

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

Радіометр НВЧ

Назва теми

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

Шифр КПТР 022080.01.10.00ПЗ


Виконав: здобувач 4 курсу, група ТР2-22-1


Підпис

Д.М. Рогозянський

Ініціали, прізвище

Керівник:.



Підпис, дата

1.06.26

О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

Нормоконтроль:

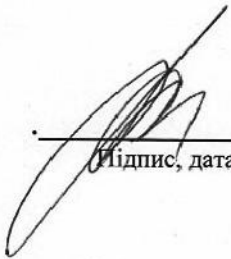

Підпис, дата

2.06.26

В.І. Стецюк

Ініціали, прізвище

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


Підпис, дата

2.06.2026

С.К. Підченко
Ініціали, прізвище

2 червня 2026 р.

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

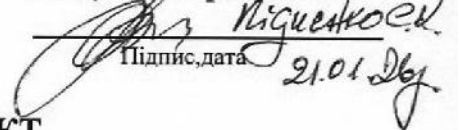
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр і назва

Освітня-професійна програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМІТ


Підпис, дата 21.01.2026

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ**

Рогозянському Дмитру Михайловичу

Прізвище, ім'я, по батькові здобувача

1 Тема проєкту Радіометр НВЧ

керівник проєкту Пивовар Олег Сергійович, канд.техн.наук, доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від « 20 » січня 2026р. № 7, дод.№20.

2 Строк подання студентом проєкту на кафедру: 01.06.2026р.

3 Вихідні дані до проєкту Ескіз та загальні зауваження щодо проєктування детекторів радіовипромінювання діапазону надвисоких частот (НВЧ). Напряга автономного джерела живлення в межах 3-10В із струмом споживання до 0,1А. Коефіцієнт шуму до 2дБ. Тип забезпечення температурного режиму – змішаний: періодичне ввімкнення або регулювання потужності нагрівача. Габаритний бокс не більше 0,5 дм.куб. Діапазон частот – близько 10ГГц. Повна автономність пристрою на інтервалі часу у 8 год.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз застосованих принципів та методів радіометрії НВЧ. 2. Огляд відомих технічних рішень. 3. Розробка та обґрунтування структурного та схемотехнічного рішення. 4. Вибір елементної бази, проєктування надвисокочастотних кіл та кіл обробки. 5. Аналіз можливих варіантів застосування

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

1. Схеми електричності структурні (обов'язково). 2. Схеми електричні принципові або функціональні (обов'язково). 3. Складальні креслення окремих вузлів (опціонально). 4. Демонстраційні плакати (не менше 10 шт).

6 Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

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

7 Дата видачі завдання 21.01.2026р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

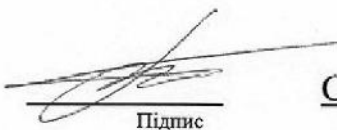
№ п/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вибір тематики проекту	до 9.02.26	обрано
2	Переддипломна практика, аналіз початкових даних до проекту	до 27.02.26	виконано
3	Написання вступу та 1 розділу	до 15.03.26	виконано
4	Написання 2 розділу	до 15.04.26	виконано
5	Оформлення креслення структурної та функціональної схеми	до 15.04.26	виконано
6	Написання 3 розділу	до 1.05.26	виконано
7	Оформлення креслення принципової схеми та демонстраційних плакатів	до 10.05.26	виконано
8	Компоновка та формування висновків	до 15.05.26	виконано
9	Корекція зауважень керівника	до 17.05.26	виконано
10	Підготовка доповіді, оформлення документів супровіду проекту	до 18.05.26	виконано
11	Подання готового проекту на попередній захист	20.05.26 (орієнтовно)	виконано
12	Корекція зауважень під час попереднього захисту	до 01.06.26	виконано
13	Рецензування, антиплагіат, підписи	до 06.06.26	виконано
14	Завантаження в репозитарій	до 09.06.26	виконано
15	Захист кваліфікаційного проекту	з 09.06.26	

Здобувач


 Підпис
Д.М. Рогозянський

Ініціали, прізвище

Керівник проекту


 Підпис
О.С. Пивовар

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проекту:

«Радіометр НВЧ».

Автор роботи: Рогозянський Дмитро Михайлович.

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

Пояснювальна записка: 71 стор., 25 рисунків, 3 таблиці, 23 джерел.

Графічна частина: 4 креслення, 13 презентаційних слайдів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДУЛЯЦІЙНИЙ РАДІОМЕТР, НВ
КОРЕРЯЦІЙНИЙ КОМУТАЦІЙНИЙ ФІЛЬТР, ДІЕЛЕКТРИЧНА АНТЕНА.

Метою кваліфікаційного проекту є розробка пристрою для виявлення вимірювання рівня слабких НВЧ сигналів, що відрізняється зменшені порогом чутливості, модульною архітектурою, доступністю електронні компонент, зменшення собівартості та складності виготовлення пристрою.

Проект присвячений розгляду принципу дії радіометр надвисокочастотного діапазону, розробці частини схемотехнічної конструкторської документації, структурної та схемотехнічної будови НІ підсилювача із низьким коефіцієнтом шуму. Проведено аналіз вимог реалізації підвищеної чутливості, розглянуто існуючі рішення, елементну базу та сформовано технічне завдання для модульного застосування. Проведено розрахунки діелектричної стрижневої антени у складі детекторної головки фільтруючо-підсилювальних елементів схеми електричної функціональної.

Д.М. Рогозянський

Ініціали, прізвище здобувача



1.06.202





Підпис, дата

№рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ екземпл.	Примітка
1						
2			<u>Документація загальна</u>			
3						
4	A4		Титульний аркуш	1		
5	A4		Завдання на квал.проєкт	1		
6	A4		Календарний план	1		
7	A4		Реферат (анотація)	1		
8	A4	КПТР022080.01.10.00ПЗ	Пояснювальна записка	68		
9	A4	КПТР022080.01.10.01ПЕ2	Перелік елементів	2		
10	A4	КПТР022080.01.10.00ПЕ2	Перелік елементів	2		
11	A4		Копії креслень	4		із форм.А3,А2
12	A4		Копії довідок внутрішнього			
13			та зовнішнього антиплагіату	2		
14	A4		Рішення експертної комісії			
15			кафедри про допуск	1		
16	A4		Копія відгуку рецензента	1		
17	A4		Копія заяви про академічну			
18			добросесність	1		
19						
20						
21			<u>Документація графічна</u>			
22						
23	A3	КПТР022080.01.10.01 E1	Схема електрична структурна	1		
24	A3	КПТР022080.01.10.00 E1	Схема електрична структурна	1		
25	A3	КПТР022080.01.10.01 E2	Схема електр. функціональна	1		
26	A3	КПТР022080.01.10.00 E2	Схема електр. функціональна	1		
27	A4		Демонстраційні плакати	14		
28						

					КПТР 022080.01.10.00 ВП		
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			
Розробив		Рогозянський		1.01.26	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів		Пивовар О.С.		2.06.26	Н	1	1
Н.контр.		Стецюк В.І.		20.09.26	ХНУ, ФІТ, ТМІТ		
Затверд.		Підченко С.К.		2.06.26			
					Радіометр НВЧ Відомість проєкту		

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1 ОБҐРУНТУВАННЯ СУТІ РОЗРОБКИ	11
1.1 Загальні положення.....	11
1.2 Принципи роботи радіометрів	13
1.2.1 Радіометр за компенсаційною схемою	13
1.2.2 Радіометр за кореляційною схемою	14
1.2.3 Радіометр за модуляційною схемою	16
1.2.4 Радіометр за адитивно-шумовою схемою	17
1.2.5 Шляхи підвищення чутливості радіометрів.....	19
1.3 Аналоги виробу	20
1.3.1 Детектор поля DS-828.....	20
1.3.2 Детектор електромагнітного випромінювання ХХТ-DT-Pro	22
1.3.3 Детектор жучков и объективов I-Tech K68	23
1.4 Розробка технічного завдання	24
1.4.1 Призначення приладу	24
1.4.2 Місце розміщення та умови експлуатації.....	24
1.4.3 Вимоги до умов використання приладу	26
2 СИСТЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ	28
2.1 Вхідні кола радіометра	28
2.1.1 Частотний діапазон	28
2.1.2 НВЧ тракт модуляційного радіометра.....	29
2.1.3 Принцип модуляційного НВЧ перетворення в радіометрі.....	31
2.1.4 Структурна схема детекторної головки радіометра.....	33

КПТР 022080.01.10.00ПЗ							
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Радіометр НВЧ Пояснювальна записка		
Розроб.		Рогозянський		20.08			
Перевір.		Пивовар		16.06	Літера	Аркуш	Аркушів
						6	74
Н. контр.		Стецюк		20.08	ХНУ, ФІТ, ТМІТ		
Затв.		Підченко		20.08.08			

2.2	Низькочастотна обробка в радіометрі	35
2.2.1	Принцип дії накопичувач в радіометрі НВЧ.....	35
2.2.2	Структурна радіометра НВЧ.....	37
2.2.3	Калібрування та вимірювання радіометром НВЧ.....	41
2.3	Конструкторська реалізація радіометра НВЧ	42
2.3.1	Зовнішнє компонування	42
2.3.2	Вимоги до розташування основних модулів радіометра	44
3	ТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИСТРОЮ	46
3.1	Антенна система радіометра.....	46
3.1.1	Тип антени для діапазону НВЧ.....	46
3.1.2	Матеріал діелектричного стрижня антени	48
3.1.3	Розрахунок діелектричної стрижневої антени	50
3.2	Функції детекторної головки	56
3.3	Функціональна схема радіометра НВЧ.....	59
3.4	Розрахунок активного фільтра модуляційного сигналу	62
	ВИСНОВКИ.....	67
	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БЖ – блок живлення

ДП – друкована плата

ДС – діаграма спрямованості антени

ЕМХ – електромагнітна хвиля діапазону НВЧ

ІС – інтегральна схема

КВП – кваліфікаційний проєкт

КВД – квадратичний детектор

НВЧ – надвисокі частоти (3..30ГГц)

КТД – конструкторсько-технологічна документація

ККД – коефіцієнт корисної дії

МСЛ – мікросмужкова лінія передачі на друкованій платі

ППЧ – підсилювач проміжної частоти

ПНВЧ – підсилювач надвисоких частот

ПВЧ – підсилювач високих частот

ФСМ – фільтр смуговий

СХД – синхронний детектор

КСХН – коефіцієнт стоячої хвилі (за напругою)

КБХН – коефіцієнт біжучої хвилі (за напругою)

КМП – перехід коаксиал/мікросмужка

РЕР – радіоелектронна розвідка

РПР – радіоелектронна протидія

ТЗ – технічне завдання

ФНЧ – фільтр низьких частот

SMD – технологія планарних компонент

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Радіометри різноманітних типів та діапазонів частот широко використовуються у радіотехнічній галузі, приладобудування та електронних комунікаціях як цивільного так і побутового призначення. Такі засоби працюють у різних діапазонах частот та можуть аналізувати рівень сигналів як під час цифрової так і аналогової модуляції [1-7].

Поширення великої кількості радіотехнічних засобів, що розташовані близько людини не може не впливати на діяльність людини та інших живих істот. Найбільш шкідливими та згубними для природи є випромінювання високочастотних діапазонів надвисоких частот (НВЧ) і вище. Під час звичайного проживання поряд , а особливо роботи з такими приладами необхідно оперативно весь час оцінювати стан випромінюваної потужності та організувати сигналізацію у випадку перевищення припустимих норм. Саме із такою метою найбільш часто використовують радіометри НВЧ та інших діапазонів.

Крім того, подібні засоби широко використовуються у складі комплексів забезпечення захисту несанкціонованого радіодоступу до «закритої» інформації повідомлень у надвисокочастотних діапазонах. Особливо актуальні подібні схеми під час військового застосування в складі засобів радіоелектронної розвідки (РЕР) та радіопротидії (РПР).

Фіксація наявності небажаного випромінювання за допомогою радіометрів НВЧ-полів реалізує такі завдання як: збереження державної таємниці, захист систем локального радіозв'язку, захист радіотехнічних систем, систем дистанційного зондування, тощо[8-9].

Крім того, без НВЧ-технологій сучасної радіометрії була б утруднена діагностика захворювань у медичній галузі, радіохвильовий НВЧ-моніторинг у гідрології, метеорології, ґрунтознавстві, тощо. Таким чином, завдяки вказаному

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

НВЧ - радіометрія є інноваційним засобом для просування вперед наукових досягнень і прогресу технології у різноманітних сферах [10].

Зважаючи на вищеперераховані проблеми та завдання, розробка нових, мініатюрних та ефективних радіометрів НВЧ-поля є актуальним завданням для розробки кваліфікаційного проекту бакалавра.

Метою кваліфікаційного проекту є розробка пристрою для виявлення та вимірювання рівня слабких НВЧ сигналів, що відрізняється зменшеним порогом чутливості, модульною архітектурою, доступністю електронних компонент, зменшення собівартості та складності виготовлення пристрою.

Для досягнення поставленої мети потрібно визначити такі завдання:

1. Провести аналіз публікацій щодо технології радіометрії та радіометричних пристроїв.
2. Конкретизувати частотний ресурс для проектування радіометра
3. Визначити проблематику та особливості для вирішення під час схемотехнічного проектування радіометрів НВЧ.
4. Розробити схему електричну принципову вхідних трактів із обґрунтованим вибором елементної бази.
5. Провести окремі електричні та конструкторські розрахунки для підтвердження правильності прийнятих рішень.
6. Розробити частину комплексу конструкторсько-технологічної документації (КТД) окремих вузлів НВЧ-трактів радіометра.
7. Навести пропозиції щодо інтеграції радіометра в різноманітні радіометричні системи детектування та моніторингу НВЧ випромінювання.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1 ОБҐРУНТУВАННЯ СУТІ РОЗРОБКИ

1.1 Загальні положення

Радіометр НВЧ полів фактично є приймачем сигналів високої чутливості, що фіксує факт наявності випромінювання НВЧ - діапазону. Однак, різновид модуляції та інші властивості вхідного НВЧ сигналу не мають впливати на факт фіксації наявності НВЧ - полів, тому в загальному випадку припускають, що сигнал виглядає як квазішумове коливання в обмеженому діапазоні радіочастот (радіосигнал) [3,4,10]. Що, у свою чергу розширює зона застосування таких пристроїв.

В даному кваліфікаційному дипломному проєкті (КДП) розробці підлягає варіант вхідних кіл мобільного чутливого приймача НВЧ сигналів, що інваріантний до властивостей модуляції. Такі приймачі по іншому називають радіотеплолокаторами. Завдяки тому, що охопити НВЧ - спектр радіочастот доволі простими засобами вельми утруднено, подібні радіотеплолокатори , функціонально складаються із таких основних частин: детекторної головки (налаштована на певну частину діапазону НВЧ) та пристрою оптимальної обробки (для досягнення максимізації відношення сигнал-завада) [11,12].

Головне завдання радіометрії НВЧ-полів - це дослідити просторовий розподіл суттєвої дії навколишнього поля випромінювання в заданій зоні. Отже подібний радіотеплолокатор, для переміщення в певну зону має бути портативним та здатним до транспортування: автомобілях, конвеєрах, технологічному устаткуванні, літаках, тощо. Вимоги мобільності пристрою передбачають необхідність передбачення комбінованого або автономного живлення, а також вимогу до мінімізації енергоспоживання під час тривалої роботи.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Конструктивні рішення мають бути простими та технологічними та підтримувати підтримувати дробносерійне виробництво, а також передбачати можливість удосконалення та конструкторсько-технологічної модернізації.

Попередньо слід виділити основні проблеми, що можуть постати під час розробки КДП та подальшого виготовлення та експлуатації подібних радіометрів такі [3,7,9]:

- слід вжити заходів для забезпечення мінімізації власного коефіцієнту шуму детекторної головки або ефективну їх компенсацію в пристрої оптимальної обробки;

- слід забезпечити всі різновиди сигналізації (звукову, світлову, тактильну, тощо) щодо результатів радіометрії НВЧ - полів;

- для мінімізації вартості та швидкості передачі на виробництво, слід подбати про застосування мінімуму НВЧ – елементів під час конструювання та технологічної оснастки;

- для використання некваліфікованим персоналом в складних умовах експлуатації слід забезпечити простоту в експлуатації та мінімізацію кількості підстроювальних та регулювальних елементів.

Вказані особливості конструкції радіометрів, що розробляються в КДП в більшому пов'язані із необхідністю відокремлювати слабкі контрасти рівнів НВЧ- сигналів на тлі потужних внутрішніх та зовнішніх флуктуаційних завад (шумів). Для цього реєструючий кінцевий пристрій повинен реагувати на зміну рівня вхідного НВЧ- сигналу по відношенню до певного опорного рівня, що залежить від завад.

Для досягнення цієї мети сучасною традиційною радіотехнікою пропонується декілька схемотехнічних рішень: компенсаційна схема, модуляційна схема, адитивно-шумова схема, кореляційна схема та кореляційна схема оптимальної обробки. Всі схеми із математичної точки зору усувають значний сталий рівень, виділяючи невеликі зрушення відносно нього, чим і забезпечують підвищену чутливість [12].

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Слід зазначити, що останнім часом запропоновано ряд технічних рішень, що виходять за межі класичного розуміння обробки сигналів із використанням властивостей пристроїв, що базуються на принципах хаотичної динаміки та різкої чутливості до зовнішньої дії неавтономних хаотичних генераторів, наприклад, генераторів Дафінга [11].

Таку проблематику та вказані вище завдання КДП слід врахувати при розробці КДП «Радіометр НВЧ».

1.2 Принципи роботи радіометрів

1.2.1 Радіометр за компенсаційною схемою

Фактично відмінності усіх схем класичних радіометрів полягають у побудові другого рівня – схеми оптимальної (квазіоптимальної) обробки [6,8,10].

Компенсаційна схема радіометра (рис.1) найбільш проста та традиційна. В такій схемі із суміші виділеного антеною, радіо трактом та перетвореного змішувачем та підселеного у тракті проміжної частоти детектованого НВЧ-сигналу із присутністю потужних завад за допомогою пристрою компенсації усувається потужна складова, що відповідає рівню завад.

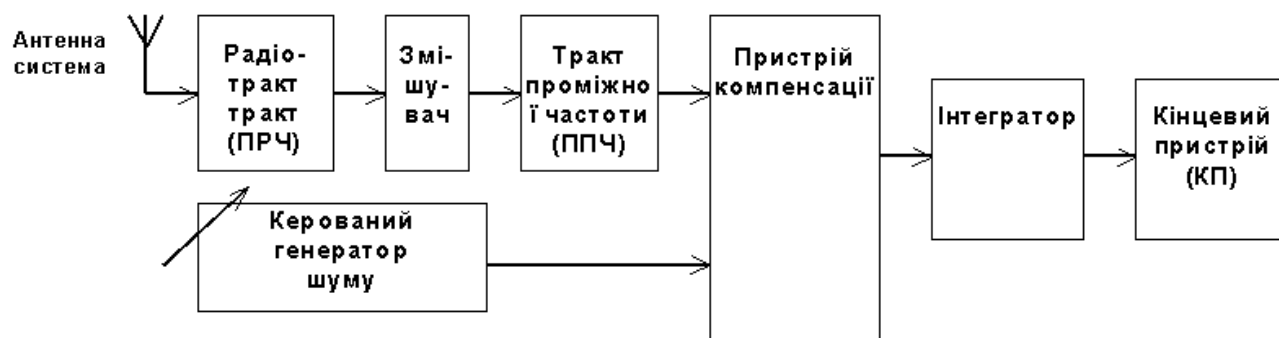


Рисунок 1 - Схема компенсаційного радіометра

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Часто в якості пристроїв компенсації застосовують добре зарекомендовані мостові балансуючі схеми, де детектор сигналу проміжної частоти включений в одно із ребер моста. Компенсуючий сигнал, що подається на протилежне ребро моста, регулюється таким чином, щоб максимально компенсувати заваду.

