

**КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ**

Бакалавр

Освітній рівень

Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв

Назва теми

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Телекомунікації та радіотехніка»

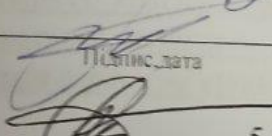
Шифр КПТР 20061.01.04.00ПЗ

Виконав: здобувач 3 курсу, група TP2c-20-1

  
Підпис

Д.В. Терлецький  
Ініціали, прізвище

Керівник:

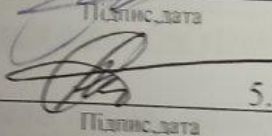
  
Підпис

1.06.23

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

Нормоконтроль:

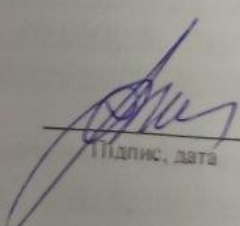
  
Підпис

5.06.23

В.І. Стешок

Ініціали, прізвище

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

  
Підпис

дата

С.К. Підченко  
Ініціали, прізвище

8 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

3.03.23р  
Підпис, дата

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ**

Терлецькому Дмитру Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові здобувача

1 Тема проєкту Флуктуаційний вимірювач входного імпедансу радіотехнічних пристроїв

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 короткої опис її функціонування та ескіз передбачуваного конструкторського виконання. Напруга живлення пристрою – 12В. Діапазон частот – VHF або UHF. Точність вимірювання не більше 5%. Мінімізація вартості виробу. Загальна маса – до 2кг.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)  
Техніко-економічне обґрунтування реалізації вимірювань через використання флуктуаційних сигналів як тестових. 2. Аналіз принципів роботи пристроїв, що застосовують методи, представлені в короткій анотації роботи виробу. 3. Розробка інтерфейсу взаємодії із кінцевими вимірювальними приладами. 4. Схемотехнічні та конструкторсько-технологічні розрахунки.

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

1. Схеми електрична структурна флуктуаційного вимірювача. 2. Схема електрична принципова пристрою із переліком елементів. 3. Демонстраційні плакати та технічні рисунки.

## 6 Консультанти розділів кваліфікаційного проєкту

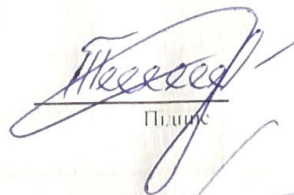
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання 27.02.2023

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

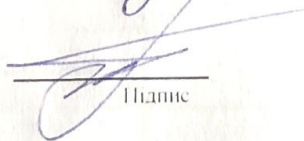
№ п/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Вибір тематики проєкту	до 1.03.23	обрано
2	Аналіз початкових даних проєкту	до 5.03.23	виконано
3	Написання вступу та 1 розділу	до 15.03.23	виконано
4	Написання 2 розділу	до 15.04.23	виконано
5	Оформлення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

Здобувач



Д.В. Терлецький  
Ініціал, прізвище

Керівник проєкту



О.С. Пивовар  
Ініціал, прізвище

№рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ екземпл.	Примітка
1						
2			Документація загальна			
3						
4	A4		Завдання на дипломний			
5			проект	1		
6	A4		Календарний план	1		
7	A4		Реферат (укр./англ.)	2		
8	A4	КПТР20061.01.04.00ПЗ	Пояснювальна записка	65		
9	A4	КПТР20061.01.04.00ПЕЗ	Перелік елементів	3		
10						
11	A4		Копії креслень	2		із форм. А2
12	A4		Копії довідок антиплагіату	1		
13	A4		Рішення каф. про допуск	1		
14	A4		Копія відгуку рецензента	1		
15	A4		Копія відгуку керівника	1		
16	A4		Копія заяви про академічну			
17			добросесність	1		
18						
19			Документація графічна			
20						
21	A2	КПТР20061.01.04.00Е1	Схема електрична структурна	1		
22						
23	A2	КПТР20061.01.04.00Е3	Схема електрична принципова	1		
24						
25			Демонстраційні плакати	8		
26						
27						
				<b>КПТР20061.01.04.00ВП</b>		
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		
Розробив		Терлецький		06.06.23	Літ.	Аркуш
Перевірив		Пивовар		06.06.23	у	Аркушів
Н.контр.		Стецюк		08.06.23		1
Затверд.		Підченко		09.06.23		1
					<b>ХНУ, ФІТ</b>	
					Відомість проекту	

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проєкту:

«Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв».

Автор роботи: Терлецький Дмитро Володимирович.

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

Пояснювальна записка: 65сторінок, 16 рисунків, 2 таблиці, 30 джерел.

Графічна частина: 2 креслення, 8 презентаційних слайдів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ІМПЕДАНС, МЕТОД 3-Х ВОЛЬТМЕТРІВ, ГЕНРАТОР ФЛУКТУАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ, ВОЛЬТМЕТР ЗМІННОГО СТРУМУ.

*Метою кваліфікаційного проєкту є створення частини майбутнього комплексу конструкторсько-технологічної документації на виріб із оформленням відповідних креслень, розробка методів та методик вимірювання, дослідження похибок під час ручного та автоматизованого вимірювання, встановлення вимог до вимірювального устаткування комплексу за умови мінімізації витрат та спрощення схемотехнічної реалізації такого елемента у складі комплексу.*

Проєкт присвячений розгляду структурної та схемотехнічної побудови вимірювача імпедансу вхідних кіл приймачів, фільтрів, змішувачів, підсилювачів, антен, тощо в діапазоні високих та ультрависоких частот. Запропоновано модифікацію методу 3-х вольтметрів що дозволила застосувати метод для слабких сигналів із застосуванням вимірювання низькочастотним вольтметром. Розроблена конструкторська документація структурної та електричної схеми вимірювача імпедансу. Проведено окремі електричні, технічні та метрологічні розрахунки для підтвердження працездатності прийнятих схемотехнічних рішень.

Д.В. Терлецький

Ініціали, прізвище здобувача

 06.06.23  
Підпис, дата

## ANNOTATION

The theme of the qualification project:

«Input impedance fluctuation meter in radio engineering devices»

Written by Terletsky Dmytro Volodymyrovych

Academic advisor: Pyvovar Oleg Serhiyovych PhD, Associate Professor.

The total volume of the paper is 65 pages; it contains 16 figures, 2 tables, 30 bibliographic references.

Graphic part: 2 graphic schemes, 8 presentation slides.

KEYWORDS: IMPEDANCE, 3-VOLTMETERS METHOD, FLUCTUATION SIGNAL GENERATOR, AC VOLTMETER

The purpose of the qualification project is to create a part of the future set of design and technological documentation for the product with the relevant drawings, development of measurement methods and techniques, research of errors during manual and automated measurement, the establishment of requirements for the measuring equipment of the complex under the condition of minimizing costs and simplifying the schematic implementation of such an element as part of the complex.

The project is devoted to the consideration of the structural and circuit construction of the impedance meter of the input circles of receivers, filters, mixers, amplifiers, antennas, etc. in the range of high and ultrahigh frequencies. A modification of the 3-voltmeter method was proposed, which made it possible to apply the method for weak signals using a low-frequency voltmeter measurement.

The design documentation of the structural and electrical scheme of the impedance meter was developed. Separate electrical, technical, and metrological calculations were carried out to confirm the efficiency of the adopted circuit and technical decisions.

Dmytro TERLETSKY

Name

 06.06.23  
Sign, Date

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП.....	9
1 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ.....	12
1.1 Вимірювальна інформація пристрою .....	12
1.2 Метод та методика вимірювання імпедансу .....	13
1.2.1 Метод вимірювання.....	13
1.2.2 Методика автоматизованого вимірювання.....	16
1.3 Прилад для вимірювання імпедансу .....	18
1.3.1 Схемотехнічна модель вимірювання імпедансу .....	18
1.3.2 Схемотехніка вимірювача.....	21
1.3.3 Калібрування пристрою вимірювання .....	22
1.4 Можливості використання флуктуаційних генераторів у вимірювачі вхідного імпедансу.....	23
2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ .....	27
2.1 Функціональні аналоги вимірювання імпедансу .....	27
2.1.1 Загальна характеристика аналогів .....	27
2.1.2 Аналізатор мережі (Network Analyzer).....	27
2.1.3 Лінійний аналізатор часового перетворення (Time – Domain Reflectometer).....	29
2.1.4 Векторний аналізатор мережі (Vector Network Analyzer) .....	31
2.1.5 Аналізатор спектра (Spectrum Analyzer) .....	33
2.2 Розробка технічного завдання на вироб.....	35

КПТР20061.01.04.00ПЗ									
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів	
								6	65
Розробив		Терлецький	<i>[Signature]</i>	06.06.23		ХНУ, ФІТ			
Перевірив		Пивовар	<i>[Signature]</i>	06.06.23					
Н. контр.		Стецюк	<i>[Signature]</i>	06.06.23					
Затв.		Підченко	<i>[Signature]</i>	06.06.23					

2.2.1	Загальна інформація про вимірювальний пристрій.....	35
2.2.2	Склад пристрою вимірювання, що розробляється.....	35
2.2.3	Технічні характеристики вимірювача імпедансу.....	36
2.2.4	Додаткові технічні умови .....	38
2.3	Принцип роботи та структурна схема.....	39
2.3.1	Принцип робот вимірювача.....	39
2.3.2	Схема електрична структурна.....	41
3	РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ.....	44
3.1	Принципова схема вимірювача.....	44
3.1.1	Особливості схемотехніки вимірювача.....	44
3.1.2	Особливості конструкції вимірювача.....	46
3.2	Методика проведення вимірювань та обробка результатів .....	47
3.2.1	Методика вимірювань .....	47
3.2.2	Розрахунки імпедансу за вимірюваннями .....	49
3.3	Розробка окремих модулів .....	50
3.3.1	Вихідний каскад підсилювача струму.....	50
3.3.2	Попередній розрахунок надійності.....	53
3.4	Методологія вимірювань .....	56
3.4.1	Етапи методології вимірювань.....	56
3.4.2	Похибки вимірювань імпедансу .....	57
	ВИСНОВКИ .....	60
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	62

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АМ – амплітудна модуляція  
АПР – аналоговий пристрій  
БГШ – білий гаусівський шум  
БЖ – блок живлення  
ВЧ – високі частоти (3-30МГц)  
ВПХ – випадкова похибка  
ВСП – відносна систематична похибка  
ГСС – генератор стандартних сигналів  
ГШ – флуктуаційний генератор (генератор білого шуму)  
ДВЧ – дуже високі частоти (30-300МГц)  
ДТР – диференційний трансформатор  
ЕП – емітерний повторювач  
ККД – коефіцієнт корисної дії  
КБХ – коефіцієнт біжучої хвилі  
КСХ – коефіцієнт стоячої хвилі  
ОБС – модуляція із одною бічною смугою  
СПХ – стандартна похибка  
СТР – симетруючий трансформатор  
ЦПР – пристрій цифрової обробки  
FVA – флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу  
VNA – векторний аналізатор мереж  
NA –аналізатор мереж  
TDR - аналізатор мереж в часовій зоні, динамічний рефлектометр  
SNA – спектральний аналізатор мереж, спектроаналізатор

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ВСТУП

Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу (FVA) –пристрій, який використовується для вимірювання вхідного імпедансу електронних пристроїв, таких як високочастотні підсилювачі, фільтри, антени, перетворювачі, тощо [1-6]. Флуктуаційний метод полягає в тому, що зондуєчий сигнал випадково змінюється у часі, тобто є широкосмуговим, а FVA використовує широкосмуговість, щоб визначити опосереднене значення вхідного імпедансу в заданому широкому діапазоні частот.

Наукові дослідження, пов'язані з FVA, охоплюють широкий спектр тематик для покращення тактико-технічних, а також конструкторських параметрів, включаючи покращення достовірності вимірювань, розробку нових технологій, розширення галузей використання, тощо [7-12].

Одним з ранніх досліджень на цю тему було дослідження, опубліковане в 1986 році, де було виявлено, що FVA може бути використаний для вимірювання імпедансу з високою точністю. Дослідження також показало, що FVA може бути використаний для вимірювання вхідного імпедансу в широкосмугових та вузькосмугових підсилювачах із високою точністю [11-13].

Інше дослідження, проведене в 1998 році, розглядало використання FVA для вимірювання імпедансу високочастотних фільтрів. Дослідження показало, що FVA може бути використаний для вимірювання вхідного імпедансу фільтрів з точністю близько 0,1%.

Одне з більш сучасних досліджень, опублікованих в 2017 році, досліджувало застосування методів та методик FVA під час вимірювання вхідного імпедансу біомедичних пристроїв. Дослідження показало, що FVA може бути використаний для вимірювання вхідного імпедансу біомедичних пристроїв з високою точністю із збереженням норм безпеки для пацієнта [11].

У сучасних публікаціях існує також дослідження використання нових конструктивних матеріалів і перспективних технологій для поліпшення

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

-  
характеристик FVA. Наприклад, використання наноматеріалів у FVA може сприяти зниженню шуму і покращенню чутливості пристрою.

Узагалі, комплекс науково-технічної літератури, пов'язаний із флюктуаційним вимірювачем вхідного імпедансу, підкреслює наявність постійного прогресу у розвитку та застосуванні такого методу для точного вимірювання вхідного імпедансу в різних галузях, включаючи електроніку, комунікації та біомедицину.

Радіотехнічні пристрої в сучасному світі займають важливе місце в безперервному розвитку технологій. При проектуванні та вдосконаленні таких пристроїв одним із ключових аспектів є вимірювання вхідного імпедансу, оскільки він безпосередньо впливає на ефективність та якість роботи пристроїв. Однак, наразі існуючі методи вимірювання вхідного імпедансу мають свої обмеження і недоліки, що обмежує їх широке використання. У зв'язку з цим, розвиток нових методів і пристроїв для точного та ефективного вимірювання вхідного імпедансу стає актуальною проблемою для радіотехнічної галузі [14].

В сучасному світі радіотехнічні пристрої знаходяться в центрі розвитку технологій та займають ключове місце в безперервному покращенні комунікаційних, безпекових та інших систем. Вхідний імпеданс є важливим параметром цих пристроїв, оскільки він безпосередньо впливає на ефективність їх роботи та забезпечення якості сигналу. Розробка нових методів та пристроїв для вимірювання вхідного імпедансу стає важливим завданням для забезпечення високої точності та надійності радіотехнічних пристроїв [15,16].

*Основною метою* дипломного проєкту є створення частини майбутнього комплексу конструкторсько-технологічної документації на виріб із оформленням відповідних креслень, розробка методів та методик вимірювання, дослідження похибок під час ручного та автоматизованого вимірювання, встановлення вимог до вимірювального устаткування комплексу за умови мінімізації витрат та спрощення схмотехнічної реалізації такого елемента у складі комплексу.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1. Провести теоретичний огляд: розглянути поняття вхідного імпедансу та його роль у радіотехнічних пристроях. Вивчити флуктаційний метод вимірювання і його принципи. Оглянути різні технології виготовлення флуктаційних вимірювачів.

2. Розробити флуктаційний вимірювач вхідного імпедансу: здійснити вибір необхідних елементів та параметрів для створення вимірювача. Описати схему вимірювача та його принципи роботи. Створити частину схемотехнічної документації.

3. Розробити та випробувати засоби керування та відображення даних: розробити пристрій керування вимірювачем та засоби відображення результатів вимірювань. Перевірити їх працездатність та ефективність.

4. Підбити підсумки дослідження та сформулювати висновки: описати отримані результати вимірювань вхідного імпедансу та їх аналіз.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

# 1 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ

## 1.1 Вимірювальна інформація пристрою

Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв – це радіотехнічний вимірювальний пристрій, який використовується для вимірювання значення імпедансу (комплексного електричного опору) вхідного кола радіотехнічного пристрою за допомогою шумоподібних сигналів. Він дозволяє визначити, як пристрій реагує на вхідний сигнал у залежності від значення його частоти.

Основна інформація, яку принципово можна отримати за допомогою флуктуаційного вимірювача вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв, включає наступне [1,2]:

1. Реакція на зміну частоти: флуктуаційний вимірювач дозволяє визначити, як змінюється вхідний імпеданс пристрою в залежності від значення несівної частоти вхідного сигналу в заданому діапазоні смуги каналу. Це дозволяє інженерам аналізувати, як пристрій працює у різних діапазонах частот та із різними типами модуляції несівної частоти.

2. Комплексний вхідний імпеданс: флуктуаційний вимірювач може надати інформацію про значення комплексного опору вимірювальної схеми незалежно від її структури. Комплексний опір складається з активної (опору) та реактивної (індуктивності або ємності) складових. Це важливо побудови кіл узгодження вхідного сигналу з іншими пристроями у системі обробки радіотехнічних сигналів.

3. Резонансні частоти: флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу допомагає виявити ряд резонансних частот пристрою по входу, тобто частоти, при яких вхідний імпеданс досягає свого мінімального або максимального

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

значення. Це особливо корисно для налагодження та оптимізації роботи вузькосмугових радіотехнічних пристроїв, особливо, антен.

4. Вплив навантаження: флукуційний вимірювач може допомогти встановити, як змінюється вхідний імпеданс пристрою під час підключення різних типів навантажень. Це дозволяє встановити найбільш оптимальні умови підключення пристрою до зовнішнього обладнання.

## 1.2 Метод та методика вимірювання імпедансу

### 1.2.1 Метод вимірювання

Метод, що використовується в даному приладі ґрунтується на порівнянні значень відомого та невідомого імпедансів. Метод розроблений для неавтоматизованого визначення вхідного імпедансу, хоча в багатоканальних вимірювачах із мікроконтролерною цифровою обробкою можливе автоматичне визначення пошукуваних параметрів [3,4].

Прилад вимірювання за цим методом є подільником напруг, одне плече яке містить, наприклад, резистор і конденсатор з відомими параметрами, а параметри складових елементів іншого плеча – навантаження, наприклад, радіочастотного підсилювача, невідомі наперед.

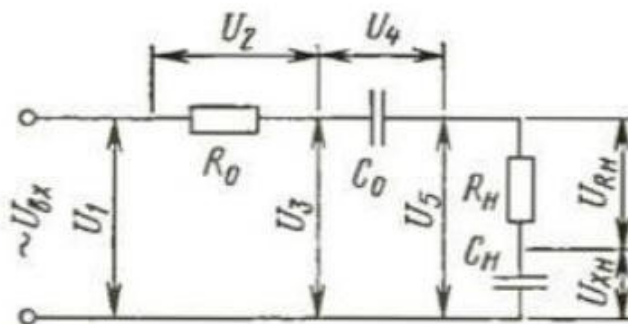


Рисунок 1 – Еквівалентна схема подільника напруг векторного вимірювача імпедансу

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Подільник живиться від джерела гармонічного сигналу частотою  $f$ . За допомогою прецизійних діодних випрямлячів з ємнісними фільтрами, підключених до елементів подільника, проводиться вимірювання ряду напруг, в різних точках схеми (рис.1). Припускаючи, що передавальна характеристика випрямлячів лінійна в досить широкому діапазоні напруг, можливо виміряти їх значення вольтметром змінного струму та надалі побудувати векторну діаграму напруг.

