не налаштована антена в дійсності - 300 Ом або 330 Ом. Головне наше завдання за допомогою цього приладу домогтися необхідних параметрів антени для найбільш ефективного випромінювання. Хоча займатись науковими дослідженнями за допомогою такого досить точного приладу теж ніхто не заважатиме.

Далі в процесі калібрування (7), приєднуємо до антенного конектора калібрувальний імпеданс необхідного номіналу. При цьому значення вхідної напруги V_i зменшиться залежно від встановленого номіналу калібрувального резистора. Наприклад, воно зменшилося до значення $V_i = 1010$ за умови калібрувального активного опору резистора 50 Ом.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Відповідними підстроювальними резисторами антенного каналу R40,R43 виставляємо половинну напругу від V_i в для значень відносних напруг генераторного каналу та каналу навантаження V_{50} і V_o , тобто

$$V_{50} = V_o = 1010 / 2 = 505. \quad (7)$$

На цьому найбільш оптимальне калібрування приладу завершено. Для виходу із режиму калібрування - натискаємо кнопку MENU і виходимо в режим вимірювання. Від'єднуємо калібрувальний опір від антенного входу, приєднуємо нашу антену і спостерігаємо на дисплеї вимірювача параметрів антенних систем параметри антени, що підключено до входу.

3.1.3 Вимірювання додаткових параметрів антен

Знаходження резонансної частоти антени. Дійсно резонансну частоту антени можна виміряти тільки в точці живлення антени. Якщо ви не знаєте навіть приблизно резонансну частоту антени, ні через якийсь напівхвильовий чи інший повторювач ви не зможете її знайти, адже показання приладу будуть впливати як резонанси самого кабелю, так і резонанси оточуючих антену металічних предметів.

Коли хоча б приблизно знаємо резонансну частоту антени - ганяємо кнопками перегону частоту в очікуваних межах частоти резонансу антени і шукаємо мінімум значення S . Цей мінімум при резонансі антени може бути не так помітний, як нам цього хотілося б. І найчастіше більш помітний мінімум у точках резонансу кабелю. Додайте ще до цього наведення на вашу антену від потужних промислових передавачів, які можуть виражатися в постійній і хаотичній зміні цифр молодших розрядів значень S , R , X радості у проведенні вимірювань вже встановлених антен з великим периметром це не додає.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Тому перш, ніж встановлювати антену, проженіть аналізатором кабель живлення - фідер і помітьте точки його резонансів.

Вимірювання опору антени. При приєднанні антени дивимося показання: R-активна складова, X-реактивна складова. Опір можна виміряти дистанційно через напівхвильовий повторювач. Але слід обов'язково враховувати, якщо R антени сильно відрізняється від хвильового опору лінії повторювача, то похибка вимірювання буде великою. Але пристрій тут ні до чого, спотворюють показання втрати в неузгодженої лінії. Тобто, немає узгодження між полотном антени живильною лінією, і аналізатор покаже вам якісь сумарні значення.

Вимірювання напівхвильових і чвертьхвильових резонансів кабелю. Передбачається, що початок і кінець кабелю знаходяться поруч. Приєднуємо один кінець кабелю до аналізатора, а другий кінець залишаємо вільним, забезпечивши так званий режим холостого ходу (XX). Прикинувши довжину кабелю та його коефіцієнт укорочення, визначаємо приблизно частоту першого чвертьхвильового резонансу і починаємо проганяти з трохи меншої частоти вгору. Перший мінімум у показаннях R буде говорити про чвертьхвильовий резонанс. Тоді на частоті вдвічі більшій за перший чвертьхвильового нового резонансу спостерігатимемо перший максимум у показниках R - перший напівхвильовий резонанс.

Якщо це не так, значить неправильно визначили перший чвертьхвильовий резонанс. Потрібно буде повернутися ще нижче за частотою і почати сканування вгору. Якщо вільний кінець кабелю закортити, з'єднавши облєтєння з центральною жилою і створивши таким чином, режим короткого замикання (K3), картина мінімумів і максимумів у показаннях R інвертується, тобто, при чвертьхвильовому резонансі буде максимум R, а при напіввольтному-мінімум. Реактивний опір X при цих вимірах має дорівнювати 0 Ом. Якщо це не так, значить кабель низької якості.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Вимірювання хвильового опору кабелю. Для того, щоб виміряти невідоме хвильовий опір кабелю, потрібно градуйований безіндукційний (не дротяний) змінний резистор. Один кінець кабелю приєднуємо до аналізатора, а другий - навантажуюємо на цей змінний резистор. Змінюючи опір змінного або підстроювального резистора, знаходимо таке значення, коли показники активного опору R на екрані дисплею дорівнюють опору змінного резистора. Тим самим ми отримали хвильовий опір досліджуваного кабелю. Ці виміри бажано проводити на частоті чверть хвильового резонансу, вже визначеного раніше.

3.2 Зауваження щодо конструювання вимірювача

Плата вимірювача виходячи із схеми може бути реалізована у розмірах не більше 150x150 мм, та може бути виконана на якісному двосторонньому склотекстоліті із технологією металізування отворів. Завдяки високо частотності виробу слід ужити всіх заходів властивих високочастотним платам, тобто залишити місце для екранів, мінімізація шири провідників, розрахунок хвилевого імпедансу, тощо. В таких умовах розміщення деталей можливо як із верхнього так і із нижнього боку плати, що залежить вже від конкретного конструктора-технолога.

Зазвичай мікросхеми паяються лише з одного боку плати, а інші деталі можна встановлювати із будь-якої сторони плати, що зменшить загальну площу плати та і вартість загалом. Для можливості виготовлення в умовах поодинокого виробництва компоненти на платі закладені такі, що мають штировий монтаж виводів, не SMD. Тільки синтезатор DDS, звісно виконаний у технології SMD, бо у DIP корпусі фірма-виробник його не випускає.

Рідкокристалічний дисплей із підсвічуванням (РКІ) можна використовувати будь-який дворядковий, за умови переписування програмного забезпечення та достатньої кількості розрядів для відтворення, особливої

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

швидкодії від нього не вимагається, адже ми переналаштуємо синтезатор по частоті, а на індикатор виводимо лише результат. Можливе використання дисплею як з підсвіткою, так і без. Для підбору схеми що керує яскравістю підсвічування на платі мають бути передбачено місце для встановлення таких елементів – наборне поле.

Слід враховувати, що підсвічування споживає неабиякий струм від джерела, тому використовувати автономне живлення треба із урахуванням цього фактору. Трапляються варіанти дисплеїв, в яких підсвічування не регулюється і автоматично запускається одночасно з подачею живлення. У такому випадку можна на платі знайти струмообмежуючий резистор через який подається світло, винести примусове його відключення, наприклад, перерізати доріжку і ввести її замикання додатковим тумблером.

Залежно від типу РКІ номінали резисторів R18, R23 підбираються, для індикатора застосованого в нашому випадку HY-1602B3 R18 = 12 кОм, R23 = 1 кОм, також необхідно встановити контрастність висвітлення знаків за допомогою резистору R19.

Найбільш ретельно слід віднестись до вибору діоди VD3-VD5, вони мають бути германієвими, високочастотними і однакового типу. Від якості цих діодів та їх ретельного підбору безпосередньо залежатиме точність вимірювань параметрів антенних систем.

Котушки L2, L3 можливо придбати як окремі вироби. За умови мілко серійного виробництва котушки виконуються діаметром 4 мм і мають 22 витка впритул срібним дротом 0,4 мм. Довжина намотування такої котушки має дорівнювати відстані між отворами в платі для встановлення тих котушок. Котушки L2,L3 розташовуємо на відстані приблизно 3-4 мм над платою з боку друкованих провідників напроти екрану. Для забезпечення жорсткості котушки заливають церезитом або парафіном.

Зазор між індуктивностями L2 , L3 і металевою стінкою корпусу (якщо корпус буде металевий) повинен складати не менше 4 мм, щоб мінімізувати

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

-
вплив металу корпусу на зміну індуктивності котушок. Якщо керуватися «теоретичною класикою впливу навколишніх предметів на індуктивності котушок, то відстань має дорівнювати трьом діаметрам, тобто - 12мм. У нашому випадку, при наближенні екрана до котушок, отримуємо невелике спотворення АЧХ фільтра і незначне підвищення частоти зрізу. Що в кінцевому рахунку позначиться на деякій зміні у похибках вимірювань, хоча цей ефект можливо в багато чому зменшити, використовуючи процедуру калібрування.

Антенний роз'єм XS1 високочастотний, бажано встановити такий, який застосовується для підключення антени радіо засобу. Слід зазначити, що входи на платі GND (земля) і ANT повинні бути максимально близько розташовані до роз'єму - для того, щоб сполучні проводи між платою і роз'ємом були мінімально можливою довжиною, так як індуктивність цих проводів суттєво впливатиме на похибку вимірювань. Провідники ці мають бути виготовлені із дроту більше ніж 0,5 мм, бо чим тонше провід, тим вище буде його паразитна індуктивність. Плата встановлюється класично, на діелектричні стійки заввишки близько 10 мм, залежно від характеру двобічного монтажу.

В якості підстроювальних резисторів R38 ...R43 (СПЗ-19), краще застосувати імпортні багатообертові резистори, в такому випадку пару послідовно ввімкнених підстроювальних резисторів (грубо і точно) можливо замінити одним на 10...20кОм. або один багатооборотний на 10-20 кОм. Супервізор або схему контролю скидання мікроконтролера MC33064P-5 (DD2) можна не встановлювати, вона служить для захисту від непередбачених ускладнень з живильною напругою приладу.