Запобігти повній компенсації заважають нестабільності та неідентичності каналів обробки сигналу та каналу компенсації, а також необхідність ретельного підбору параметрів керованого генератора завад (шуму) і одночасний аналіз шумових властивостей навколишнього поля завад в заданому діапазоні. Сучасні варіанти таких радіометрів передбачають паралельну обробку в трактах проміжної частоти сигналу та керованої завади, що мають один гетеродин, та наявність програмно-апаратного забезпечення для аналізу завад навколишнього середовища в робочому діапазоні [10].

1.2.2 Радіометр за кореляційною схемою

Кореляційний радіометр (рис.2) відрізняється від компенсаційною побудовою лінійного тракту та способом отримання сигналу компенсації (рис.2). Він має в складі два незалежних лінійних приймальних трактів із окремими антенними системами. Одна із антен спрямовано в зону передбачуваного виявлення сигналу, друга в зону передбачуваного не виявлення, але розташовану близько зони виявлення. Таким чином, в один тракт надходить суміш НВЧ-сигналу із завадами, а на інший тільки завада із поряд розташованої зони .

Сигнали з виходів трактів компенсуються за допомогою їх добутку в перемножувачі та надалі надходить на інтегратор, що виділяє сталу складову. Результат добутку що інтегрується, складається із корисного сигналу , що виявляється та різних внутрішніх шумів.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Передбачається, що шуми є незалежними випадковими процесами. Через лінійність обробки у випадку відсутності сигналу завжди нульовий, так як середня складова добутку двох шумових процесів завжди нульова. А в випадку наявності сигналу - пропорційна енергії детектованого НВЧ-поля за час спостереження. Таким чином реалізується принцип оптимальності обробки.

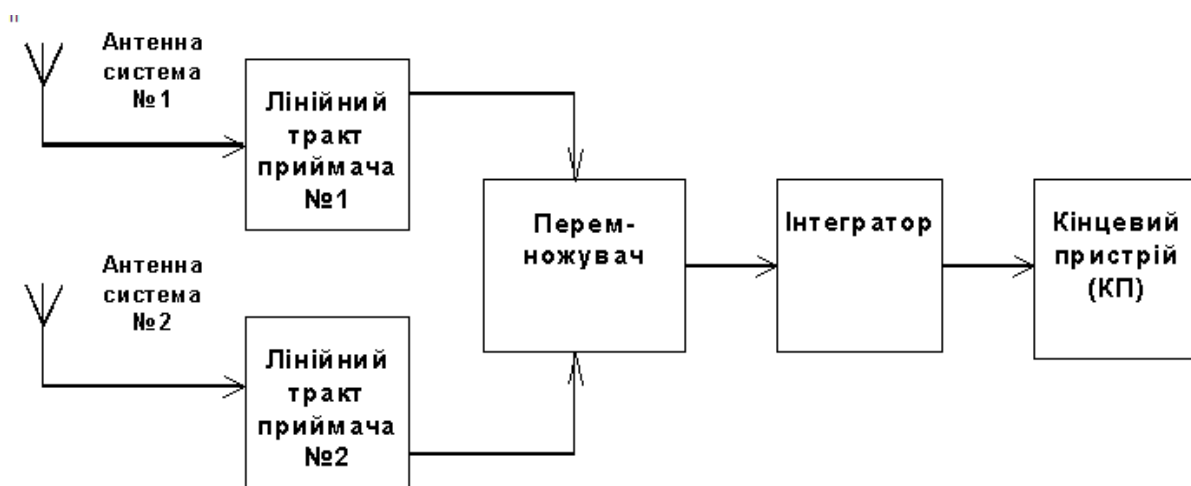


Рисунок 2 – Радіометр за кореляційною схемою

Для мінімізації внутрішніх флуктуаційних завад кореляційного радіометра застосовують схему із однією антеною, але двома лінійними трактами. Детектований сигнал, в такому випадку, розділюють на дві складові, що надходять на перемножувач. Якщо флуктуаційна завада в лінійних трактах незалежна, то вона компенсується повністю, але так не можливо усунути корельовані завади та шуми. В такому випадку лінійні тракти мають мати максимальну розв'язку по електродинамічним процесам, наприклад, рознесені або екрановані.

Значним недоліком схеми є формування двох лінійних трактів, що працюють в діапазоні НВЧ, що ускладнює та утруднює апаратурну реалізацію, крім того реалізувати перемножувач на аналогових елементах в широкому динамічному діапазоні частот та напруг є складним завданням, зазвичай

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

точність перемноження не перевищує 1%. Тому подібні кореляційні схеми використовують у складному військовому або професійному устаткуванні радіометрії [[10]].

1.2.3 Радіометр за модуляційною схемою

Модуляційна схема радіометра (рис.3) є найбільш використовуваною в практиці радіометрії НВЧ в різноманітних пристроях, включаючи сенсори і детектори поля побутового характеру [8-10].

В модуляційній схемі на відміну від попередніх присутній лише один лінійний тракт, до якого, за допомогою комутатора (модулятора) періодично надходить сигнал від антени або від еталонного генератора шуму. Отже вхідний сигнал модулюється із частотою, що задає синхронізатор. Глибина амплітудної модуляції її фаза визначаються відмінністю амплітуд вхідного та еталонного сигналів. Якщо аналізується шум, то різниця еталонного та вхідного шуму (завад).

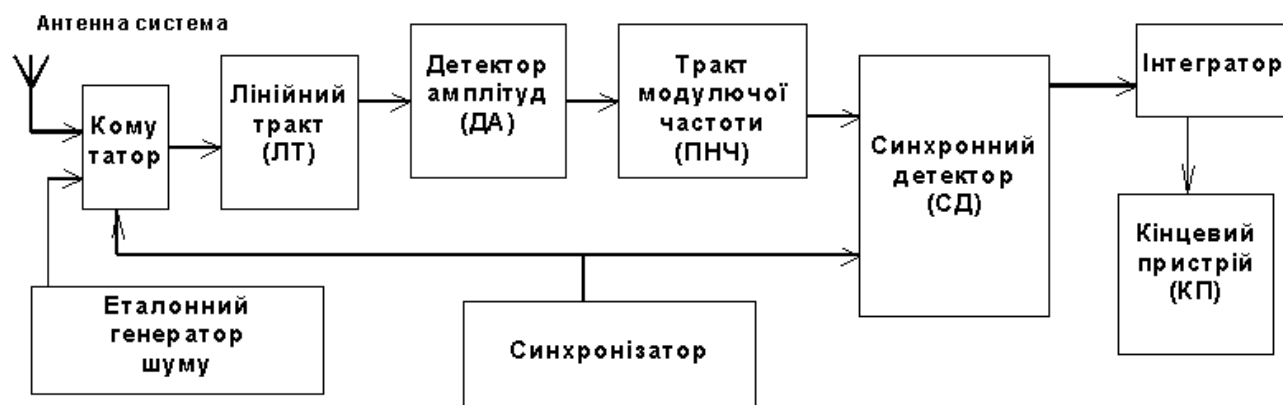


Рисунок 3 - Схема модуляційного радіометра

Генератор періодичної модуляції створює сигнали низькочастотних діапазонів, що легко обробляються оптимальними чином. Низькочастотна модуляція вхідного НВЧ-поля зберігається після амплітудного детектування та

відокремлення постійної складової у тракті моделюючої частоти. Крім того, в тракті моделюючої частот проходить фільтрація та підсилення сигналу аналогічно роботі тракту проміжної частоти в супергетеродинних приймачах.

Потужний сигнал обробляється синхронним детектором, на виході якого модуль напруги пропорційний відмінності енергії вхідного та еталонного сигналу, що і реалізує компенсацію внутрішніх шумів. Нестабільність підсилення лінійних трактів одночасно та однаково впливає на корисне на еталонне колювання, що забезпечує інваріантність результату обробки до нестабільності параметрів лінійного тракту.

Найбільш утрудненим для реалізації є вхідний НВЧ-комутатор, що входить разом із антеною до детекторної головки. Крім того модуляційним радіометрам властива втрата половини енергії вхідного НВЧ- сигналу, що призводить до зменшення чутливості вдвічі, порівняно із попередніми схемами оптимальної обробки в радіометрах.

Через простоту модуляційної схеми радіометра покращення чутливості можливо досягти використовуючи два паралельних канали обробки, де еталонні комутатори перемикаються по чергово, а сигнали синхронних детекторів об'єднуються. Подібні схеми набули настільки широкого поширення, що застосовуються у галузях поза межами радіометрії, наприклад у сучасних міношукачах із індикацією типу металеві, або неметалевої поверхні.

1.2.4 Радіометр за адитивно-шумовою схемою

На відміну від модуляційної схеми в адитивно-шумовій схемі оптимальної обробки радіометрів (рис.4) в лінійний тракт (лінійний суматор) із частотою синхронізатора вводиться еталонний завадовий сигнал (шумовий сигнал), а антена система вхідного сигналу, при цьому підключена , постійно.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Таким чином, половину періоду роботи синхронізатора в лінійний тракт надходить детектований НВЧ-сигнал із антени, а другу - доданок НВЧ-сигналу і еталонного шумового процесу [8-10].

Після детектора амплітуд пульсуюча напруга із частотою синхронізатора підсилюється в тракті моделюючої частоти та після синхронного детектування як у модуляційній схемі радіометра подається на черезнапівперіодний вимірювач відношення амплітуд, або каскад, що визначає відношення рівнів сигналу та суміші сигналу із еталонним шумом. Рівень сигналу на виході цього блоку пропорційний рівню відмінності еталону та сигналу. Налаштовуючи еталон, можливо добитись повної компенсації зовнішніх завад.

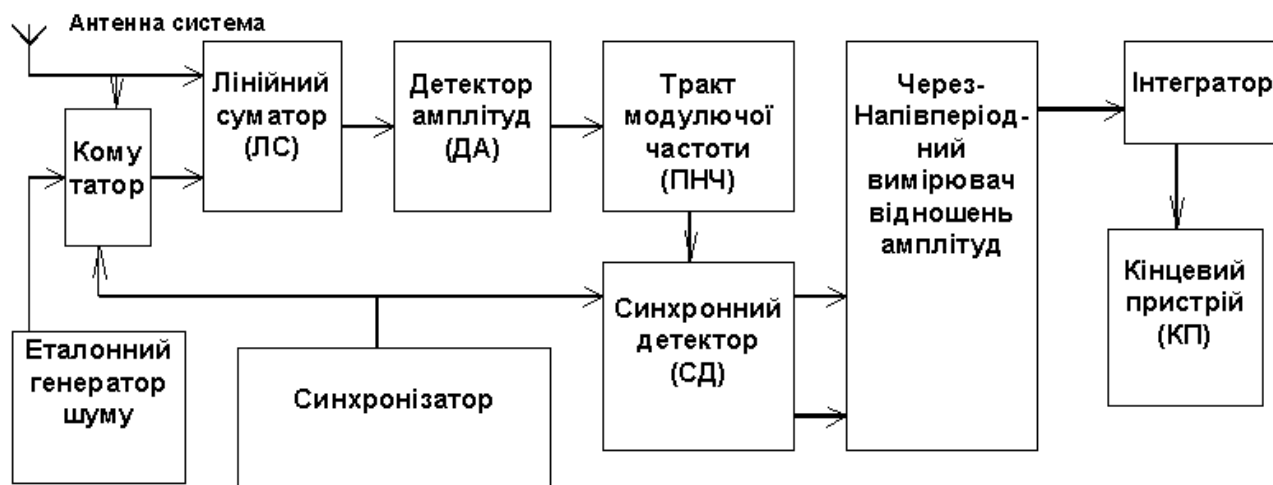


Рисунок 4 - Схема адитивного радіометра

Схема радіометра із додаванням еталонного шуму принципово може забезпечити більшу чутливість, за чутливість модуляційного радіометра завдяки тому, що антена система постійно підключена до входу та через те, що власні шуму НВЧ-комутатора теж компенсуються в процесі обробки (а вони можуть складати значних величин).

1.2.5 Шляхи підвищення чутливості радіометрів

НВЧ пристрої в тому числі радіометри мають обробляти сигнал вже на проміжній або нижній частоті, тобто бути устатковані перетворювачами. Найбільш простим з таких пристроїв є детекторний НВЧ-приймач, що має мінімум складових, або радіохвилемір НВЧ. Такі приймачі теж можуть розглядатися в якості радіометрів, але такі прості схеми використовують тільки для контролю або якісної наявності випромінювання, наприклад в вимірювачах НВЧ потужності [10].

Найбільш суттєвим недоліком простої детекторної обробки прямого підсилення є низька чутливість, що пов'язано із необхідністю отримання такої енергії НВЧ поля на вході, щоб діод зміг відкритися, тобто виконувати свою функцію відсікання та пропускання струму. Напряга НВЧ –поля має бути десятки мілівольт, що відповідає виявленню джерела НВЧ сигналу у 10мВт із відстані одиниці метрів. Подібне значення в умовах практичної відсутності індустриальних завод у НВЧ-діапазоні дозволяє отримати зв'язок на декілька десятків кілометрів, за умови зміни характеру обробки в приймачі.

Для збільшення реальної чутливості без перебудови структурної схеми та застосування перетворень саме і використовують два підходи: встановлення малошумлячих підсилювачів та застосування радіотеплолокаційних схем. В нашому випадку застосовується обидва підходи: малошумлячий НВЧ-підсилювач та модуляційний схема приймача на основі зміни структури узгоджувального мікросмушкового або хвилеводного тракту.

Отримання великої чутливості також визначається параметрами антенних системи, в першу чергу коефіцієнтом корисної дії (ККД) та коефіцієнтом спрямованої дії антени (КСД), для нескладних антенних систем чутливість радіометра НВЧ із спрямованою антеною може збільшитись на порядок [11].

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Спрямовані властивості антенної системи важливі для пошуку закладних пристроїв НВЧ для несанкціонованого доступу до конфіденційної аудіоінформації. Тому, закладаючи можливості подальшої модернізації в радіометрі НВЧ, слід передбачити можливість зміни типу антенної системи, наприклад, для попереднього та прецизійного виявлення напрямку на джерело НВЧ хвиль. Крім того так можливо ступінчасто регулювати реальну чутливість, що необхідно для усунення перевантаження чутливих діодів НВЧ діапазону частот [11-13].

1.3 Аналоги виробу

1.3.1 Детектор поля DS-828

Сучасні електронні пристрої для несанкціонованого збору інформації стають все більш мініатюрними, а радіотехнологія передачі отриманих даних прямує у бік все більших частот, із одночасним зменшенням випромінюваної потужності. Виявити мізерне випромінювання слабкого джерела більшість простих детекторів поля не в змозі через обмеженість або чутливості, або частотного ресурсу.

Під час вибору аналогів слід зважити на вимоги технічного завдання (ТЗ), які визначають портативність та мобільність пристрою, діапазон частот НВЧ, наявність індикації та регулювання чутливості, тощо.

Також аналогами є вимірювачі поля, або пристрої для локалізації засобів радіорозвідки, такі як професійний детектор DS-828 трекерів, жучків, закладок, тощо. (рис.5)

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

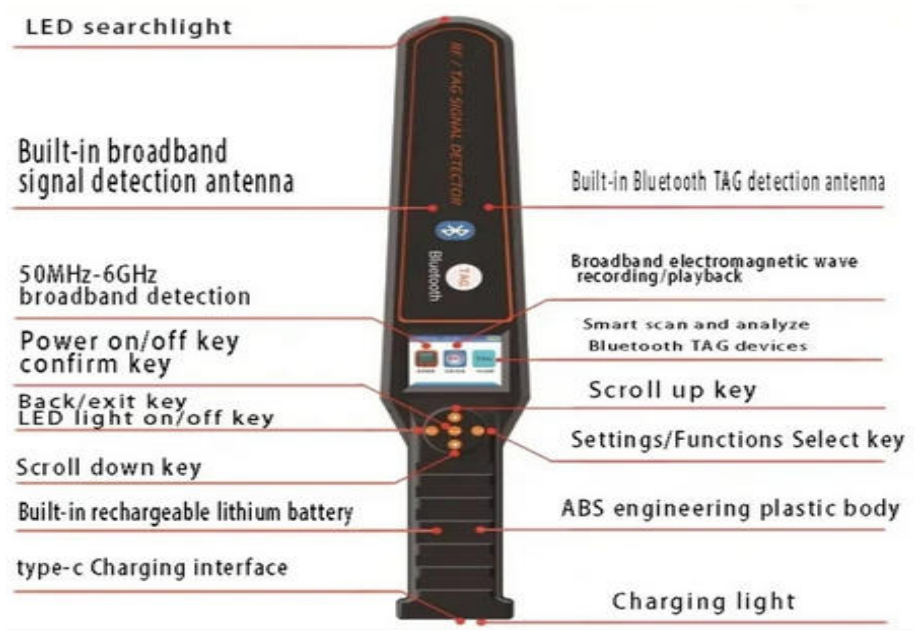


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд детектора поля DS-828

Детектор поля DS-828 являє собою сканерний приймач, що має високу чутливість. Сканування проводиться в діапазоні рівнів сигналу від -35 dbm до 25 dbm та діапазоні частот від 0,05 до 6ГГц, що входить до діапазону НВЧ, та дозволя виявляти слабкі випромінювання в першу чергу від закладних пристроїв підслуховування (Жучків).

Функціонально пристрій має два режими – ширококомовний та спеціальний, налаштований на виявлення Bluetooth міток, що є найбільш поширеним джерелом витоку інформації. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс детектора поля дозволяє легко навчитись його використовувати навіть недосвідченому користувачу.

Форма пристрою витягнута, невеликих габаритів та ваги, зручна для утримання однією рукою. Такий детектор поля має універсальне призначення та може використовуватися як професіоналами в галузі інформаційної безпеки та радіоелектронної розвідки такі звичайними користувачами для поліпшення рівня безпеки вдома і на роботі.

Вартість такого фактично професійного детектора може сягати більш як 25тис.грн (до 1000 \$).

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.3.2 Детектор електромагнітного випромінювання XXT-DT-Pro

Провідний виробник електроніки для протидії радіозасобам всіх існуючих типових стандартів Shenzhen Al Asar Tech рекомендує пошукувач-детектор закладних пристроїв XXDT-Pro (рис.6). Цей виключно професійний пристрій вартістю близько 100 тис.грн має чутливість близько 1 нВт, підтримує всі діапазони Wi-Fi; стандартів 2G-5G телефонії; Bluetooth, а також проводить сканування та визначення формату зв'язку в частотному діапазоні 1-6 ГГц, що теж розташовано в діапазоні НВЧ.



Рисунок 6 – Зовнішній вигляд детектора безпроводних сигналів XXT-DT-Pro

Невеликі габарити 146x78x23 мм та вага у 350 гр. та автономне живлення із часом автономного використання у 2 год, дозволяють використовувати пристрій за різних обставин та умов розташування. Особливістю конструкції є міцний металевий корпус, що дає надійний захист кольоровому дисплею від зовнішніх механічних та кліматичних впливів, чим і забезпечує високу надійність на увесь період тривалої експлуатації.