Еквівалентна схема дільника наведена на рис. 1, де  $RoCo$  – елементи із відомими параметрами;  $RnСн$  – елементи навантаження подільника, параметри яких потрібно визначити. На рисунку також зазначено точки схеми де вимірюються амплітудні або ефективні напруги. Ці векторні діаграми напруг, повна та частинна, наведені на рис. 2:

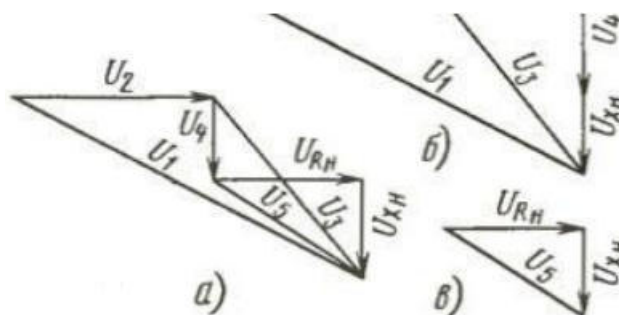


Рисунок 2 – Векторні діаграми напруг подільника під час вимірювання імпедансу : а) повна; б) частинна; ; б) кінцева

Ці діаграми (рис.2) можна описати такими рівняннями:

$$U_1^2 = (U_2 + U_{RH})^2 + (U_4 + U_{XH})^2; \quad (1)$$

$$U_3^2 = U_{RH}^2 + (U_4 + U_{XH})^2; \quad (2)$$

$$U_5^2 = U_{RH}^2 + U_{XH}^2. \quad (3)$$

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

З рівнянь (2) та (3) отримуємо:

$$U_{XН} = \frac{U_3^2 - U_4^2 - U_5^2}{2U_4} \quad (4)$$

Еквівалентна схема приладу після його спрощення та векторна діаграма для роботи з навантаженням, що містить ємнісну складову, наведено на рис. 3 та 4 відповідно.

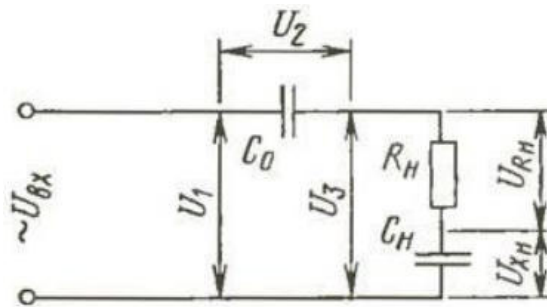


Рисунок 3 – Еквівалентна спрощена схема вимірювання імпедансу приладу

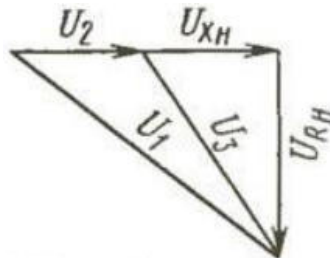


Рисунок 4 – Векторна діаграма вимірювання для роботи з навантаженням

Таким чином, два останні рівняння необхідні і цілком достатні для обчислення шуканих величин, а перше з них елемент  $R_0$  є надмірними. Для однозначного вирішення завдання вимірювання імпедансу необхідно лише, щоб відомий елемент мав зафіксований реактивний опір, що дозволить визначити знак реактивності невідомого імпедансу.

## 1.2.2 Методика автоматизованого вимірювання

Методика роботи зі спрощеною схемою вимірювання аналогічна роботі з його прототипом (рис.1), необхідно лише додати, що знайдені за діаграмою величини  $U_{rn}$  та  $U_{kn}$  необхідно перерахувати в формат імпедансу [5,6]. Перерахунок ведеться через застосування масштабного коефіцієнту за формулами:

$$R_H = m \times U_{RH}; \quad (5)$$

$$X_H = m \times U_{XH}. \quad (6)$$

Недоліком ручного графічного вирішення завдання отримання значення імпедансу є його велика трудомісткість, неможливість механізації процесу розв'язання.

Значно зручніший суто аналітичний спосіб рішення, що проводиться без застосування поняття векторних діаграм. Для цього використовуються рівняння які впливають із рівнянь для визначення кутів та сторін трикутників, що описують діаграму на рис. 4:

$$U_{XH} = \frac{U_1^2 - U_2^2 - U_3^2}{2U_2}; \quad (7)$$

$$U_{RH}^2 = U_3^2 - U_{XH}^2, \quad (8)$$

Ці рівняння можна вирішувати із застосуванням електронних засобів обчислення, але слід пам'ятати, що й у результаті рішення величина  $U_{XH}$  реалізується зі знаком «+». Це означає, що підключене вхідне навантаження має

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

ємнісну складову, і якщо зі знаком «-» , то індуктивну складову реактивного опору.

Практична схема дослідження [7] невідомого вхідного імпедансу наведена на рис. 5. У схемі, на відміну від попередньої, введені резистори  $R1$  і  $R2$ , що забезпечують «нормальну» роботу лінійних детекторів під час "закритого", тобто розімкненого за постійним струмом виході джерела живлення і навантаження.

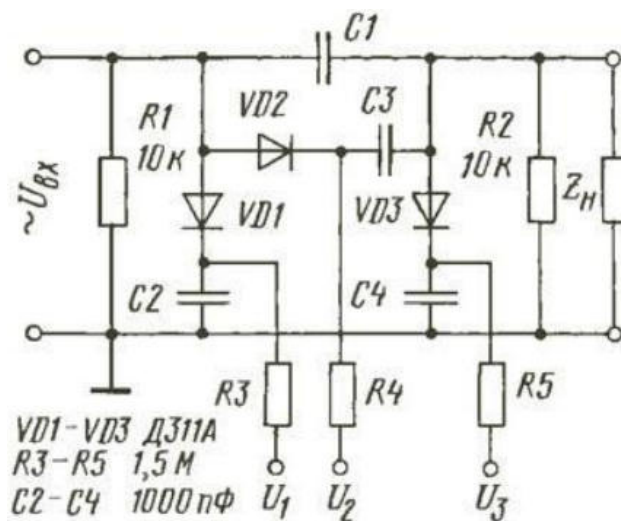


Рисунок 5 – Практична схема приладу для вимірювання імпедансу

Значення опорного конденсатора  $C1$  слід вибрати таким, щоб його ємнісний опір на робочій частоті був близьким до очікуваної величини опору навантаження. При дослідній експлуатації ряду макетних зразків точність вимірювання імпедансу в середньому складатиме не гірше  $\pm 5\%$ , що цілком задовольняє умовам поставленим у технічному завданні на кваліфікаційний проєкт бакалавра.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

### 1.3 Прилад для вимірювання імпедансу

#### 1.3.1 Схемотехнічна модель вимірювання імпедансу

Вимірювачі комплексного опору (імпедансу) на основі подільника напруги та трьох вольтметрів є класичними приладами в арсеналі радіотехнічних вимірювань [3-7]. Зокрема, їх використовують професіонали для вимірювання та оцінювання входних електричних параметрів антен. Спрощену схему подібного вимірювача показано на рис. 6. До джерела змінної напруги послідовно підключають досліджуваний комплексний входний опір ( $R_H, C_H$ ) і відомий (зразковий, калібрований) реактивний ємнісний  $C_0$  або суто активний (зразковий, калібрований) опір  $R_0$ .

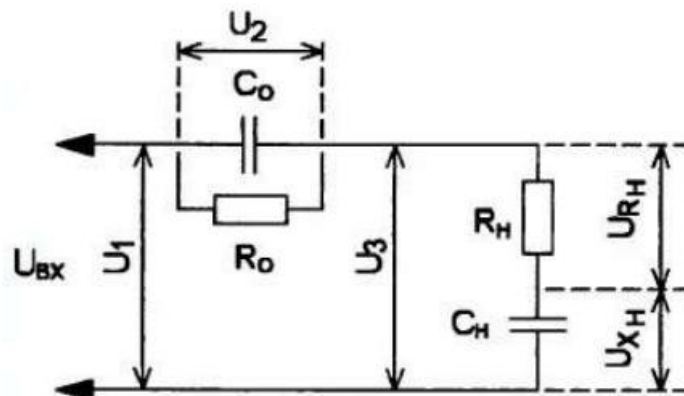


Рисунок 6 – Схема для вимірювання комплексного опору (імпедансу)

Залежність між експериментально отриманими даними - вимірними значеннями напруг  $U_1, U_2, U_3$ , константами  $f_{BX}, R_0, C_0$  та шуканими параметрами  $R_H, C_H$  описують стартові співвідношення:

$$U_{CH} = \frac{U_1^2 - U_2^2 - U_3^2}{2U_2}; \quad (9)$$

$$U_{RH}^2 = U_3^2 - U_{CH}^2; \quad (10)$$

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

За умови відомих значень зразкового опору  $R_0$  або зразкової ємності  $C_0$ , а також частоти вхідного сигналу  $f_{BX}$  похибка вимірювання комплексного імпедансу визначається похибкою вимірювання (9) напруг  $U_1-U_3$ .

Для підвищення точності потрібно підтримувати сталість напруги  $U_1$  та частоти сигналу  $f_{BX}$ , а опір зразкових імпедансів ( $R_0, C_0$ ) не має істотно відрізнитись від оціночного наперед опору навантаження, що ускладнює процедуру визначення для відсутності наперед очікуваних значень.

Модуль імпедансу для пристроїв високочастотної техніки розташований не в надто великих межах (30..150 Ом) тому для його вимірювання встановлюють зразковий резистор  $R_0$  опором 50 ... 100 Ом [17].

За умови відмінності напруги  $U_2$  і  $U_3$  більш як удвічі, у відповідний бік змінюють значення опору (імпедансу) пристрою вимірювання на основі подільника напруги і трьох вольтметрів. Значення має залишатись відомим.

Процес вимірювання полягає в наступному. До джерела змінної напруги послідовно підключають досліджуваній комплексний опір із невідомими параметрами ( $R_n, C_n$ ), а також відоме (зразкове) реактивне ємнісне  $C_0$  або активне каліброване навантаження  $R_0$ , для яких комплексний струм визначається як:

$$I = \frac{U_2}{2\pi f_{BX} C_0}, \quad (11)$$

$$I = \frac{U_2}{R_0}; \quad (12)$$

Маючи значення струмів за (11) та (12), визначають реактивну та активну складову невідомого опору  $X_n$ :

$$X_n = \frac{U_{Xn}}{I}; \quad (13)$$

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$R_H = \frac{U_{RH}}{I}; \quad (14)$$

Якщо результат (13) має знак плюс, то реактивна складова має ємнісний характер, і якщо мінус – індуктивний. Надалі знаходять ємність чи індуктивність навантаження:

$$C_H = \frac{1}{2\pi f_{ВХ} X_H}; \quad (15)$$

$$L_H = \frac{X_H}{2\pi f_{ВХ}}. \quad (16)$$

Значення напруг  $U1$  і  $U3$  вимірюють по відношенню до загального дроту високоомним та високочастотним вольтметром змінного струму, але виміряти напругу  $U2$  подібним чином неможливо. Тому для реалізації вимірювача в широкому діапазоні радіочастот вдаються до перетворення змінної напруги у постійну за допомогою випрямляча на лінійному детекторному демодуляторі, а далі вже випрямлену напругу фіксують вольтметром постійного струму. Для зменшення похибки та уніфікації вимірювань аналогічним шляхом в реальному пристрої вимірюють напруги  $U1$  та  $U3$ .

Одним з джерел похибки [5] є несиметричність напруги генератора, джерела високочастотного сигналу. Ця особливість повинна бути врахована, тому у вимірниках з випрямлячами повинна вимірюватися амплітуда однієї і тієї ж напівхвилі змінної напруги.

Крім того, діодні випрямлячі внаслідок нелінійної передавальної характеристики при нарузі менше 1 В вносять додаткову похибку, яка може бути зменшена за рахунок застосування калібрувальних графіків або поправочних таблиць.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

### 1.3.2 Схемотехніка вимірювача

Схема вимірювача імпедансу із зазначенням позиційних позначень та параметрів компонент, що працює за методом трьох напруг показана на рис. 7.

Під час проведення вимірювань, резистор R1 забезпечує узгодження вимірювача з виходом генератора тестового сигналу. Лінійний детектор на високочастотному випрямному діоді VD1, залежно від положення перемикачів SA1 і SA2, може бути підключений до різних точок досліджуваного пристрою.

У зазначеному на схемі положенні перемикачів SA1 і SA2 вимірюється напруга  $U_1$ . У нижньому положенні рухомого контакту перемикача SA1 (SA2 у верхньому) –  $U_3$ , а в нижньому SA2 (SA1 у верхньому) –  $U_2$ . Вихід лінійного випрямляча через фільтр низьких частот (ФНЧ) R2R3C2 підключають до точного вольтметра постійного струму, в якості якого можна застосувати професійний цифровий мультиметр.

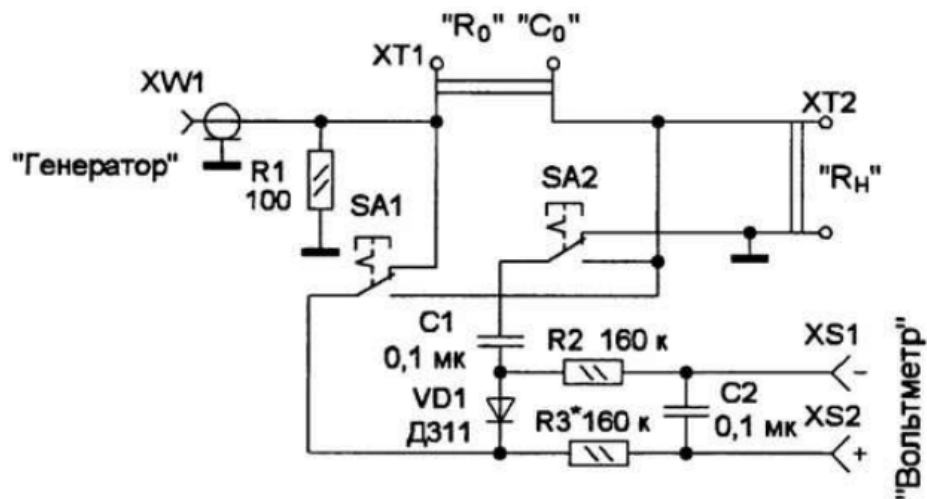


Рисунок 7 – Схема флукуаційного вимірювача вхідного імпедансу

В одній із практичних реалізацій усі компоненти вимірювача можливо розташувати в екранованому корпусі розмірами близько 30x80x120 мм. Вхідне високочастотне байонетне гніздо XW1 (BNC–124) розміщують на одній з

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

бічних сторін, а гнізда для підключення навантаження (типу РТ–213–03, РТ–224–01) – на сусідній, перемикачі – наприклад типу П2К з поверненням і повторним натисканням. Гнізда для підключення зразкових елементів (РТ–213–03, РТ–224–01) – на верхній.

Усі зазначені елементи розташовують у безпосередній близькості один від одного для забезпечення режиму роботи коротких ліній передач внутрішніх з'єднань на високих частотах. Діод VD1 та конденсатор C1 монтують на виводах перемикачів. Гнізда XS1, XS2 розміщують на вільній стінці корпусу, на них встановлюють зразковий конденсатор C2. Резистори R2 і R3 припаюють між виводами перемикачів і гніздами XS1, XS2.

### 1.3.3 Калібрування пристрою вимірювання

Вимірювач (рис.7) калібрують наступним чином. На вхід (гніздо XW1) подають напругу з генератора сигналів (як правило, 1В), до контактів XT1 та XT2 підключають зразкові точні резистори С2–10 по 51 Ом, а до гнізда XS1, XS2 – вольтметр постійного струму.

Підстроюванням резистора R3 встановлюють показники вольтметра, що мають дорівнювати 1 В. Потім проводять визначення поправочних корегувальних коефіцієнтів, які дозволять підвищити точність вимірювання імпедансу. Для цього на вхід вимірювача подають постійну напругу 1 В, до контактів XT1 і XT2 підключають резистори опором 10 ... 100 Ом так, щоб на контактах XT2 отримати напругу, наприклад, близько 50 мВ, і проводять вимірювання вольтметром постійного струму на контактах XT1 ( $U_2$ ) та XT2 ( $U_3$ ). Подавши на вхід змінну напругу 1 В проводять вимірювання напруг  $U_{2вч}$  і  $U_{3в4}$  і знаходять калібрувальні коефіцієнти для різних частот  $P_2 = U_2 = - U_{2вч}$  і  $P_3 = U_3 = - U_{3в4}$ . Аналогічним чином визначають поправочні коефіцієнти на інших частотах, для всього діапазону вимірювань.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Підключивши до контактів ХТ1 та ХТ2 резистори з іншими опорами, повторюють вимірювання та знаходять поправочні коефіцієнти для інших значень напруги  $U_2$  та  $U_3$  на різних частотах. Отримані результати зводять у таблицю, яку використовують під час проведення реальних вимірювань імпедансу навантаження.

#### **1.4 Можливості використання флуктуаційних генераторів у вимірювачі вхідного імпедансу**

Генератори флуктуаційних сигналів або генератори шуму мають широке застосування під час проведення радіотехнічних вимірювань, наприклад, під час вимірювання частотних характеристик, імітації сигналів, шумових параметрів кіл, визначення акустичних властивостей приміщень, синтезаторів частот, тощо. В попередній генерації таких приладів як первинні джерела шуму використовувались аналогові «шумові елементи»: переважно спеціальні діоди та стабілітрони [18].

Аналогові первинні джерела флуктуаційних сигналів мають ряд суттєвих недоліків: слабка потужність первинного шуму, висока нестабільність та нерівномірність спектральної густини розподілу шуму, необхідність підлаштування параметрів. Із розвитком техніки цифрової обробки сигналів сучасні генератори використовують цифрові джерела струму на основі цифрових псевдовипадкових послідовностей (рис.8).

Цифрова псевдовипадкова послідовність має період повторення [19,20], що легко встановити таким, що період цієї послідовності буде настільки великим, що за час вимірювання її можливо вважати випадковою, а послідовні вибірки вимірювальних значень – некорельованими. У переважній більшості такими такі властивості мають так звані М–послідовності, що формуються за допомогою простих регістрів зсуву, охоплених комбінаційною схемою цифрового зворотного зв'язку (рис. 8).

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

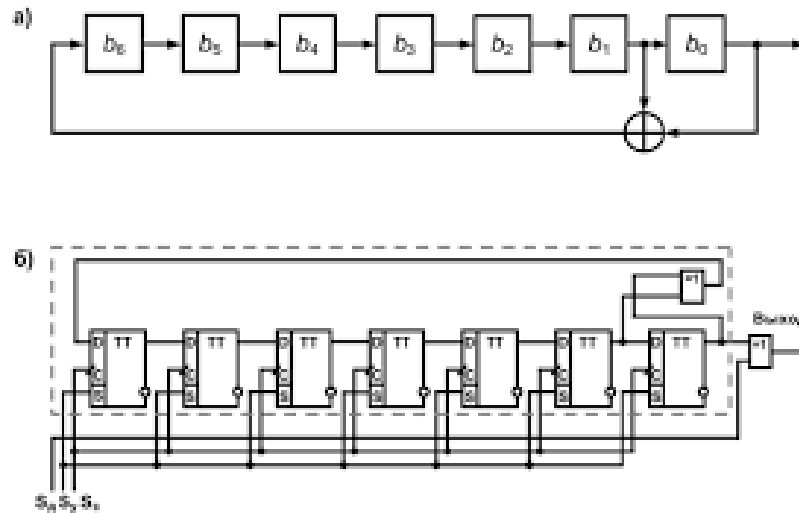


Рисунок 8 – Схема генератора М- послідовності як флуктуаційного цифрового сигналу: а)структура; б) принципова схема

Регістр із обраною кількістю тригерів (N) теоретично представляється як цифровий автомат, що може синтезувати різні цифрові флуктуаційні послідовності. Все це визначається характером обраного зворотного зв'язку. Кількість їх факторіально зростає із зростанням N.