Прилад працездатний і при менших напругах живлення до 9 В, але в цьому випадку слід замінити стабілізатор DA3, на такий, що забезпечує 9 В на виході.

Для калібрувальних імпедансів не слід використовувати дрові резистори або безіндукційні резистори, але підключені на довгих провідниках до роз'єму. Чим вища частота вимірювань, тим більше впливає паразитна індуктивність

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

виводів резисторів. Для зменшення паразитної індуктивності можна включати в паралель два або навіть більше резисторів. Скажімо, для отримання 50 Ом можна спаяти в паралель два резистори по 100 Ом, або три по 150. В діапазоні частот до 30 МГц достатньо використовувати резистори типу С2 із виводами мінімальної довжини.

3.3 Розробка окремих модулів

3.3.1 Поняття про каскодну схему

Вхідний опір підсилювальних каскадів на основі транзисторів, включених за схемою із загальним емітером або загальною базою, залежить від частоти. Ця залежність визначається переважно ємністю колекторного переходу (рис.22), яка утворює паразитне коло зворотного зв'язку.

Такий паразитний зворотний зв'язок еквівалентний включенню на вході підсилювача шунтуючої ємності, величина якої пропорційна коефіцієнту підсилення транзистора і може бути значною. Для широкосмугових підсилювачів це призводить до зниження коефіцієнта підсилення схеми за напругою для схеми із загальним емітером на високих частотах.

Описаний ефект від збільшення ємності називають ефектом Міллера. Цього недоліку позбавлена каскодна схема (рис.1). У такій схемі транзистори з'єднані послідовно, так що струм через них у статичному режимі однаковий.

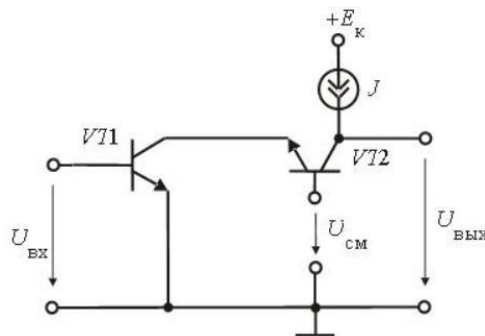


Рисунок 22 – Еквівалентна схема каскодного підсилювача

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Вхідний транзистор VT1 включений за схемою із загальним емітером, а VT2 – за схемою із загальною базою. Напряга зміщення має мати таку величину, щоб обидва транзистори працювали в активному режимі і максимальному динамічному діапазоні. Навантаженням VT1 є малий опір емітерного переходу другого транзистора, тому коефіцієнт підсилення напруги першого каскаду дорівнює -1, відповідно і мінімізується Міллера.

Каскодна схема забезпечує приблизно такий самий коефіцієнт підсилення по струму і напрузі, як і схема із загальним емітером, але її перевага полягає у тому, що паразитний ємнісний зв'язок між виходом та входом значно менший, що призводить до значного розширення смуги всього каскаду.

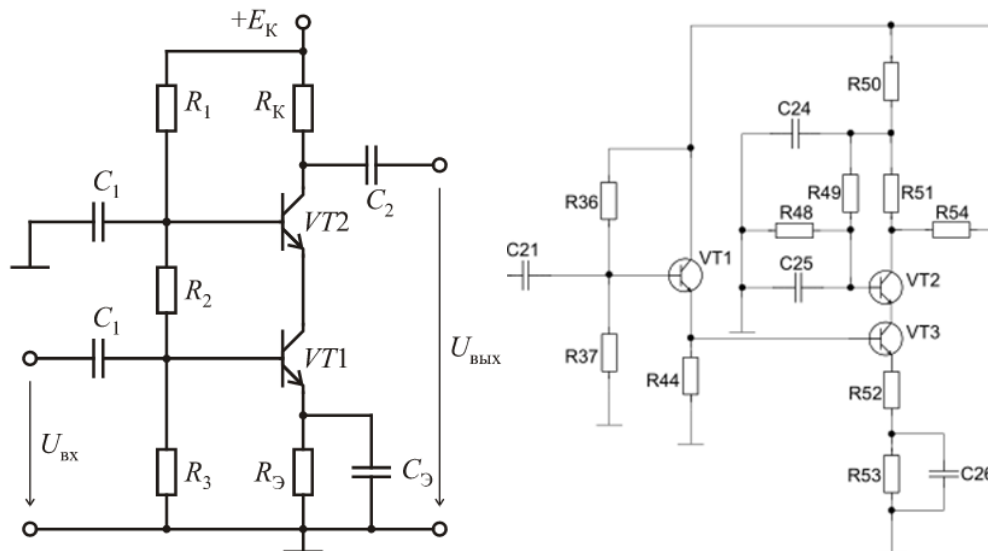


Рисунок 23 – Типова схема каскадного підсилювача(ліворуч) і схема каскодного підсилювача (праворуч), застосованого у вимірювачі параметрів антенних систем.

Каскодні схеми знаходять широке застосування в аналоговій інтегральній схемотехніці та техніці високих частот (рис.23). Для їх реалізації використовують як біполярні, так і польові транзистори.

3.3.2 Вхідний каскад підсилення струму

Так як весь підсилювач високочастотного сигналу аналогової частини має гальванічні зв'язки між каскадами, то схема його другого каскаду підсилення не може бути розглянута розрахована без розгляду першого та останнього каскаду підсилення. Прямий розрахунок таких каскадів ускладнюється тим, що транзистори мають великий розкид параметрів, наприклад, коефіцієнт підсилення може змінюватись до 10 разів.

Перший каскад підсилення на транзисторі VT1 має мати високий вхідний опір, для того щоб не навантажувати фільтр гармонік синтезованого сигналу із опором навантаження $R_{33}=300\text{Ом}$. Вхідний опір такого каскаду емітерного повторювача за змінним струмом можливо оцінити як дещо менший за опір паралельно ввімкнених резисторів R_{36}, R_{37} , та опору резистора R_{44} , що помножено на коефіцієнт підсилення – β транзистора першого каскаду (оберемо орієнтовно 50). Одночасно цей опір має бути набагато більшим за опір резистора R_{33} . Крім того, для забезпечення максимального динамічного діапазону та мінімізації нелінійних спотворень на емітері VT1 має підтримуватись значення напруги, що сягає близько половини напруги живлення $U_{ж}(12\text{В})$, а також слід взяти до уваги, що наступний каскад – схема із спільним емітером, що має вхідний опір – десятки кілоом, та для нормальної роботи такого каскаду, вихідний опір попереднього каскаду не має перевищувати орієнтовного значення в 1кОм . Виходячи із зазначених положень можливо сформулювати систему оціночних рівнянь для розрахунку першого каскаду (VT1, див рис.23)

$$\begin{aligned} R_{33} &\ll R_{36} \parallel R_{37} \parallel (\beta \times R_{44}); \\ U_{E1} &= (0,5U_{R37} - U_{BE1}) \cong 0,5U_{ж}; \\ R_{44} &< 1\text{кОм} \end{aligned} \quad (8)$$

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Якщо обрати (8) $R_{44} = 0,5\text{кОм}$ то $\beta R_{44} = 25\text{кОм}$.

Для визначення опорів R_{36} слід задатись струмом бази VT1, що для малопотужного транзистора має значно перевищувати паразитні струми витікання, та бути значно меншим струму базового подільника R_{36}, R_{37} . Зазвичай для малопотужних схем задаються струмом в $0,1\text{мА}$, тоді струм подільника 1мА , а за умови слабкого навантаження базового подільника високим вхідним опором транзисторного каскаду

$$R_{36} + R_{37} = U_{жс} / (10I_{B1}) = 12 / (10 \times 0,1) = 12 (\text{кОм}), \quad (9)$$

що за умови дотримання рівнянь відносно напруг за (8) приводить до орієнтовного значення опорів із стандартного ряду E12 $R_{36} = 5,6\text{кОм}$, $R_{37} = 6,2\text{кОм}$. В реальних схемах ці значення можуть відрізнятись на плюс мінус 30 відсотків і більше за розраховані в цьому випадку.

Якщо обрати R_{44} також із стандартного ряду номіналів, то емітерний струм, без урахування навантаження наступним каскадом не має перевищувати максимально можливий струм емітера для застосованого транзистора КТ368, що складає 40мА , звідки перевіряємо рівняння для дотримання працездатності транзистора VT1

$$\frac{U_{жс}}{2R_{44}} \leq I_{Kmax}; \quad (10)$$
$$\frac{12}{2 \times 0,47} \cong 13\text{мА} \leq 40\text{мА};$$

де очевидно, що рівняння працездатності для VT1 виконується де струм емітера (колектора) не перевищує значення, встановлені паспортними даними.

Оціночні значення отримані за (8-10) буде використано надалі для розробки каскаду на VT2,3.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

3.3.3 Каскодна частина підсилювача

Якщо транзистор VT1 (рис.23) забезпечує тільки узгодження опорів то каскодна схема на VT2,VT3 має вже значний коефіцієнт підсилення за напругою та забезпечує його головне значення в рамках всього високочастотного підсилювача на VT1-VT5. Високий рівень підсилення передбачає необхідність створення умов для мінімізації самозбудження. Саме для цього і застосована схема каскадного включення транзисторів, крім того, для мінімізації протікання високочастотних струмів через різні каскади, така схема має RC фільтр, виконаний на R50C24, стала часу фільтру обирається із умови мінімальної частоти підсилення як:

$$\frac{1}{R50C24} \ll f_{\min};$$
$$U_{R50} \ll U_{ж};$$
(11)

де U_{R50} - падіння напруги на резисторі R50;

f_{\min} - мінімальна частота підсилення (3МГц).