Крім значного спектру можливостей щодо сканування пристрій устатковано штучни інтелектом , що додає швидкості визначення не тільки рівня сигналу, напрямку, але і дальності до джерела НВЧ радіовипромінювання, що скорочує час на пошук закладок, жучків, тощо.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

1.3.3 Детектор жучків и об'єктивів I-Tech K68

У конструкції апарату-Tech K68 (рис.7) є всі необхідні функції для успішної протидії пристроям шпигунів в діапазоні частот 1МГц-8ГГц. Пропонована модель низької цінової категорії та дуже проста у застосуванні, маючи лише декілька кнопок.



Рисунок 7 – Зовнішній вигляд детектора безпроводних сигналів I-Tech K68

Прилад має кілька режимів перевірки зони, що досліджується. Результат сканування основного в широкому спектрі 1-8000 МГц реалізується в 4-х варіантах. Кожен із варіантів підтримано звуковим сповіщенням. Батарея забезпечує час автономної роботи до 6 год.

НВЧ частоти досліджуються в межах діапазонів 1,2, 2,4, 5,8 ГГц. Під час сканування можливо виявити закладки, що використовують протоколи зв'язку FM, DECT, GPS, 2G, 3G, 4G, Wi-Fi, GSM, Bluetooth із застосуванням радіовипромінювання в активному режимі.

Приємним розширенням можливостей пристрою є можливість виявлення відеокамер спостереження, що замасковано як в неробочому, так і в робочому стані через освітлення зони пошуку світло діодами та огляд його через спеціальне скло із певним напиленням за допомогою виявлення оптичних відблискувань.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Крім того хоча і не дуже коштовний пристрій у 2500 грн, має досить велику функціональність, хоча пошук радіовипромінювань можливий тільки в ближній зоні через слабку чутливість.

1.4 Розробка технічного завдання

1.4.1 Призначення приладу

Радіометр НВЧ полів призначено для реалізації процесу пошуку та подальшого виявлення місць випромінюючих джерел НВЧ- сигналів незалежно від різновиду випромінювання.

Пристрій також може бути застосований як детектор НВЧ полів під час налагоджування приймально-передавальних засобів відповідного діапазону, а також оцінювання їх основних характеристик. Не виключено застосування пристрою для проведення радіоелектронної та технічної розвідки спеціального застосування.

В тому числі пристрій може застосовуватись в навчальних закладах для проведення лабораторних робіт із спеціальності приладобудування, електронні комунікації, радіотехніка, кібербезпека, електроніка, тощо.

1.4.2 Місце розміщення та умови експлуатації

Виходячи із призначення пристрою Радіометр НВЧ полів може використовуватись в різних умовах, як в опалювальних так і неопалювальних приміщеннях, в тому числі на відкритому повітрі, але без прямої дії атмосферних опадів.

Радіометр НВЧ є портативним переносним пристроєм та не передбачає додаткового закріплення під час використання. З ергономічної точки зору пристрій має бути розроблений для захоплення рукою та спрямування на

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

прогнозоване джерело випромінювання. Розширення функціональних можливостей виявлення НВЧ полів передбачається застосування змінних детекторних головок, без зміни основної схеми детектування. Засобами захисту під час збереження або транспортування є спеціальний контейнер або футляр механічного, теплового та віброзахисту [15-18].

Зважаючи на розглянуті аналоги пристрій слід віднести до вимірювальних засобів контролю та класифікувати категорію розміщення виробу як третю помірною клімату та переносного застосування. Для цієї категорії нормуються граничні значення факторів впливу як:

- температура навколишнього повітря ($^{\circ}\text{C}$) %від -40 до +40;
- верхнє значення відносної вологості (%) повітря з температурою ($^{\circ}\text{C}$): до 98/25;
- припустимі коливання температури за 8 год до 20°C .

За функціонуванням в конкретних умовах застосування стандартами виділяється 7 груп, серед яких найбільш відповідає заданому ТЗ шоста група пристроїв. А саме радіотехнічні засоби, що транспортуються та портативні засоби, що призначено для тривалого носіння на відкритому повітрі або у неопалювальних приміщеннях, або такі що працюють під час руху у транспортних засобах.

Для такої групи виділяють істотні норми на зовнішні фактори як:

- наявність підвищеної вологості повітря до 93% ;
- можлива наявність граничної робоча температури пристрою до 60°C .;
- можлива наявність зменшеного атмосферного тиску до 61кПа на час до 6 год;
- наявність обмеженої загальної герметичності;
- можлива наявність пилового потоку із швидкістю до 10м/с за час до 1 год.

Технічні вимоги до радіометра НВЧ подано у таблиці 1.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 1- Основні технічні вимоги проектування радіометра НВЧ

№п/п	Найменування	Одиниця вимір.	Значення параметра	Примітка
1	Реальна чутливість	мкВ	0,03	ТЗ
2	Діапазон частот	ГГц	8...12	Визначається детекторною головкою
3	Напруга батареї живлення	В	до 5В	ТЗ
4	Споживаний струм, не більше	мА	50	ТЗ
5	Середній час обробки сигналу	с	до 2	ТЗ
6	Діапазон робочих температур	°С	-40 ... +60	
7	Робочий атмосферний тиск	мм рт.ст.	750 ± 30	
8	Робоча вологість повітря;	%	65 ± 30	
9	Вібрації на частотах 10...70Гц, прискорення	g	0,8...3,8	
10	Удари поодинокі до 60 із протяжністю 5...10мс, прискорення	g	10	
11	Кількість падінь із висоти 1, 5м	-	10	
12	Середній строк використання	років	5	
13	Середнє напрацювання на відмову, не менше	год	3500	
14	Технічний ресурс застосування	год	9000	
15	Вага , не більше	кг	1,1	
16	Габаритні розміри	см	25×18×8	
17	Середній час відновлення працездатності	год	5	-
18	Вартість виробу, не більше	грн	3000	За аналогами
19	Чисельність обслуговуючого персоналу	чол	1	

1.4.3 Вимоги до умов використання приладу

Під умовами використання радіометра НВЧ мають на увазі способи керування, з'єднання та можливості елементної бази, що це забезпечують [18].

Конструкція виробу має відповідати ергономічним можливостям операторів різноманітного зросту і відповідним розмірам долоні. Умови використання радіометра НВЧ також мають передбачати просте

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

-
транспортування, розміщення в футлярі, простоту заміни або підзарядки елемента живлення, а також монтаж-демонтаж детекторної головки.

На попередньому етапі конструювання вимоги до такого приладу, зводяться до мінімізації масо-габаритних параметрів за умови збереження максимуму функціональних можливостей, а також простоті в користуванні та значній надійності конструкторсько-технічної реалізації. В переважній більшості мінімізація досягається через використання мініатюрних планарних компонент та їх поверхневого розміщення на платі.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2 СИСТЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Вхідні кола радіометра

2.1.1 Частотний діапазон

Правильний вибір робочих частот є пріоритетним завданням під час проектування радіометрів НВЧ. Від частотного діапазону залежать практично усі тактичні параметри системи виявлення радіовипромінювання, в тому числі і конструкторсько-технічна реалізація, наприклад, форма та габарити антенної системи [14].

Проведений аналіз аналогів показав, що як правило навіть професійні засоби для детектування випромінювання, в тому числі і спеціальні зазвичай використовують діапазон до 6ГГц, до того ж у високочастотній ділянці діапазону ми маємо різке спадання реальної чутливості через розузгодження антенних систем із приймальним трактом. Найбільш доцільним і розумним проводити розробку радіометра НВЧ для більш високих частот, що покривають вікна прозорості атмосфери та використовують активно в радіолокації, супутникових системах, радіонавігації, радіорелейних системах, тощо.

Слід зазначити, що на відміну від діапазонів частот у декілька ГГц, більш високі діапазони потребують розбиття на під діапазони. На даний час серед таких частот найбільш завантажений випромінюючими пристроями ділянка сантиметрового діапазону із частотами 10-13ГГц із довжиною хвилі в 2,4...2,9 см. Невелика довжина хвилі дозволяє будувати пристрою, що за габаритами та масою слід вважати портативними та переносними [1].

Якщо планується використання радіометра НВЧ в різних ділянках сантиметрового діапазону, то для усіх типів радіометричних схем обробки, зазначених у попередньому розділі, можлива заміна тільки детекторної головки із малошумлячим підсилювачем, що дозволяє значно розширити можливості,

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

наприклад, для пошуку засобів несанкціонованого доступу, що не можуть бути виявлені менш низькочастотними радіометрами. При цьому за умови використання широкосмугових нерезонансних антен біжучої хвилі [6,7], власне сама антена теж не потребує заміни, хоча її параметри на різних частотах будуть різнитися.

2.1.2 НВЧ тракт модуляційного радіометра

Виходячи із попередніх зауважень пристрій НВЧ-діапазону, що підлягає розробці в даному проєкті має мати НВЧ тракт та низькочастотний тракт. НВЧ тракт радіометра НВЧ складається із таких компонентів із певним призначенням (рис.8):

- антенна система (діелектрична);
- НВЧ інтерфейс (коаксіальне роз'язтя);
- смуговий вхідний фільтр (мікросмужковий);
- активний елемент (малощумлячий низьковольтний НВЧ транзистор);
- чіпсет активного елемента (режим роботи НВЧ транзистора);
- смуговий вихідний фільтр (мікросмужкових широкосмуговий);

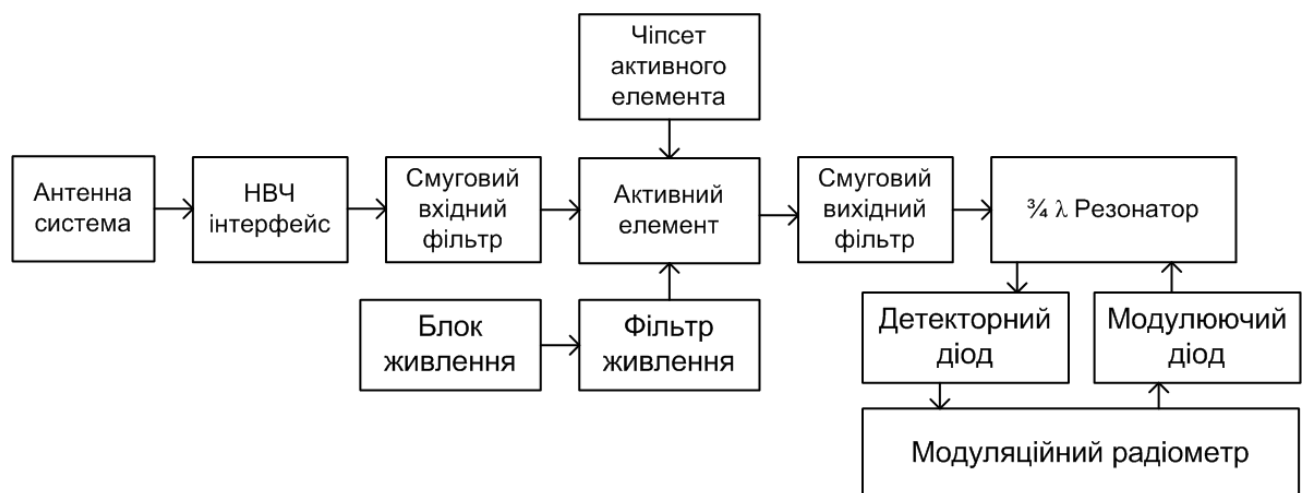


Рисунок 8 - Структурна НВЧ тракту радіометра

- блок живлення (акумуляторна батарея із стабілізатором та індикатором розряду)
- фільтр живлення (високочастотна розв'язка по колам транзистора);
- чвертьхвильовий резонатор (каскад із 3-х мікросмужок);
- детекторний діод (НВЧ випрямляючий діод);
- модулюючий діод (НВЧ комутаційний діод).

Для більшості радіометрів напівпрофесійного характеру в якості антени використовують слабо спрямовані вібраторні антени або вібраторні антенні системи. Такі системи визначають факт наявності випромінювання, але пошук напрямку на джерела випромінювання через широкую діаграму спрямованості ускладнений [10,11].

Запропоновано для НВЧ радіометра, що розробляється застосувати діелектричну антенну систему біжучої хвилі, що має дещо більші габарити але спроможна працювати в більш широкому діапазоні частот та має достатньо високу спрямованість дії. Застосування діелектричної антени обумовлює необхідність використання спеціалізованого НВЧ інтерфейсу для переходу від об'ємної структури діелектричної антени та хвилеводу до планарної структури друкованої плати.

Смуговий вхідний/вихідний фільтр для НВЧ практично не виготовляють на дискретних компонентах через малу їх добротність та точність виготовлення пасивних компонент типу резисторів, котушок індуктивності і конденсаторів. Тому смуговий вхідний/вихідний фільтр реалізується як система резонаторів у вигляді мікросмужкових ліній та розташовується на другованій платі разом із іншими елементами схеми. Смуговий вхідний фільтр задає діапазон роботи радіометра разом із антеною, а смуговий вихідний фільтр призначено для усунування вищих гармонік через нелінійність підсилення в активному елементі [11,15,16].

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Основне підсилення реалізує активний елемент – НВЧ транзистор, режим роботи якого задає чіпсет у вигляді генератора струмів або напруг із підвищеною стабільністю та негативним зворотним зв'язком, що також виготовлено на основі транзисторної схеми, що живиться від блоку живлення через фільтр живлення стабільною низьковольтною напругою близько 3В. Використання вхідного підсилювача суттєво покращує чутливість радіометра, хоча і дещо збільшує складність [10,14].

Радіометр НВЧ спроможний функціонувати і без активного підсилення. В такому випадку сигнал подається одразу на НВЧ резонатор . Однак в такому випадку діапазон робочих частот розширюється, є висока ймовірність хибних спрацьовувань, а також погіршується чутливість та спрямовані властивості антенної системи радіометра загалом.

Результат підсилення НВЧ-сигналів подається на блок із 3-х чвертьхвильових резонаторів та обробляється в детекторним та модуляційним діодом відповідно принципу функціонування модуляційного радіометра, розглянутому в попередньому розділі.

2.1.3 Принцип модуляційного НВЧ перетворення в радіометрі

Перетворювач-модулятор детекторної головки (рис.9) складається антенної системи, що має мати значну спрямованість, малошумлячого підсилювача, налаштованого на заданий діапазон, та детекторної схеми перетворення, що для простоти реалізації та зменшення вартості складається із двох НВЧ діодів, які розташовано в передавальній структурі мікросмужкової лінії передачі таким чином, щоб еквівалентна відстань між діодами складала чверть довжини хвилі.

Найбільш просто таку схему реалізувати у хвилеводній змінній структурі [11,12], але також можливе застосування ліній передачі на основі смужкових або мікросмужкових ліній. Для даного проєкту із метою зменшення габаритів та

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

покращення технологічності пропонується мікросмушкових варіант виконання резонаторної камери з діодами.

Сигнал з виходу антенної системи надходить до малошумлячого підсилювача, де піднімається до рівня, достатнього для роботи НВЧ діодів. Підсилений НВЧ сигнал спрямовується у детекторний відсік – блок мікросмушкових резонаторів, що являє собою лінію передачі із встановленими у чітко визначених місцях модуляційного та детекторного діодами.

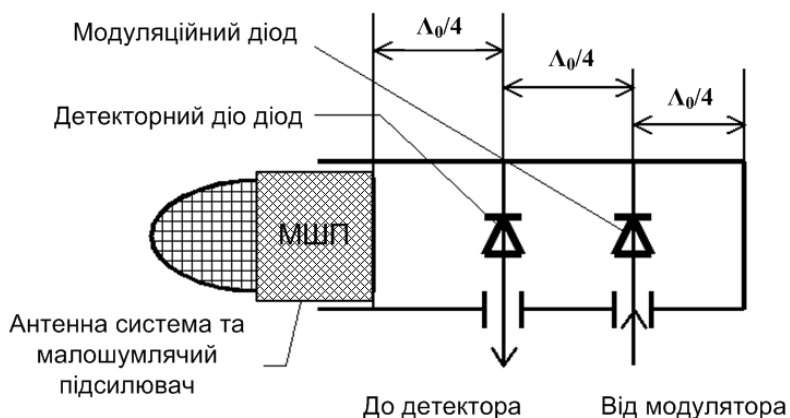


Рисунок 9 – Принцип дії первинної обробки модуляційного НВЧ радіометра

Передавальна структура розробляється таким чином, щоб з точки зору НВЧ – хвилі вона являла собою мікросмушковим резонатором [16] із еквівалентною довжиною у три чверті довжини хвилі, де робочим режимом є режим стоячих хвиль. За умови цього режиму (рис.9) та правильного розташування детекторного діоду на відстані половини довжини хвилі від кінця резонатора, в точці його розташування за умови наявності НВЧ випромінювання сформується мінімум НВЧ поля даної частоти – вузол НВЧ стоячої хвилі. У випадку ж розміщення детекторного діоду на відстані чверті робочої довжини хвилі, в точці його розташування сформується максимум – пучність НВЧ стоячої хвилі.

Модуляторний діод, під час подачі на нього низькочастотного сигналу модуляції фактично замикає або розмикає лінію передачі по високій частоті

накоротко, що еквівалентно зміні резонансного об'єму таким чином, щоб зона розташування детекторного діоду переміщувалась із вузла в пучність та навпаки.

Таким чином під час наявності НВЧ сигналу автоматично генерується сигнал модуляційної частоти на виході детекторного діода. Якщо НВЧ випромінювання відсутнє, то і сигнал на вході низькочастотної схеми обробки відсутній, отже від обробки НВЧ сигналів ми перейшли до обробки НЧ сигналів, що значно простіше.

Такий тип обробки інваріантний до модуляції НВЧ сигналу та є домінантним різновидом у радіометрах діапазону НВЧ та вище, припускається навіть шумовий закон модуляції, головна умова, щоб правильно був налаштований НВЧ резонатор детекторної головки. Налаштування резонатору на інші частини НВЧ діапазону може бути зроблено через змінні модулі або зміною еквівалентної довжини за допомогою електронного керування об'ємом резонатора через НВЧ перемикаючі діоди, тощо.

Крім того, слід зазначити, що під час подачі на модуляційний НВЧ-діод (рис.9) комутаційний НЧ сигнал прямокутної форми, то під час потрапляння на антену пошукуваного НВЧ - поля, з детекторного НВЧ отримаємо НЧ сигнал із частотою НЧ модуляції. При цьому, фаза сигналу із детекторного НВЧ діоду буде протилежна до модулюючого сигналу. Така особливість надалі використовується під час кореляційної обробки через накопичення слабого сигналу, та дозволяє реалізувати надзвичайно великі значення чутливості, та виконати головне завдання радіометрії – пошук та виявлення слабких сигналів.

2.1.4 Структурна схема детекторної головки радіометра

НВЧ обробку в радіометрі доцільно реалізувати в окремому одноплатному модулі – детекторній головці, на вхід якої через інтерфейс антени надходить пошукуваний слабкий сигнал, а на виході через інтерфейс НЧ

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

тракту з'являється результат у вигляді НЧ сигналу модуляційної частоти (рис.10).