Найбільш просте логічне рівняння для генератора М–послідовності має вигляд:

$$D_1 = \overline{Q_N \oplus Q_K}, \quad (17)$$

де аргументами є логічні сигнали на виході різних тригерів регістру зсуву.

Цифрова бінарна М–послідовність є періодичною функцією і складається із  $2^N - 1$  двійкових комбінацій на N–виходах регістра. Тобто лише одна комбінація із всіх можливих заборонена. Обравши велику кількість N, наприклад, більше 100 можливо отримати періоди повторення, що перевищують час життя людини!!! Тобто на реальних ділянках часу такий сигнал можливо вважати випадковим – флуктуаційним.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Для отримання аналогового тестового сигналу в заданому діапазоні частот із заданою нерівномірністю сигнал із будь-якого тригера схеми М-послідовності подають на фільтр [21-25], що усуває небажані спектральні складові. Загалом, використання фільтру не є обов'язковим, лише треба подбати про високий вхідний опір вимірювача та обрати параметри цифрового сигналу таким чином, щоб ділянка спектру генерованого сигналу співпадала із аналізованим діапазоном частот вимірювання вхідного імпедансу.

Наприклад, для широкопasmового вимірювання параметрів пристроїв для відео обробки із нерівномірністю  $\Delta$  частота тактових імпульсів  $f_T$ , смуга робочих частот  $\Delta f$  та кількість тригерів у регістрі  $N$ , за умови що формується саме М-послідовність визначається наступним рівнянням:

$$\Delta = -20 \log_{10} \left[ \sin \frac{(\pi \Delta f / f_T)}{\pi \Delta f / f_T} \right]^2, \quad (18)$$

Період сгенерованої М-послідовності визначають як:

$$T_N = \frac{(2^N - 1)}{f_T}. \quad (19)$$

Через цифровий характер та періодичність М-послідовності її спектр теоретично дискретний, але за умови великих  $N$ , відстань між спектральними складовими мінімізується та її легко встановити меншою за 1Гц, що цілком достатньо для практичних досліджень будь-яких радіотехнічних пристроїв обробки радіосигналів:

$$\delta_F = \frac{f_T}{(2^N - 1)}. \quad (20)$$

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Наприклад, якщо  $N = 35$ , для  $f_T$  лише 1 МГц період  $M$ -послідовності складає декілька годин, а дискретність спектра всього 30 мкГц.

Регульована дискретність спектру  $M$ -послідовностей широко застосовується у багаточастотних синтезаторах частот із цифровим регулюванням.

Для вимірювань імпедансу флуктуаційним методом важлива обвідна густини розподілу спектру  $M$ -послідовності [16,17]. Із властивостей спектрів легко показати, що вона збігається із обвідною спектра тактового імпульсу. Якщо розглядати сигнал  $M$ -послідовності з точки зору радіолокаційних параметрів, то база сигналу, або кількість незалежних станів, що визначається через добуток ширини спектру та тривалості сигналу дорівнює кількості генерованих неоднакових слів таким цифровим автоматом:

$$B = f_T T_N = 2^N - 1 \gg 1. \quad (21)$$

Для перенесення спектру  $M$ -послідовності в зону ультрависоких частот і вище, можливо застосувати модуляцію гармонічної несівної таким цифровим сигналом, для нижчих діапазонів легше сформувати цифровий сигнал із заданою нерівномірністю в діапазоні частот радіотехнічного пристрою.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

## 2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ

### 2.1 Функціональні аналоги вимірювання імпедансу

#### 2.1.1 Загальна характеристика аналогів

Аналоги пристрою, що розробляється також відомі як аналізатори параметрів чотириполіусників або мережеві аналізатори. Вони є спеціалізованим устаткуванням, що використовується для вимірювання, а також широкосмугового аналізу параметрів чотириполіусників. Загалом, чотириполіусники включають різноманітні електронні, електричні та радіотехнічні пристрої, такі як фільтри, підсилювачі, передавальні лінії, антени та інші.

Аналоги дозволяють виміряти різні параметри чотириполіусників, такі як передавальна функція, вхідний та вихідний імпеданс, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт відбиття, фазову характеристику тощо. Вони працюють на основі принципу введення тестового сигналу в чотириполіусник та вимірювання його відповіді. Аналоги можуть бути методичного, конструкторського, технологічного та інших характерів, але під час вибору аналогів найчастіше розглядають найбільш близькі за функціями та реалізацією вимірювальні прилади. Існує кілька функціональних пристроїв - аналогів, які використовуються для вимірювання параметрів чотириполіусників [26].

#### 2.1.2 Аналізатор мережі (Network Analyzer)

Аналізатор мережі (Network Analyzer): Це пристрій, який здатний вимірювати параметри чотириполіусників, такі як параметри S-матриці (S – parameters) і вхідний/вихідний імпеданс. Вони зазвичай використовуються для

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

-  
встановлення характеристик електричних мереж, радіотехнічних пристроїв і мікросмушкових фільтрів, компонентів схем, антен, тощо.

Він дозволяє визначати різноманітні параметри в різних діапазонах частот, такі як S-параметри, вхідний/вихідний комплексний опір, комплексний коефіцієнт передачі, коефіцієнт відбивання, частотно-фазові характеристики і багато іншого.

Основними особливостями аналізатора мережі є:

1. Частотний діапазон: аналізатори мережі доступні в різних моделях з різним частотним діапазоном. Це може бути від декількох герц (Гц) до кількох терагерц (ТГц), залежно від моделі. Важливо вибрати аналізатор мережі з частотним діапазоном, який відповідає потребам вимірювання.

2. Кількість каналів: аналізатор мережі може мати один або кілька каналів. Багатоканальні спеціалізовані аналізатори дозволяють вимірювати параметри у різних точках мережі одночасно, що забезпечує підвищену продуктивність і зручність процесу вимірювання.

3. Точність і розрізнявальна спроможність: аналізатори мережі мають різний рівень точності та розрізнявальної спроможності. Це важливо під час вимірювання параметрів різноманітних кіл різними типами аналізаторів залежно від потреб замовника або вимірюванні малих змін вказаних параметрів.

4. Функціональні можливості: деякі із аналізаторів мережі мають додаткові функціональні можливості, такі як можливість зберігання даних для наступної вторинної обробки, генерація спеціальних сигналів для використання як стимулів мережі, автоматизовані та напівавтоматизовані вимірювання, тощо.

5. Програмне забезпечення і інтерфейси: аналізатори мережі часто постачаються зі спеціальним програмним забезпеченням для контролю і аналізу даних.

Важливо перевірити, які інтерфейси доступні для передачі даних і підключення до комп'ютера або інших пристроїв.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

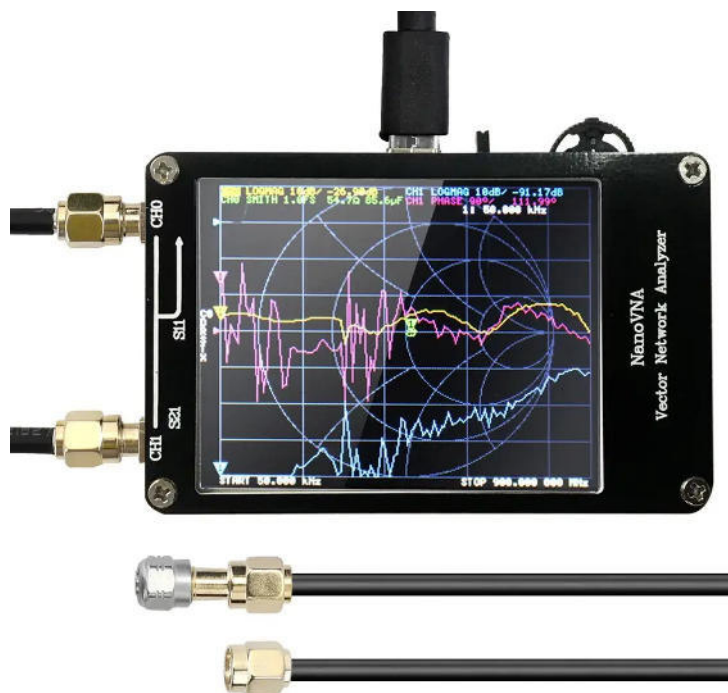


Рисунок 9 – Зовнішній вигляд сучасного аналізатора мережі із програмним керуванням та графічним відображенням результатів

Аналізатор мережі (рис.9) широко застосовується у таких відомих галузях, електроніка, телекомунікації, безпроводові електронні комунікації, мікрохвильова техніка, техніка високих частот, медична техніка та багато інших.

### 2.1.3 Лінійний аналізатор часового перетворення (Time – Domain Reflectometer)

Лінійний аналізатор часової перетворення (Time – Domain Reflectometer, TDR): Це пристрій, який вимірює параметри сигналів в часовій зоні для визначення пошукуваних параметрів чотиріполосників. Вони зазвичай використовуються для вимірювання характеристик передавальних ліній, кабелів і друкованих плат.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Основною функцією TDR (рис.10) є вимірювання часу відбиття сигналу від неоднорідностей в системах із розподіленими параметрами ,наприклад, різних точок в мережі передачі даних. Він використовує принцип визначення параметрів відбитого сигналу для вимірювання різних параметрів електричних кіл, таких як довжина, імпедансні співвідношення, типи неоднорідностей, наявність коротких замикань та розривів, тощо.

Основні особливості під час використання лінійного аналізатора часової перетворення (TDR) включають в себе наступне:

1. Висока розрізнявальна спроможність: TDR має високу розрізнявальну спроможність, що визначається коротко імпульсними сигналами та дозволяє виявляти малі зміни у електродинамічних властивостях мережі.

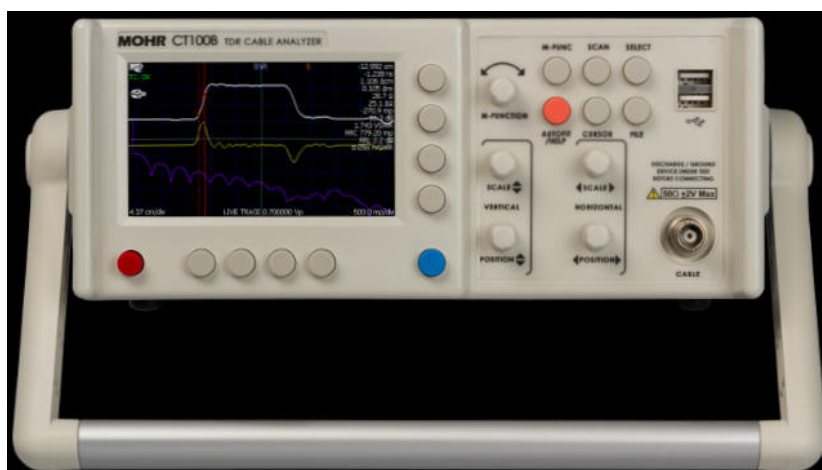


Рисунок 10 – Зовнішній вигляд динамічного рефлектометра – аналізатора параметрів та характеристик у часовій зоні

2. Багатоканальність обробки: деякі TDR пристрої мають багато каналів вимірювання, що дозволяє комплексно визначати характеристики різних точок в мережі одночасно, та видавати результати в найбільш оптимальному для користувача вигляді.

3. Швидкість вимірювання: TDR працює на надзвичайно високих швидкостях, що дозволяє ефективно сканувати та аналізувати як передавальні

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

структури із зосередженими так і із розподіленими параметрами (великі мережі).

4. Автоматизація: багато TDR пристроїв мають функції автоматизованого вимірювання, аналізу даних та зберігання результатів вимірювань, для накопичення статистичної інформації про об'єкт дослідження.

Лінійний аналізатор часової перетворення (TDR) використовується у багатьох галузях, включаючи промислову електроніку, широкосмугові електронні комунікації, мережеве кабельне устаткування, автомобільну техніку, аерокосмічну техніку тощо, для вимірювання, діагностики та налагоджування електричних мереж і їх компонентів.

#### **2.1.4 Векторний аналізатор мережі (Vector Network Analyzer)**

Векторний аналізатор мережі (Vector Network Analyzer, VNA): це розширена версія для аналізатора мережі представленого вище, який може вимірювати характеристики та параметри чотириполюсників у векторному форматі даних. Вони надають детальну інформацію про параметри S-матриці відбиття, початкову та прохідну фазу, амплітуду та інші параметри сигналів.

Векторний аналізатор мережі (Vector Network Analyzer, VNA) – це потужний комплекс для вимірювання і аналізу параметрів як пристроїв так і мереж електронних комунікацій.

Основні особливості векторного аналізатора мережі (VNA) включають в себе:

1. Частотний діапазон: VNA може працювати в широкому діапазоні частот, починаючи від низьких частот, таких як кілька герц (Гц), до високих радіочастотних діапазонів, міліметрових хвиль і навіть до мікрохвильового діапазону. Відповідно до конкретного застосування, важливо обрати VNA з потрібним частотним діапазоном та функціями. Вартість векторних аналізаторів може бути доволі значною.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2. Кількість каналів: VNA може мати різну кількість каналів для вимірювання різних параметрів одночасно. Це дозволяє швидко і ефективно вимірювати S-параметри і характеристики мережі.

3. Розрізнявальна спроможність: VNA має високу розрізняльну спроможність для точного вимірювання S-параметрів, амплітуди, фази та інших параметрів.



Рисунок 11 – Векторний аналізатор мережі

4. Динамічний діапазон: VNA має широкий динамічний діапазон, що дозволяє вимірювати як слабкі, так і сильні сигнали без втрати точності.

5. Аналіз даних: VNA зазвичай постачається з потужною цифровою апаратною підтримкою та програмним забезпеченням, яке дозволяє аналізувати і потім візуалізувати усі вимірювані дані, будувати графічні залежності, проводити порівняння результатів, розраховувати вторинні параметри і зберігати результати вимірювань на різноманітних носіях.

VNA (рис.11) є важливим інструментом особливо в наукових дослідженнях та професійному дослідженні радіотехнічних кіл та систем.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

## 2.1.5 Аналізатор спектра (Spectrum Analyzer)

Аналізатор спектра (Spectrum Analyzer): це пристрій, який вимірює амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) пристроїв і може бути застосований для визначення деяких параметрів чотириполосників, таких як смуга пропускання, рівень підсилення, коефіцієнт нелінійних спотворень, тощо у різних частотних діапазонах. Його основні завдання це виявлення, вимірювання і візуалізація амплітудно- частотного спектру сигналів у різних точках схеми пристрою або лінії передачі.

Основні особливості аналізатора спектра включають:

1. Частотний діапазон: аналізатори спектра доступні в різних моделях з різними частотними діапазонами. Це може бути від низьких радіочастотних діапазонів до міліметрових хвиль і вище. Важливо у складі аналізатора мати пристрій накопичення інформації, особливо для низькочастотних діапазонів.

2. Розрізнявальна спроможність: аналізатор спектра має розрізнявальну спроможність яка визначається часом вимірювання та накопичення даних, тому сучасні аналізатори мають величезні обсяги пам'яті та потужну апаратну підтримку. Висока розрізнявальна спроможність дозволяє виявляти деталі спектра і розрізняти близькі частоти в структурі досліджуваного сигналу, що дозволяє проводити аналіз тонкої структури спектру та отримувати значення мікропараметрів пристрою, або слабкосигнальних параметрів пристрою.

3. Ширина смуги: аналізатор спектра має ширину смуги, яка визначає його здатність відокремлювати зону досліджень на різних етапах отримання даних про параметри та характеристики електричних кіл. Широка смуга дозволяє проводити аналіз широкосмугових сигналів, шумів, флуктуаційних та навмисних завад, тоді як вузька смуга краще підходить для вимірювання окремих деталей спектра.

4. Вимірювання амплітуди: аналізатор спектра має точно вимірювати амплітуду сигналів на різних частотах із візуалізацією їх у вигляді миттєвого

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

спектру або спектрограми, також можливе отримання гістограми розподілу рівнів сигналів в різних точках схеми.

5. Додаткові функції: деякі промислові спектроаналізатори мають додаткові функції, такі як модуляційний аналіз, вимірювання згасання, вимірювання рівня шуму, вимірювання взаємної кореляції сигналів і багато інших потрібних функцій.

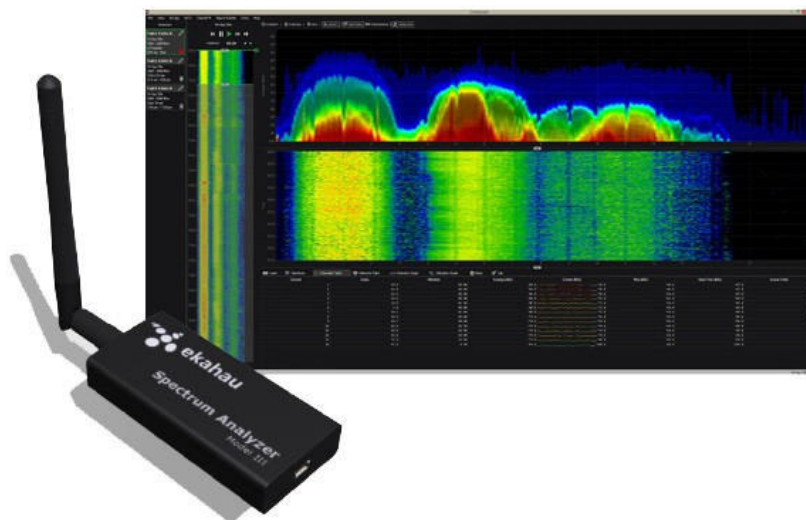


Рисунок 12 – Широкопasmовий портативний аналізатор спектра

Спектроаналізатори (рис.12) надзвичайно широко використовуються у багатьох галузях: електронні комунікації, радіоінженерія, електроніка, медіа, наукові дослідження тощо, де вимагається аналіз спектральних характеристик сигналів.

Ці аналоги дозволяють вимірювати і аналізувати різні параметри чотиріполісників залежно від потреб і застосувань. Кожен з них має свої переваги і обмеження, тому вибір конкретного пристрою залежить від потреб вимірювання і характеристик системи, що досліджується, однак як і уся спеціалізована техніка подібні пристрої характеризуються значною вартістю та складним та довготривалим процесом опанування керуванням та обробкою даних.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

## 2.2 Розробка технічного завдання на виріб

### 2.2.1 Загальна інформація про вимірювальний пристрій

Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв призначено для роботи в складі вимірювального комплексу професійних або науково-професійних організацій та установ, що займаються розробкою, налагоджуванням, регулюванням систем вилучення та передачі даних за допомогою радіосигналів в діапазонах високих та ультрависоких частот.

Метою розробки є створення частини майбутнього комплексу конструкторсько-технологічної документації на виріб із оформленням відповідних креслень, розробка методів та методик вимірювання, дослідження похибок під час ручного та автоматизованого вимірювання, встановлення вимог до вимірювального устаткування комплексу за умови мінімізації витрат та спрощення схемотехнічної реалізації такого елемента у складі комплексу.

### 2.2.2 Склад пристрою вимірювання, що розробляється

До складу системи вимірювання імпедансу входять наступні блоки (рис.13):

- 1) флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв;
- 2) вольтметр(и) постійного струму;
- 3) магазин імпедансів - конденсаторів ;
- 4) магазин імпедансів - резисторів;
- 5) калібрований генератор флуктуаційного сигналу із можливістю переналаштування в заданий діапазон частот із заданою смугою - шириною;
- 6) пристрої із розширеними можливостями, наприклад, багатоканальний автоматизований мультиметр, що дозволяє запрограмувати обробку даних на його декількох входах за алгоритмом векторного пошукування значень.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

7) калібратор імпедансу (магазин компонент) із автоматизованим встановленням значення заданого імпедансу, тощо.