Транзистор VT2 за змінним струмом працює із заземленою базою та має дуже низький вхідний опір, а разом із транзистором VT3 від утворює каскодну схему, що може в першому наближенні розглядатись як схема емітерного повторювача із однаковими струмами колекторів VT2,VT3. Постійний струм колектора для каскодного каскаду в лінійному режимі визначається як:

$$I_{K2} = I_{K3} = \frac{U_{ж}}{2(R50 + R51 + R52 + R53)} \leq I_{\max};$$
(12)

а струм бази VT3, що керує каскадом орієнтовно складатиме:

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$I_{B3} \cong \frac{I_{K2}}{\beta}. \quad (13)$$

Коефіцієнти підсилення по напрузі за постійним струмом каскаду із спільним емітером в умовах емітерного зворотного зв'язку та значних підсилювальних властивостей транзистора визначається як відношення опорів колекторного та емітерного резистора, в нашому випадку:

$$K_c = \frac{R50 + R51}{R52 + R53}. \quad (14)$$

Коефіцієнти підсилення по напрузі за змінним струмом каскаду із спільним емітером в умовах емітерного зворотного зв'язку та значних підсилювальних властивостей транзистора визначається як відношення інших опорів колекторного та емітерного резистора через шунтування струмів у C24, C26, в нашому випадку:

$$K_s = \frac{R51}{R52}. \quad (15)$$

Резистори R46, R49 мають встановлювати робочу точку каскаду таким чином, щоб на колекторі VT2 фіксувалось значення близьке до половини напруги живлення. Крім того, слід пам'ятати, що малопотужні високочастотні каскади для забезпечення мінімізації наведень намагаються зробити низькоомними, а значить забезпечити максимальні струми колекторів, звідки можливо обрати робочий струм колектора як половину максимального постійного струму – 20мА, а сумарний опір колекторних резисторів за (12-15) визначиться як:

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$R50 + R51 + R52 + R53 = \frac{U_{ж}}{2\left(\frac{I_{max}}{2}\right)} = \frac{U_{ж}}{I_{max}} = \frac{12}{20} \cong 0,6(кОм), \quad (16)$$

Амплітуда сигналу на виході DDS складає близько 1В, фільтр дещо зменшує амплітуду але не надто суттєво, якщо напруга живлення високочастотного підсилювача складає 12 В, то максимальна амплітуда неспотвореного синусоїдального сигналу складає близько 5.6В, що обумовлює коефіцієнт підсилення близько 5 за (15). Падіння напруги на резисторі R50 має бути набагато меншим за напругу живлення, звідки знаючи струм можливо оцінити його значення як:

$$R50 = \frac{0,05U_{ж}}{I_{К2}} = \frac{0,1 \times 12}{20} = 60(Ом). \quad (17)$$

Із деяким запасом відносно (17) задамось типовим значенням R50 у 100Ом.

Значення ємності конденсаторів шунтів C24, C26 має утворювати ємнісний опір, що значно менший за опір резисторів R50 та R53 відповідно.

$$C24 \geq 10 \frac{1}{R50 \times f_{min}} = \frac{10}{60 \times 3 \times 10^6} \cong 60(нФ) \quad (18)$$

З достатнім запасом можливо обрати значення C24 і C26 у 100нФ.

Для стабілізації каскоду за постійним струмом в відносно невеликому діапазоні температур коефіцієнт підсилення за постійним струмом обирають як 2..3, звідки із рівняння (16) можливо визначити значення R53, що зазвичай обирають таким як і R50, тобто близьким до 100Ом. Звідки можливо знайти і опори інших резисторів колекторного струму як:

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$\begin{aligned}
 (R50 + R51 + R52 + R53) &= 600(\text{Ом}); \\
 (R50 + R53) &= 200(\text{Ом}); \quad (R51 + R52) = 400(\text{Ом}) \\
 R51 &= K_V \times R52; \quad R51 = 5 \times (400 - R51) \\
 R51 &\cong 333(\text{Ом}); \quad R52 \cong 67(\text{Ом})
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Для певності із стандартного ряду E12 оберемо $R51=330\text{Ом}$, $R52=68\text{Ом}$.

Каскодна схема на транзисторах VT1,VT2 працює із більшими струмами колектора, і для встановлення робочої точки також виникає потреба у збільшенні струмів подільника R48,R49 у кількість разів, що приблизно дорівнює коефіцієнту підсилення ($K_V=5$) за змінним струмом. Тобто орієнтовне значення $R48,R49=1\text{кОм}$.

Остаточний вибір номінальних значень компонент реалізується на етапі налагоджування схеми для забезпечення максимального рівня сигналу та мінімальних спотворень у транзисторному підсилювачі із гальванічним зв'язком.

3.4 Оцінювання параметрів надійності

Розрахунок надійності пристроїв складне та багатоетапне завдання, що точно вирішено принципово бути не може через значну кількість компонент та взаємних зв'язків, тому для оцінювання параметрів надійності часто застосовують укрупнений метод, що полягає у побудові надійнішої схеми та калькуляції параметрів надійності окремих компонент.

Основним параметром, що входить в калькуляцію надійності є інтенсивність відмов компонент, що визначається на базі численних досліджень як компонент, так і окремих вузлів апаратури на різних етапах життєвого циклу, що складається із циклу первинної роботи – припрацювання, нормальної експлуатації та старіння (зношування). Середній амортизаційний термін для виміральної апаратури складає не менше 10 років, більшу його частину (80..90%) займає термін нормальної експлуатації.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Під час нормальної експлуатації поява відмов є раптовою. З ймовірнісної точки зору такій випадковій величині відповідає експоненційний закон розподілу ймовірностей, за умови статистичної незалежності та використання послідовної схеми відмов, тобто відмова одного компонента призводить до відмови всього пристрою.

Вихідними даними для розрахунків параметрів надійності є схема перелік компонент КПТР20060.01.03.00ПЕЗ схеми електричної принципової вимірювача параметрів антенних систем, а також їх електричне навантаження, механічне навантаження та кліматичні умови нормальної експлуатації. Інтенсивності відмов зазвичай визначається або за специфікаціями компонент, або за статистичними типовими даними виробів подібного застосування. В таких умовах сумарну інтенсивність відмов виробу визначають як:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^K \lambda_{0i} k_{1i} k_{2i} k_{3i} \alpha_i(t^0, E_i), \quad (20)$$

де λ_{0i} - інтенсивність відмов деякого i - го компонента, 1 / год;

k_{1i} - коефіцієнт дії механічних навантажень (вібрації, ударів, лінійного та циклічного прискорення, тощо). Для стаціонарної професійної апаратури цей коефіцієнт складає, $k_1 = 1,2$.

k_{2i} - коефіцієнт дії температурних та вологісних навантажень, Для лабораторних приміщень та приміщень, що прирівнюються до них в температурному діапазоні ТЗ від 0 до +45 градусів Цельсі та відносній вологості приміщень у 60-90 % встановлюється $k_2 = 1,6$;

k_{3i} - коефіцієнт дії несприятливих умов нестабільного атмосферного тиску в зоні експлуатації $k_{3i} = 1,1$;

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$\alpha_i(t^0, E_n)$ - коефіцієнт дії локальних навантажень компонент, що визначається місцем розташування в схемі щодо максимально можливих специфікаційних параметрів компонент;

K – загальне число складових компонент, що входить до розрахунку надійності за послідовною схемою відмов.

Сам вимірювач параметрів антенних систем складається із окремих модулів і ряду виносних елементів, що знаходяться в однакових умовах експлуатації - із штучним кліматом взимку та стабільними кліматичними умовами влітку. Через однакові умови експлуатації ряд коефіцієнтів є однаковими для всіх елементів та їх доцільно виносити за знак суми під час попередніх розрахунків параметрів надійності за (20).

Зауважимо, що чим більш сучасніший та коштовний компонент запропоновано задіяти у вимірювачі, тим відносно менша його інтенсивність відмов (див. табл. 2), порівняно із компонентами попередніх років випуску. В такому випадку сумарні параметри надійності більш сучасних пристроїв вимірювання як правило кращі.

Із застосуванням коефіцієнтів зазначених в таблиці 1 для визначення параметрів та загальних коефіцієнтів надійності відповідно розміщенню приладу (20) загальна інтенсивність відмов складає:

$$\lambda_{\Sigma} = 1,2 \times 1,6 \times 1,1 \times 51 \times 10^{-6} \cong 110 \times 10^{-6} (\text{год}^{-1}) \quad (21)$$

а опосереднений термін роботи пристрою до появи відмови із урахуванням застосування експоненційного закону розподілу:

$$T_c = \lambda_{\Sigma}^{-1} = (110 \times 10^{-6})^{-1} = 9000 (\text{год}) \quad (22)$$

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2 – Калькуляція інтенсивностей відмов вимірювача параметрів антенних систем

№	Назва елемента	Кількість	Середня інтенсивність відмов компонента $\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	Коефіцієнт локального навант. $\alpha_i(T, K)$	Відм. групи комп. 1/год
1	Конденсатор керамічний	26	0,1	0,2	0,68
2	Конденсатор електроліт	8	1	0,6	0,6
3	Мікросхема	9	0,01	0,5	0,045
4	Кнопка керування	6	1,4	0,5	4,2
5	Дросель електроживлення	3	0,3	0,5	0,45
6	Резистор	60	0,03	0,3	0,54
7	Діод високочастотний	8	1,5	0,5	6,75
8	Діод силовий	1	2	0,5	1
9	Транзистор	5	1,8	0,5	4,5
10	Точки пайки	369	0,01	1	3,69
11	Плата	2	2	1	4
12	Роз'єкти	4	5	1	20
13	Інші	-		5	5
14	Всього				51,455

Ймовірність безвідмовної роботи (22,23) за такий термін за експоненційним законом складає близько 37%, що доволі мало. Тому за термін

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

-
гарантованої експлуатації оберемо значення у 3000 год. В такому випадку ймовірність відмови складатиме менше 1%.