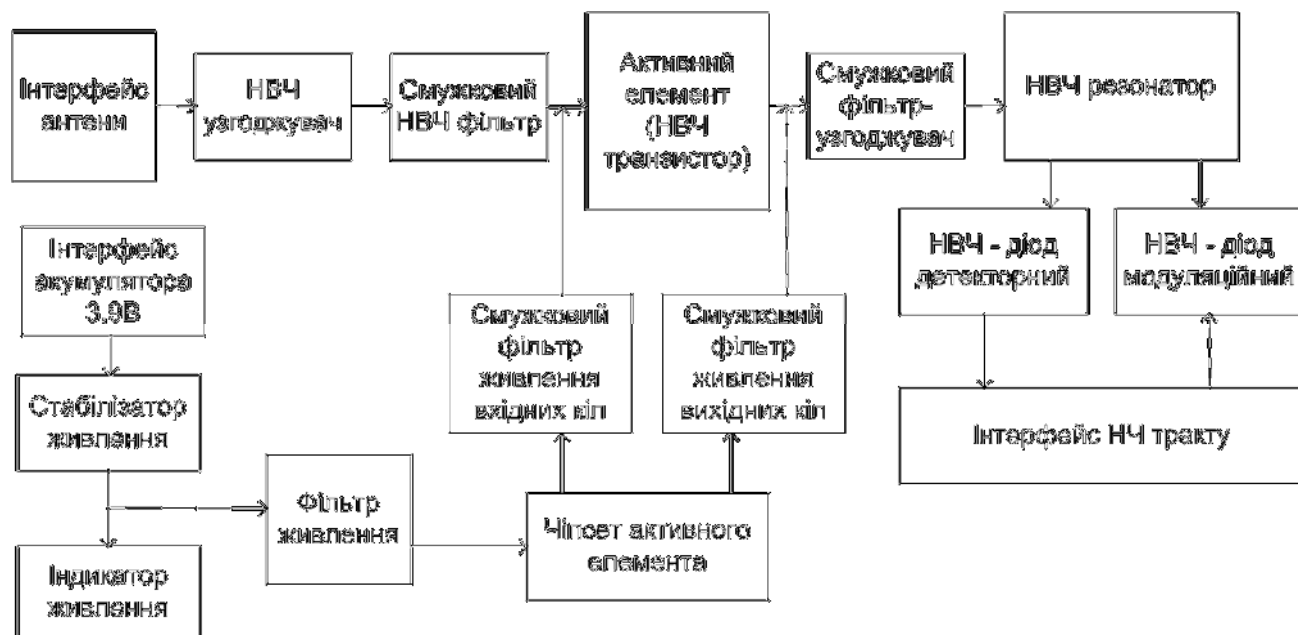


Рисунок 10 – Структурна схема детекторної головки радіометра НВЧ

НВЧ узгоджувач представлено НВЧ роз'яттями [16], що являє собою розбірний коаксиально-планарний перехід для подальшої обробки на друкованій платі та реалізації модуляційного принципу.

Сигнал із НВЧ узгоджувача потрапляє на смушковий смуговий НВЧ фільтр 5 порядку що по входу та виходу має хвильовий опір 50 Ом та забезпечує встановлення меж діапазону обробки разом із частотними властивостями антени.

Активний елемент у вигляді низьковольтного НВЧ транзистора [11,12] забезпечує підсилення не менше як 20дБ, та необхідний для підвищення чутливості радіометра загалом, смушковий фільтр-узгоджувач на його виході усуває сигнали артефактів та вищих гармонік, пов'язаних із нелінійності ВАХ транзистора та рядом його паразитних параметрів.

Основним елементом серед вхідних кіл є НВЧ резонатор, що складається із 3-х послідовно ввімкнених ліній затримки налаштованих на чверть довжини

хвилі між якими встановлено НВЧ – діод детекторний та НВЧ діод модуляційний, що і реалізують принцип модуляційного приймача описаний вище.

Через живлення всього пристрою від одного сегменту літієвої акумуляторної батареї із напругою в зарядженому стані близько 4В та поступовим розрядом до напруги близько 3В, для забезпечення стабільності підсилення та модуляційної обробки використовується інтегральний низьковольтний стабілізатор живлення із напругою 3В.

Контроль розряду батареї реалізується за допомогою інтегрального контролера налаштованого на критичну напругу у 3В.

Встановлення режимів вхідних та вихідних кіл польового НВЧ транзистора відбувається за допомогою схеми чіпсету на основі стабільного генератора струмів та напруг, що через смужкові НЧ фільтри живлення подаються на відповідні виводи активного елементу.

Для розв'язки між вхідними НВЧ колами радіометра та НЧ колами кореляційної обробки кожен із модулів радіометра має власний стабілізатор живлення.

2.2 Низькочастотна обробка в радіометрі

2.2.1 Принцип дії накопичувача в радіометрі НВЧ

Детекторний діод під час наявності НВЧ – сигналу створює сигнал із частотою, що подається на модуляційний діод – частотою перетворення (модуляції) зазвичай в звуковому діапазоні частот. Він подається на попередній малошумлячий підсилювач НЧ із значним та фіксованим коефіцієнтом підсилення.

Ефективне накопичення рівня НЧ [10] сигналу для підвищення відношення сигнал-шум в модуляційних радіометрах застосовують схему

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

обробки на базі комутованих кореляторів, що має нескладну реалізацію на основі типових інтегральних схем [17,18].

За загальним принципом роботи такий корелятор фактично оптимальним фільтром із порівняно із частотою НЧ сигналу невеликою смугою прозорості, всього у 10 - 20 Гц, що дозволяє відсікати сторонні завади та повністю пропускати сигнал із стабільною частотою НЧ – перетворення (модуляційною частотою). Таким чином комутаційна кореляційна схема є оптимальним фільтром для першої гармоніки частоти перемикавання модуляційного діоду, яка заздалегідь має бути стабільною через малу смугу пропускання такого корелятора.

Чисто теоретично, можливе досягнення необмеженої чутливості такого модуляційного радіометра за рахунок збільшення часу обробки (рис.11). Однак, під час робочого застосування важлива не тільки чутливість але і швидкість виявлення, що обмежує максимально досягнутий рівень за допомогою комутаційно-кореляційної обробки.

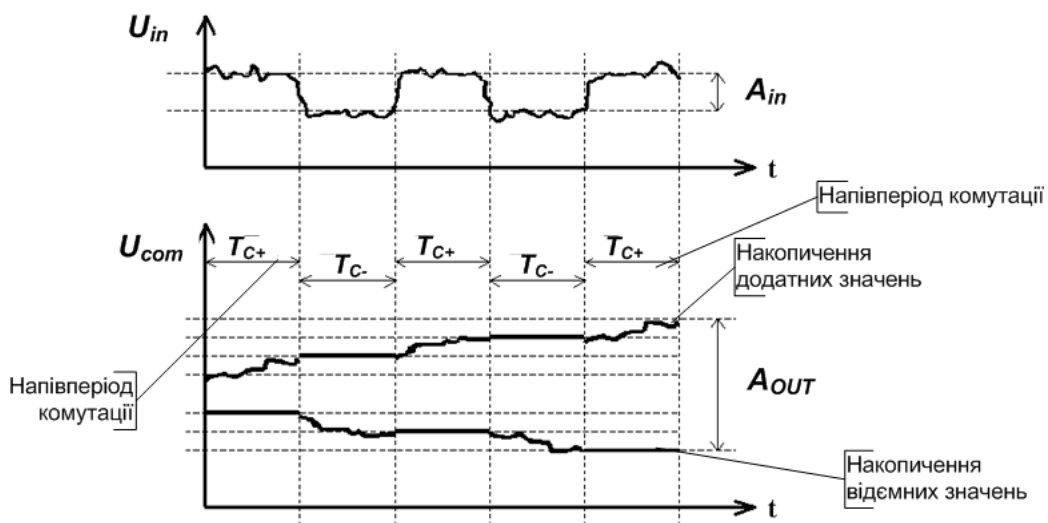


Рисунок 11 - Діаграми роботи кореляційного комутованого фільтра

Робота комутованого корелятора полягає в тому, що цифровий комутатор підключає по чергові через півперіоду два накопичуючі елементи – конденсатори. При цьому позитивні та негативні на півперіоди модуляційної

напруги накопичуються в різних ємностях та поступово створюють значну різницю потенціалів. (рис.11). Різниця потенціалів на накопичуючи ємностях зростає пропорційно часу.

НЧ сигнал впливає на різницю потенціалів пропорційно часу синфазно, а шум через черезнапівперіодну декореляцію- зростає пропорційно кореню часу, в результаті різниця потенціалів на конденсаторах із часом буде набагато більше залежати від сигналу, ніж від шуму. Таким чином працює механізм збільшення відношення сигнал-завада під час комутаційної кореляційної обробки [19].

2.2.2 Структурна радіометра НВЧ

Із використання всіх припущень та рекомендацій в попередніх розділах розроблена структурна схема приладу КПТР022080.01.10.00 Е1 (рис.1), що складається із 4 основних груп блоків (модулів):

- чипсет детекторної головки;
- блоки квазіоптимальної обробки;
- блок індикаторів НВЧ випромінювання;
- блоки забезпечення живлення.

Загальний принцип роботи [10] на рівні груп блоків полягає у отриманні слабкого сигналу із боку чіпсету детекторної головки, виділенні його на рівні шумів та завад у блоках квазіоптимальної обробки із найменшими втратами під час накопичення енергії сигналу та висвітленні результатів цієї обробки у блоці індикаторів НВЧ випромінювання.

До першої групи блоків (чіпсет детекторної головки) відносяться (рис.12):

- детекторна головка;
- регулятор детекторного струму;
- регулятор модуляційного струму;

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- генератор модуляційного сигналу.

Основою для роботи чіпсету детекторної головки є генератор модуляційного сигналу, що задає можливості щодо роботи модуляційного приймача на основі резонансної камери детекторної головки. Генератор модуляційного сигналу генерує модуляційний сигнал прямокутної форми із частотою, що відповідає звуковим частотам 1..10кГц. В нашому випадку, для подальших розрахунків будемо орієнтуватись на середнє значення – 3 кГц. Регулятори струмів забезпечують режими роботи модуляційного та детекторного діодів детекторної головки на оптимальному рівні для забезпечення найбільшої чутливості. Стабілізація цих струмів проводиться в межах детекторної головки за допомогою окремого інтегрального стабілізатора напруги живлення детекторної головки.

Блоки квазіоптимальної обробки забезпечують підсилення рівня сигналу з детекторного діода, що має частоту модуляції до рівня спрацьовування компаратора блоку індикатора НВЧ опромінення таким чином, щоб одночасно забезпечити і максимізацію відношення сигнал-завада. Ці завдання виконуються послідовно в наступних блоках:

- пасивний лінійний фільтр;
- активний лінійний фільтр;
- лінійний підсилювач;
- компенсаційний регулятор перехресних завад із регулятором чутливості;
- блок комутаційних кореляційних фільтрів 1 та 2;
- диференційний інтегратор;
- парафазний розгалужувач.

Пасивний фільтр в блоках квазіоптимальної являє собою RC ланку для узгодження виходу детекторного діода із активним лінійним смуговим фільтром попередньої селекції, що являє собою фільтр невисокого порядку, зібраний на операційному підсилювачі. Центральна частота пропускання

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

смугового активного фільтру має відповідати основній частоті генератора модуляційного сигналу.

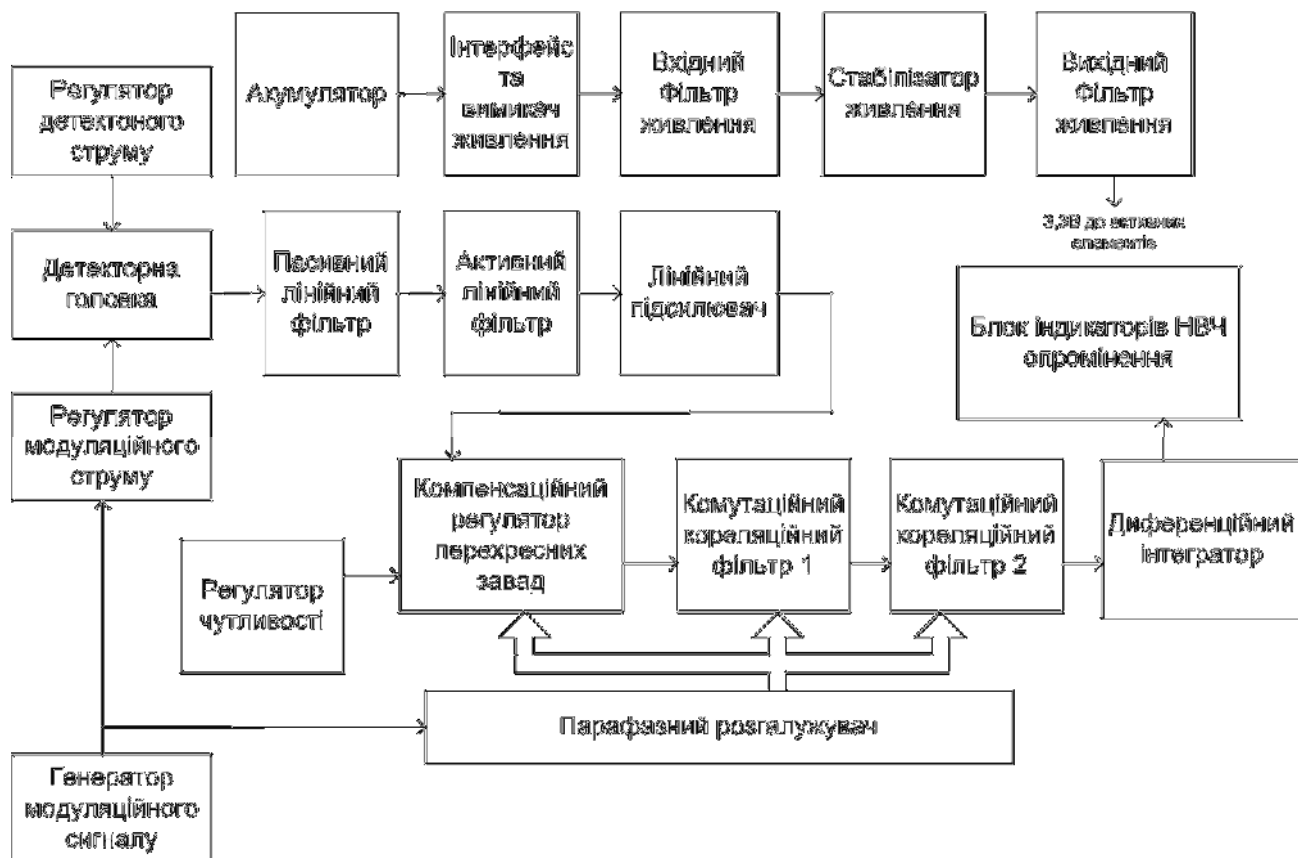


Рисунок 12 – Структурна схема радіометра НВЧ

Лінійний підсилювач надалі реалізує як підсилення так і розв'язку між наступними каскадами, де можливі суттєві комутаційні завади та перехресні спотворення. Саме для її усунення використовується компенсаційний регулятор перехресних завод, що видаляє із сигналу квазідетерміновані завади через підстройки рівня та фази компенсую чого сигналу регулятором чутливості. Для роботи компенсаційного регулятора необхідно забезпечити високий рівень парафазності модуляційного сигналу із шпаруватістю імпульсів, що чітко дорівнює 2. Цю функцію і виконує парафазний розгалужувач.

Надалі проводиться основна фільтрація, що полягає у роботі двох послідовних комутаційних кореляторів як накопичення енергії сигналу до

певного рівня. Під час накопичення постійний рівень на виході диференційного інтегратора ступінчасто зростає, та досягає рівня спрацьовування блоку індикаторів НВЧ опромінення, який видає значення на сповіщувачі для спостереження оператором радіометра НВЧ.

Індикація результатів радіометрії в рамках радіометрів проводиться за допомогою світлової та звукової індикації за принципом пропорційного відтворення рівня або за принципом сповіщення. Світлова індикація сповіщення реалізується за допомогою стовпчикових діаграм, звукова індикація реалізується як частотна залежність сигналу звукового елемента від рівня НВЧ енергії на вході детекторної головки радіометра НВЧ (див.рис.1). Оптичним сповіщувачем є світлодіодний елемент який помітно мерехтить, звуковий сповіщувач генерує переривчастий сигнал із частотою заповнення близько 3 кГц, що найбільш потужно відчувається людиною.

До блоків забезпечення живлення відносяться :

- акумулятор;
- інтерфейс та вимикач живлення;
- вхідний фільтр живлення;
- стабілізатор живлення;
- вихідний фільтр живлення;

Для усунування впливу роботи схеми обробки на чутливу детекторну головку встановлено ряд фільтрів живлення та стабілізатор напруги. Стабілізатор напруги виконано за компенсаційною схемою на базі інтегрального низьковольтного стабілізатора із низьким падінням напруги, що забезпечує стабільне живлення під час розряду акумуляторної батареї та одночасно зменшує рівень пульсацій щодо сторонніх завад. Конструкція приладу в жорсткому металевому корпусі або металізованому корпусі також забезпечує додаткове екранування як від низькочастотних так і високочастотних електромагнітних полів.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

2.2.3 Калібрування та вимірювання радіометром НВЧ

Напруга комутації модуляційного діоду радіометра НВЧ має близько 1 В, НЧ сигнал детекторного діоду складає менше 1 мкВ. Отже різниця складає більше 5 порядків, а саме необхідно вживати усіх заходів для зменшення перехресних завад та усування самозбудження схеми. Через детермінований характер таких завад для їх усування можливо застосувати метод компенсації. Процес компенсації відбувається у регуляторі чутливості та використовує факт протифазності сигналів НВЧ діодів вхідних кіл обробки.

Процес калібрування НВЧ радіометра [10] і полягає в тому, щоб встановити мінімальний рівень парафазних завад по сигнальному каналу, якщо рівень порівняння на компараторі фіксований. Отже рівень чутливості регулюється розмахом вхідного сигналу, або амплітудою власних парафазних наведень.

Калібрування полягає в становленні компенсаційним регулятором такого рівня чутливості, що забезпечує тільки початок спрацьовування (ще не спрацьовування) індикаторів НВЧ-полів. Це можливо реалізувати спрямувавши антенну систему в заздалегідь такому напрямку, де відсутнє НВЧ випромінювання, але напрямок має не надто суттєво відрізнятись для того, щоб рівень завад вважати однаковим і в напрямку цілі і в напрямку відсутності цілі. Чим далі положення регулятора компенсації від опорного рівня, виміряного під час калібрування, тим гірше чутливість пристрою. Загалом чутливості достатньо для визначення міліват них джерел НВЧ сигналу з відстані декілька сотен і більше метрів.

Після калібрування можливо проводити пошук НВЧ-джерел випромінювання, що полягає у спрямування антенної системи пристрою на пошукуване джерело НВЧ сигналу. Азимутально-кутомісцевий пошук проводиться через сканування простору головною пелюсткою антенної системи зміною положення тіла або руки оператора.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

2.3 Конструкторська реалізація радіометра НВЧ

2.3.1 Зовнішнє компонування

Виходячи із умов застосування, та заданих у ТЗ масо-габаритних характеристик запропоновано загальну конструкцію радіометра у формі пістолету. Зазвичай загальна форма корпусу виробу має близьку до прямокутної, але в цьому випадку домінуючим є зручність в експлуатації та оперативність застосування в тому числі і військовими, що звикли до такої форми виробу органічно (рис.13). Однак футляр для зберігання та перенесення, який може містити декілька детекторних головок загалом має мати форму близьку до прямокутного паралелепіпеду, що відповідає традиційним вимогам.