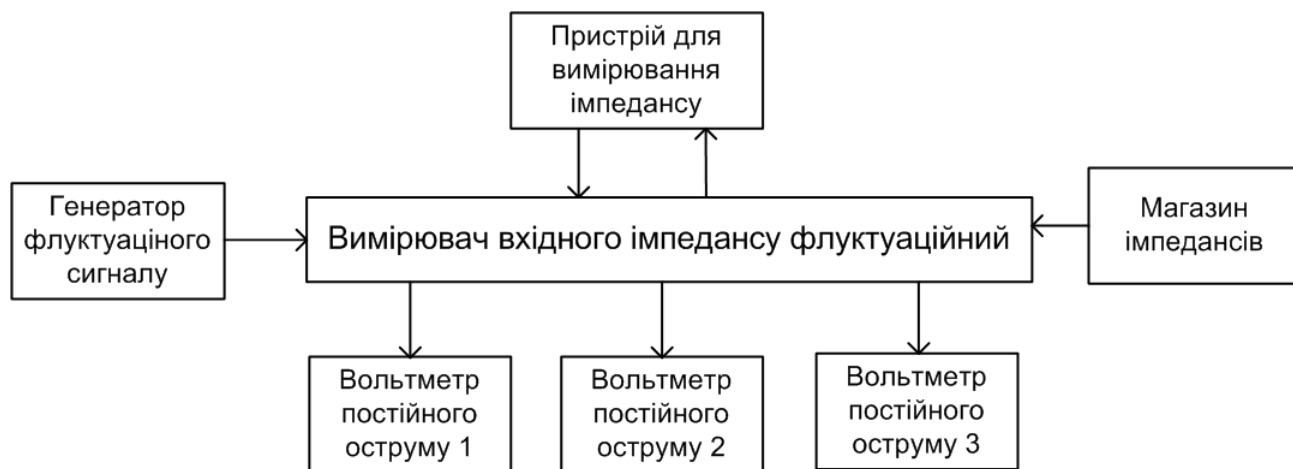


Рисунок 13 – Структурна схема вимірювання вхідного імпедансу

Флюктуаційний вимірювач вхідного імпедансу (рис.13) може застосовуватись в складі або ручних, або автоматизованих вимірювань. Автоматизовані вимірювання реалізуються під керуванням програми мікроконтролера із автоматичною видачею та накопиченням результатів.

Через необхідність вибору імпедансу із магазину імпедансів (рис.13) для мінімізації похибки в складі автоматизованого комплексу може бути застосовані системи на основі нейронних мереж для пришвидшення пошуку оптимальних значень.

### 2.2.3 Технічні характеристики вимірювача імпедансу

Основні тактико-технічні характеристики (ТТХ) (табл.1) вимірювача визначаються на підґрунті аналізу аналогічних вимірювачів імпедансу або пристроїв, до складу функціональних можливостей яких входить вимірювання імпедансів як вторинне вимірювання. Слід зазначити, що представлені ТТХ

мають бути уточнені, розширені або навіть змінені під час конструкторсько-технологічної подальшої роботи над проєктом [15,26-30].

Таблиця 1 – Основні тактико технічні характеристики вимірювача

№	Найменування параметру	Одиниця	Значення	Примітки
1	Діапазон робочих частот, залежно від виконання	МГц	1-100	не менше
2	Точність вимірювання	%	5	не менше
3	Напруга первинного живлення	В	12	
4	Кількість входів - виходів	шт	5	
5	Струм споживання по напругам	А	1	не більше
6	Мінімальне значення вхідного вимірювального імпедансу	Ом	10	Номінал
7	Максимальне значення вхідного вимірювального імпедансу	шт	1000	Номінал
8	Габаритні розміри	мм	150x 150x 100	не більше
9	Вага	кг	1	не більше
10	Діапазон робочих температур	°С	0...+40	не менше
11	Середнє напрацювання на відмову	год	10000	не менше
12	Гарантований термін застосування	рік	10	не менше
13	Середній час відновлення працездатності через виконання ремонту	год	2	не більше

Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв (табл.1) є частиною вимірювального комплексу, тому його параметри та характеристики мають бути подібними до вимірювального лабораторного устаткування загалом.

#### 2.2.4 Додаткові технічні умови

Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу має бути реалізовано у типовому металевому корпусі із мінімальною перфорацією для забезпечення екранування в діапазоні ультрависоких частот.

Підключення джерела живлення 12В, магазину імпедансів, генератора та вольтметрів постійного струму має виконуватись через типові високочастотні універсальні роз'єкти.

Всі зовнішні з'єднання мають бути легко розбірними, для високочастотних з'єднань переважальними для застосування є байонетні роз'єкти.

Роз'єкти живлення мають бути з можливістю додаткової фіксації за допомогою заціпок або різьбового надійного з'єднання.

Розробнику для виключення неоднозначного підключення зовнішніх компонентів комплексу слід передбачити відповідне маркування на поверхні виробу.

Корпус виробу слід виготовити із магнітом якої сталі із забезпеченням максимального рівня екранування виробу.

Розташування компонент електричної схеми на несівній конструкції – печатній платі має бути із дотриманням вимог високочастотного монтажу. Плата має бути виготовлена за багат шаровою (не менше 4-х шарів) технологією із обов'язковими зовнішніми шарами екранування.

Для вимірювання імпедансу можливе використання зовнішнього устаткування - прецизійних вольтметрів змінного струму.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

## 2.3 Принцип роботи та структурна схема

### 2.3.1 Принцип работ вимірювача

Для проведення вимірювань імпедансів (вхідних та вихідних) різних блоків приймально–передавальної радіоапаратури пропонується в якості генератора стандартних сигналів використати флукуаційний генератор шуму, параметри якого налаштовані таким чином, щоб частотний діапазон флукуацій рівномірно перекривав вхідний частотний діапазон радіотехнічного пристрою. Робота пристрою вимірювання імпедансу ґрунтується на використанні методу трьох вольтметрів.

Результати вимірювання імпедансу в кінцевому рахунку приводяться до послідовної еквівалентної схеми, що є типовим під час використання подібного підходу в зоні високих та ультрависоких частот. Однак, при всій своїй простоті схемотехніки подібні прилади мають суттєвий недолік пов'язаний із використанням вольтметрів постійного струму та лінійного детектування. Усування цього недоліку проводилось застосуванням вольтметрів змінного струму – ВЧ вольтметрів.

Як відомо, ВЧ вольтметри, реалізовані на діодах мають суттєву нелінійність, цей ефект яскраво проявляється під час детектування слабких напруг – вольтметр стає квадратичним! Для зменшення рівня квадратичності тестові сигнали мають мати досить значний рівень – більше 1В. В свою чергу великі напруги можуть створити значний рівень системних завад і також спотворити вимірювання, які будуть тим більші, чим більше робоча частота.

Суттєвіший недолік класичного методу полягає в тому, що приладом приладом не вдається виміряти вхідний імпеданс чутливих підсилювачів ВЧ, змішувачів, преселекторів, кварцових фільтрів, тощо, що вимагають на своєму вході досить невеликі значення напруги ВЧ (мілівольти).

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Додатковий недолік приладів, пов'язаний із застосуванням лінійного детектора на ВЧ діодах, полягає у суттєвій паразитній ємності таких діодів. Крім того за ВЧ у таких діодних схем досить невеликий вхідний опір, що може суттєво спотворити результати вимірювання, наприклад, зменшити робочий діапазон вимірювача імпедансу за частотою (шунтування входу).

Флуктуаційний вимірювач імпедансу радіотехнічних пристроїв що розробляється (та інших параметрів, наприклад, КСВ), також базується на методі трьох вольтметрів, але дозволяє повністю або частково позбавити вимірювальний процес вказаних недоліків. Це вдається реалізувати через те, що імпеданс та КСХ не є незалежними фізичними величинами. Знаючи імпеданс, завжди можна знайти КСХ (але не навпаки).

За наявності в технічній лабораторії радіоприймача заданого діапазону необхідність застосування синусоїдальних сигналів ГСС відпадає, якщо функцію тестового сигналу бере не себе флуктуаційний генератор.

Флуктуаційний генератор може бути створений досить просто із застосуванням шумлячи діодів та лінійних підсилювачів, або на основі цифрових псевдовипадкових послідовностей. В першому випадку напруга флуктуацій у смузі частот придатних для передачі телефонного сигналу 3 ... 10 кГц в діапазоні 1 ... 100 МГц буде в будь-якому випадку менше 100 мікрвольт, то запропонованим приладом можна вимірювати вхідний та вихідний імпеданси практично будь – яких блоків без ризику перевантаження чутливих вхідних елементів

Якщо в якості вимірювача напруги ВЧ використовується приймач, то при вхідному сигналі 100 мкВ (а в більшості практичних вимірювань достатньо і 10 мкВ) такий приймач буде виконувати роль високолінійного ВЧ вольтметра. При проведенні відповідних вимірювань відключають систему АРП приймача (або трансівера), а до його телефонного виходу підключають мілівольтметр змінної НЧ напруги (тестер).

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Зауважимо, що при роботі з дуже малими ВЧ напругами при вимірі імпедансу антен є велика можливість присутності наведених сигналів (з ефіру) в антені з таким рівнем, що ці сигнали вже можуть заважати проведенню вимірювань. У цьому випадку при використанні двох ШПУ із сумарним посиленням +40 дБ, підключених до ГШ на стабілітроні, вдається в більшості випадків провести вимірювання без проблем навіть за наявності в ефірі достатньо потужних радіостанцій.

### 2.3.2 Схема електрична структурна

Структурна електрична схема розроблялась із вимог ТЗ на основі ескізу принципової електричної схеми (рис.14) та представлена на кресленні КПТР20061.01.04.00Е1. Відмінністю схеми від зазначених вище структур вимірювання імпедансу є використання приймачів як вольтметрів змінного струму та підсилювачів потужності без підсилення за напругою – високим вхідним опором та низьким вихідним опором.

Із композиційної точки зору схема складається із 4-х ідентичних вимірювальних підсилювачів струму (А1-А4), схем каліброваного навантаження та інтерфейсних схем вимірювання.

Кожен із вимірювальних підсилювачів складається із послідовно ввімкнених повторювача витокового, емітерного повторювача та повторювача двотактного. Останній навантажений на каліброване навантаження 50Ом. Функція вимірювального підсилювача полягає у перетворенні високого вхідного опору до низького опору для сигналів, що подаються на вхід.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

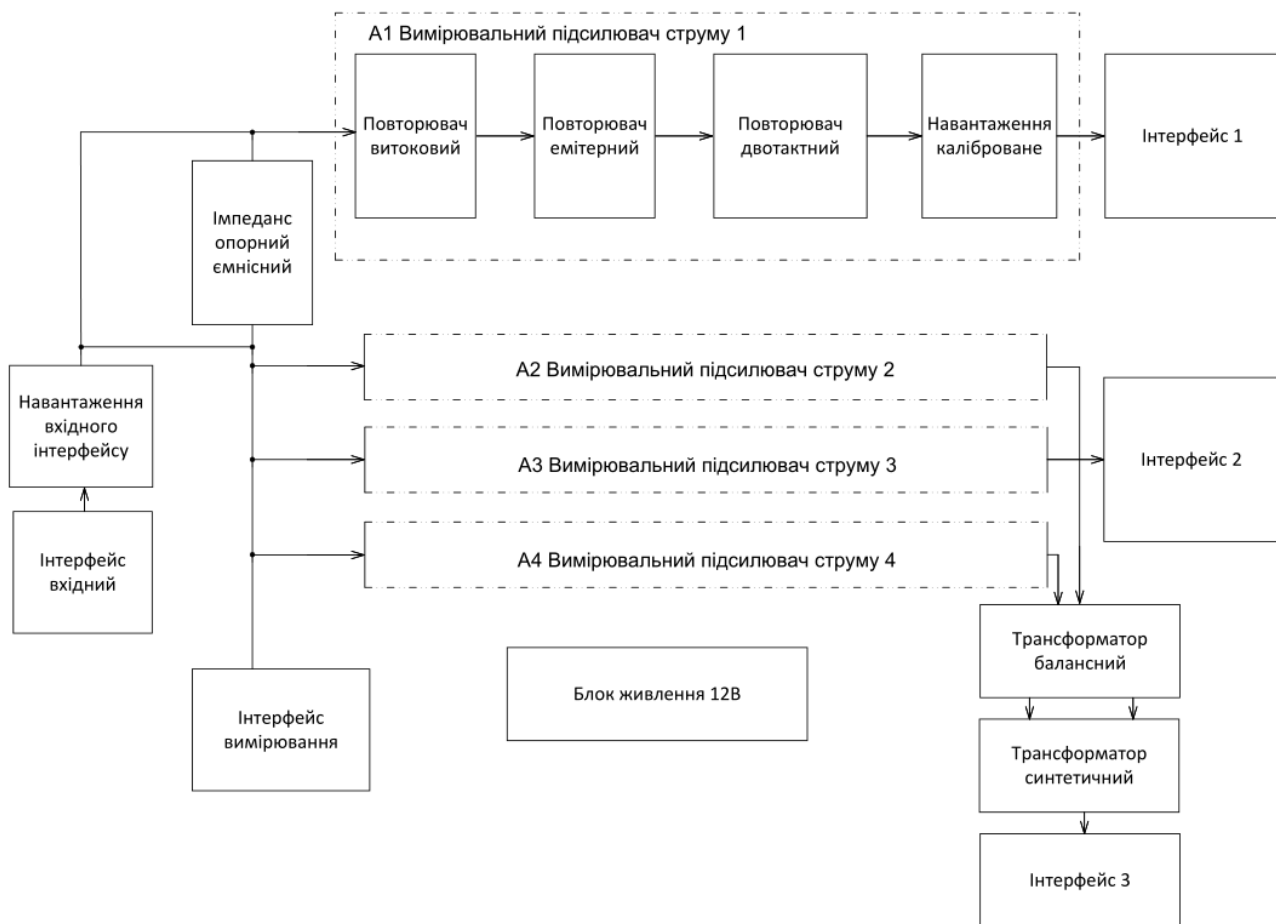


Рисунок 14 – Схема електрична структурна вимірювача вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв

Високий вхідний опір забезпечується використанням польового транзистору на вході, низький вихідний опір – послідовним каскадом двотактного підсилювача на виході. Вхідний та вихідний каскади розв'язані за допомогою емітерного повторювача на високочастотному транзисторі. Головна умова виконання вимірювальних підсилювачів – забезпечення високого ступеня ідентичності параметрів та характеристик в широкому діапазоні частот.

До схем каліброваного навантаження в першу чергу відноситься магазин ємностей – каліброване реактивне навантаження, за допомогою якого визначається реактивна складова вхідного імпедансу. Також до каліброваного навантаження відноситься навантаження вимірювальних підсилювачів та генератора флуктуаційного сигналу – навантаження вхідного інтерфейсу. Від

-  
точності та ідентичності каліброваних навантажень в основному залежить похибка визначення вхідного імпедансу вимірювача.

До інтерфейсних схем вимірювання відносяться інтерфейси 1-3, що служать для підключення вимірювачів напруги змінного струму. В ручному режимі допускається використовувати один вимірювач, що послідовно підключається до трьох різних входів, забезпечуючи отримання модулів векторів напруги в різних точках схеми за методом трьох вольтметрів.

Також до інтерфейсних схем відносяться трансформаторна схема поєднання напруг, що складається із балансного трансформатора та симетруючого широкосмугового трансформатора. Трансформатори виготовляються індивідуально, відповідно вимогам широкосмуговості. Живлення пристрою здійснюється через окремий виносний блок живлення напругою 12В, що має забезпечувати пульсації напруги не більше як 10мВ для забезпечення точності вимірювання заданої в ТЗ.

Всі інтерфейси представлені швидкокорозборними байонетними роз'ємними для роботи вимірювача в складі комплексу вимірювання імпедансу радіотехнічних пристроїв.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

#### 3.1 Принципова схема вимірювача

##### 3.1.1 Особливості схемотехніки вимірювача

Розроблена принципова схема представлена на КПТР20061.01.04.00ЕЗ. Прилад складається із чотирьох окремих підсилювачів (рис. 15) зібраних за однаковою схемою (рис.1). Підсилювач 1 (на VT1, VT3, VT5, VT6) служить для вимірювання напруги  $U_1$ , підсилювач 2 (на VT15, VT13, VT10, VT9) – для вимірювання напруги  $U_2$ , а підсилювач 3 (на VT11, VT12, VT14, VT16) відповідно напруги  $U_3$ . Підсилювач генератора флуктуаційного сигналу також зібрано на транзисторах VT2, VT4, VT11, VT12.

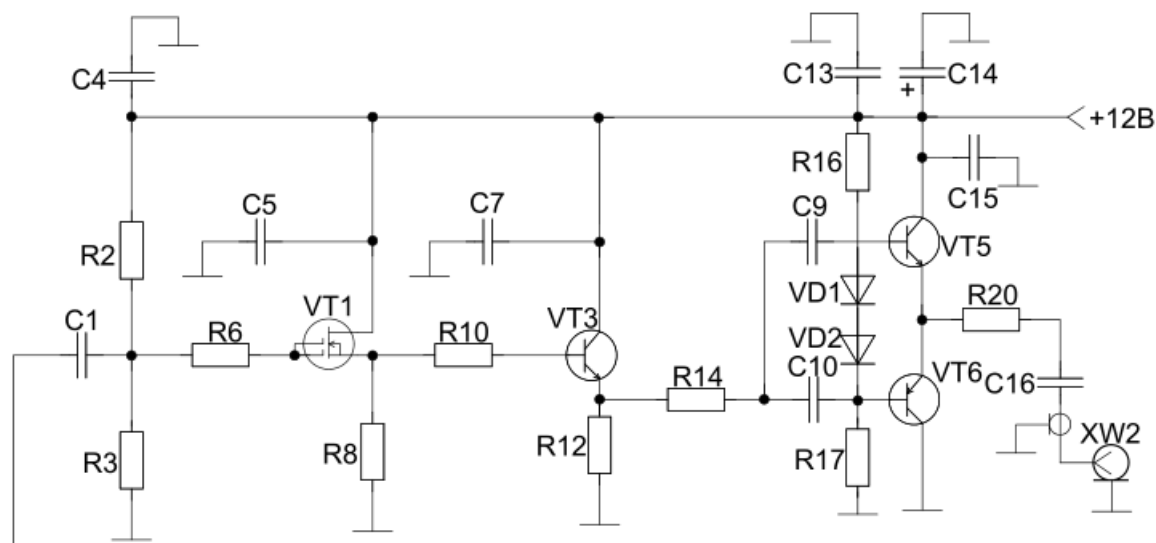


Рисунок 15 – Підсилювач струму вимірювача – фрагмент схеми електричної принципової

Як видно з принципової схеми (рис.15), всі підсилювачі є багато каскадними та мають три каскади повторювачів напруги.. Вхідний каскад (VT1)

виконаний на польовому транзисторі з ізольованим затвором, що дозволило отримати надзвичайно великий вхідний опір за ВЧ, враховуючи при цьому, що такий польовий транзистор включений як і повторювач, то ситуація стає ще більш сприятливою по відношенню до вхідного опору.

В свою чергу вихідний каскад зібрано за схемою двотактного повторювача, що працює в режимі АВ та використовується з метою отримання дуже низького, майже нульового вихідного опору за ВЧ. При цьому підсилення напруги не відбувається. Адже за умови наявності підсилення за напругою неминуче почне виявлятися природний розкид параметрів транзисторів, а це, у свою чергу, призведе надалі до великих помилок під час вимірювань за методом трьох вольтметрів.