Якщо вважати максимальний час використання вимірювального пристрою - 1 година на день, то встановленої надійності пристрою вистачить на загальний прогнозований термін експлуатації у 10 років, що також є типовим для вимірювальних пристроїв із позицій амортизації та морального старіння вимірювального устаткування.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ВИСНОВКИ

1. Процес розробки вимірювача параметрів антенних систем передбачав вивчення теоретичних основ вимірювання параметрів антен, а також аналіз наявних методів вимірювання. На основі цього аналізу були визначені вимоги до пристрою, такі як висока точність, широкий діапазон вимірювання, зручність в експлуатації та можливість збереження та обробки даних. На основі цього аналізу були визначені вимоги до пристрою, такі як висока точність, широкий діапазон вимірювання, зручність в експлуатації та можливість збереження та обробки даних.

2. Для реалізації проекту були використані сучасні технології та компоненти, зокрема інтегральні мікроконтролер, DDS генератор, LCD індикатор та інші електронні компоненти. Розроблено апаратну частину пристрою, що включає схему вимірювача, блок живлення, внутрішні цифрові інтерфейси, аналогову частину обробки цифрової інформації. Представлено структурну та принципову схему вимірювача.

3. Розроблений пристрій має потенціал для подальшого розширення та вдосконалення, зокрема шляхом додавання нових функціональних можливостей та підтримки більш широкого діапазону частот та імпедансів антенних систем. Розроблений вимірювач параметрів антенних систем може бути використаний в різних сферах, включаючи наукові дослідження, промислові застосування та радіоаматорські дослідження.

4. У процесі розробки дипломного проекту було звернуто увагу на забезпечення мінімізації вартості та забезпечення стабільності роботи. Оптимальний вибір електронних компонентів, ретельна настройка та калібрування пристрою дозволяють досягти точності та надійності вимірювань, необхідних для отримання достовірних результатів, що підтверджується схемо технічними розрахунками та розрахунками надійності.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина I: конспект лекцій / В. В. Кухарчук – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 148 с.
2. Нестерчук Д.М. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: «Таврійський державний агротехнологічний університет», 2017.
3. Лавренова Д.Л. Основи метрології та електричних вимірювань [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». / Д. Л. Лавренова, В. М. Хлистов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2-ге видання, перероблене і доповнене – Електронні текстові дані (1 файл: 7,35 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 133 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30052>
4. Лавренова Д.Л. Основи метрології та електричних вимірювань: лабораторні роботи (для студентів всіх форм навчання) [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійних програм «Електричні станції», «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії», «Електричні системи і мережі», «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси», «Управління, захист та автоматизація енергосистем», «Електричні машини й апарати», «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність» / Д.Л. Лавренова, В.М. Хлистов – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 129с. – 206 с.
5. M. L. Anand. Electrical Measurements & Measuring Instruments. – skkataria & sons, 2nd 2021 – 300 p.
6. Ruthard Minkner, Joachim Schmid. The Technology of Instrument Transformers: Current and Voltage Measurement and Insulation Systems – Springer Vieweg; 1st ed. 2022 edition (September 25, 2021) – 260 p.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

-
7. Smith, John. "Fundamentals of Radio Frequency Measurements." *Journal of Electrical Engineering*, vol. 25, no. 2, 2019, pp. 45-58.
 8. Бортник, Г. Г. Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах : підручник / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 232 с.
 9. Наконечний А.Й. Цифрова обробка сигналів: навч. посіб./ А.Й.Наконечний, Р.А.Наконечний, В.А.Павлиш.– Львів:Львівська політехніка, 2010.– 368с
 10. Johnson, Sarah. "Introduction to Radio Frequency Circuit Design." *International Journal of Electronics*, vol. 38, no. 4, 2020, pp. 112-126.
 11. Brown, Robert. "Principles of Impedance Measurement Techniques." *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 3, 2018, pp. 321-335.
 12. Методи перетворення сигналів. Навчально методичний посібник до самостійної роботи і контролю знань студентів для студентів спеціальності 6.05.08.01 «Мікро- та наноелектроніка» денної та заочної форми навчання/Укл. Ю.В. Головка.-Запоріжжя:ЗДІА, 2011. – 61с.
 13. Anderson, David. "Design and Analysis of Radio Frequency Measurement Systems." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 15, no. 5, 2021, pp. 210-225.
 14. Williams, Mark. "Signal Processing Techniques for Impedance Measurements." *Journal of Applied Physics*, vol. 72, no. 9, 2017, pp. 5901-5914.
 15. Allen, Robert. "Advanced Techniques for Impedance Measurement in RF Applications." *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 63, no. 7, 2019, pp. 2345-2360.
 16. Thomas, Michael. "Software Development Methodologies: A Comparative Study." *International Journal of Software Engineering*, vol. 42, no. 1, 2020, pp. 78-92.
 17. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник/ За ред. Ю.Л.Мазора, Є.А.Мачуського, В.І.Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

-
18. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, т.1, — Харків: «Компанія СМІТ», 2003. — 580 с.
 19. Климаш М.М. Оптичні та радіоканали телекомунікацій : навч. посібник / М.М. Климаш, О.А. Лаврів, Р.І. Бак. – Львів. : Вид-во Львівської політехніки 2010. – 424 с.
 20. Волочій Б. Ю. Практикум з теорії електрозв’язку : навч. посібник / Б. Ю. Волочій, Л. Д. Озірковський. – Львів. : Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 116 с.
 21. Троцишин І.В. Фізичні основи електронних приладів: Навч. посібник / І.В.Троцишин – Хмельницький: ХДУ. – 2004. – 488 с.
 22. Елементна база радіоелектронної апаратури: Пасивні радіокомпоненти В 4 ч. Ч. 1. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.О.Піддубний, І.О.Товкач. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с.
 23. Швець Є.Я. Матеріали і компоненти електроніки: навч. посібник /Є.Я.Швець, І.Ф.Червоний, Ю.В.Головка – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 278 с.
 24. Василенко І.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: навч. посібник. / І.І.Василенко, В.В.Широков, Ю.І.Василенко. – Львів: «Магнолія-2006», 2009. – 242 с.
 25. P. K. Chatterjee, "Fluctuation Sensing Techniques in Electronic Instrumentation," CRC Press, 2018, pp. 508-515.
 26. A. G. Andreou, "Noise in Receiving Systems," Springer Science & Business Media, 2013, pp. 1853-1867.
 27. Yang, Yongheng, et al. "Design for reliability of power electronic systems." Power electronics handbook. Butterworth-Heinemann, 2018. 1423-1440.
 28. R. A. Witte, "Noise in Semiconductor Devices: Modeling and Simulation," Wiley-IEEE Press, 2011, pp. 548-557.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

-
29. Васілевський О.М., Гриценко Ю.В. Нормування показників надійності технічних засобів. Навч. посібник .Вінниця: ВНТУ, 2013р., 160 с.
 30. Методичні вказівки щодо організації, проведення та підготовки звіту з переддипломної практики для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»/ уклад.:Підченко С.К., Огнєвий О.В., Таранчук А.А., Мішан В.В. / за заг. ред. С.К.Підченко. – Хмельницький: ХНУ, 2021. – 29с.
 31. Федун І.В. Основи теорії надійності та контролю якості виробів електронної техніки: Лабораторний практикум. Вінниця: ВДТУ, 2003р., 71 с.
 32. ДСТУ 3004-95. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. К.: Держстандарт України, 1995. – 123 с.

					КПТР20060.01.03.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Поз. Познач	Найменування	Кіл.	Примітка
	<u>Конденсатори</u>		
C1,C2	K10-17-1a-50B-100нФ±20%	2	
C3	K10-17-1a-50B-100Ф±20%	1	
C4	K10-17-1a-50B-47нФ±20%	1	
C5	K10-17-1a-50B-10нФ±20%	1	
C6-C8	K10-17-1a-50B-100Ф±20%	3	
C9	K10-17-1a-50B-10нФ±20%	1	
C10-C12	K10-17-1a-50B-1нФ±20%	3	
C13	K10-17-1a-50B-100нФ±20%	1	
C14	K10-17-1a-50B-33Ф±20%	1	
C15	K10-17-1a-50B-10Ф±20%	1	
C16	K10-17-1a-50B-58Ф±20%	1	
C17	K10-17-1a-50B-10Ф±20%	1	
C18	K10-17-1a-50B-100нФ±20%	1	
C19	K10-17-1a-50B-33Ф±20%	1	
C20	K52-16-16B-20-10мкФ ±5%	1	
C21	K10-17-1a-50B-100нФ±20%	1	
C22	K52-16-16B-20-10мкФ ±5%	1	
C23-C27	K10-17-1a-50B-100нФ±20%	5	
C28	K52-16-16B-20-10мкФ ±5%	1	
C29-C32	K10-17-1a-50B-100нФ±20%	4	
C33	K52-16-16B-20-10мкФ5%	1	
C34	K10-17-1a-50B-100нФ±20%	1	
DA1,DA2	Мікросхема LM324	2	
DA3,DA4	Інтегральний стабілізатор L7805CV	2	