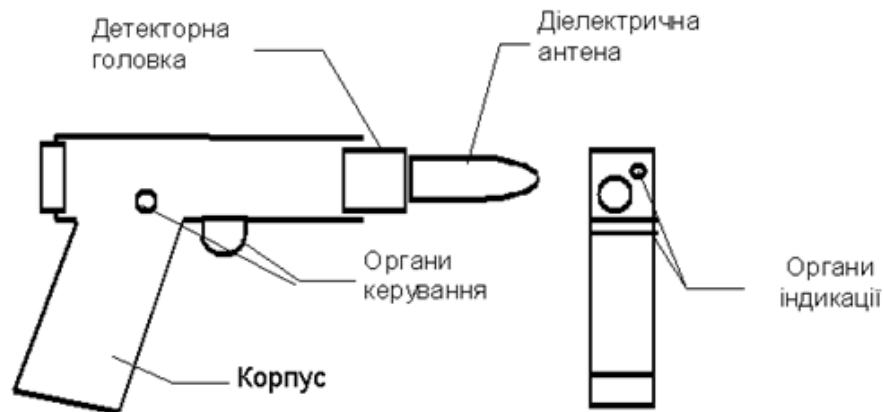


Рисунок 13 – Ескіз загальної форми корпусу радіометра НВЧ

Зазначимо міркування та фактори, що вплинули на таку форму виробу [7,8,10,20,21]:

1. Переносний варіант (за ТЗ) у формі пістолета забезпечує високу зручність утримання.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

2. Необхідність постійної зміни напрямку для сканування простору набагато простіше робити через переміщення всього пристрою через високу кількість ступенів свободи людської руки.
3. Утримання та використання радіометра однією рукою звільняє другу руку для фіксації певного положення тіла людини, наприклад, в рухомому засобі. Крім того, це розширює просторові зони, де можливий пошук джерел НВЧ випромінювання.
4. Невелика кількість органів керування та індикації за умов сучасних технологій дозволяє їх розмістити в обмеженому просторі в зоні безпосереднього сприйняття відповідними органами відчуття людини.
5. Якщо утримувати радіометр в одній руці в пістолетному варіанті корпусу забезпечується більш надійне утримання, що важливе за складних умов використання, де є можливість вилізання приладу та падіння його на тверду поверхню.
6. Принцип використання не потребує додаткових засобів фіксації під час проведення радіометричних досліджень. Пристрій фіксується у руці.
7. З технологічної точки зору пістолетна форма доволі часто використовується для подібних спеціалізованих засобів, тобто є багато рівнів конструкторсько-технологічної підтримки для такої форми виробу з точки зору уніфікації.
8. Кількість елементів та інтегрована елементна база дозволяє досить просто розмістити усі необхідні електрорадіоелементи (ЕРЕ) в обмеженому просторі пістолетної форми.
9. Пістолетна форма ергономічна та через використання джерел живлення у вигляді акумуляторної батареї, що планується розміщувати у ручці пістолетної форми, дозволяє збалансувати виріб для утримання без суттєвого напруження.
10. У виробі не передбачено використання під час роботи зовнішніх кабелів, подовжувачів, шнурів, тощо. Таким чином переміщення приладу обмежено тільки можливостями людини.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

11. Загальна маса радіометра не перевищує 1кг, що дозволяє утримувати його в руці досить тривалий час, достатній для проведення радіометричних досліджень із пошуку джерел НВЧ випромінювання.

Пістолетна форма радіометра має потужний психологічний ефект для загального кола людей, що може бути використано спецслужбами для виконання специфічних завдань.

Наведені зауваження є достатнім аргументом під час вибору загальної форми конструкції корпусу виробу.

2.3.2 Вимоги до розташування основних модулів радіометра

Для розміщення усіх модулів всередині корпусу (рис.14) та забезпечення екранування на чутливі кола під час радіометричних вимірювань корпус має бути виготовлено із легких металевих сплавів із двох частин, кришок, що в ідеалі мають мати дзеркальну форму для покращення уніфікації виробу загалом під час серійного виготовлення.

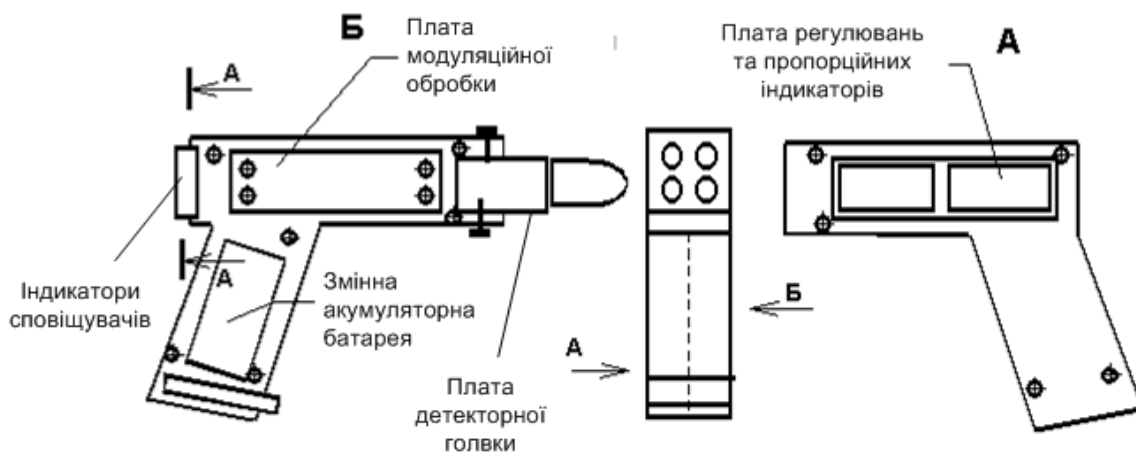


Рисунок 14 – Розташування основних модулів радіометра

Одна із деталей корпусу використовується у вигляді основного несівного елемента, де за допомогою розбірних з'єднань встановлено всі модулі. Під час

-
розробки передбачається модульна конструкція радіометра. Не передбачається застосування окремих елементів забезпечення жорсткості кріплення модулів через невеликі габарити, металевий корпус та відсутність жорстких вимог до механічних навантажень : ударів та вібрацій.

Використання сучасної планарної елементної бази дозволяє різко зменшити габарити окремих модулів та розташувати їх в обмеженому просторі пістолетної конструкції. Кількість та розташування поверхонь корпусу достатня для розташування органів керування та індикації, кількість яких не перевищує 5, однак переносний характер використання має передбачати конструкторський захист від випадкової зміни положень органів керування та ушкоджень органів індикації.

В конструкції корпусу має бути передбачено можливість простого демонтажу акумуляторної батареї для перезарядки або обслуговування через відкриття захисної кришки акумуляторного відсіку.

Під час складання корпусу пістолетних габаритів слід передбачати не більше 10 гвинтових з'єднань, щоб не ускладнювати конструкцію та технологію деталей корпусу. Виходячи із уніфікованих умов для механічного складання для забезпечення жорсткості на 100мм довжини використовується 1 гвинтове з'єднання. Таким чином кількість з'єднань деталей корпусу радіометра типу «пістолет» від 4 до 8.

Транспортування та збереження виробу проводиться у футлярі, що забезпечує захист від зовнішніх чинників. Елементів корпусу для кріплення у футлярі не передбачається.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

3 ТЕХНІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИСТРОЮ

3.1 Антенна система радіометра

3.1.1 Тип антени для діапазону НВЧ

Виходячи із умов ТЗ та дії модуляційних радіометрів слід застосувати спрямовану антену для пошуку та виявлення джерел НВЧ полів. При цьому слід зазначити, що застосування простої антени із слабкою спрямованістю не дозволить точно локалізувати місце джерела НВЧ сигналу і зменшить загальну чутливість, а застосування надто високої спрямованості ускладнює та здорожує конструкцію, а також зменшує пропускну спроможність під час виявлення джерела надвисокочастотного випромінювання. Найбільш доцільно обрати за вихідне значення ширину діаграми спрямованості (ДС) близько 10-25 кутових градусів [1,7,10,11].

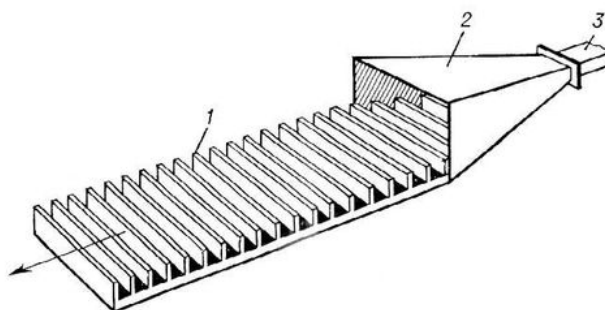


Рисунок 15 – Антена біжучої хвилі на металевих структурах

Через портативність пристрою антена має мати невеликі габарити та забезпечувати можливість роботи в широкому діапазоні НВЧ частот. Для таких умов найбільш доцільними є антени біжучої хвилі (рис.15), завдяки невідповідності резонансних антен вимогам ширококуговості, крім того резонансні антени для реалізації спрямованих властивостей мають мати широку

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

поперечну апертуру, що ускладнює їх застосування для портативних пристроїв пошуку. На противагу цьому антена біжучої хвилі в діапазоні НВЧ має невелику поперечну апертуру, що співмірна із довжиною хвилі та провздожну апертуру у декілька довжин хвиль – декілька дециметрів в НВЧ.

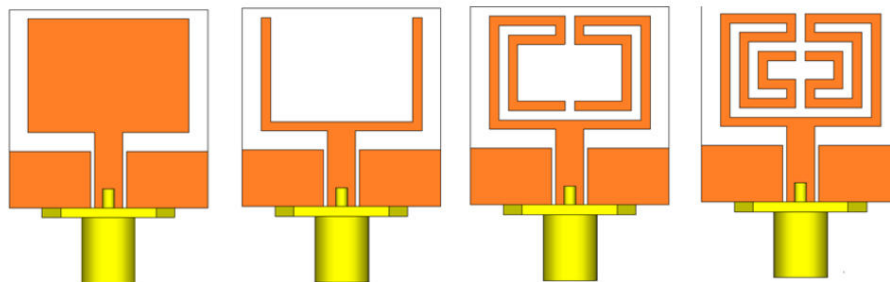


Рисунок 16 - Мініатюрні антени на мікросмужкових лініях передачі діапазону НВЧ

Антени біжучої хвилі конструктивно складаються із системи збудження та системи спрямування ЕМХ. Система спрямування антен біжучої хвилі може бути хвилеводною або діелектричною. Металева напрямна система має підвищені габарити та складність та для портативних пристроїв НВЧ застосовується тільки для верхньої частини діапазону НВЧ. Для середньої частини діапазону найбільш доцільно застосовувати діелектричні стрижневі антени, що суттєво уповільнюють ЕМХ в напрямку поширення та реалізують максимум ДС вздовж вісі діелектричного стрижня, що і є основною перевагою діелектричних антен – тобто ефективна апертура значно перевищує геометричну в напрямку перпендикулярному поперечним габаритам.

Якщо для резонансних антен відносна смуга робочих частот не перевищує 10% то для діелектричних стрижневих антен біжучої хвилі вона може сягати до 50%, що надзвичайно важливо для детекторів поля – радіометрів [1,10]. Для покращення ККД через узгодження із навколишнім простором випромінювання або прийому сигналів стрижневі діелектричні антени виконуються конусної форми. Рівень конусності впливає на одночасно

на ККД та ширину ДС протилежним чином, тому конусність таких антен має обиратись компромісно.

Слід зазначити що для прийому сигналів НВЧ останнім часом все більше застосовують вбудовані планарні патч-антенні системи (див.рис.16), які розміщені на ДП одночасно із елементами схеми обробки, але такі антени мають слабку спрямованість дії та високий рівень бічних пелюсток, крім того резонансний характер вбирає в себе всі недоліки резонансних напрямних структур, що унеможливило їх використання в радіометрах НВЧ.

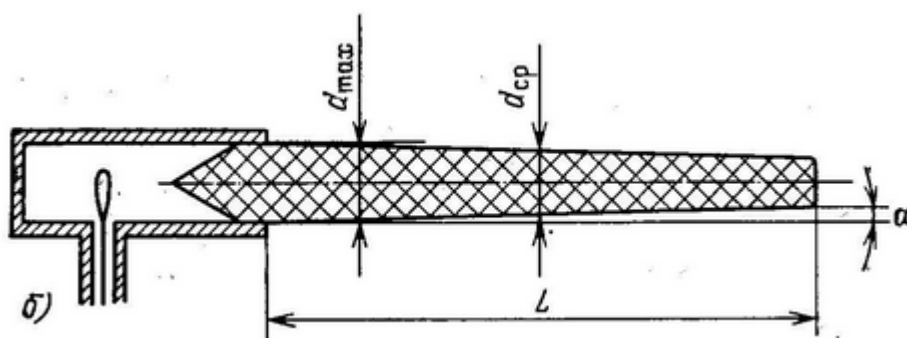


Рисунок 17 – Напрямна система та збуджувач ЕМХ стрижневої діелектричної антени

Модуляційний радіометр має мати блок із детекторними діодами, в резонансній структурі яка розміщена на платі, отже опромінювачем або збуджувачем для діелектричної антени має виступати мікросмужкова лінія що підключена до коаксіального кабелю із круглим металевим хвилеводом як оправкою для діелектричного стрижня (рис.17).

3.1.2 Матеріал діелектричного стрижня антени

Матеріали для виготовлення конічних діелектричних антен мають мати низькі втрати енергії та високу діелектричну проникність [12,13,15,16]. Найбільш широко застосовують два типи матеріалів – полімери та кераміку.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Серед полімерних матеріалів застосовують в порядку популярності: фторопласт, полістирол та поліетилен. До кераміки відносять різні сорти радіотехнічної кераміки, а також окремі сорти склотекстолітів.

Критеріями вибору матеріалів стрижневих антен в першу чергу є діелектрична проникність, що має мати значення від 2 до 6. Чим вище значення проникності тим менше ККД та габарити антени, найбільш оптимальні середі значення. Другим критерієм вибору є значення втрат, що оцінюється тангенсом кута втрат, чим менше значення цього параметру тим краще, однак вартість матеріалу суттєво зростає. Також важлива стійкість до впливу середовища, особливо гігроскопічність, що із часом для полімерів суттєво погіршує параметри антени особливо в зовнішніх колах кінцевого стрижня де поширюється переважна частина енергії ЕМХ[16]. Якісна порівняльна характеристика різних матеріалів подана в табл.2.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика матеріалів для діелектричних стрижнів антени біжучої хвилі діапазону НВЧ

№ п/п	Параметр	Фторопласт	Полістирол	Поліетилен	Кераміка
1	Густина, вага	Середня	Низька	Низька	Висока
2	Стійкість до ударів	Висока	Середня	Середня	Низька
3	Гідропоглинання	Низьке	Середнє	Високе	Високе
4	Теплостійкість	Середня	Низька	Дуже низька	Висока
5	Питомий опір	Високий	Середній	Низький	Найвищий
6	Поверхневий опір	Найвищий	Середній	Низький	Високий
7	Діелектрична проникність -	Середня	Висока	Середня	Найвища
8	Рівень втрат	Низький	Середній	Середній	Найменший

Зважаючи на умови ТЗ найбільш доцільним за комплексними критеріям є традиційний матеріал для виготовлення напрямних систем діелектричних антен, а саме фторопласт. Фторопласт отримують в результаті полімеризації тетрафторетилену ($F_2C=CF_2$) де забезпечується симетричність будови та

деполяризація молекул, що забезпечує мінімізацію втрат в діапазоні НВЧ та високу механічну, теплову, гігроскопічну та хімічну стійкість.

Фторопластові деталі виготовляють із гранул за технологією гарячого пресування за високого тиску найрізноманітнішої форми[16], вони легко підлягають механічній обробці. Основні параметри фторопласту: густина – 2,2 г/м³; теплостійкість довготривала – до 150⁰С; морозостійкість – до мінус 50⁰С; поверхневий опір 10¹⁷ Ом; діелектрична проникність – 2; тангенс кута втрат - (2...3)10⁻⁴.

Хімічна стійкість виробів із фторопласту вражає, за нормальних умов на них не діють кислоти та луги, матеріал стійкий до біологічного впливу бактерій, плісняви, грибків, тощо. Одним із небагатьох недоліків фторопласту є холодотекучість, особливо під механічним тиском, але за умовами ТЗ таких навантажень на прилад не передбачається.

3.1.3 Розрахунок діелектричної стрижневої антени

Механізм роботи стрижневої діелектричної антени полягає у поширенні уповільненої хвилі типу НЕ₁₁ поширення якої вздовж стрижня можливо розглядати суперпозицію хвиль Н₁₁ та Н₁₀ в металевому хвилеводі. Саме через це частина хвилеводу збудження добре узгоджується саме із діелектричною антеною [1,6,7,11].

Виходячи із ТЗ та попередніх зауважень для антени радіометра достатньо забезпечити КСД близько 20, що наближено відповідає 35 градусній ширині ДС в двох площинах.

Середня довжина робочої довжини хвилі складає:

$$\lambda_{сер} = \frac{c}{f_{сер}} = \frac{0,3 Гм / с}{10 ГГц} \approx 3 см, \quad (1)$$

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

де $f_{сер}$ - середнє значення робочої частоти радіометра.

КСД стрижневих антен обраховується із (1) за:

$$КСД \approx \frac{7,2 \cdot l}{\lambda_{сер}}, \quad (2)$$

де l - довжина діелектричного стрижня.

За (2) довжину діелектричного стрижня можливо знайти як:

$$l = \frac{КСД \times \lambda_{сер}}{7,2} = \frac{20 \cdot 3}{7,2} \approx 8,3(см), \quad (3)$$

Фазова швидкість (V_ϕ) ЕМХ в діелектричному стрижні з одного боку обмежена фазовою швидкістю у діелектричному просторі із проникністю матеріалу антени (V_ϵ) та швидкістю світла (c). Коефіцієнт уповільнення ЕМХ у діелектричній антені $n = c/V_\phi$ суттєво визначається діаметром стрижня та діелектричною проникністю матеріалу стрижня (див. рис.17).

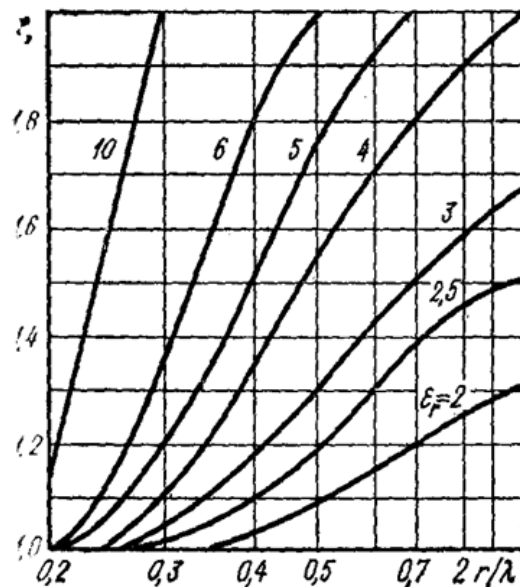


Рисунок 18 – Номограми для розрахунку коефіцієнту уповільнення в стрижневій діелектричній антені

Залежність відбиває значення коефіцієнту уповільнення (див. рис.18) від відношення діаметру стрижня до середньої довжини хвилі D/λ_{cep} .