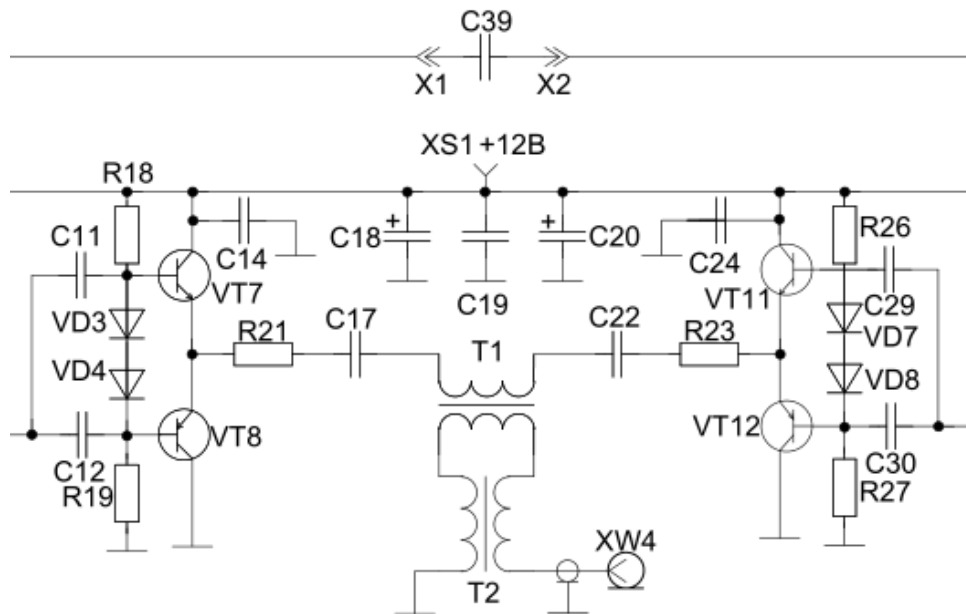


Рисунок 16 – Диференційний підсилювач та диференційна схема у складі вимірювача імпедансу – фрагмент принципової схеми

Підсилювачі 1 і 3 однополярний за структурою (рис.14), вони виконані ідентично та вимірюють напруги  $U_1$  та  $U_3$  відносно «землі». Підсилювач 2 та 4 складають собою диференційний підсилювач, оскільки відповідну напругу  $U_2$

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

-  
вимірюють між обкладинками вимірювального каліброваного конденсатора С39\*, і ця напруга симетрична (балансна) щодо «землі» (рис.15).

З цієї причини підсилювач 2 складається з двох підсилювачів за типом 1 (або 3), а його баланс забезпечується за допомогою широкосмугових трансформаторів Т1 і Т2. Диференційний підсилювач пригнічує синфазні сигнали на 50 ... 60 дБ, що достатньо для проведення вимірювань із заданою у ТЗ точністю.

Налаштування запропонованої схеми після складання полягає лише в контролі постійних напруг на витках і емітерах усіх транзисторів (близько половини напруги живлення, через роботу в режимі А) та уточненні номіналів антипаразитних резисторів у ланцюгах керуючих електродів транзисторів (R4, R6, R8", R14", R1, R25\*, R27\*, R29\*, R34\*, R36\* та R38\*).

### 3.1.2 Особливості конструкції вимірювача

Усі входи підсилювачів (рис.14) з'єднують із вимірювальною системою короткими провідниками мінімально мінімально можливої довжини та однакової довжини. Тільки слід передбачити, щоб ці провідники знаходились на відстані не менше 2см для запобігання впливу на високоомний вхід польових транзисторів різноманітних паразитних наведень, також бажано щоб ці провідники не були паралельні один одному та були розташовані на відстані не менше 2 см від заземлених площин.

Прилад розрахований працювати з джерелом сигналу (ГШ чи ГСС) і приймачем (трансівером) з входними і вихідними опорами по ВЧ рівними 50 Ом. З цієї причини до виходів згаданих підсилювачів підключені 50–омні коаксіальні кабелі однакової довжини, що йдуть далі до 50–омних інтерфейсних конекторів. Однак, під час певної зміни опорів відповідних резисторів схема може працювати і з та навантаженням від 20 до 100 Ом. У принципі, можлива навіть робота як мінімум із 300–омними джерелами та навантаженням. При

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

цьому вхідний опір приймача та вихідний опір ГШ (або ГСС) можуть бути різними, перебуваючи в межах 50 ... 300 Ом.

Якщо проводять вимірювання з генератором, що має вихідний опір не 50 Ом, а, наприклад, 1000 Ом, то С39 підключають до «середини» узгоджувального симетруючого дільника 950 Ом / 50 Ом.

Зазначимо, що калібрувальні імпеданси, з'єднують короткими провідниками за типом провідників, що підключено до усіх входів підсилювачів (так звані повітряні лінії із товстого дроту для зменшення паразитних індуктивностей). У ряді випадків калібрувальні елементи припаюють безпосередньо один до одного (за принциповою схемою), що навіть краще з точки зору усунення паразитних ємностей.

Роз'єми для вимірювання та подачі флюктуаційного сигналу так застосовують з тим саме хвилевим опором, що і вихідний опір вихідного каскаду ГСС або ГШ (зазвичай це значення дорівнює 50 Ом, то, відповідно, калібрувальний  $R1 = 50 (51) \text{ Ом}$ ).

Для 50-омних радіотехнічних пристроїв ці трансформатори мають бути намотані на феритових кільцях (К10х6х4, 600 ... 2000НН) проводом діаметром 0,3 мм. Близько 10 ... 12 витків «крученої пари» (3 ... 4 скручування на 1 см) рівномірно розподіляють по кільцю. Слід враховувати, що хвильовий опір такої «крученої пари» не дорівнює 50 Ом, проте це не позначається на точності вимірювань в діапазоні частот 1 ... 30 МГц (і навіть до 100 МГц).

Транзистори двотактного каскаду підсилення струму мають бути підібрані за однаковими параметрами, в першу чергу – коефіцієнтом підсилення струму.

## **3.2 Методика проведення вимірювань та обробка результатів**

### **3.2.1 Методика вимірювань**

*Підготовка до вимірювань.* Для проведення вимірювань підключають до гнізда ГШ флюктуаційний генератор або синусоїдальний генератор ГСС (не

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

-  
заперечується і такий варіант вимірювання, що тільки розширює функціональні можливості). У разі потреби можливо використання сторонніх додаткових підсилювачів для сигналів ГШ. У приймачі, а також у ГСС (у разі його використання замість ГШ) встановлюють необхідну частоту, на якій збираються вимірювати імпеданс.

Далі вимикають систему АРП тестового приймача (трансівера), рівень сигналів ГШ (ГСС) встановлюють таким, щоб підсилювач низьких частот приймача (трансівера) не перевантажувався. Потім встановлюють калібрувальний конденсатор С39\* необхідної величини. Надалі проводять пробне вимірювання імпедансу, підключаючи досліджуваній радіотехнічній пристрій до конектору «невідомий імпеданс», а приймач, що використовується як вольтметр змінного струму – послідовно до конекторів напруг «U1», «U2» і «U3».

*Вимірювання.* Для вимірювання імпедансів, близьких до 50 Ом, орієнтовні значення С39\* (значення пф) вибираються в залежність від діапазонів, наприклад, 1,8 МГц – 2000; 3,5 МГц – 1000; 7 МГц – 560; 1 МГц – 390; 21 МГц – 180 і 28 МГц – 100. Показники широкосмугового мілівольтметра за НЧ, підключеного до виходу приймача-вольтметра (трансівера) фіксуються, тобто запам'ятовуються (записуються) конкретні значення U1, U2 і U3. При чому під час застосування аналогового генератора шуму показники можуть мати невеликий рівень девіації (змінюватись), що не буває під час використання цифрових генераторів шуму.

Правильність вибору значення калібрувальної ємності С39\*, необхідного для досягнення найбільш точних вимірювань, буде проявляти себе в тому, що відповідні величини U1, U2, і U3 на виході приймача (низькочастотний шум у разі використання ГШ будуть одного порядку, краще, щоб відрізнялись не більш ніж у 3...5 разів. За умови близькості значень забезпечується найвища точність вимірювання

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

*Варіанти виміральної схеми.* Під час подібних вимірювань імпедансу або ж значення КСВ можна взагалі відмовитися від використання підсилювачів 1 і 3, використовуючи тільки диференційну схему на підсилювачах 2,4.

У цьому випадку приймач (трансівер) весь час підключений до конектору підсилювача 2, тобто при вимірах вже не потрібно переставляти кабелі в конектори. Для вимірювання напруги  $U_1$  провідник має йти до лівої за схемою обкладки  $C_{39}^*$ , а провідник А заземлюють. Відповідно, при вимірюванні напруги  $U_2$  провідники і підсилювача 2 повинні бути підключені безпосередньо до  $C_{39}^*$ . При вимірі напруги  $U_3$  провідник підсилювача 2 повинен йти до правої за схемою обкладки  $C_1''$ , а провідник В заземлюють.

### 3.2.2 Розрахунки імпедансу за вимірюваннями

Нагадаємо, що для нашого випадку розрахунки проводять на основі вимірювання значень простим вимірником низькочастотного змінного струму, що здешевшує побудову окремого комплексу для досліджень порівняно із попередніми методами [2,7].

Для оцінки шуканих складових імпедансу надходять наступним чином.

Розраховують величини напруг на  $X_s$  і  $R_s$  (у вольтах) за співвідношеннями (9) та (10) (див. 1 розділ)

Обчислюють масштабний коефіцієнт:

$$m = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_1^* \cdot U_2}, \quad (22)$$

де:  $f$  – частота, де проводять вимірювання, Гц;

$C_1^*$  – ємність вимірального конденсатора у Фарадах;

$U_2$  – величина напруги на  $C_1^*$ , виражена у вольтах.

Знаходимо шукані складові імпедансу:

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X_s = mU_{x_s^1}; \quad (23)$$

$$R_s = mU_{R_s^1}. \quad (24)$$

Якщо величина  $U_X < 0$ , що визначається, то відповідно, реактивна складова імпедансу носить індуктивний характер, а якщо  $U_X > 0$ , то ця складова імпедансу носить ємнісний характер.

За умови використання синусоїдальних сигналів ГСС для знаходження  $R_s$  та  $X_s$  на частоті  $f$  він має бути налаштований на цю частоту, а SSB – приймач – на частоту, близьку до цієї частоти (відмінну від неї на 1...2 кГц), що вимагає високої точності підтримання різниці частот.

Однак проводити вимірювання, використовуючи флюктуаційний генератор ГШ, набагато зручніше та суттєво простіше, оскільки на цю частоту (де проводять вимірювання  $R_s$  та  $X_s$ ) треба налаштовувати лише приймач, а шум генерується в широкій смузі частот.

Зауважимо, що при вимірах як з використанням ГШ, так і ГСС, крім SSB – приймача, допускається також використовувати ще більш простіший АМ – приймач.

Однак метод вимірювання з використанням SSB(АМ) – приймача не можна застосовувати при дослідженнях вузько – смугових кварцових фільтрів та інших пристроїв, імпеданс яких змінюється вкрай різко у дуже вузькій смузі частот, наприклад, кілька кГц.

### 3.3 Розробка окремих модулів

#### 3.3.1 Вихідний каскад підсилювача струму

Вихідний каскад підсилювача струму складено за двотактною схемою на малопотужних транзисторах які мають забезпечити доволі значні імпульсні

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

струми позитивної та негативної на півхвилі. Точний розрахунок транзисторного каскаду (рис.16) практично неможливий, важливо лише встановити відсутність перевищення критичних значень параметрів для транзистора.

В схемі (рис.16) можливе використання різних типів транзисторів, для забезпечення робочого діапазону частот у 20 МГц для застосування цілком придатні транзистори, що вказано на схемі, які мають граничну частоту підсилення, для застосування в діапазоні до 100МГц краще використовувати більш високочастотні транзистори КТ368 або їх закордонні аналоги [18,19].

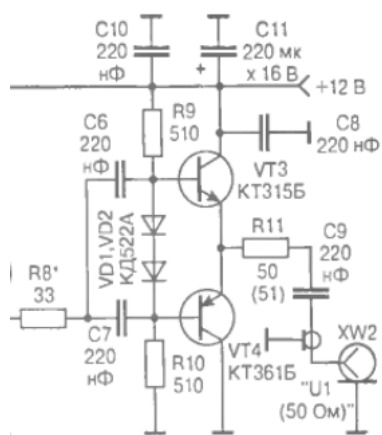


Рисунок 16 – Фрагмент ескізу принципової схеми блоку двотактного емітерного повторювача

Під час розрахунків зазначимо, що всі два перші каскади підсилювача мають безпосередній зв'язок та зсередини схеми являють собою підсилювач постійного струму, при цьому на базах підтримується напруга близька до половини напруги живлення  $U_{ж}$  – 6В. Двотактний каскад відокремлено від попередніх каскадів підсилення струму роздільними конденсаторами С6, С7, а струм бази задається резисторами R9,R10.

Для запобігання появи наскрізного струму та переведення каскаду в режим АВ, використано діоди VD1,2 із падінням напруги у відкритому стані  $U_d$ , в такому випадку за умови повної симетрії струм базового подільника складатиме:

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$I_B = \frac{0,5U_{ж} - U_D}{R_9} = \frac{6-1}{510} \cong 10(\text{мА})! \quad (25)$$

Такого значення цілком достатньо для отримання стабільної напруги близько 1В на діодах та відкритого струму бази із падінням напруги на базовому переході транзистора близько 0,7В. Різниця між цими напругами виділяється на опорі навантаження, що типово складає  $R_H=50\text{Ом}$ . Звідки струм емітера можливо оцінити як:

$$I_E = h_{21e} \frac{U_D - U_T}{R_H} = 50 \frac{1-0,7}{50} \cong 0,3(\text{А})! \quad (26)$$

де  $h_{21e}$  - коефіцієнт підсилення транзистора в схемі із загальним емітером (обрано близько 50).

Що значно перевищує максимально припустимий струм для малопотужних транзисторів зазначених на схемі (рис.16). В такому випадку слід обрати транзистор середньої потужності, наприклад, КТ645 або подібний закордонний аналог.

Однак слід пам'ятати, що струм бази транзистора за умови застосування резистивного подільника має складати не більше як 10% від значення струму подільника, що дає нам максимальний струм емітера близько 50мА, що цілком припустимо для малопотужних транзисторів.

Таким чином, схема представлена на рис.16 є цілком працездатною, але з точки зору запобігання протіканню великих наскрізних струмів транзисторів двотактного емітерного повторювача рекомендується використати більш потужні транзистори.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3.2 Попередній розрахунок надійності

Надійність пристрою можливо оцінити укрупненим методом [27]. Практично та теоретично показано, що терміну експлуатації без критичних режимів відповідає експоненційний закон ймовірностей появи відмов, якщо схему відмов вважати послідовною, тобто будь яка відмова компоненту призводить до відмови всього вимірювача. Показником кількості відмов є інтенсивність відмов, що позначають як  $\lambda$ . [30].

Для оцінки надійності використаємо перелік компонент КПТР20061.01.04.00ПЕЗ, а також коефіцієнти, що характеризують електричне навантаження, кліматичні умови експлуатації, механічні навантаження та коефіцієнт під час особливих умов застосування. Інтенсивності відмов визначають або за типовими показниками, або за паспортними даними, або відповідно вимірювачам подібного призначення – аналогам та прототипам як:

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^K \lambda_{0i} k_{1i} k_{2i} k_{3i} \alpha_i (t^0, E_i), \quad (27)$$

де  $\lambda_{0i}$  - інтенсивність відмов елемента за нормальних умов експлуатації, 1/год;

$k_{1i}$  - коефіцієнт механічних впливів, для стаціонарної апаратури лабораторій  $k_1 = 1,2$ ;

$k_{2i}$  - коефіцієнт впливу температури і вологості, для лабораторних приміщень за температури  $t = +0 \dots +40$  °С та відносній вологості у 60-90% встановлюється  $k_2 = 1,6$  (лабораторії мають стабільні умови);

$k_{3i}$  - коефіцієнт впливу можливої зміни атмосферного тиску в лабораторії  $k_3 = 1,1$ ;

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$\alpha_i(t^0, E_n)$  - коефіцієнт, впливу теплового та електричного навантаження на компонент відносно його граничних паспортних даних (див. таблиця 2);

$K$  - кількість однотипних компонент.

Таблиця 2 – Калькуляція інтенсивностей відмов вимірювача імпедансу

№	Назва блоку, або групи елементів	К-сть, компонент блоку, шт	Серед. ін-ть. відмов $\lambda_0 10^{-6}$	Коеф. навата ж. $\alpha_i(T, K_i)$	Відмв.б локу, 1/год	Обґрунтування
1	Резистори	43	0,5	0,2	4,3	Низька потужність
2	Конденсатори електrolітичні	4	3	0,7	8,4	Близько напруги живлення
3	Конденсатори керамічні	34	0,1	0,3	1,02	Співвідношення напруг
4	Діоди та транзистори	24	0,5	0,5	6	Режим А, та АВ
5	Сигнальні трансформатори	2	1	0,4	0,8	До 1 Вт на феритових кільцях 10 вітків
6	Розняття байонетні	4	1	1	4	Часто складаються та розкладаються
7	Розняття гніздові	4	0,7	0,3	0,84	Рідке перепідключення
8	Кабелі внутрішні	14	0,1	0,2	0,28	Навесний монтаж товстим провідником
8	Плата виробу	6	1	1	6	Мінімум 4-шарова із екранами
10	Точки пайки	214	0,03	1	6,42	Автоматизована пайка
	Всього	349	-	-	38,06	

Розроблений вимірювальний пристрій – флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв представлено однокорпусним варіантом із виносними елементами, що знаходяться в однакових умовах

експлуатації – лабораторіях із штучним кліматом взимку та стабільними кліматичними умовами влітку. Через однакові умови експлуатації ряд рівняння (1) спрощується як:

$$\lambda_{\Sigma} = k_1 k_2 k_3 \sum_{i=1}^K \lambda_{0i} \alpha_i (t^0, E_i), \quad (28)$$

Однак, чим більш сучасний компонент, тим відносно менша його інтенсивність відмов (табл.5) і як наслідок, загальна надійність більш новітніх виробів суттєво вища [18].

Із застосуванням інтегральних коефіцієнтів для стаціонарної апаратури, що працює у лабораторіях радіотехнічних досліджень інтенсивність відмов (за табл.2) складатиме:

$$\lambda_{\Sigma} = k_1 k_2 k_3 \sum_{i=1}^K \lambda_{0i} \alpha_i (t^0, E_i) = 1,2 \times 1,6 \times 1,1 \times 38 \cong 80 \cdot 10^{-6} \left( \frac{1}{\text{год}} \right), \quad (29)$$

а середній термін роботи пристрою до відмови:

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} = \frac{1}{80 \times 10^{-6}} \cong 12000 (\text{год}), \quad (30)$$

що є типовим для вимірювальної радіоапаратури, та відповідає вимогам технічного завдання на розробку.

Якщо вважати час використання пристрою для вимірювання вхідного імпедансу під час лабораторних робіт, що проводяться в університетах - 1 годину на день, надійності пристрою вистачить на 8-10 років щоденної експлуатації, що є типовим для пристроїв даного класу та підтверджує коректність отриманих оціночних розрахунків.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

### 3.4 Методологія вимірювань

#### 3.4.1 Етапи методології вимірювань

Методологія вимірювань – це набір принципів, процедур і практичних кроків, що використовуються для здійснення точних і об'єктивних вимірювань в наукових, технічних, статистичних і інших дослідницьких областях. Вона визначає, яким чином вимірювання повинні бути проведені, аби забезпечити достовірні результати і зменшити можливі похибки [1,2].