КПТР 20060.01.03.00 ПЕЗ				
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розробив		Слободянюк	<i>[Підпис]</i>	6.06
Перевірів		Пивовар О.С.	<i>[Підпис]</i>	9.06
Н.контр.		Лтеусюк В.	<i>[Підпис]</i>	6.06.09
Затверд.		Підченко	<i>[Підпис]</i>	

Вимірювач параметрів антенних систем		
Перелік елементів		
Літ	Лист	Листів
у	1	4
ХНУ, ФІТ, ТР2с-20-1		

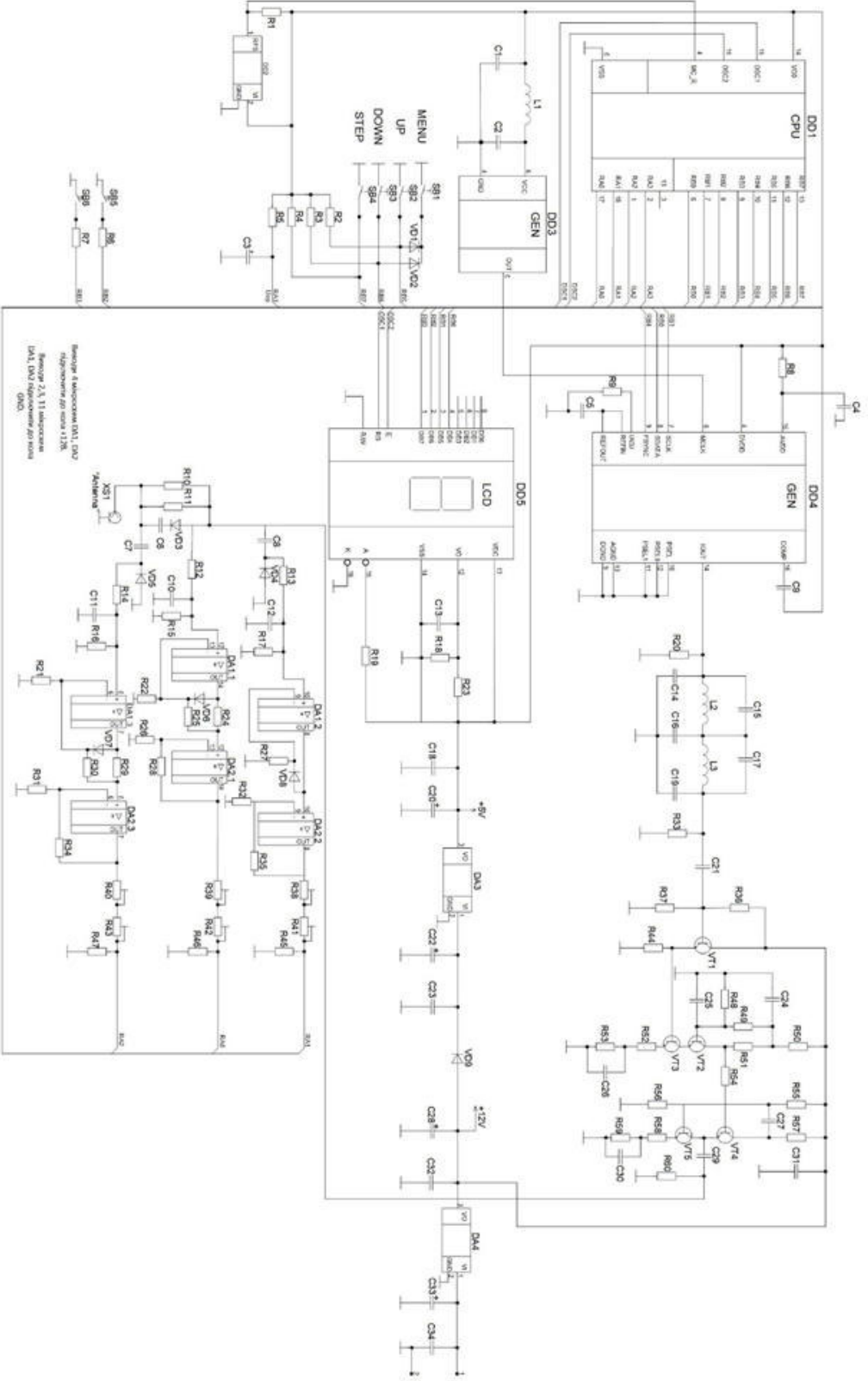


Схема и монтаж Д01, Д02, Д03, Д04, Д05, Д06, Д07, Д08, Д09, Д10, Д11, Д12, Д13, Д14, Д15, Д16, Д17, Д18, Д19, Д20, Д21, Д22, Д23, Д24, Д25, Д26, Д27, Д28, Д29, Д30, Д31, Д32, Д33, Д34, Д35, Д36, Д37, Д38, Д39, Д40, Д41, Д42, Д43, Д44, Д45, Д46, Д47, Д48, Д49, Д50, Д51, Д52, Д53, Д54, Д55, Д56, Д57, Д58, Д59, Д60, Д61, Д62, Д63, Д64, Д65, Д66, Д67, Д68, Д69, Д70, Д71, Д72, Д73, Д74, Д75, Д76, Д77, Д78, Д79, Д80, Д81, Д82, Д83, Д84, Д85, Д86, Д87, Д88, Д89, Д90, Д91, Д92, Д93, Д94, Д95, Д96, Д97, Д98, Д99, Д100.

№	Имя	Дата	Статус
1	Создан	2006.01.03	Создан
2	Проверен	2006.01.03	Проверен
3	Утвержден	2006.01.03	Утвержден
4	Изменен		
5	Отменен		
6	Удален		

КТТР 20060.01.03.00Е3

Спецификация на изделие

Исполнитель: [Имя]

Проверен: [Имя]

Утвержден: [Имя]

Создан: [Имя]

№ [Имя]

Имя [Имя]

КОНТРОЛЬ ПЛАГІАТУ

06.06.23, 10:30

result_7639258566910946619.html

Tue Jun 06 09:37:11 EEST 2023, Стецюк Віктор Іванович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 5%

ID: 114896	Джерела:		Сумарний збіг по Базі	
	Схожість	Кількість слів	Схожість	Кількість слів
1	0.0%	0	0.0%	0
2	0.0%	0	0.0%	0
3	0.0%	0	0.0%	0
4	0.0%	0	0.0%	0
5	0.0%	0	0.0%	0
6	0.0%	0	0.0%	0
7	0.0%	0	0.0%	0
8	0.0%	0	0.0%	0
9	0.0%	0	0.0%	0
10	0.0%	0	0.0%	0
11	0.0%	0	0.0%	0
12	0.0%	0	0.0%	0
13	0.0%	0	0.0%	0
14	0.0%	0	0.0%	0
15	0.0%	0	0.0%	0
16	0.0%	0	0.0%	0
17	0.0%	0	0.0%	0
18	0.0%	0	0.0%	0
19	0.0%	0	0.0%	0
20	0.0%	0	0.0%	0
21	0.0%	0	0.0%	0
22	0.0%	0	0.0%	0
23	0.0%	0	0.0%	0
24	0.0%	0	0.0%	0
25	0.0%	0	0.0%	0
26	0.0%	0	0.0%	0
27	0.0%	0	0.0%	0
28	0.0%	0	0.0%	0
29	0.0%	0	0.0%	0
30	0.0%	0	0.0%	0
31	0.0%	0	0.0%	0
32	0.0%	0	0.0%	0
33	0.0%	0	0.0%	0
34	0.0%	0	0.0%	0
35	0.0%	0	0.0%	0
36	0.0%	0	0.0%	0
37	0.0%	0	0.0%	0
38	0.0%	0	0.0%	0
39	0.0%	0	0.0%	0
40	0.0%	0	0.0%	0
41	0.0%	0	0.0%	0
42	0.0%	0	0.0%	0
43	0.0%	0	0.0%	0
44	0.0%	0	0.0%	0
45	0.0%	0	0.0%	0
46	0.0%	0	0.0%	0
47	0.0%	0	0.0%	0
48	0.0%	0	0.0%	0
49	0.0%	0	0.0%	0
50	0.0%	0	0.0%	0
51	0.0%	0	0.0%	0
52	0.0%	0	0.0%	0
53	0.0%	0	0.0%	0
54	0.0%	0	0.0%	0
55	0.0%	0	0.0%	0
56	0.0%	0	0.0%	0
57	0.0%	0	0.0%	0
58	0.0%	0	0.0%	0
59	0.0%	0	0.0%	0
60	0.0%	0	0.0%	0
61	0.0%	0	0.0%	0
62	0.0%	0	0.0%	0
63	0.0%	0	0.0%	0
64	0.0%	0	0.0%	0
65	0.0%	0	0.0%	0
66	0.0%	0	0.0%	0
67	0.0%	0	0.0%	0
68	0.0%	0	0.0%	0
69	0.0%	0	0.0%	0
70	0.0%	0	0.0%	0
71	0.0%	0	0.0%	0
72	0.0%	0	0.0%	0
73	0.0%	0	0.0%	0
74	0.0%	0	0.0%	0
75	0.0%	0	0.0%	0
76	0.0%	0	0.0%	0
77	0.0%	0	0.0%	0
78	0.0%	0	0.0%	0
79	0.0%	0	0.0%	0
80	0.0%	0	0.0%	0
81	0.0%	0	0.0%	0
82	0.0%	0	0.0%	0
83	0.0%	0	0.0%	0
84	0.0%	0	0.0%	0
85	0.0%	0	0.0%	0
86	0.0%	0	0.0%	0
87	0.0%	0	0.0%	0
88	0.0%	0	0.0%	0
89	0.0%	0	0.0%	0
90	0.0%	0	0.0%	0
91	0.0%	0	0.0%	0
92	0.0%	0	0.0%	0
93	0.0%	0	0.0%	0
94	0.0%	0	0.0%	0
95	0.0%	0	0.0%	0
96	0.0%	0	0.0%	0
97	0.0%	0	0.0%	0
98	0.0%	0	0.0%	0
99	0.0%	0	0.0%	0
100	0.0%	0	0.0%	0