Найбільш оптимальний коефіцієнт уповільнення має складати за (3):

$$\zeta_{opt} \approx 1 + \frac{\lambda_{cep}}{2 \cdot l} = 1 + \frac{3}{2 \cdot 8,3} \approx 1,18 \quad (4)$$

Враховуючи, що відносна діелектрична проникність фторопласту як матеріалу антени $\varepsilon = 2 \dots 2,2 \approx 2,1$ (див.табл.2), а довжина антени $l = 8,3$ см, за графіками рис.17 отримаємо $D/\lambda_{cep} = 0,49$. Отримане значення відношення є меншим за рекомендоване значення, що складає 0,5. Слід зазначити, що збільшення відношення D/λ_{cep} призводить до зростанню втрат у діелектрику та габаритів антени.

Для стрижневих антен діелектричного типу існують оптимальні габарити, що визначаються як:

$$D_{opt} = \frac{\lambda_{cep}}{\sqrt{\pi(\varepsilon - 1)}} = \frac{3}{\sqrt{3,14(2,1-1)}} \approx 1,85(см);$$

$$l_{opt} = \frac{\lambda_{cep}}{2(\zeta_{opt} - 1)} = \frac{3}{2(1,18-1)} \approx 8,3(см). \quad (5)$$

Розрахунки за (5) підтверджують правильність та можливість реалізації подібної антени для застосуванні у портативному переносному пристрої пістолетної конструкції, але габарити за (5) відповідають циліндричній антені, для конічного стрижня, що забезпечує більшу робочу ширину смуги (до 25%) оптимальні мінімальний та максимальний діаметри слід розраховувати як:

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$D_{opt}^{max} = \frac{\lambda_{сеп}}{\sqrt{0,5\pi(\varepsilon - 1)}} = \frac{3}{\sqrt{0,5 \cdot 3,14(2,1 - 1)}} \cong 2,3(см),$$

$$D_{opt}^{min} = \frac{\lambda_{сеп}}{\sqrt{3\pi(\varepsilon - 1)}} = \frac{3}{\sqrt{3 \cdot 3,14(2,1 - 1)}} \cong 0,9(см), \quad (6)$$

а середній діаметр конічного діелектричного стрижня із (6) складає

$$D_{сеп} = (D_{opt}^{max} + D_{opt}^{min})/2 = (2,3 + 0,9)/2 = 1,6(см). \quad (7)$$

що приблизно дорівнює оптимальному діаметру антени із циліндричним стрижнем.

Отримавши геометричні розміри можливо розрахувати діаграми спрямованості в азимутальній та кутомісцевій площині, або в площині векторів напруженості електричного (E) та магнітного полів (H) за:

$$DC_H(\alpha) = \sin c \left[\frac{\pi l}{\lambda_{сеп}} (\zeta_{opt} - \cos \alpha) \right] = \sin c \left[\frac{\pi 8,3}{3} (1,18 - \cos \alpha) \right]$$

$$DC_E(\beta) = \sin c \left[\frac{\pi l}{\lambda_{сеп}} (\zeta_{opt} - \cos \beta) \right] = \sin c \left[\frac{\pi 8,3}{3} (1,18 - \cos \beta) \right] \cos \beta, \quad (8)$$

де $\sin c(x) = \frac{\sin x}{x}$ - функція відліків.

Для антен прийнято подавати графіки у полярних координатах, що представлені як залежність амплітуд (8) від азимутального та кутомісцевого кута. Ширина діаграм спрямованості на рівні 0,707, що відповідає висунутим відповідає 0,5 за потужністю не перевищує 30 кутових градусів та відповідає вимогам ТЗ до пристрою, що розробляється.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

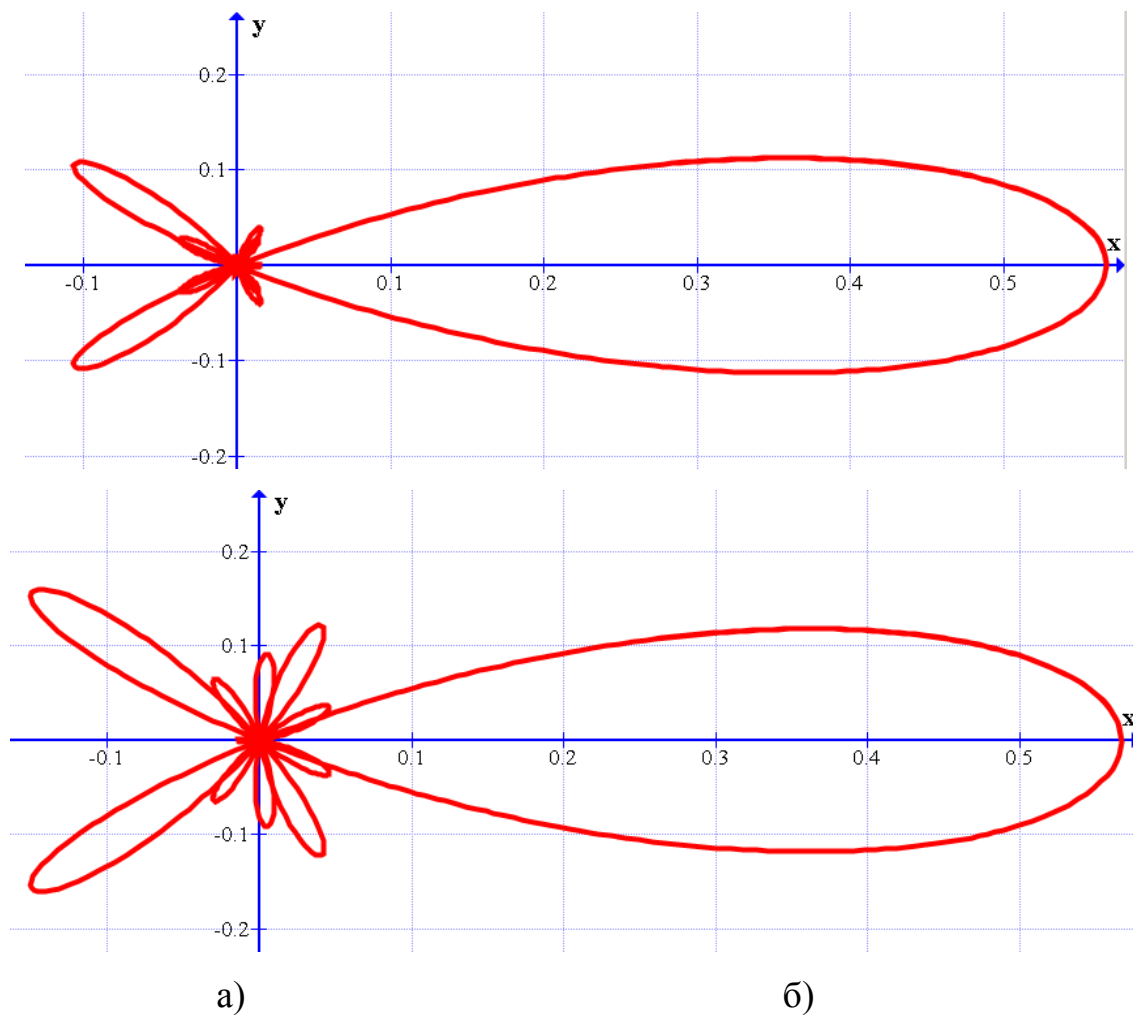


Рисунок 19 - Діаграми спрямованості розрахованої антени у площині Н (внизу) та площині Е (вверху)

Коефіцієнт підсилення антен (КПА) визначають як добуток коефіцієнта корисної дії (ККД) та коефіцієнта спрямованої дії (КСД):

$$KPA = KKD \times KSD, \quad (9)$$

та за умови оптимізованого вибору параметрів КСД діелектричної циліндрично-конічної антени має становити:

$$KSD \approx \frac{8l_{opt}}{\lambda_{сер}} = \frac{8 \times 8,3}{3} \approx 22, \quad (10)$$

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ККД антени визначається втратами в матеріалі, що є частото залежною величиною – тангенс кута діелектричних втрат ($tg\delta$), для матеріалу антени фторопласту таке значення становить близько 0,003 на частотах що відповідають діапазону НВЧ. Вираз для визначення ККД стрижневої діелектричної антени має вигляд:

$$ККД = \frac{l_{onm}^{-1} + \alpha_3 \exp[-2(1 + \alpha_3 l_{onm})]}{l_{onm}^{-1} + \alpha_3}, \quad (11)$$

де $\alpha_3 = \frac{\pi \varepsilon tg\delta}{\lambda_{сер}} \alpha' = \frac{3,14 \cdot 2,1 \cdot 0,003}{3} 0,5 = 0,0033(\text{см}^{-1})$,

α' - парціальний коефіцієнт затування, що визначають за номограмами (рис.20) залежно від значення відношення $D_{сер}/\lambda_{сер} = 1,6/3 = 0,53$ та діелектричної проникності матеріалу – 2,1. Для заданих значень $\alpha' \cong 0,5$.

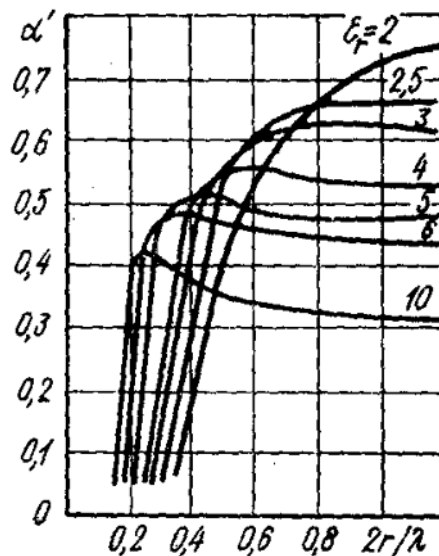


Рисунок 20 – Номограма для визначення парціального коефіцієнту затування

Відповідно (11) значення ККД стрижневої антени становить:

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$K_{КД} = \frac{1/8,3 + 0,0033 \exp[-2(1 + 0,0033 \times 8,3)]}{1/8,3 + 0,0033} = \frac{0,12 + 0,0033 \times 0,128}{0,1233} = 0,97, \quad (12)$$

Таким чином коефіцієнт підсилення антени складатиме із (10) та (12):

$$K_{ПА} = K_{ПД} \times K_{СД} = 0,97 \times 22 = 21,3 (\text{разів})$$

$$K_{ПА}(\text{дБ}) = 20 \lg(K_{ПД} \times K_{СД}) = 20 \lg(21,3) \approx 26,5 (\text{дБ}), \quad (13)$$

що перевищує необхідні показники, задані у ТЗ.

3.2 Функції детекторної головки

Функціональна схема детекторної головки (рис.21) складається як із елементів із зосередженими параметрами так і із елементів із розподіленими параметрами у вигляді мікросмужок, виконаних на діелектричній фторопластовій основі із мідною металізацією [11,21,22].

Сигнал від стрижневої антени через роз'яття Х1, що узгоджено мікросмужкових трансформатором –фільтром Ф1(див.рис.22) проходить блок основної фільтрації на базі мікросмужкового фільтра 5-го порядку Ф2. Параметри мікросмужкових ліній, що взаємодіють одна із одною в рамках фільтра можливо змінювати, і, таким чином, передбачити роботу радіометра в іншому діапазоні частот в межах діапазону НВЧ – 3...30ГГц. Під час зміни діапазону також слід змінити параметри ліній затримки ЛЗ1-ЛЗ3, що налаштовуються на середину робочого діапазону частот. \

Мікросмужкові фільтри живлення Ф3 та Ф4 (рис.21) можливо розробити таким чином, що їх параметри слабо залежать від діапазону частот в межах

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

НВЧ. Обидва фільтри забезпечують високочастотну розв'язку по входу та виходу підсилювального транзистора VT1. Останній має мінімальний рівень шуму та забезпечує підсилення в діапазоні НВЧ до 30дБ.

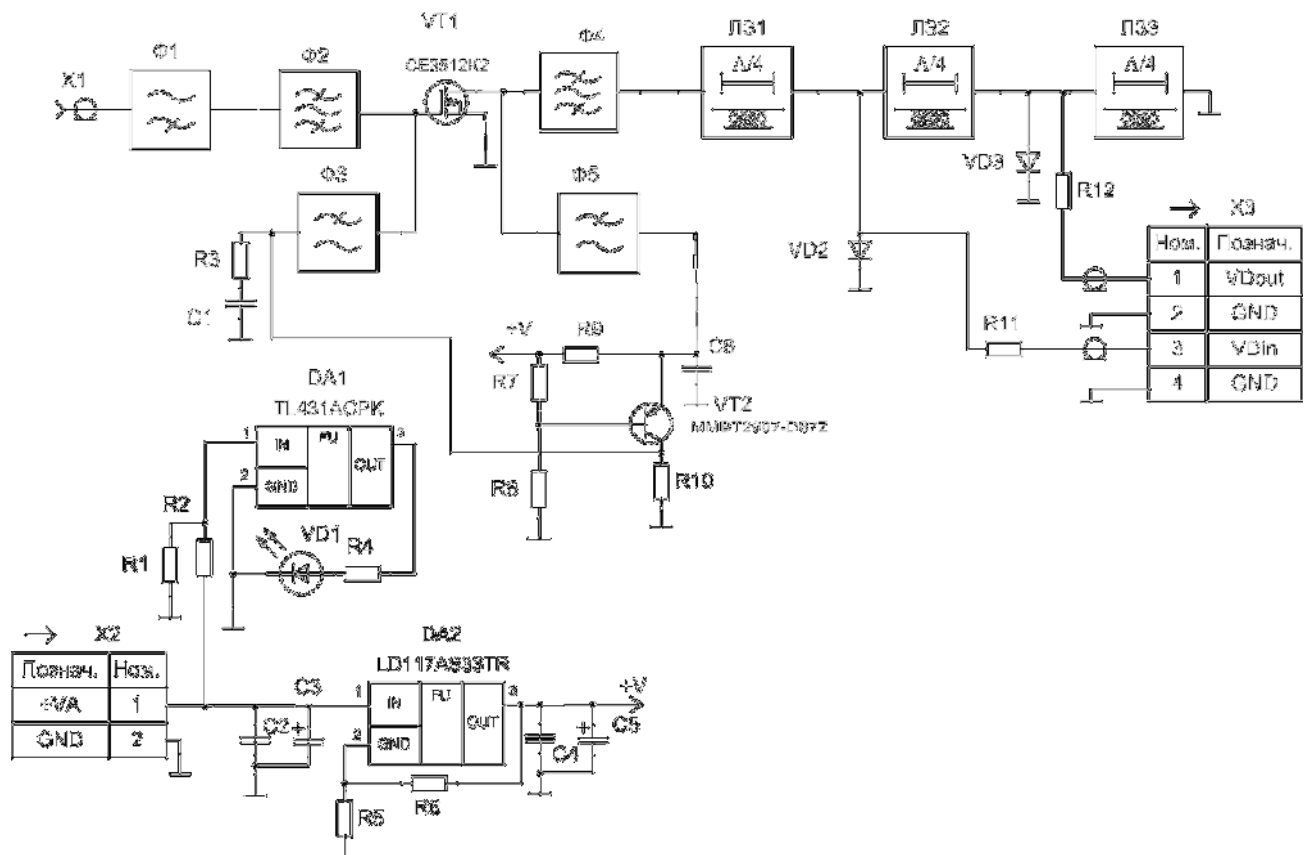


Рисунок 21 – Функціональна схема детекторної головки

Крім підсилювального транзистора НВЧ активними елементами є також діоди VD2 та VD3. Детекторний діод VD2 Шоткі забезпечує виділення енергії постійної складової в прийнятному сигналі НВЧ та модуляційний PIN діод VD3 забезпечує регулювання довжини резонаторної камери таким чином, що випрямлений діодом VD2 сигнал набуває частоти модуляційного сигналу лише за умови наявності НВЧ хвилі в резонаторі ЛЗ1-ЛЗ3.

Резистори R11 та R12 забезпечують встановлення робочої точки детекторного та модуляційного діодів відповідно.

Температурну та струмову стабілізацію НВЧ транзистора VT1 забезпечує транзисторний каскад із спільним емітером, зібраний на транзисторі VT2, що

працює як стабілізатор струму та напруги. Ланки R3C1 та R9C6 забезпечують блокування сигналів високих частот по входу та виходу відповідно. Режим роботи транзистора встановлюється резисторам R7,R8,R10.

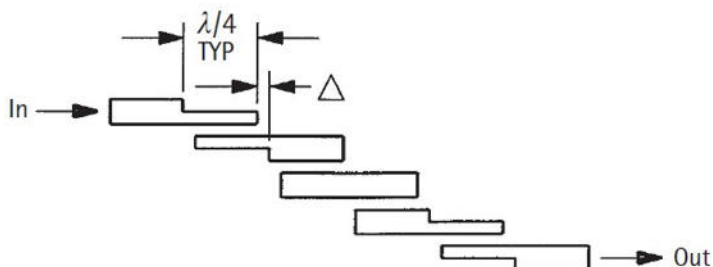


Рисунок 22 – Топологічна структура мікросмужкового фільтра

Для збереження довготривалої роботи батареї застосовується індикатор живлення батареї, що являє собою точний компаратор, зібраний на мікросхемі DA1, що за допомогою резисторів R1,R2 встановлює критичне значення напруги на акумуляторі у 3,4В, менше якого світлодіод VD1, підключений до виходу DA1 - гасне. Таким чином, відсутність світіння світлодіода VD1 є індикатором розряду акумулятора на зовнішньому зарядному пристрої.

Під час роботи пристрою напруга на акумуляторі може змінюватись від 3,4 до 4,1В, що неприпустимо для підтримання сталого режиму підсилення НВЧ транзистора VT1. Тому, живлення детекторної головки відбувається через стабілізатор напруги на базі мікросхеми інтегрального стабілізатора DA2, на виході якого за допомогою подільника із резисторів R5,R6 встановлюється напруга 3,3В (+V), що є також стандартною напругою для основного модуля.

Первинна напруга акумулятора на детекторну головку надходить ченез роз'язтя X2 від основної плати радіометра. Модуляційний та детекторний сигнали потрапляють на основну плату через X3 через екрановані провідники із рознесеними спільними провідниками для усунення протікання спільних струмів. На основній платі радіометра також розташовані елементи що задають режими модуляційного та детекторного діодів.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Для розширення функціональних можливостей антена та детекторна головка можуть бути змінені користувачем для роботи в іншому діапазоні частот.

3.3 Функціональна схема радіометра НВЧ

Блок детекторної головки є частиною загальної схеми радіометра НВЧ та конструктивно виготовлений на окремій надвисокочастотній друкованій платі. Якщо детекторна головка змінюється під час переходу в іншу частину діапазону НВЧ, то індикаторний блок у складі радіометра (рис.23) є універсальним для всіх діапазонів.

Функціональним завданням блоку індикації є реалізація всіх переваг модуляційного способу обробки для фіксації наявності слабких НВЧ сигналів. Генерацію парафазного модуляційного сигналу здійснює блок генератора G1 в формі прямокутних імпульсів. Такий сигнал подається на детекторну головку до модуляційного комутаційного PIN діоду (рис.1), а також на комутатор K1, що складається із 4 комутаційних перемикальних секцій та диференційний суматор, зібраний на резистора R6,R7,R8,R11.

Сигнал із детекторного діоду детекторної головки із частотою модуляції надходить з розняття X1 на схему попередньої фільтрації, що зібрана на низьковольтному операційному підсилювачі DA2 через пасивний фільтр R3,R4,C7. Інтегральна схема DA2 складається із двох операційних підсилювачів в одному корпусі, перший із яких реалізує смуговий активний фільтр, налаштований на частоту модуляції, а другий є лінійним інвертуючим підсилювачем. Частотозадаючі елементи R9,C8,C9,R12,R14,R13 забезпечують налаштування смугового фільтра на частоту модуляції. Резистори R15, R16 встановлюють значення лінійного підсилення близько 40дБ.