Методологія вимірювань включає такі етапи:

1. Визначення мети вимірювання: перед початком вимірювань необхідно чітко сформулювати, що саме потрібно виміряти і з якою ціллю.

2. Вибір вимірювальних методів і засобів: на цьому етапі визначаються методи та засоби, які будуть використовуватися для вимірювання.

Це можуть бути фізичні прилади, інструменти, лабораторна апаратура, а також алгоритми і програмне забезпечення.

3. Розробка вимірювальної процедури: цей етап включає розробку детального плану вимірювання, включаючи послідовність дій, критерії прийняття рішень, умови проведення вимірювань і контролю параметрів.

4. Збір даних: на цьому етапі здійснюється збір вимірювальних даних за допомогою обраного методу і вимірювальних засобів.

5. Обробка і аналіз даних: після збору даних вони підлягають обробці і аналізу з використанням відповідних методів і статистичних прийомів.

6. Оцінка похибок і невизначеностей: оцінка похибок і невизначеностей дозволяє визначити, наскільки точними і достовірними є отримані результати вимірювань.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

7. Представлення результатів: результати вимірювань слід представити у вигляді звіту, таблиць, графіків або інших візуальних засобів, які чітко відображають отримані дані.

Важливо зауважити, що методологія вимірювань може варіюватися в залежності від конкретної галузі дослідження і типу вимірювань, які проводяться. Різні наукові дисципліни та технічні галузі мають свої особливості і вимоги до вимірювань, тому методологія вимірювань може бути адаптована для конкретних потреб і вимог кожної галузі [4,5].

У методології вимірювань можуть бути деякі похибки або проблеми, які можуть вплинути на точність і достовірність результатів вимірювань. Ось кілька типових похибок, які можуть виникнути.

### 3.4.2 Похибки вимірювань імпедансу

*Систематична похибка* в методології вимірювань виникає, коли спостерігаються постійні зміщення відносно справжнього значення вимірюваної величини. Вона може бути спричинена недосконалістю апаратури, методів вимірювань, експериментального устаткування або систематичних помилок у процесі вимірювання. Наприклад, неправильно налаштований вимірювальний прилад або недостатнє калібрування можуть спричинити систематичну похибку.

Основні причини систематичних похибок під час вимірювання імпедансу можуть включати:

1. *Неправильне первинне калібрування вимірювача*: до таких похибок слід віднести похибку неідеальності налаштування параметрів підсилювачів, що може складати близько 1 %, за умови використання під час налагоджування вимірювальних приладів із похибкою менше 1%.

2. *Ефекти впливу середовища*: зміни у середовищі, такі як температура, вологість, атмосферний тиск, можуть впливати на вимірювання. Як правило ці

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

похибки відносять до додаткових похибок та для лабораторних досліджень близькі до нуля. Діє тільки основна похибка.

3. *Помилки в методі вимірювання*: якщо методологія вимірювань має дефекти або не враховує певні фактори, то можуть виникати систематичні похибки. До похибок в методі вимірювання віднесемо похибку розрахунків, що визначається точністю обробки цифрових значень показників вольтметра, можливо вважати, що вона не перевищує 1%.

4. *Ефекти людського впливу*: для подібних вимірювань як правило приводять до промахів, що легко виявляються, тому впливом такої похибки на процес вимірювання також знехтуємо.

Для уникнення систематичних похибок флуктуаційного вимірювача слід в першу чергу забезпечити калібрування ідентичності підсилювачів високочастотного змінного струму.

*Випадкова похибка*: ця похибка пов'язана зі стохастичними факторами, такими як шум, коливання, незначні зміни у вимірювальних умовах тощо. Вона впливає із недостатньої точності вимірювання і може бути зменшена шляхом повторення вимірювань і використання статистичних методів.

Випадкова похибка в методології вимірювань є несистематичною і може бути спричинена в нашому випадку такими факторами [3]:

1. *Дія шуму*: флуктуаційний вимірювач по природі використовує шум, що є тестовим сигналом, в цій похибці врахуємо нестабільність джерела флуктуаційного сигналу, що може скласти до 2% в діапазоні вимірювань..

3. *Точність вимірювальних засобів*: точність вимірювання цифровими вольтметрами залежить від кількості знаків відтворення, але загалом для вольтметрів НЧ типового застосування зазвичай не перевищує 2%. Для уникнення недостатньої точності вимірювальних засобів важливо проводити регулярне калібрування і перевірку засобів вимірювання, дотримуватися вимог і рекомендацій виробників під час процесу вимірювання, зберігати засоби вимірювання у відповідних умовах та виконувати правильність їх використання.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

-  
Випадкова похибка може бути усунена або зменшена шляхом використання статистичних методів, повторення вимірювань, врахування середніх значень і встановлення довірчих інтервалів.

Зважаючи на незалежність похибок можливо оцінити сумарну похибку як середньо-квадратичне значення зазначених відносних усіх похибок:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2} = \sqrt{1 + 0 + 1 + 0 + 2^2 + 2^2} = \sqrt{10} \cong 3,2(\%), \quad (31)$$

Таким чином, відносна похибка вимірювання набагато менша за похибку встановлену в технічному завданні, що підтверджує реальність застосованого методу вимірювання та розробленого вимірювального приладу.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано застосований метод вимірювання, що полягає в порівнянні відомого та невідомого імпедансів та названо методом 3-х вольтметрів. Встановлено принцип роботи та особливості застосування методу для вимірювання вхідного імпедансу.

2. Розглянуто ручну та автоматизовану методику вимірювання вхідного імпедансу за методом 3-х вольтметрів під час використання типового приладу для вимірювання із застосуванням лінійних діодних схем. Подано необхідні аналітичні співвідношення для отримання кінцевого результату.

3. Запропоновано в якості генератора тестового сигналу застосовувати цифровий генератор псевдовипадкової послідовності, що дозволяє отримати стабільну спектральну густину шуму в заданому діапазоні частот та забезпечити керування параметрами флуктуаційного процесу вибором тактової частоти та цифрової структури послідовносної схеми.

4. Виділено сучасні функціональні аналоги розроблюваного пристрою, якими можливо вважати аналізатори мережі, динамічні рефлектометри, векторні аналізатори та спектроаналізатори. Показано можливості вимірювання імпедансу за їх допомогою.

5. Проведено ескізу розробку технічного завдання на виріб, обґрунтовано вибір базових тактико-технічних характеристик та конструкторсько-технологічних параметрів на базі пристроїв аналогічного функціонального навантаження.

6. Запропоновано під час розробки вимірювача імпедансу за методом 3-х вольтметрів в якості тестового сигналу використати флуктуаційний сигнал, що дозволило використати професійний діапазонний приймач в якості вольтметра для визначення рівня сигналу за рівнем перетвореного низькочастотного шуму. Що еквівалентно застосуванню вольтметра змінного струму в зоні низьких частот та усунуванню необхідності застосування лінійних детекторів в зоні

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

-  
слабких сигналів. Розглянуто принцип роботи виробу розроблено укрупнену та електричну структурні схеми за запропонованими технічними рішеннями.

7. Розроблена схема електрична принципова флукуаційного вимірювача вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв, таких як вхідні каскади приймачів, антени, кварцові фільтри, змішувачі, тощо. Зазначено особливості схемотехніки та вибору елементної бази.

8. Проведені розрахунки режиму роботи двотактного широкосмугового каскаду емітерного повторювача для однієї із схем багато каскадного підсилення в структурі флукуаційного вимірювача вхідного імпедансу. Розрахунки підтверджують коректність застосування активної елементної бази.

9. Проведено розрахунки надійності за раптовими відмовами, показано, що середній час напрацювання на відмову складає не менше 10000 годин, що за умови щоденного годинного використання реалізує час використання у лабораторії не менше 10 років.

10. Оцінено метрологічні похибки вимірювання із обґрунтуванням парціальних складових похибок та об'єднанням у сумарну похибку, що складає близько 3%. Подібна похибка є типовою для апаратури аналогічного функціонального призначення.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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>
2. 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.
3. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Частина І: конспект лекцій / В. В. Кухарчук – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 148 с.
4. 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. – 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.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

- 
7. Smith, John. "Fundamentals of Radio Frequency Measurements." *Journal of Electrical Engineering*, vol. 25, no. 2, 2019, pp. 45-58.
  8. Johnson, Sarah. "Introduction to Radio Frequency Circuit Design." *International Journal of Electronics*, vol. 38, no. 4, 2020, pp. 112-126.
  9. Brown, Robert. "Principles of Impedance Measurement Techniques." *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 3, 2018, pp. 321-335.
  10. Anderson, David. "Design and Analysis of Radio Frequency Measurement Systems." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 15, no. 5, 2021, pp. 210-225.
  11. Williams, Mark. "Signal Processing Techniques for Impedance Measurements." *Journal of Applied Physics*, vol. 72, no. 9, 2017, pp. 5901-5914.
  12. 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.
  13. Thomas, Michael. "Software Development Methodologies: A Comparative Study." *International Journal of Software Engineering*, vol. 42, no. 1, 2020, pp. 78-92.
  14. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник/ За ред. Ю.Л.Мазора, Є.А.Мачуського, В.І.Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.
  15. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, т.1, — Харків: «Компанія СМІТ», 2003. — 580 с.
  16. 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.
  17. Волочій Б. Ю. Практикум з теорії електрозв'язку : навч. посібник / Б. Ю. Волочій, Л. Д. Озірковський. – Львів. : Вид-во Львівської політехніки, 2010. – 116 с.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

- 
18. Троцишин І.В. Фізичні основи електронних приладів: Навч. посібник / І.В.Троцишин – Хмельницький: ХДУ. – 2004. – 488 с.
  19. 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.
  20. Буката Л.Н. Чисельні методи та моделювання на ЕОМ: навчальний посібник. – Ч. 1. – Модуль 2 / Буката Л.Н., Глазунова Л.В. – Одеса: ОНАЗ ім.О.С. Попова, 2013. – 84 с.
  21. Швець Є.Я. Матеріали і компоненти електроніки: навч. посібник /Є.Я.Швець, І.Ф.Червоний, Ю.В.Головко – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 278 с.
  22. Василенко І.І. Конструкційні та електротехнічні матеріали: навч. посібник. / І.І.Василенко, В.В.Широков, Ю.І.Василенко. – Львів: «Магнолія-2006», 2009. – 242 с.
  23. P. K. Chatterjee, "Fluctuation Sensing Techniques in Electronic Instrumentation," CRC Press, 2018, pp. 508-515.
  24. A. G. Andreou, "Noise in Receiving Systems," Springer Science & Business Media, 2013, pp. 1853-1867.
  25. Yang, Yongheng, et al. "Design for reliability of power electronic systems." Power electronics handbook. Butterworth-Heinemann, 2018. 1423-1440.
  26. R. A. Witte, "Noise in Semiconductor Devices: Modeling and Simulation," Wiley-IEEE Press, 2011, pp. 548-557.
  27. Васілевський О.М., Гриценко Ю.В. Нормування показників надійності технічних засобів. Навч. посібник .Вінниця: ВНТУ, 2013р., 160 с.
  28. Методичні вказівки щодо організації, проведення та підготовки звіту з переддипломної практики для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»/

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

уклад.:Підченко С.К., Огнєвий О.В., Таранчук А.А., Мішан В.В. / за заг. ред. С.К.Підченко. – Хмельницький: ХНУ, 2021. – 29с.

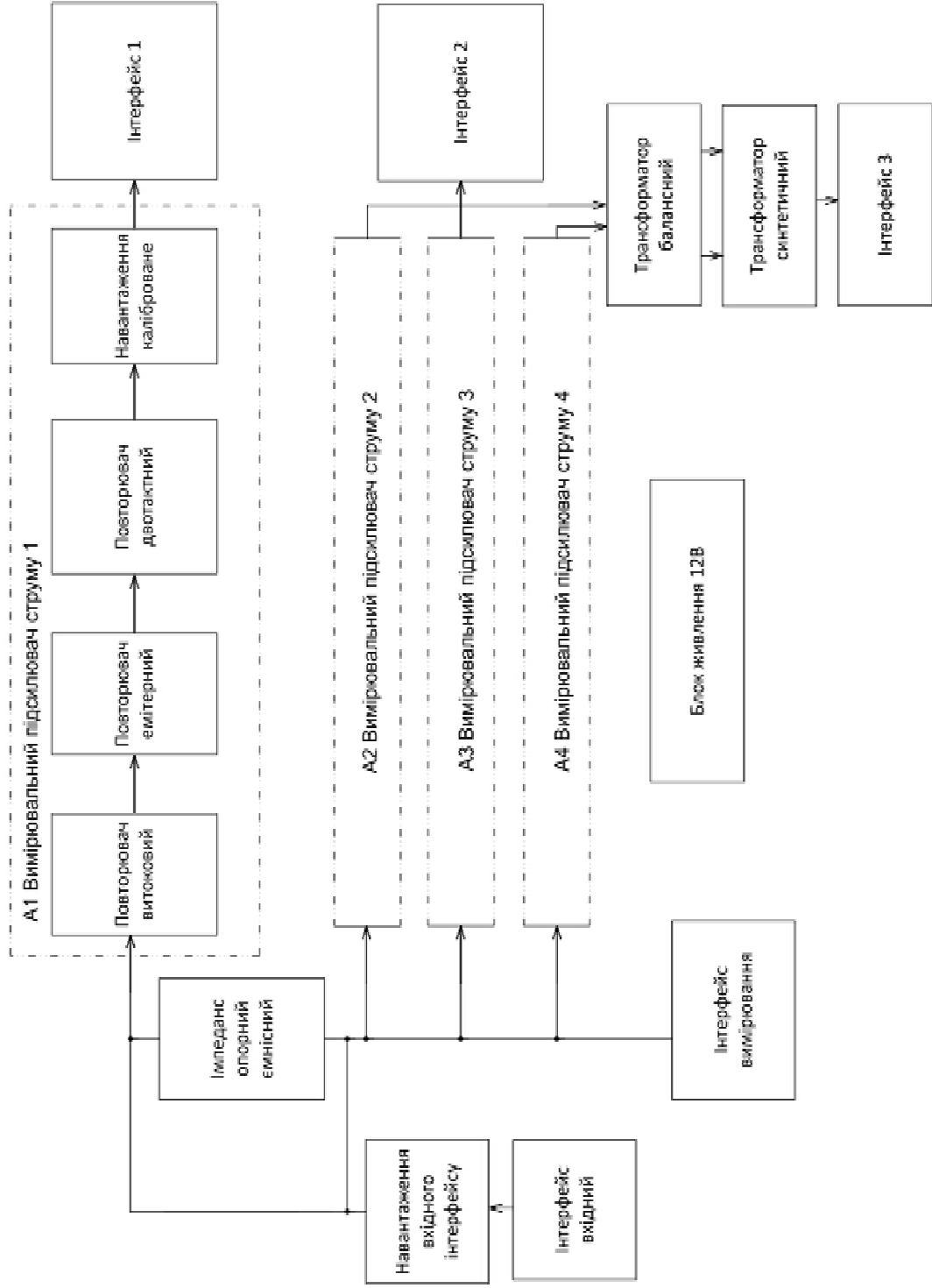
29. ДСТУ 3004-95. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. К.: Держстандарт України, 1995. – 123 с.
30. Федун І.В. Основи теорії надійності та контролю якості виробів електронної техніки: Лабораторний практикум. Вінниця: ВДТУ, 2003р., 71 с.

					КПТР20061.01.04.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Поз. Познач	Найменування	Кіл.	Примітка
Конденсатори			
C1, C2	K10-17-1a-50B-220 нФ±20%	2	
C3	K52-16-16B-20-220 мкФ±5%	1	
C4..C13	K10-17-1a-50B-220 нФ±20%	10	
C14	K52-16-16B-20-220 мкФ±5%	1	
C15..C17	K10-17-1a-50B-220 нФ±20%	3	
C18	K52-16-16B-20-220 мкФ±5%	1	
C19	K10-17-1a-50B-220 нФ±20%	1	
C20	K52-16-16B-20-220 мкФ±5%	1	
C21..C24	K10-17-1a-50B-220 нФ±20%	4	
C25	K52-16-16B-20-220 мкФ±5%	1	
C26..C36	K10-17-1a-50B-220 нФ±20%	11	
C37	K52-16-16B-20-220 мкФ±5%	1	
C38..C39	K10-17-1a-50B-220 нФ±20%	2	
Резистори C2-31-0,125 ±5%			
R1	50 Ом	2	
R2..R5	1 МОм	4	
R6,R7	33 Ом	2	
R8,R9	4.7 кОм	2	
R10,R11	33 Ом	2	
R12,R13	470 Ом	2	
R14,R15	33 Ом	2	
R16..R19	1,2 кОм	4	

КПТР.20061.01.04.00ПЕЗ								
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Флукуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв Перелік елементів	Літ.	Аркуш	Аркуші
						у	1	2
Розробив	Терлецький			206.23		ХНУ, ФІТ		
Перевірів	Пивовар О.В.			206.23				
Н.контр	СТЕЦЮК В.І.			206.23				
Затверд	Підченко С.К.							