Ім'я користувача:
Kafedra TMIT KhNU

Дата перевірки:
10.06.2023 14:00:50 EEST

Дата звіту:
10.06.2023 14:03:04 EEST

ID перевірки:
1015541947

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005657

Назва документа: Слободянюк TP2c-20-1

Кількість сторінок: 73 Кількість слів: 11989 Кількість символів: 91974 Розмір файлу: 1.29 MB ID файлу: 1015194703

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

6.02%
Схожість

Найбільша схожість: 4.4% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015106635)

3.01% Джерела з Інтернету 127 Сторінка 75

4.85% Джерела з Бібліотеки 34 Сторінка 76

0.25% Цитат

Цитати 2 Сторінка 77

Не знайдено жодних посилань

0%
Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 25

Підозріле форматування 4 сторінки

РІШЕННЯ КАФЕДРИ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: **Вимірювач параметрів антенних систем**

Автор: **Слободянюк Андрій Сергійович**

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Освітня програма: **Телекомунікації та радіотехніка**

Науковий керівник: **к.т.н., доц. Пивовар Олег Сергійович**

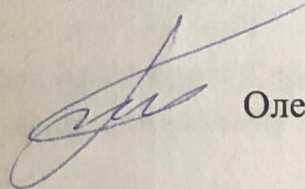
Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження: Запозичення у розмірі 6,02 % (Unicheck) та 0% (Anti-Plagiarism) виявлені в роботі є випадковими і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.

10.06.2023р.

Відповідальний за перевірку Unicheck

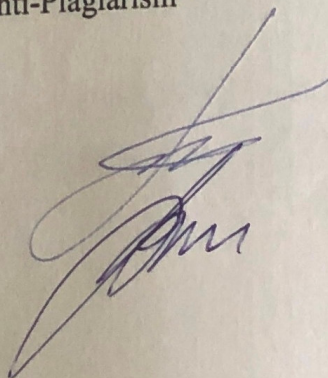


Олег ПИВОВАР

Відповідальний за перевірку Anti-Plagiarism

Віктор СТЕЦЮК

Керівник роботи:



Олег ПИВОВАР

Зав. каф. ТМІТ

Сергій ПІДЧЕНКО

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційний проект студента групи ТР2с-20-1

Слободянюка Андрія Сергійовича

«Вимірювач параметрів антенних систем»

Вимірювач параметрів антенної системи є потужним інструментом для аналізу та оцінки характеристик антен, саме тому даний проект особливо актуальний та відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Кваліфікаційний проект бакалавра займає обсяг 72 сторінки та складається із основного тексту (60 сторінок) та графічної частини 2 креслення та 9 плакатів формату А1.

Для реалізації проекту були використані сучасні технології та компоненти, зокрема інтегральні мікроконтролер, DDS генератор, LCD індикатор тощо. Розроблено апаратну частину пристрою. Представлено структурну та принципову схему вимірювача. Розроблений вимірювач має потенціал для подальшого розширення та вдосконалення, зокрема шляхом додавання нових функціональних можливостей та підтримки більш широкого діапазону частот та імпедансів антенних систем.

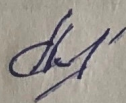
У процесі розробки дипломного проекту було звернуто увагу на забезпечення мінімізації вартості та забезпечення стабільності роботи. Оптимальний вибір електронних компонентів, ретельна настройка та калібрування пристрою дозволяють досягти точності та надійності вимірювань, необхідних для отримання достовірних результатів, що підтверджується схемо технічними розрахунками та розрахунками надійності.

Також в проекті були виявлені певні недоліки, що торкались деяких обсягів загального неконкретизованого опису фактів, що давно відомих, та не потребують роз'яснення.

В цілому, кваліфікаційний проект Слободянюка Андрія Сергійовича «Вимірювач параметрів антенних систем» виконано на високому технічному рівні та може бути рекомендовано до провадження.

Даний кваліфікаційний проект бакалавра заслуговує оцінку «добре».

Рецензент:



С.Т.Н., доцент катед. АКТ та Р
Коліцька І.О.

Завідувачу кафедри
телекомунікацій, медійних та
інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Підченко С.К.
здобувача вищої освіти
студента 3 курсу, гр. ТР2с-20-1
Слободянюк Андрій Сергійович

ЗАЯВА

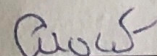
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційного проекту до захисту та застосування заходів дисциплінарної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

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

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

06.06.23

дата



Андрій СЛОБОДЯНЮК

підпис

Тема кваліфікаційного проєкту бакалавра: « Вимірювач параметрів антенних систем»

Автор проєкту: ст. гр ТР2с-20-1 Слободянюк Андрій
Сергійович .

Керівник проєкту:

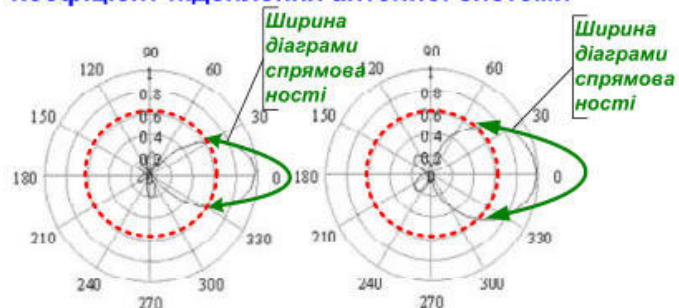
канд. техн. наук, доц. Пивовар Олег Сергійович.

**Пояснювальна записка: 72 сторінок, 23 рисунків, 2
таблиці, 32 джерела посилання.
Графічна частина: 2 креслення, 9 презентаційних слайдів.**

**Метою кваліфікаційного проєкту є розробка частини
конструкторської документації, необхідної для
подальшого виготовлення, аналіз прийнятих технічних
рішень за допомогою підтверджувальних розрахунків.**

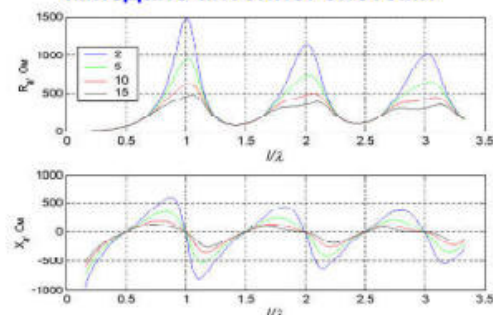
ПАРАМЕТРИ АНТЕННИХ СИСТЕМ

Коефіцієнт підсилення антенної системи



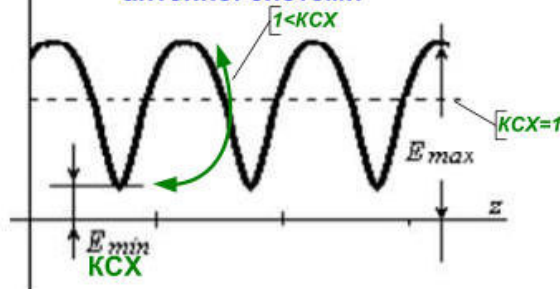
Фіг.2.1 – Діаграми спрямованості у вертикальній та горизонтальній площинах

Імпеданс антенної системи



Фіг.2.2 – Залежність вхідного активного та реактивного опору від частоти (довжини фідера)

Коефіцієнт стоячої хвилі фідера антенної системи



Фіг.2.3 – Розподіл амплітуд напруги ВЧ сигналу вздовж фідера

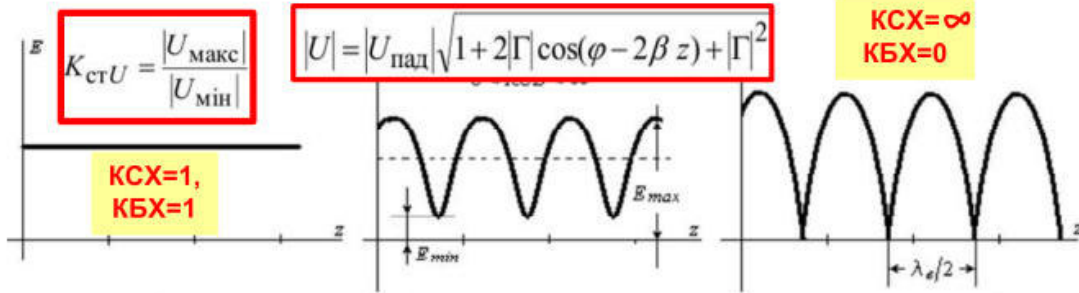
Також параметрами антенних систем є:

1. Коефіцієнт корисної дії.
2. Коефіцієнт відбиття.
3. Коефіцієнт біжучої хвилі.
4. Максимальна потужність.
5. Смуга пропускання.
6. Резонансні частоти.
8. Поляризація.
9. Конструкторсько-технологічні характеристики

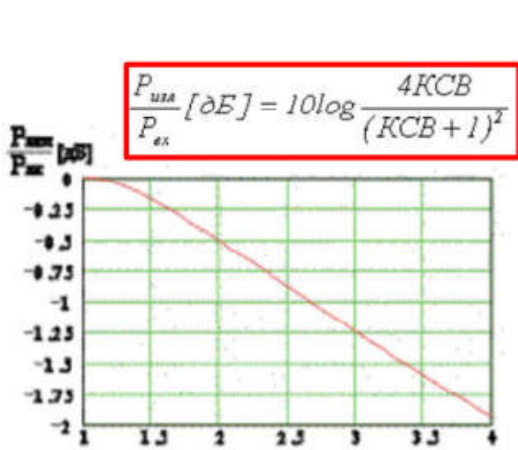
В умовах підготовки серійного виробництва контролюють діаграму спрямованості, коефіцієнт підсилення та КСВ. Після виготовлення 100% контроль КСХ.

ВАЖЛИВІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ КСХ

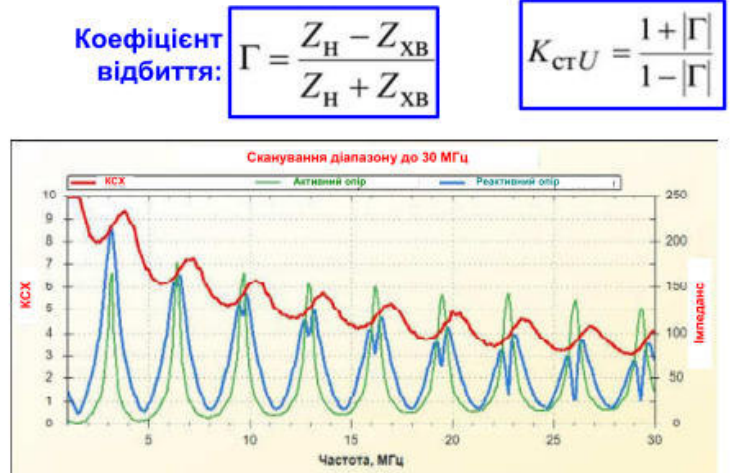
3



Фіг.3.1 – Розподіл амплітуд напруги вздовж лінії за умови різних КСХ



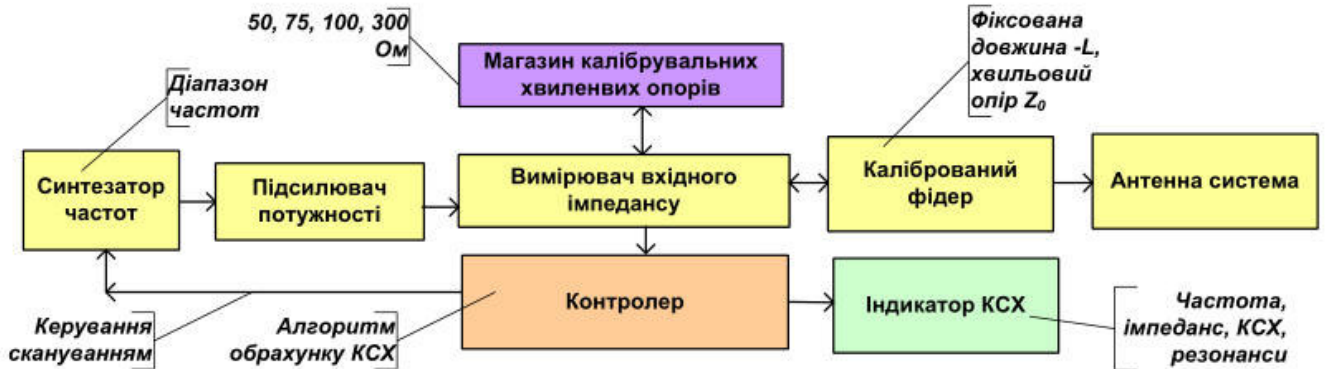
Фіг.3.2 – Залежність випромінюваної потужності антени від КСХ



Фіг.3.3 – Резонансний характер частотної залежності КСХ

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ КСХ

4



Фіг.4.1 – Структурна схема однозондового вимірювача КСХ

Аналітичні співвідношення для отримання КСХ:

$$Z_{IN} = Z_0 \frac{K_{CTU} + 1 + (K_{CTU} - 1) \exp\{j2\Theta\}}{K_{CTU} + 1 - (K_{CTU} - 1) \exp\{j2\Theta\}}; \Theta = \frac{2\pi L}{L}$$

Довжина хвилі в калібрувальному фідері

$$\frac{Z}{Z_0} = \frac{K_{CTU} - j(K_{CTU}^2 - 1) \sin \theta \cos \theta}{K_{CTU}^2 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta}$$

Електрична довжина лінії

Алгоритм методу



Цикл вимірювання та обрахунку не більше 0,1с, що дозволяє працювати в режимі реального часу із пошуком резонансів

ПРОМИСЛОВІ АНТЕННІ АНАЛІЗАТОРИ (АНАЛОГИ)

5

ОДНОЗОНДОВІ

Аналоговий



Фіг.5.1 – Антенний аналізатор RS-402

ПРОХІДНІ

Аналоговий



Фіг.5.2 - Антенний аналізатор Nissei RS-40



Цифровий

Фіг.5.3 - Антенний аналізатор RigExpert AA-230 Zoom

Точність до 0,2%, висока вартість



Цифро-аналоговий

Фіг.5.4 - Антенний аналізатор AMAL YY21C

Точність до 2%, середня вартість

ТТХ ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ АНТЕННИХ СИСТЕМ

6



Основні електричні ТТХ:

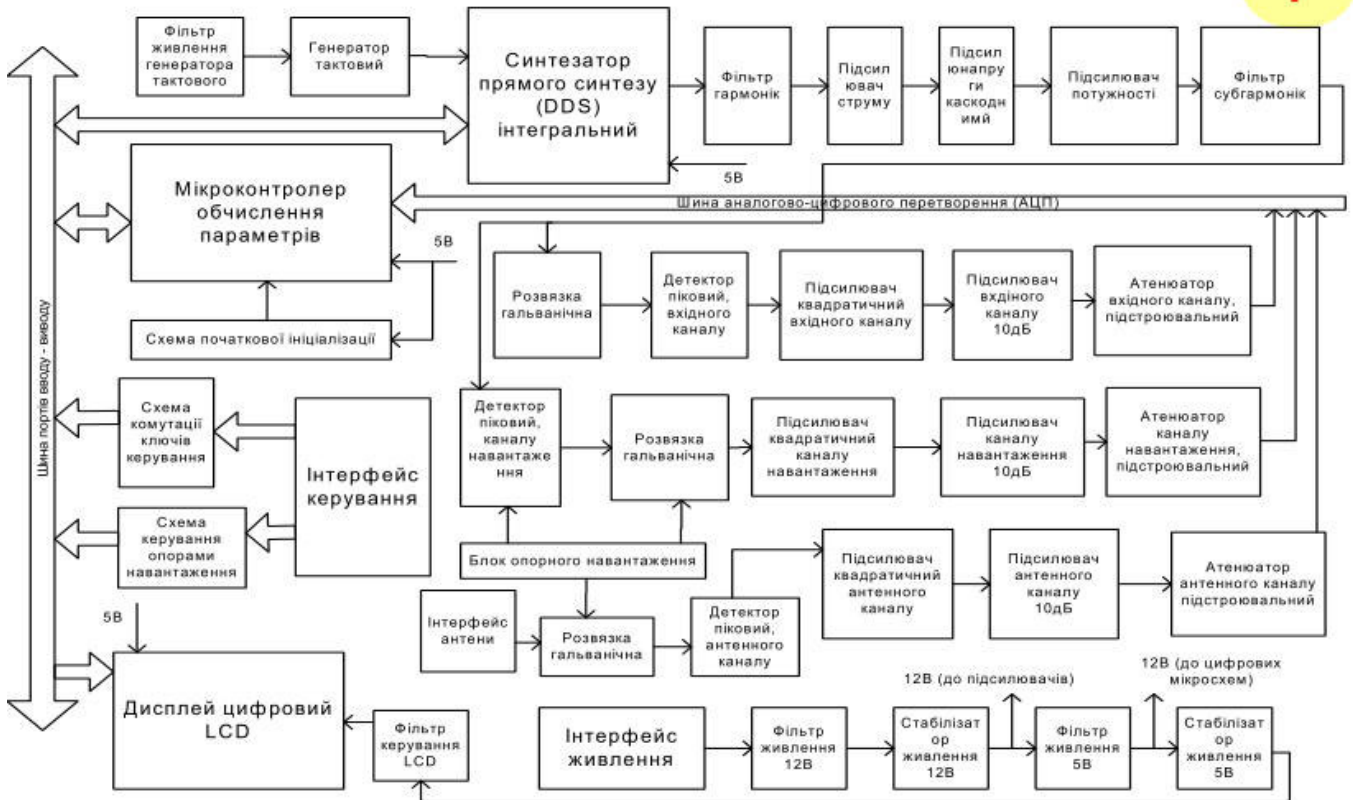
1. Точність вимірювання параметрів для каліброваного навантаження 50 Ом - 1,5%.
2. Точність вимірювання параметрів для каліброваного навантаження 300 Ом - 4%.
3. Діапазон робочих частот - 3..300 МГц.
4. Тривалість циклу вимірювання - не більше 40мс.
5. Тип індикатора - LCD двохрядковий із підсвічуванням.
6. Напруга первинного живлення 18...24 (не стабілізована).
7. Напруга вторинного живлення +5В, +12В (стабілізована).
8. Максимальний струм споживання 0,3А.

Інші ТТХ:

1. Діапазон робочих температур 0..+45 градусів Цельсія.
2. Середній час напрацювання на відмову (не менше) 3000 год.
3. Середній час використання на добу - 1год.
4. Габаритні розміри (не більше) 130x100x40см .
5. Маса виробу (не більше) 1кг.

СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУКТУРНА

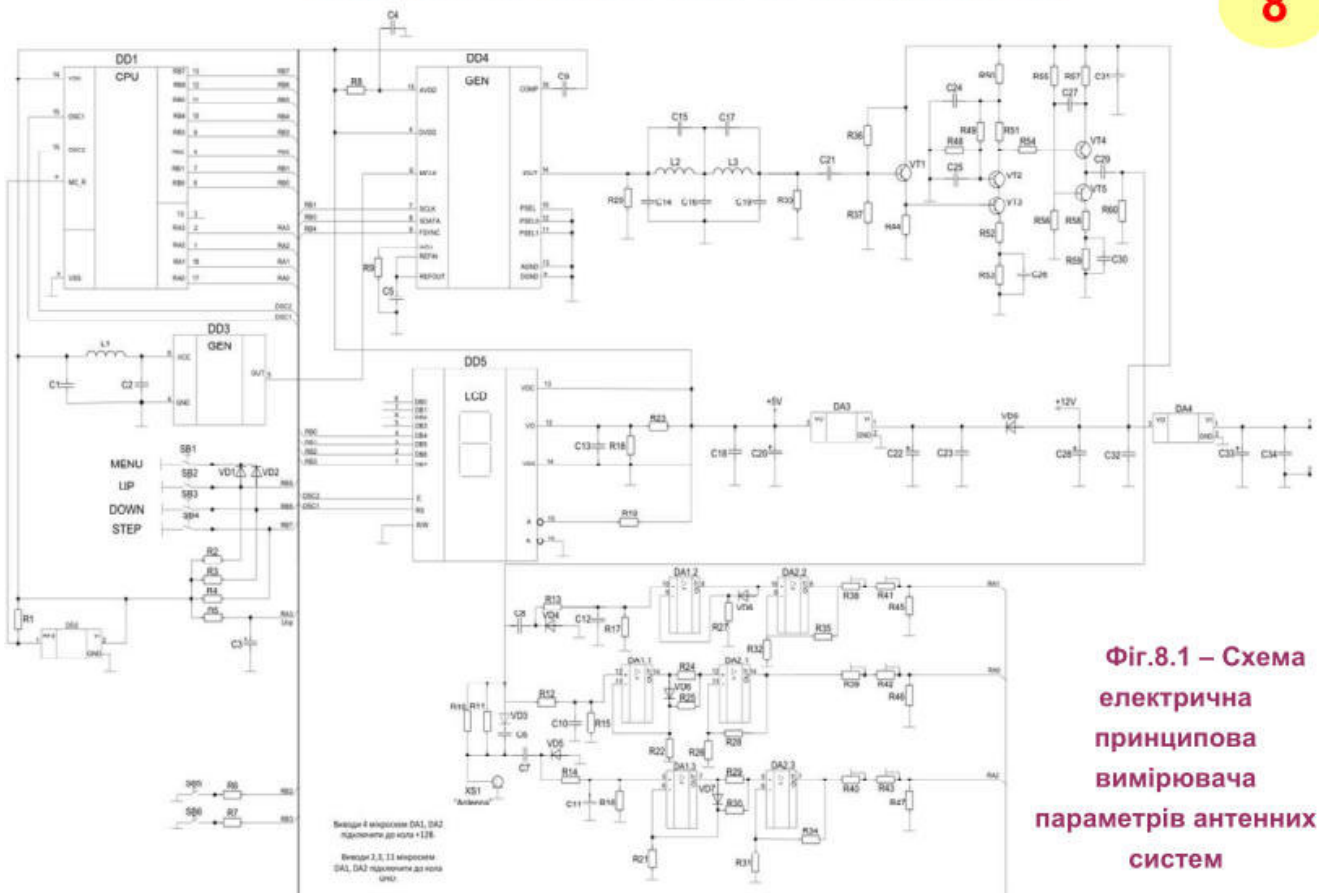
7



Фіг.7.1 – Схема електрична структурна вимірювача параметрів антенних систем

СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

8

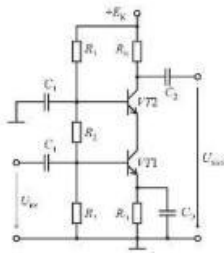


Фіг.8.1 – Схема електрична принципова вимірювача параметрів антенних систем

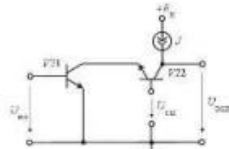
ТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ

9

Таб. 9.1 – Калькуляція інтенсивності відмов



Фіг. 9.1 – Типова схема касодного підсилювача



Фіг. 9.2 – Еквівалентна схема касодного підсилювача

$$R33 \ll R36 \parallel R37 \parallel (\beta \times R44);$$

$$U_{E1} = (0,5U_{R37} - U_{BE1}) \approx 0,5U_{\text{ж}};$$

$$R44 < 1k\Omega$$

$$R36 + R37 = U_{\text{ж}} / (10I_{E1})$$

$$\frac{U_{\text{ж}}}{2R44} \leq I_{K\text{max}};$$

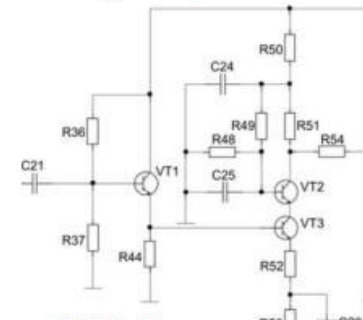
$$\frac{12}{2 \times 0,47} \approx 13 \text{ mA} \leq 40 \text{ mA};$$

$$\frac{1}{R50C24} \ll f_{\text{min}};$$

$$U_{R50} \ll U_{\text{ж}};$$

$$I_{K2} = I_{K3} = \frac{U_{\text{ж}}}{2(R50 + R51 + R52 + R53)} \leq I_{\text{max}}$$

$$R50 + R51 + R52 + R53 = \frac{U_{\text{ж}}}{2(I_{\text{max}}/2)} = \frac{U_{\text{ж}}}{I_{\text{max}}}$$



Фіг. 9.3 – Схема касодного підсилювача вимірювача параметрів антен

$$K_y = \frac{R51}{R52}; \quad K_r = \frac{R50 + R51}{R52 + R53}$$

$$C24 \geq 10 \frac{1}{R50 \times f_{\text{min}}} =$$

$$= \frac{10}{60 \times 3 \times 10^6} \approx 60 \text{ (нФ)}$$

$$(R50 + R51 + R52 + R53) = 600 \text{ (Ом)};$$

$$(R50 + R53) = 200 \text{ (Ом)}; (R51 + R52) = 400 \text{ (Ом)}$$

$$R51 = K_y \times R52; R51 = 5 \times (400 - R51)$$

$$R51 \approx 333 \text{ (Ом)}; R52 \approx 67 \text{ (Ом)}$$

№	Назва елемента	Кількість	Ін-ність відмов компонент а $\lambda_0 10^{-6}$	Коефіцієнт локального навант. $\alpha_i (T, I, C)$	Відм. групи комп. 1/год
1	Конденсатор керамічний	26	0,1	0,2	0,68
2	Конденсатор електроліт	8	1	0,6	0,6
3	Мікросхема	9	0,01	0,5	0,045
4	Кнопка керування	6	1,4	0,5	4,2
5	Дросель електроживлення	3	0,3	0,5	0,45
6	Резистор	60	0,03	0,3	0,54
7	Діод високочастотний	8	1,5	0,5	6,75
8	Діод силовий	1	2	0,5	1
9	Транзистор	5	1,8	0,5	4,5
10	Точки пайки	369	0,01	1	3,69
11	Плата	2	2	1	4
12	Роз'єкти	4	5	1	20
13	Інші	-	-	5	5
14	Всього				51,455

1. Опосереднений термін роботи пристрою до появи відмови із урахуванням умов експлуатації - 9000год.

2. Ймовірність появи відмови за 3000год напрацювання – менше 1%.

ВИСНОВКИ

10

1. Процес розробки вимірювача параметрів антенних систем передбачав вивчення теоретичних основ вимірювання параметрів антен, а також аналіз наявних методів вимірювання. На основі цього аналізу були визначені вимоги до пристрою, такі як висока точність, широкий діапазон вимірювання, зручність в експлуатації та можливість збереження та обробки даних. На основі цього аналізу були визначені вимоги до пристрою, такі як висока точність, широкий діапазон вимірювання, зручність в експлуатації та можливість збереження та обробки даних.

2. Для реалізації проекту були використані сучасні технології та компоненти, зокрема інтегральні мікроконтролер, DDS генератор, LCD індикатор та інші електронні компоненти. Розроблено апаратну частину пристрою, що включає схему вимірювача, блок живлення, внутрішні цифрові інтерфейси, аналогову частину обробки цифрової інформації. Представлено структурну та принципову схему вимірювача.

3. Розроблений пристрій має потенціал для подальшого розширення та вдосконалення, зокрема шляхом додавання нових функціональних можливостей та підтримки більш широкого діапазону частот та імпедансів антенних систем. Розроблений вимірювач параметрів антенних систем може бути використаний в різних сферах, включаючи наукові дослідження, промислові застосування та радіоаматорські дослідження.

4. У процесі розробки дипломного проекту було звернуто увагу на забезпечення мінімізації вартості та забезпечення стабільності роботи. Оптимальний вибір електронних компонентів, ретельна настройка та калібрування пристрою дозволяють досягти точності та надійності вимірювань, необхідних для отримання достовірних результатів, що підтверджується схемо технічними розрахунками та розрахунками надійності.