Важливою частиною схеми є забезпечення розв'язки модуляційного та детекторного діодів, під час дії перехресних завад із одного каналу в інший. Таким чином регулюється чутливість модуляційного приймача. Проблема

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Для подальшої обробки компенсований сигнал наявності НВЧ поля надходить на лінійний підсилювача, що зібрано на першій частині DA1. Лінійний підсилювач побудовано за схемою неінвертуючого підсилювача із коефіцієнтом підсилення, що задається резисторами R1,R2. Конденсатор C1 необхідний для забезпечення однополярного режиму живлення операційного підсилювача.

Цифровий кореляційний фільтр працює на основі відомої частоти та фази сигналу, що має прийти на його вхід для обробки, при цьому ширина смуги його пропускання складає одиниці герц, що дозволяє вважати такий фільтр схемою квазіоптимальної обробки, яка може «витягти» факт наявності НВЧ випромінювання з під рівня завад. В схемі радіометра таких фільтрів два, перший зібраний на основі комутаторів K1.1, K1.2 та накопичувальних конденсаторах C5,C6. Другий - на електронних ключах K1.3, K1.4 та конденсаторах C2,C3.

Смуга пропускання цифрових фільтрів визначається сталою заряду накопичувальних ємностей, наприклад, кола R5C2, та за обраних значень номіналів складає близько 30 Гц, що дозволяє використати в якості генератора парафазних модуляційних сигналів прості релаксаційні генератори, в тому числі зібрані на елементах цифрової низькочастотної логіки.

Одночасно із роботою, другий кореляційний накопичувач, зібраний на другій частині операційного підсилювача DA1 реалізує функцію інтегратора за допомогою зворотного зв'язку через конденсатор C6. Сигнал із якого і потрапляє на блок A2 –блок індикаторів НВЧ випромінювання, де порівнюється із порогом та забезпечує в разі перетинання порогу звукове та світлове (можливо і вібраційне) сповіщення наявності випромінювання в діапазоні НВЧ.

Живлення схеми здійснюється від поодинокого літійового акумулятора A3 через інтегральний низьковольтний стабілізатор напруги, зібраний на DA3.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Його функціонування аналогічне функціонуванню стабілізатора напруги живлення 3,3В для детекторної головки.

3.4 Розрахунок активного фільтра модуляційного сигналу

Розрахунок фільтру зазвичай проводиться через вибір апроксимуючої передавальної характеристики фільтру, схеми фільтру та параметрів фільтру [9,14,16,23] відповідно вхідним вимогам щодо забезпечення схеми фільтрації сигналів (табл.3). На останньому етапі слід перевірити відповідність передавальної характеристики фільтру за умови реальних номіналів електрорадіокомпонент.

Таблиця 3 – Вихідні вимоги для проектування активного фільтру радіометра

№	Параметр	Розмірність	Значення	Максимальне відхилення	Обґрунтування
1	Апроксимація передавальної функції	-	за Батервортом	-	Максимальна гладкість передавальної функції в зоні пропускання та загородження
2	Резонансна частота	Гц	3000	100	Частота генератора для модуляційного діоду
3	Добротність системи фільтрації	-	10	1	для забезпечення смуги набагато менше резонансної та набагато більшої за смугу кореляційного фільтру
4	Порядок фільтру	-	2	-	Мінімізація апаратурної стабілізації, стійкість до самозбудження
5	Підсилення на резонансній частоті	-	1	10%	Наявність подальшого лінійного підсилювача дозволяє компенсувати відсутність підсилення активного фільтру на операційному підсилювачі
6	Тип схеми активного фільтру	-	МФВ (схема із множинним зворотним зв'язком)		Стабільна та доступна схема за умови добротностей менше 20

Схема активного фільтра із складним зворотним зв'язком передбачає наявність 2-х конденсаторів та 3-х резисторів у частото задаючих колах зворотного зв'язку (рис.24) – C8,C9, R9, R12,R14. Розрахунок фільтру полягає у визначенні їх значень для забезпечення вихідних умов, див.табл.3.

Резистори R10,R13 являють собою резистивний подільник, для забезпечення потенціалу половинної напруги на неінвертуючому вході операційного підсилювача. Значення опору резисторів R10,R13 визначають із умови струму резистивного подільника, що має бути набагато більше вхідного струму операційного підсилювача. Для обраного операційного підсилювача типу MCP602, що має вхідний опір надзвичайно великий через застосування технології на польових транзисторах, опори вказаних резисторів можуть бути від 10кОм до 1МОм, та мають обиратись відповідно типізації схеми.

Крім того, для усунування завад змінного струму по неінвертуючим входам операційного підсилювача до цього входу підключена блокуюча ємність C10 із типовим номіналом 100нФ.

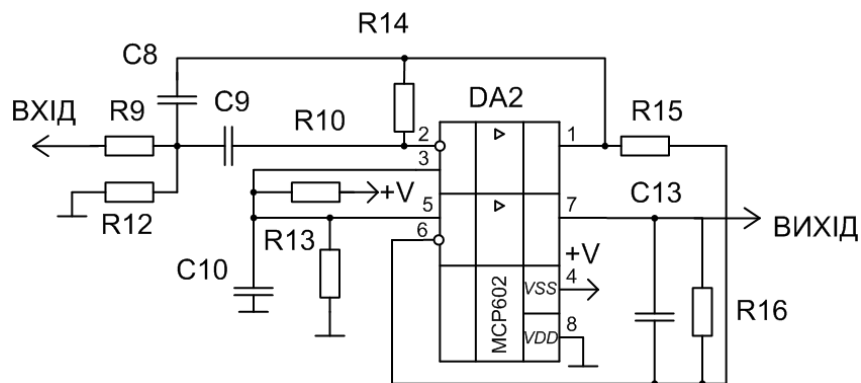


Рисунок 24 - Фрагмент схеми активного фільтра радіометра НВЧ

На другому операційному підсилювачі зібраний лінійний підсилювач із коефіцієнтом підсилення, що відповідає відношенню R16/R15 (див. рис.24). При чому значення R15 має бути набагато більшим значення вихідного опору операційного підсилювача, що для MCP602 складає близько 100 Ом, отже R15

має бути більшим 10кОм. Для забезпечення загального коефіцієнту підсилення у 100, значення R16 становитиме близько 1МОм.

Варіації номіналів резисторів R10, R13, R15, R16 можуть бути в досить широких межах, що не можливо сказати про частотозадаючі елементи першого операційного підсилювача DA2. Однак перевагою обраної схеми фільтрації є те, що розрахунок номінальних значень частотозадаючих елементів можливо проводити незалежно один одному із використанням відомих співвідношень, якщо припустити, що значення ємності конденсаторів C8 та C9 обрати однаковим.

Номінальні і однакові значення C8 та C9 мають перевищувати значення вхідних та паразитних ємностей та зазвичай знаходяться для подібних схем в діапазоні одиниць – сотен нанофарад. Оберемо середнє значення у 10нФ. Звідки значення опору R9 можливо отримати як:

$$R9 = \frac{Q}{2\pi F_0 K_0 C_8} = \frac{10}{2\pi \times 3 \cdot 10^3 \times 1 \times 1 \cdot 10^{-8}} \cong 53(\text{кОм}) \Rightarrow 51(\text{кОм}), \quad (14)$$

де Q - добротність фільтра;

F_0 - центральна або резонансна частота (частота модуляції);

K_0 - коефіцієнт підсилення на центральній частоті;

Значення резистора R12 визначаються як:

$$R12 = \frac{Q}{2\pi F_0 C_8 (2Q^2 - K_0)} = \frac{10}{2\pi \times 3 \cdot 10^3 \times 1 \cdot 10^{-8} (200 - 1)} \cong 265(\text{Ом}) \Rightarrow 270(\text{Ом}). \quad (15)$$

Значення резистора зворотного зв'язку R14 визначаються за співвідношенням:

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

$$R_{14} = \frac{2Q}{2\pi F_0 C_8} = \frac{2 \times 10}{2\pi \times 3 \cdot 10^3 \times 1 \cdot 10^{-8}} \cong 105(\kappa Om) \Rightarrow 100(\kappa Om). \quad (16)$$

На основі отриманих параметрів фільтру (14..16) та схеми фільтру (див.рис.24) легко знайти його передавальну характеристику (рис.25), що підтверджує правильність проведених розрахунків. Також коректність розрахунків підтверджується реальними значеннями параметрів резисторів та конденсаторів та можливістю їх придбання у оптових постачальників.

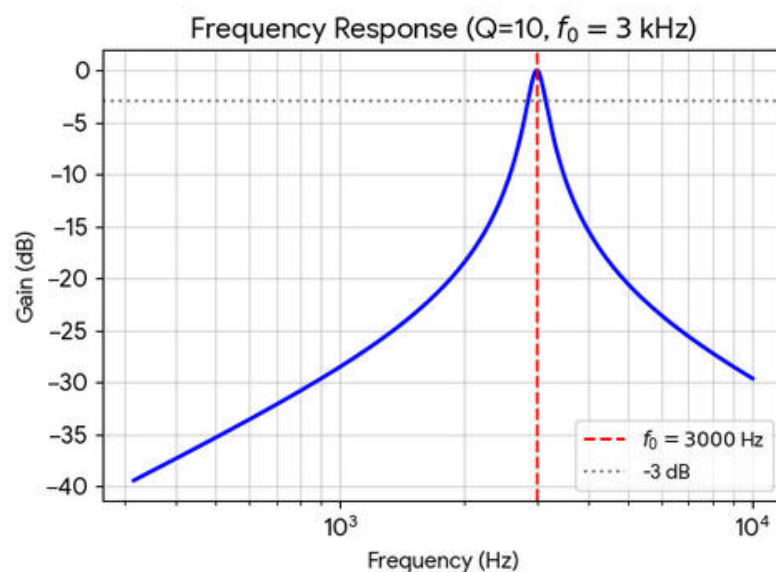


Рисунок 25 - Амплітудно-частотна характеристика активного смугового фільтру радіометра НВЧ

Для зменшення вартості приладу значення часозадаючих резисторів та конденсаторів обрані із стандартного ряду номіналів E12 та позначені в кінці обчислювального виразу. За умови обраних значень резисторів слід уточнити значення резонансної частоти відносно поданої у вхідних умовах:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi C_8} \sqrt{\frac{R_9 + R_{12}}{R_9 \times R_{12} \times R_{14}}} =$$

$$= \frac{1}{2\pi \times 1 \cdot 10^{-8}} \sqrt{\frac{5,1 \cdot 10^4 + 0,027 \cdot 10^4}{5,1 \cdot 10^4 \times 0,027 \cdot 10^4 \times 10 \cdot 10^4}} \cong 3071(\text{Гц}), \quad (17)$$

Що на 71 Гц більше за необхідне – 3000Гц, але набагато менше за смугу пропускання, що дорівнює:

$$\Delta F_0 = \frac{F_0}{Q} = \frac{3000}{10} = 300(\text{Гц}). \quad (18)$$

При цьому дещо зміниться і коефіцієнт підсилення на резонансній частоті:

$$K_0 = \frac{R_{14}}{2R_9} = \frac{100\text{кОм}}{51\text{кОм}} = 0,98, \quad (19)$$

що має відхилення (2%) на рівні допуску часозадаючих елементів, що для схем фільтрації має складати до 5%. Остаточний підбір значень частотозадаючих елементів активного фільтра проводиться на останніх етапах конструкторської розробки за умови впливу сторонніх факторів, що можуть змінити його кінцеві параметри та характеристики.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто принципи роботи сучасних радіометрів НВЧ, вказано на позитивні якості модуляційної схеми радіометра та запропонованої її використання із удосконаленням на основі компенсації перехресного впливу із модуляційною частотою та застосуванням комутаційного корелятора для максимізації чутливості.

2. Проведено аналіз аналогів для проведення радіометричних вимірювань в увигляді детекторів поля. Вказано на технічні характеристики, переваги та недоліки технічних та конструкторських рішень.

3. На базі розгляду аналогів розроблено технічне завдання для розробки радіометра НВЧ, а саме виділено призначення приладу, місце розміщення та умови експлуатації, а також ряд технічних вимог, що мають застосовуватись під час проектування та експлуатації приладу.

4. Проведено аналіз можливостей покращення чутливості радіометра НВЧ на основі застосування попереднього активного одно каскадного мікросмушкового підсилювача та резонаторної камери із НВЧ діодами на друкованій платі на базі фольгованого фторопласту. Розроблена структурна схема КПТР 022080.01.10.01 Е1 та функціональна схема КПТР 022080.01.10.01 Е2 детекторної головки, наведено опис функціонування на рівні структурної та функціональної схеми. Обгрунтовано вибір елементної бази із складанням переліку основних елементів.

5. Розроблено структурну схему радіометра НВЧ КПТР 022080.01.10.01 Е1, та подано принцип роботи радіометра на рівні структурної схеми. Розроблено функціонально схему радіометра НВЧ КПТР 022080.01.10.00 Е2, та подано принцип роботи радіометра на рівні функціональної схеми із висвітленням проходження сигналів по тракту підсилення із участю пасивних та активних фільтрів, а також двокаскадного комутаційно-кореляційного приймача.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

6. Запропоновано ескізну схему конструкторського проектування радіометра НВЧ у вигляді конструкції ручного пістолета, подано можливий варіант зовнішнього та внутрішнього компоновання, обґрунтовано вибір форми та розміщення базових плат в корпусі.

7. Обґрунтовано необхідність застосування спрямованої діелектричної антени в якості напрямної системи радіометра НВЧ . Проведено вибір матеріалу стрижня діелектричної стрижневої антени та технічний розрахунок параметрів антени для застосування в діапазоні частот, що встановлено ТЗ. Підтверджено можливість реалізації такої антени за заданої спрямованості та коефіцієнту корисної дії.

8. Проведено технічний розрахунок смугового фільтра на базі операційних підсилювачів для попередньої обробки детектованого сигналу із частотою модуляційного НВЧ діоду для проведення підготовки до комутаційно-кореляційної обробки. Розраховано пошукувані та номінальні значення RC компонент, доведено можливість реалізації за умови не більш як 5% відхилення параметрів від номінальних значень.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник/ За ред. Ю.Л.Мазора, Є.А.Мачуського, В.І.Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.
2. Методичні вказівки щодо організації, проведення та підготовки звіту з переддипломної практики для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»/ уклад.:Підченко С.К., Огнєвий О.В., Таранчук А.А., Мішан В.В. / за заг. ред. С.К.Підченко. – Хмельницький: ХНУ, 2021. – 29с.
3. Загальна електротехніка і основи електроніки: навчальний посібник / Співак В.М., Гуржий А.М., Нельга А.Т., Ітякін О.С.– Київ: КПІ, 2020. – 266 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни «Пристрої надвисоких частот» освітньо-професійної програми першого(бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», укл. Марченко С. В., Кам'янське; ДДТУ, 2019 р. – 93с
5. Сенько В.І. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник –К.: Обереги, 2000.– 584с.
6. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, т.1, — Харків: «Компанія СМІТ», 2003. — 580 с.
7. Ільницький Л. Я. Пристрої надвисоких частот та антени: навч. посіб. / Л. Я. Ільницький, Л. В. Сібрук, О. А. Щербина. — К. : НАУ, 2013. — 188 с.
8. Защепкіна Н. М., Шульга О. В., Наконечний О. А. С Метрологічне забезпечення інформаційно-вимірювальних систем : навч. посіб. для студ. спец. 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» /Н. М. Защепкіна, О. В. Шульга, О. А. Наконечний – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 176 с. іл.
9. Основи схемотехніки електронних систем / Бойко В.І., Гуржій А.М., Жуйков В.Я., Зорі А.А., Співак В.М., Терещенко Т.О. - Підручник для студентів

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

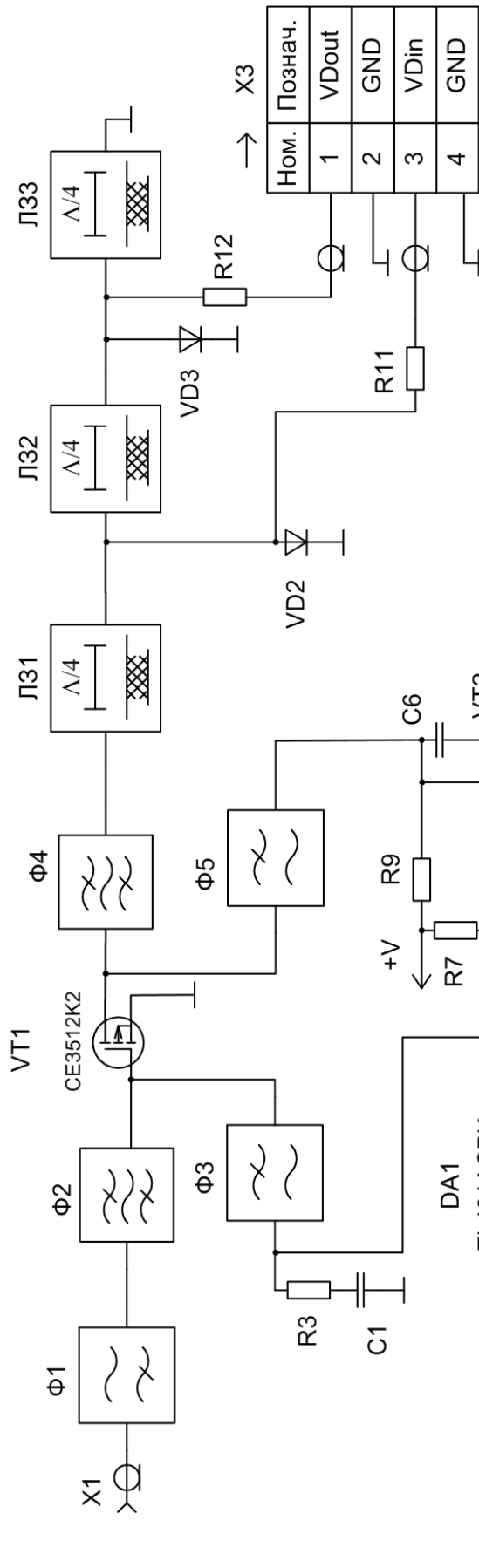
вищих навчальних закладів 1-го та 2-го рівнів акредитації – к.: вища школа, 2004.– 527 с.