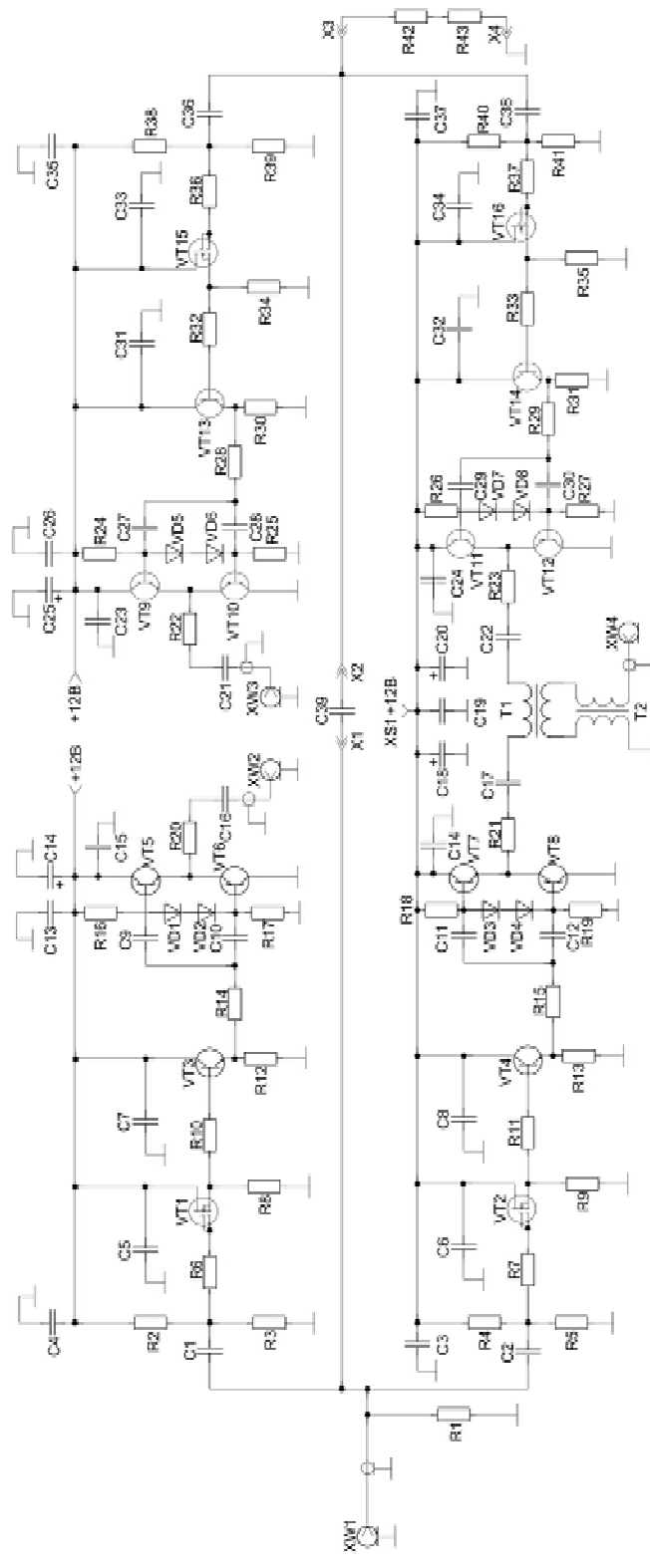




КПТР 20061.01.07.00E1		Період	Маса	Кодифікатор
оперуційний вимірювач вхідного імпедансу радіочастотних пристроїв Сховані елементи призначені		Г		
Вид. Ано.	Назва	Знач.	Дат.	
Розроб.	Зробив	В. С.		
Прийом.	Прийняв	О. С.		
Т. квалі.				
В. квалі.	Склад	В. І.		
Дат.				
				ХНУ, ФІП

Інтерфейс	Інтерфейс	Інтерфейс	Інтерфейс	Інтерфейс	Інтерфейс
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

КЭ07.01.01.07.00ЕЗ



КЭ07.01.01.07.00ЕЗ		Этап		Исполнение	
№ п/п	Наименование	Тип	Вид	№	Деталь
1	Элементы				
2	Сборка				
3	Сборка				
4	Сборка				
5	Сборка				
6	Сборка				
7	Сборка				
8	Сборка				
9	Сборка				
10	Сборка				
11	Сборка				
12	Сборка				
13	Сборка				
14	Сборка				
15	Сборка				
16	Сборка				
17	Сборка				
18	Сборка				
19	Сборка				
20	Сборка				
21	Сборка				
22	Сборка				
23	Сборка				
24	Сборка				
25	Сборка				
26	Сборка				
27	Сборка				
28	Сборка				
29	Сборка				
30	Сборка				
31	Сборка				
32	Сборка				
33	Сборка				
34	Сборка				
35	Сборка				
36	Сборка				
37	Сборка				
38	Сборка				
39	Сборка				
40	Сборка				
41	Сборка				
42	Сборка				
43	Сборка				
44	Сборка				
45	Сборка				
46	Сборка				
47	Сборка				
48	Сборка				
49	Сборка				
50	Сборка				
51	Сборка				
52	Сборка				
53	Сборка				
54	Сборка				
55	Сборка				
56	Сборка				
57	Сборка				
58	Сборка				
59	Сборка				
60	Сборка				
61	Сборка				
62	Сборка				
63	Сборка				
64	Сборка				
65	Сборка				
66	Сборка				
67	Сборка				
68	Сборка				
69	Сборка				
70	Сборка				
71	Сборка				
72	Сборка				
73	Сборка				
74	Сборка				
75	Сборка				
76	Сборка				
77	Сборка				
78	Сборка				
79	Сборка				
80	Сборка				
81	Сборка				
82	Сборка				
83	Сборка				
84	Сборка				
85	Сборка				
86	Сборка				
87	Сборка				
88	Сборка				
89	Сборка				
90	Сборка				
91	Сборка				
92	Сборка				
93	Сборка				
94	Сборка				
95	Сборка				
96	Сборка				
97	Сборка				
98	Сборка				
99	Сборка				
100	Сборка				

КЭ07.01.01.07.00ЕЗ		Этап		Исполнение	
№ п/п	Наименование	Тип	Вид	№	Деталь
1	Элементы				
2	Сборка				
3	Сборка				
4	Сборка				
5	Сборка				
6	Сборка				
7	Сборка				
8	Сборка				
9	Сборка				
10	Сборка				
11	Сборка				
12	Сборка				
13	Сборка				
14	Сборка				
15	Сборка				
16	Сборка				
17	Сборка				
18	Сборка				
19	Сборка				
20	Сборка				
21	Сборка				
22	Сборка				
23	Сборка				
24	Сборка				
25	Сборка				
26	Сборка				
27	Сборка				
28	Сборка				
29	Сборка				
30	Сборка				
31	Сборка				
32	Сборка				
33	Сборка				
34	Сборка				
35	Сборка				
36	Сборка				
37	Сборка				
38	Сборка				
39	Сборка				
40	Сборка				
41	Сборка				
42	Сборка				
43	Сборка				
44	Сборка				
45	Сборка				
46	Сборка				
47	Сборка				
48	Сборка				
49	Сборка				
50	Сборка				
51	Сборка				
52	Сборка				
53	Сборка				
54	Сборка				
55	Сборка				
56	Сборка				
57	Сборка				
58	Сборка				
59	Сборка				
60	Сборка				
61	Сборка				
62	Сборка				
63	Сборка				
64	Сборка				
65	Сборка				
66	Сборка				
67	Сборка				
68	Сборка				
69	Сборка				
70	Сборка				
71	Сборка				
72	Сборка				
73	Сборка				
74	Сборка				
75	Сборка				
76	Сборка				
77	Сборка				
78	Сборка				
79	Сборка				
80	Сборка				
81	Сборка				
82	Сборка				
83	Сборка				
84	Сборка				
85	Сборка				
86	Сборка				
87	Сборка				
88	Сборка				
89	Сборка				
90	Сборка				
91	Сборка				
92	Сборка				
93	Сборка				
94	Сборка				
95	Сборка				
96	Сборка				
97	Сборка				
98	Сборка				
99	Сборка				
100	Сборка				

Элементы, собранные в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ 17433-78, должны быть сертифицированы в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2001.

# КОНТРОЛЬ ПЛАГІАТУ



Ім'я користувача:  
Kafedra TMIT KhNU

ID перевірки:  
1015446298

Дата перевірки:  
06.06.2023 00:49:21 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
06.06.2023 01:00:09 EEST

ID користувача:  
100005657

Назва документа: Терлецький\_TP2c-20-1

Кількість сторінок: 66 Кількість слів: 10138 Кількість символів: 81964 Розмір файлу: 1.22 MB ID файлу: 1015106635

## 4.04% Схожість

Найбільша схожість: 1.7% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1008371926)

1.84% Джерела з Інтернету 152 ..... Сторінка 68

3.15% Джерела з Бібліотеки 30 ..... Сторінка 69

## 1.39% Цитат

Цитати 5 ..... Сторінка 70

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

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

Замінені символи 27

06.06.23, 10:29

result\_1649798834483841884.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: 8%

ID: 114895 Назва: Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв Додано в БД: 2023-06-06 Автора: Терлецький Дмитро Володимирович Керівники: Пивовар Олег Сергійович Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	60843	922	419 (1%)	7 (1%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

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: Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв

Автор: Терлецький Дмитро Володимирович

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, розмішені 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 розмішені 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 4.04 % (Unicheck) та 0% (Anti-Plagiarism), виявлені в роботі є випадковими і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.

06.06.2023р.

Відповідальний за перевірку Unicheck

Олег ПИВОВАР

Відповідальний за перевірку Anti-Plagiarism

Віктор СТЕЦЮК

Керівник роботи:

Олег ПИВОВАР

Зав. каф. ТМІТ

Сергій ПІДЧЕНКО

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

### ЗАЯВА

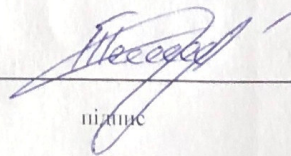
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційного проекту до захисту та застосування заходів дисциплінарної 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



підпис

Дмитро ТЕРЛЕЦЬКИЙ

Відгук керівника  
на кваліфікаційний проект студента групи ТР2с-20-1  
Терлецького Дмитра Володимировича  
«Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв»

Студент 3-го курсу Терлецький Д.В. скороченої форми навчання під час виконання кваліфікаційного проекту запропонував технічні рішення, що дозволили розробити частину конструкторської документації для створення простого приладу зменшеної вартості для вимірювання вхідних імпедансів широкого кола радіотехнічних пристроїв із застосуванням тестових флуктуаційних сигналів. Під час проектування особлива увага приділялася використанню доступної елементної бази для можливості виготовлення без застосування складного виробничого обладнання, в тому числі і в рамках університетських студентських конструкторських бюро для розширення та удосконалення лабораторної бази кафедри.

В проекті наведено обґрунтування доцільності застосування флуктуаційних сигналів для побудови вимірювача імпедансу із точністю не гірше 5% із використанням тестових сигналів низького рівня. Під час виконання проекту в складних умовах постійних повітряних тривог та періодичного відімкнення світла студент адекватно прислуховувався до зауважень, роботу виконував із зацікавленістю. Графічна частина виконана акуратно, насичення креслень достатнє формальні вимоги до текстової та графічної частини виконані повністю.

Вважаю, що кваліфікаційний проект заслуговує оцінки «Відмінно».

Керівник проекту:  
к.т.н., доц. каф. ТМІТ



Олег Пивовар

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційний проект студента групи ТР2с-20-1

Терлецького Дмитра Володимировича

«Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв»

Кваліфікаційний проект бакалавра складається із текстової частини, що складається із вступу, 3 розділів, висновків з виконання проекту, списку використаних джерел та додаткових матеріалів у кінці звіту. Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 65 сторінок і є достатнім для кваліфікаційних проектів бакалаврів. Графічна частина представлена 2 кресленням загальним обсягом 2 аркуші формату А2 із необхідними переліками елементів. В додатках подані усі необхідні документи для захисту та підтвердження автентичності

Перевагами кваліфікаційного проекту є пропозиції щодо використання відомого методу вимірювання для створення вимірювального пристрою, що дозволяє використовувати універсальне вимірювальне обладнання (мультиметр, генератор шуму, широкосмуговий приймач) для визначення активної та реактивної складових вхідного імпедансу приймачів, фільтрів, змішувачів, тощо, в діапазоні частот до 100МГц із точністю до 5%, придатного для виготовлення в університетських лабораторіях в рамках СКБ на основі доступної та дешевої компонентної баз. Однак в роботі присутні ряд неточностей формулювань, обмежено проведений розрахунок підсилювальних каскадів.

В цілому кваліфікаційний проект ст. гр.. ТРс-20-1 Терлецького Дмитра Володимировича “ Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв ” виконано на високому технічному рівні та може бути рекомендовано до впровадження як навчально-лабораторний засіб. Проект заслуговує оцінку “відмінно”.

Рецензент:

к.т.н. доцент кафедри КТБерези  
Дисунь Б.М.  
8.06.2023

**Тема кваліфікаційного проєкту бакалавра:**  
**« Флуктуаційний вимірювач вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв»**

**Автор проєкту:** ст. гр ТР2с-20-1 Терлецький Дмитро  
Володимирович.

**Керівник проєкту:**

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

**Пояснювальна записка:** 65 сторінок, 16 рисунків, 2  
таблиці, 30 джерел посилання.

**Графічна частина:** 2 креслення, 9 презентаційних слайдів.

**Метою** кваліфікаційного проєкту є створення частини комплекту конструкторської документації пристрою вимірювання на основі модифікованого методу 3-х вольтметрів та аналіз можливостей його реалізації відповідно технічному завданню.

# КЛАСИЧНИЙ МЕТОД 3-Х ВОЛЬТМЕТРІВ

2

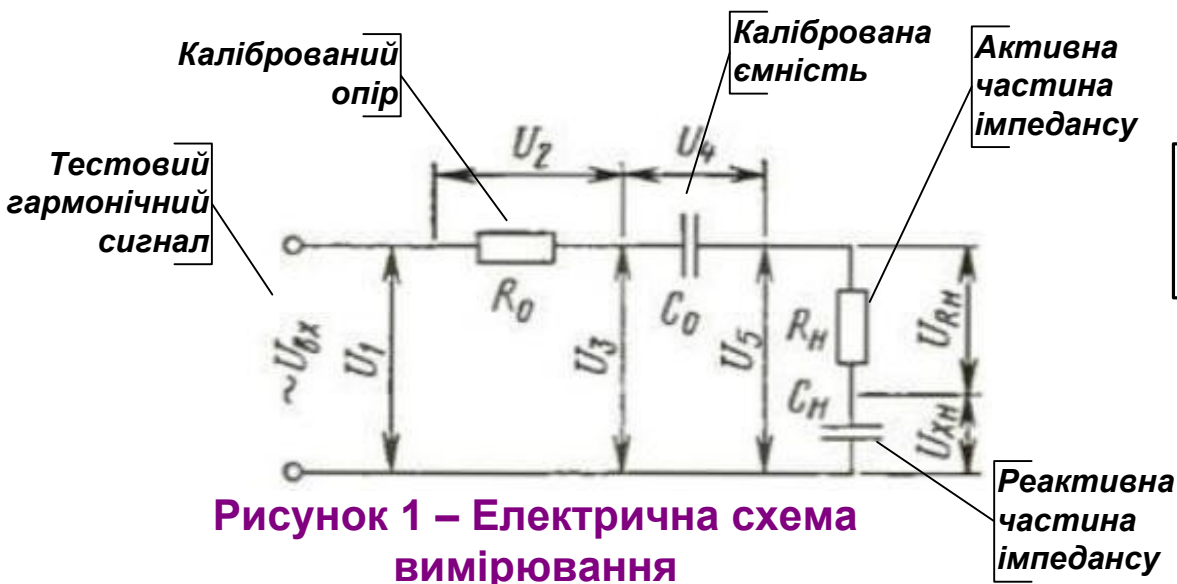


Рисунок 1 – Електрична схема вимірювання

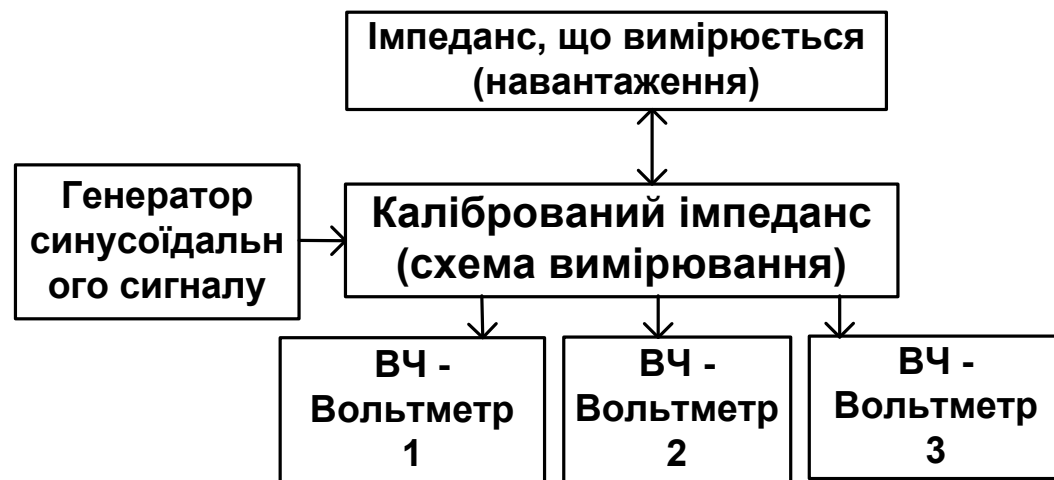


Рисунок 3 – Структурна схема вимірювання

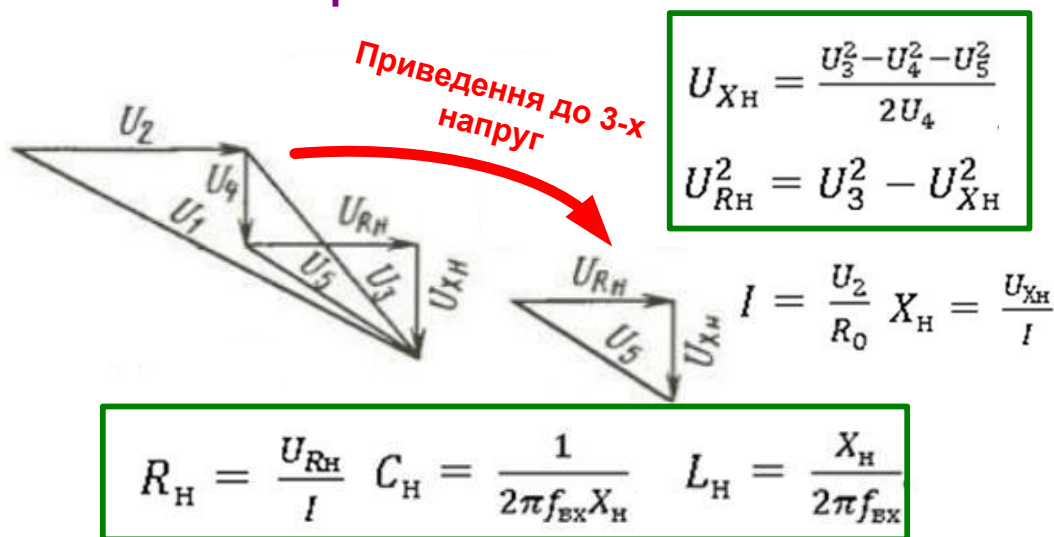


Рисунок 2 – Векторні діаграми вимірювання та аналітичні співвідношення

## Переваги:

1. Простота схеми вимірювача.

## Недоліки:

1. Складний прилад – ВЧ вольтметр.
2. Вимірювання тільки на одній частоті.
3. Низький рівень тестового сигналу.
4. Чутливість до наведень.
5. Похибка залежить від динамічного діапазону відмінності виміряних ВЧ напруг

# МЕТОД 3-Х ВОЛЬТМЕТРІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ



Рисунок 1 – Електрична схема вимірювання та векторні діаграми

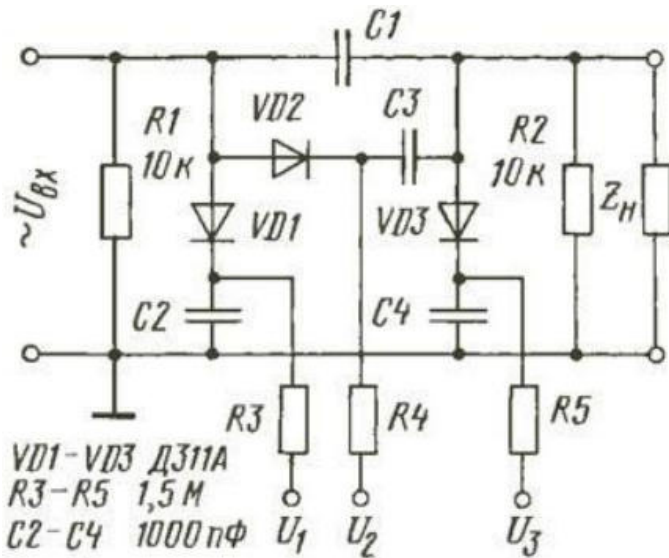


Рисунок 2 – Електрична схема вимірювання імпедансу із лінійними детекторами

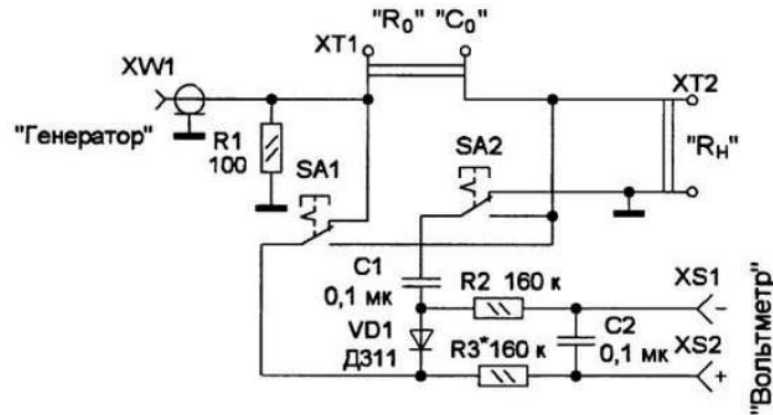


Рисунок 3 – Послідовна схема вимірювання із використанням 1-го вольтметра

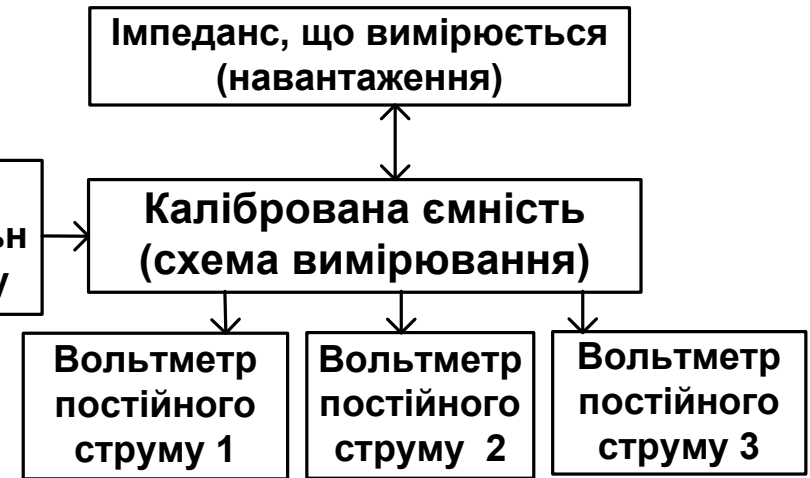


Рисунок 4 – Структура вимірювача імпедансу

**Переваги:**

1. Простота схеми вимірювача.
2. Простий прилад – вольтметр постійного струму.

**Недоліки:**

1. Вимірювання тільки на одній частоті.
2. Необхідність використання потужних тестових сигналів із можливістю перенавантаження входу.
3. Нелінійні спотворення детектора
4. Похибка залежить від динамічного діапазону відмінності виміряних напруг постійного струму

# МЕТОД 3-Х ВОЛЬТМЕТРІВ ІЗ ФЛУКТУАЦІЙНИМ ТЕСТОВИМ СИГНАЛОМ

4

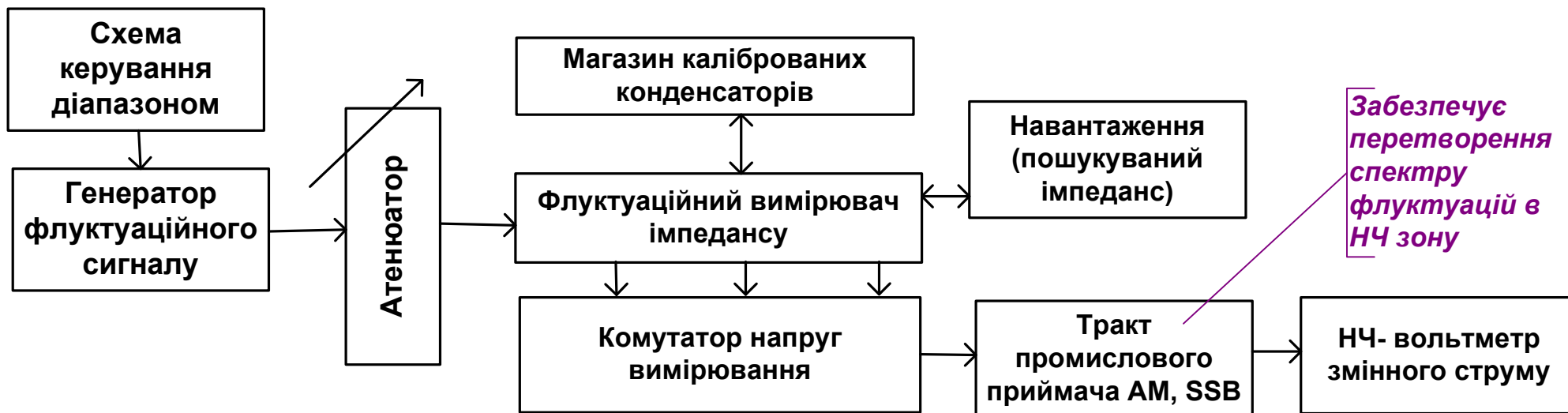


Рисунок 1 – Структурна схема вимірювання флукутаційного вимірювача імпедансу

## Переваги:

1. Відносна простота схеми вимірювача.
2. Простий прилад – НЧ - вольтметр змінного струму.
3. Збільшений діапазон вимірювальних імпедансів.
4. Використання типового устаткування.
5. Вимірювання в діапазоні частот модулюючих сигналів (НЧ-вольтметра)
6. Відсутність нелінійних спотворень

## Недоліки:

1. Похибка залежить від динамічного діапазону відмінності виміряних напруг постійного струму.
2. Збільшена складність схеми вимірювання.
3. Чутливість до нестабільності генерації флукутаційного сигналу



Рисунок 1 – Схема аналогового джерела ВЧ шуму

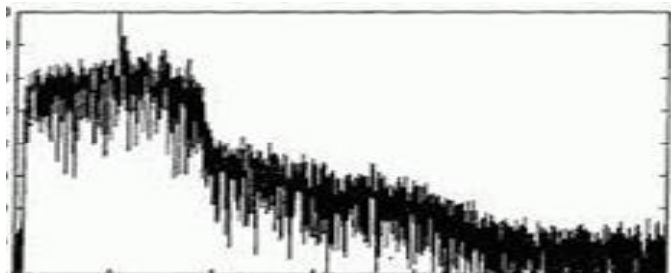


Рисунок 3 – Спектр аналогового джерела ВЧ шуму

Переваги:

1. Відносна простота схеми вимірювача.
2. Спектр суцільний.

Недоліки:

1. Нестабільність
2. Низький рівень.
3. Чутливість до напруги живлення
4. Неможливість керування

## Цифрові джерела ВЧ - шуму

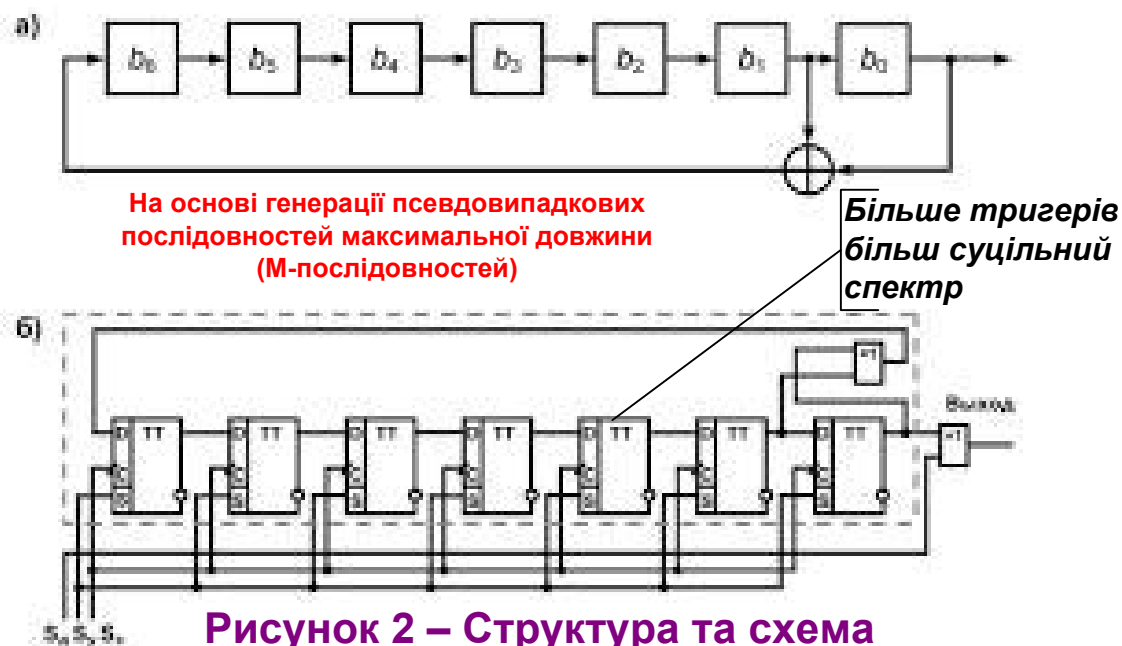


Рисунок 2 – Структура та схема цифрового генератора шуму



Рисунок 4 – Спектр цифрового шуму

Переваги:

1. Великий рівень сигналу.
2. Стабільність частотних характеристик.
3. Можливість керування спектром.

Недоліки:

1. Дискретність та нерівномірність спектру

# ПРИСТРОЇ - АНАЛОГИ, ЗА ДОМОМОГОЮ ЯКИХ МОЖЛИВО ВИМІРЯТИ ВХІДНИЙ ІМПЕДАНС



Рисунок 1 –  
Аналізатор спектру

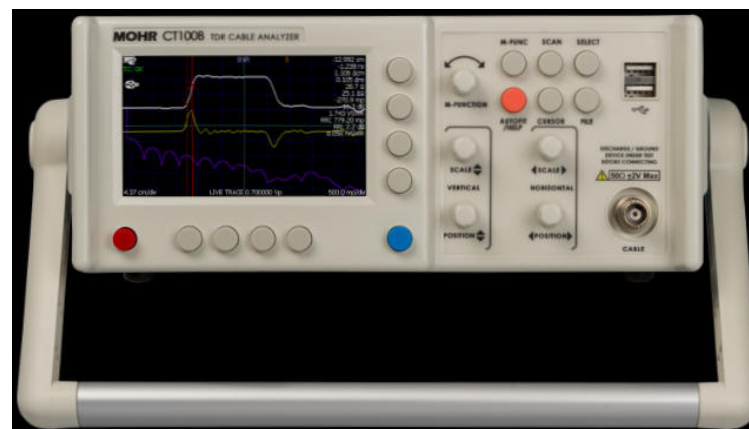


Рисунок 3 – Динамічний рефлектометр



Рисунок 2 – Векторний  
аналізатор мережі

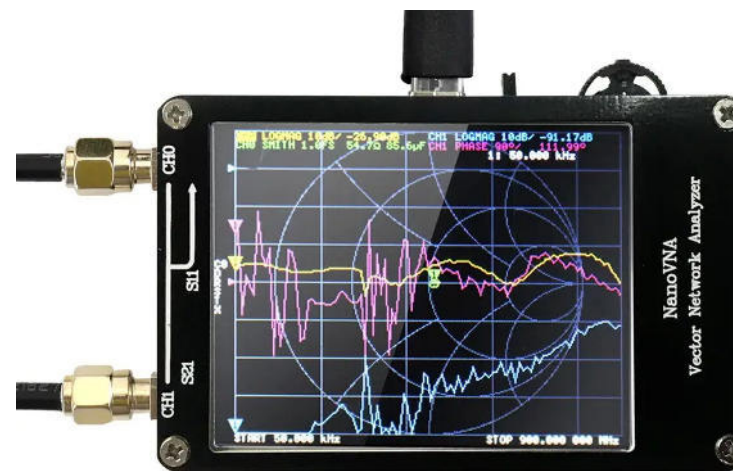
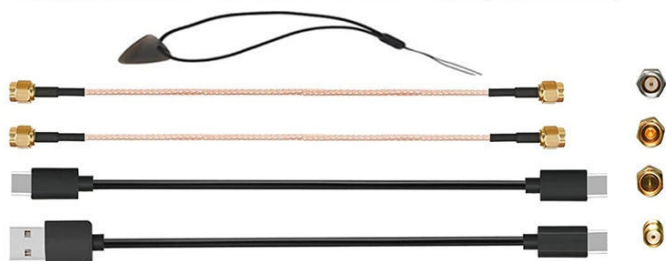


Рисунок 4 – Програмований аналізатор  
мереж

Всі подібні прилади відрізняються багатофункціональністю та високою вартістю.

# СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА СТРУКТУРНА

7



**Рисунок 1 – Схема електрична структурна флукутаційного вимірювача вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв (фільтрів, змішувачів, приймачів, антен, ліній, тощо)**

# СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА

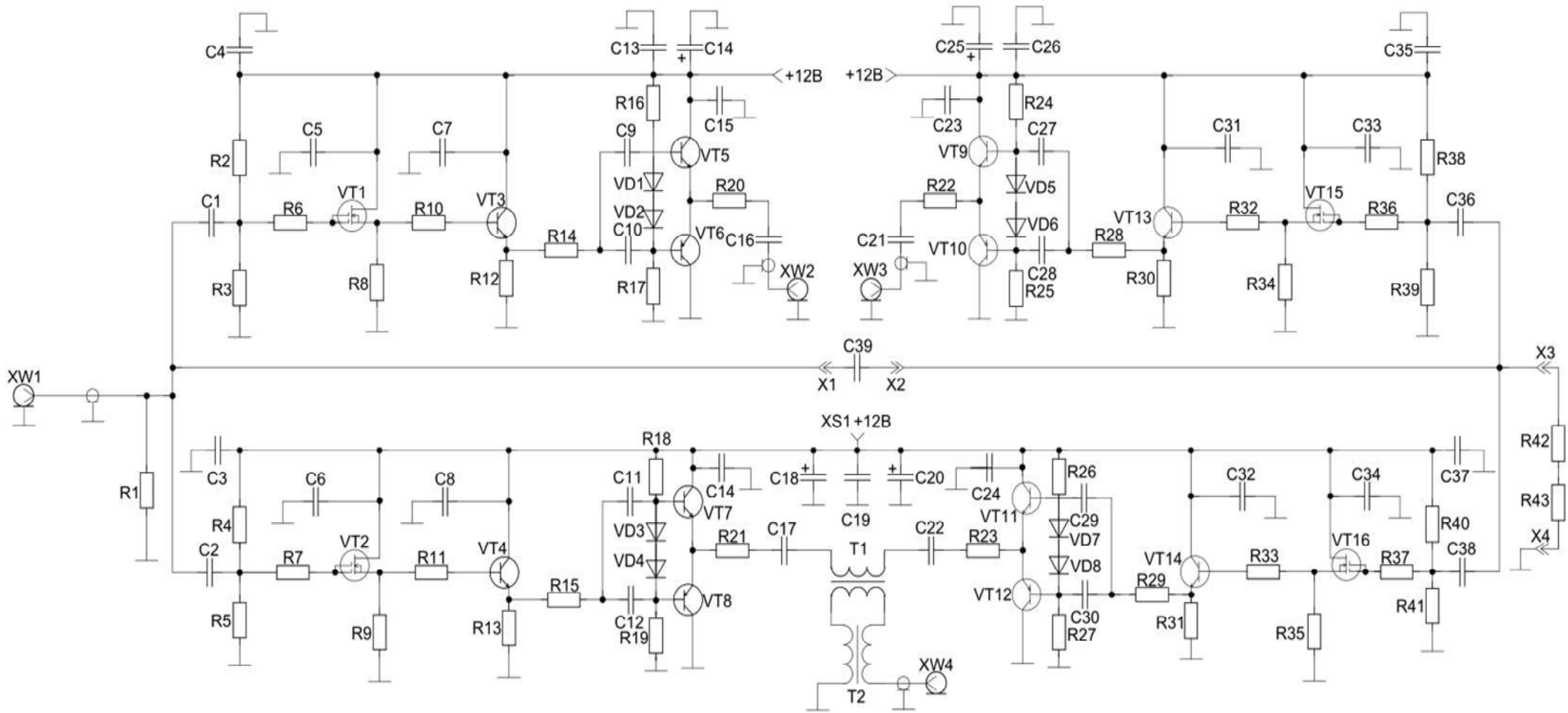


Рисунок 1 – Схема електрична принципова флукуаційного вимірювача входного імпедансу радіотехнічних пристроїв (фільтрів, змішувачів, приймачів, антен, ліній, тощо)

Таблиця 1 – Основні параметри вимірювача    Таблиця 2 – Калькуляція інтенсивності відмов

№	Найменування параметру	Одиниця	Значення	Примітки
1	Діапазон робочих частот, залежно від виконання	МГц	1-100	не менше
2	Точність вимірювання	%	5	не менше
3	Напруга первинного живлення	В	12	
4	Кількість входів - виходів	шт	5	
5	Струм споживання по напругам	А	1	не більше
6	Мінімальне значення вхідного вимірювального імпедансу	Ом	10	Номінал
7	Максимальне значення вхідного вимірювального імпедансу	шт	1000	Номінал
8	Габаритні розміри	мм	150x 150x 100	не більше
9	Вага	кг	1	не більше
10	Діапазон робочих температур	°С	0...+40	не менше
11	Середнє напрацювання на відмову	год	10000	не менше
12	Гарантований термін застосування	рік	10	не менше
13	Середній час відновлення працездатності через виконання ремонту	год	2	не більше

№	Назва блоку, або групи елементів	К-сть, компонент блоку, шт	Серед. ін-ть, відмов в $\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	Коеф. навантаження, $\alpha_1(T, K, \dots)$	Відмв. б локу, 1/год	Обґрунтування
1	Резистори	43	0,5	0,2	4,3	Низька потужність
2	Конденсатори електролітичні	4	3	0,7	8,4	Близько напруги живлення
3	Конденсатори керамічні	34	0,1	0,3	1,02	Співвідношення напруг
4	Діоди та транзистори	24	0,5	0,5	6	Режим А, та АВ
5	Сигнальні трансформатори	2	1	0,4	0,8	До 1 Вт на феритових кільцях 10 вітків
6	Роз'ягтя байонетні	4	1	1	4	Часто складаються та розкладаються
7	Роз'ягтя гніздові	4	0,7	0,3	0,84	Рідке перепідключення
8	Кабелі внутрішні	14	0,1	0,2	0,28	Навесний монтаж товстим провідником
8	Плата виробу	6	1	1	6	Мінімум 4-шарова із екранами
10	Точки пайки	214	0,03	1	6,42	Автоматизована пайка
	Всього	349	-	-	38,06	

**З урахуванням загальних коефіцієнтів навантаження середній час напрацювання на відмову складає 12 тис.год.**

- 1. Проаналізовано принцип структуру, пристрої, особливості, методика вимірювань імпедансів вискоочастотних кіл за методом 3-Х вольметрів. Запропоновано в якості тестового сигналу застосувати флуктуаційний сигнал генератора шуму, що дозволило отримати середнє значення імпедансу в діапазоні модуляційних частот, розширити діапазон вимірювальних імпедансів, спростити вимоги до вимірювальних вольтметрів та забезпечити стійкість до перенавантажень чутливих вхідних кіл під час вимірювання.**
- 2. Розроблені електрична структурна та принципова схема виробу, проаналізовані вимоги до компонентної бази та загальної конструкції виробу - флуктуаційного вимірювача вхідного імпедансу радіотехнічних пристроїв.**
- 3. Проведено ряд схемотехнічних розрахунків, що підтверджують правильність вибору елементної бази, розрахунки надійності (Середній час напрацювання на відмову -12тис.год), проаналізовані джерела похибок вимірювання імпедансу, оцінено точність вимірювання імпедансу на оціночних значень похибок різного роду, що складає близько 4%.**

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!!!**