10. Назаренко Л. А. Основи радіометрії та фотометрії: монографія / Л. А. Назаренко, В. М. Сорокін; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 352 с.
11. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз. Електронний навчальний посібник/В.В. Макаренко, В.М. Співак,–К.: НТУУ "КПІ", 2015.–314 с.
12. Цифрова схемотехніка електронних систем. Підручник / В.І., Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, В.В. Багрій, В.М. Співак, Т.О. Терещенко. 3-те вид. допов. і переробл.– К.: Вища школа, 2010. – 426 с. (гриф надано МОН України – протокол № 1.4/18-Г-414 від 14.02.2008 р.). ISBN 966-642-193-3.
13. Матвієнко М.П. Основи електроніки. / Видавництво: Ліра К. – 2019.- 364 с.
14. Вакуленко О.В., Голь В.Д., Ірха М.С., Хахлюк О.А. Лінії передачі: підручник. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 218 с.
15. David M. Pozar. Microwave Engineering / David M. Pozar. – USA:John Wiley & Sons, 2005. – 700 p.
16. Троцишин І.В. Фізичні основи електронних приладів: Навч. посібник / І.В.Троцишин – Хмельницький: ХДУ. – 2004. – 488 с.
17. Тимофєєв В. І. Мікрохвильова техніка. Електронні кола надвисоких частот [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 153 «Мікро- і наносистемна техніка», спеціалізацій «Інформаційні технології проектування в електроніці та наносистемах», «Електронні біомедичні системи і технології» / В. І. Тимофєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 4,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 231 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41068>. – Назва з екрана.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

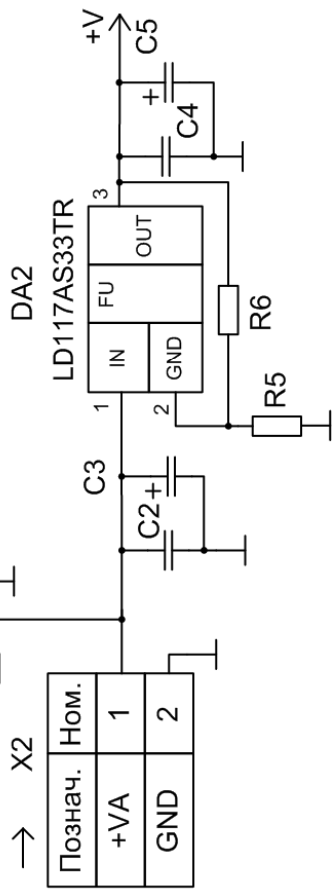
-
18. Елементна база радіоелектронної апаратури: Пасивні радіокомпоненти В 4 ч. Ч. 1. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.О.Піддубний, І.О.Товкач. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с.
 19. Воробйова О. М. Основи схемотехніки : підручник / Воробйова О. М., Іванченко В. Д.. – [2-ге вид.]. – Одеса : Фенікс, 2009. – 388 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. Аналіз та проектування активних фільтрів на операційних підсилювачах. Зеленін А.М., Костромицький А.І., Бондар Д.В. Навч. посібник. - Харків: ХНУРЕ, 2010. - 160 с.

					КПТР 022080.01.10.00ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71



Функціональні позначення:

- Ф1 - фільтр НВЧ узгоджувача
- Ф2 - смужковий НВЧ фільтр (основна селекція)
- Ф3 - смужковий фільтр живлення вихідних кіл
- Ф4 - смужковий фільтр узгоджувач резонатора
- Ф5 - смужковий фільтр живлення вихідних кіл
- ЛЗ1-3 - смужкові чвертьхвильові лінії затримки



КПТР022080.01.10.01 E2

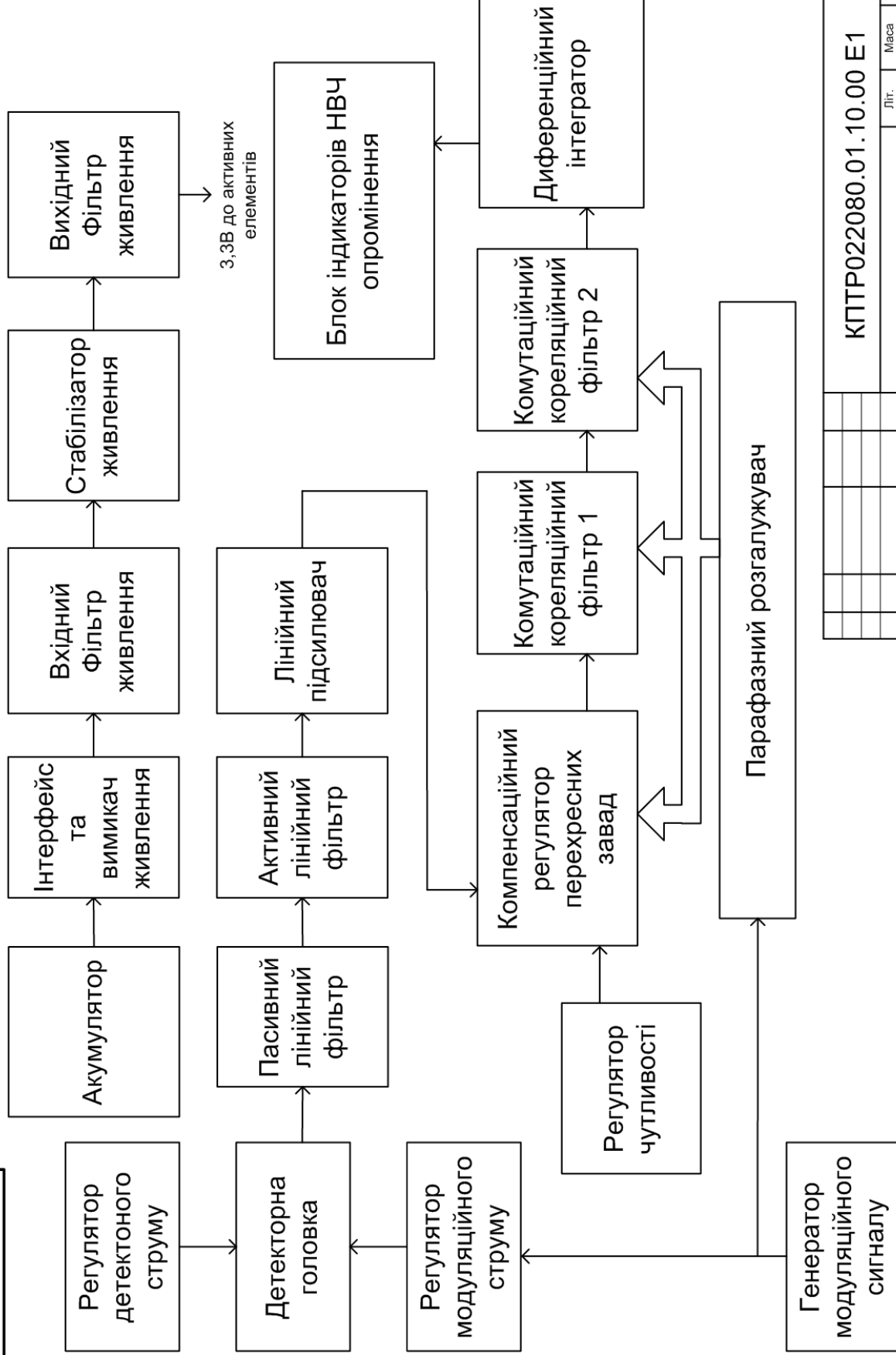
Детекторна головка

Схема електрична функціональна

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
		Рогозянський					
		Перевір.	Пивовар О.С.		Н		
		Н.конт.	Стецюк В.І.		Аркуш	Аркушів -1	
Т.конт.		Підченко С.К.			ХНУ, ФІТ, ТМІТ		
Затв.							

№№ підл.	Підпис дата	Вам. № дубл.	№, № дубл.	Підпис дата
----------	---------------	--------------	------------	---------------

КПТР022080.01.10.00 Е1



КПТР022080.01.10.00 Е1			
Радіометр НВЧ		Літ.	Маса
Схема електрична структурна		Н	Аркушів -1
		Аркуш	ХНУ, ФІТ, ТМІТ
Змн. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Рогозянський		
Перевір.	Пивовар О.С.		
Н.конт.	Стецюк В.І.		
Т.конт.			
Затв.	Підченко С.К.		

Інв. № підл.	Підпис і дата
Взам. інв. №	Інв. № дубл.

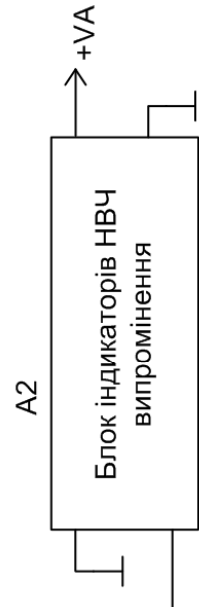
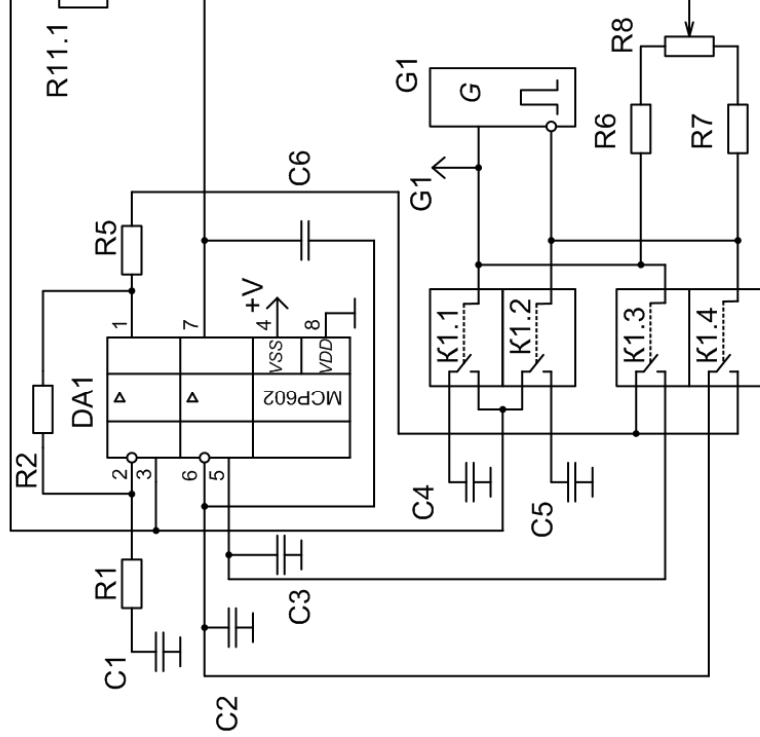
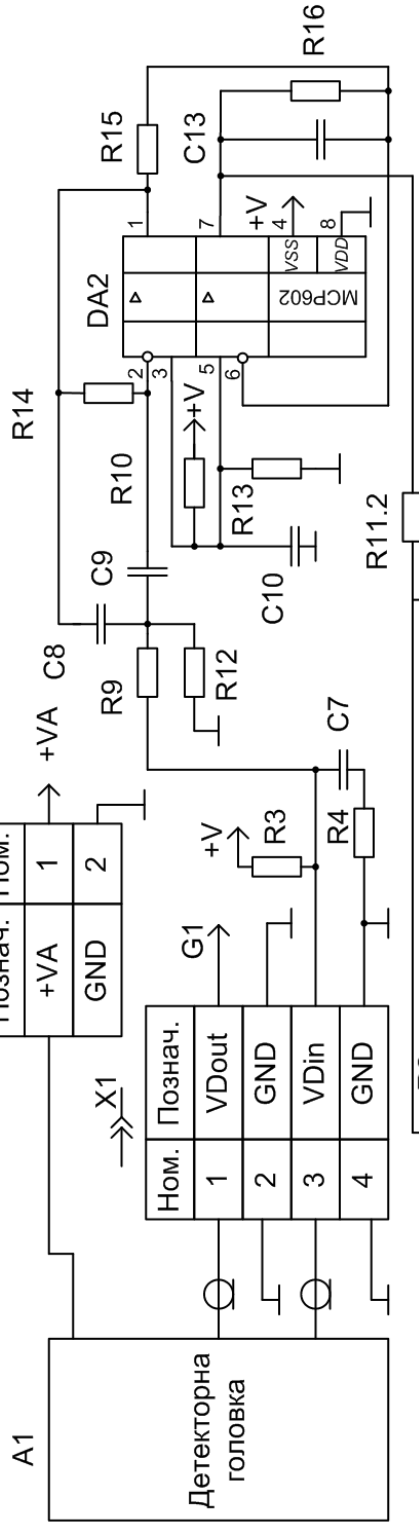
КПТР022080.01.10.00 E2

→ X2

Познач.	Ном.
+VA	1
GND	2

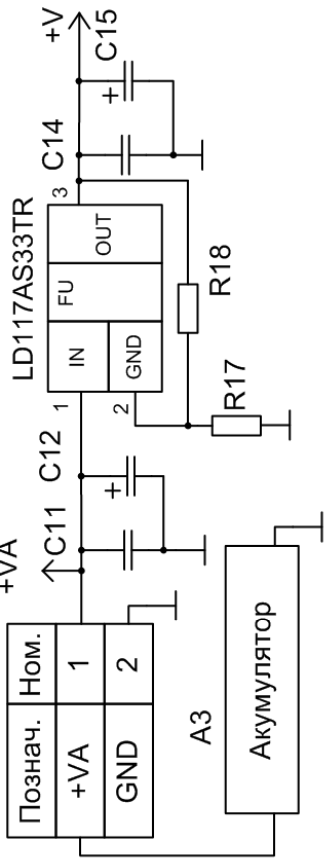
→ X1

Ном.	Познач.
1	Vdout
2	GND
3	VDin
4	GND



Познач.	Ном.
+VA	1
GND	2

→ X3



G1 – генератор прямокутних імпульсів модуляції
 K1 – комутатор аналогових сигналів

КПТР022080.01.10.00 E2

Радіометр НВЧ

Схема електрична структурна

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
		Рогозянський		
		Перевір.	Пивовар О.С.	
		Н.конг.	Стецюк В.І.	
		Т.конг.		
		Затв.	Підченко С.К.	

Літ.	Маса	Масштаб
Н		

Аркуш	Аркухів -1

ХНУ, ФІТ, ТМІТ

№ № підл.	Підпис дата	Взам. № дубл.	№, № дубл.

Поз. Познач	Найменування	Кіл.	Примітка					
	Конденсатори C3225X7R2E104K							
C1-C6	150nF 10V X7R 10% 1210	6	TDK					
C7	330nF 10V X7R 10% 1210	1	TDK					
C8,C9	10nF 10V X7R 10% 1210	2	TDK					
C10	330nF 10V X7R 10% 1210	1	TDK					
C11	150nF 10V X7R 10% 1210	1	TDK					
C12	47 мкФ 10V 105°C d8 h11.5 Low ESR	1	TDK					
C13	33nF 10V X7R 10% 1210	1	TDK					
C14	150nF 10V X7R 10% 1210	1	TDK					
C15	47 мкФ 10V 105°C d8 h11.5 Low ESR	1						
	Мікросхеми							
DA1,	MCP602							
DA2		2	Microchip					
DA3	LD117AS33TR	1	STMicroelectronics					
	Резистори RC1206JR 5% 0,125W 1210							
R1	10 kOhm	1	Hitano					
R2	100 kOhm	1	Hitano					
R3	330 kOhm	1	Hitano					
R4	180 kOhm	1	Hitano					
R5	330 kOhm	1	Hitano					
R6,R7	33 kOhm	1	Hitano					
КПТР. 022080.01.10.00 ПЕ2								
Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Радіометр НВЧ Перелік елементів	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Рогозянський			1.16.26		Н	1	2
Перевірив	Пивовар			1.16.26				
Н.контр.	Стецюк			2.06				
Затверд.	Підченко С.К.			2.06.26				
						ХНУ, ФІТ, ТМІТ		

Кваліфікаційний проєкт бакалавра

Радіометр НВЧ

Здобувач : ст. гр ТР2-22-1 Дмитро РОГОЗЯНСЬКИЙ

Керівник : канд. техн. наук, доц. Олег ПИВОВАР.

Метою проєкту є розробка пристрою для виявлення та вимірювання рівня слабких НВЧ сигналів, що відрізняється зменшеним порогом чутливості, модульною архітектурою, доступністю електронних компонент, зменшенням собівартості та складності виготовлення пристрою.

ПРИНЦИПИ РОБОТИ РАДІОМЕТРІВ

2



Рисунок 1 - Кореляційний радіометр

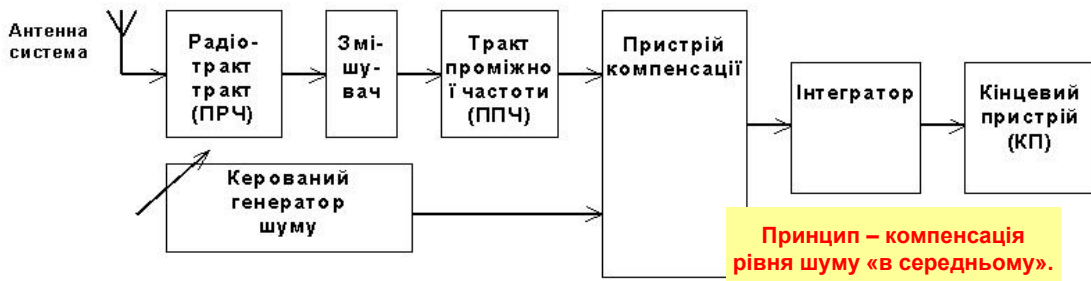
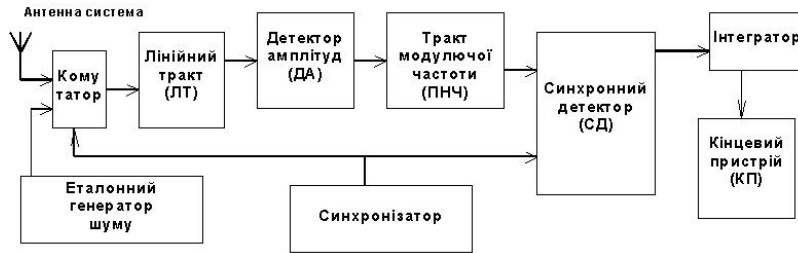


Рисунок 2 - Компенсаційний радіометр

ПРИНЦИПИ РОБОТИ РАДІОМЕТРІВ

3



Поява НВЧ сигналу спонукає появу НЧ сигналу пропорційного рівня

Рисунок 1 - Модуляційний радіометр



Комбінація механізмів компенсації та модуляції

Рисунок 2 – Адитивно-шумовий радіометр

Всі радіометри фактично призначені для виявлення слабких сигналів на фоні значного рівня завад

МОБІЛЬНІ РАДІОМЕТРИЧНІ ПРИБОРИ

4



Рисунок 1 - DS-828

Переносні детектори надвисокочастотних полів (радіометри) працюють в діапазоні до 8ГГц

Детектори безпроводних сигналів



Рисунок 2 - I-Tech K68

Рисунок 3 - XXT-DT-Pro

ПРИНЦИП МОДУЛЯЦІЙНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

5

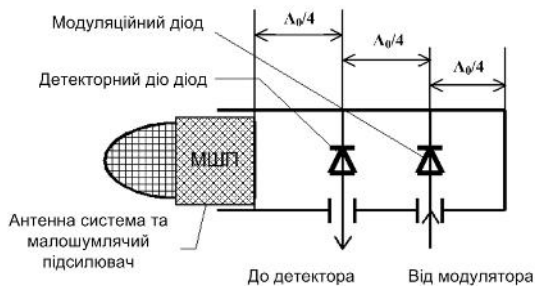


Рисунок 1 – Модульований резонатор детекторної головки

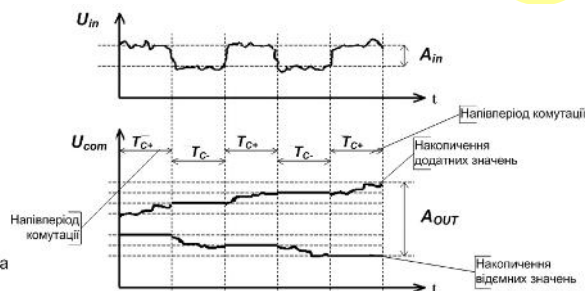


Рисунок 2 – Корелятор модуляційного сигналу

1. Сигнал із частотою модуляції на виході детекторного діода з'являється за умови певного рівня НВЧ поля.

2. Корелятор модуляційного сигналу являє собою вузькосмуговий узгоджений фільтр.

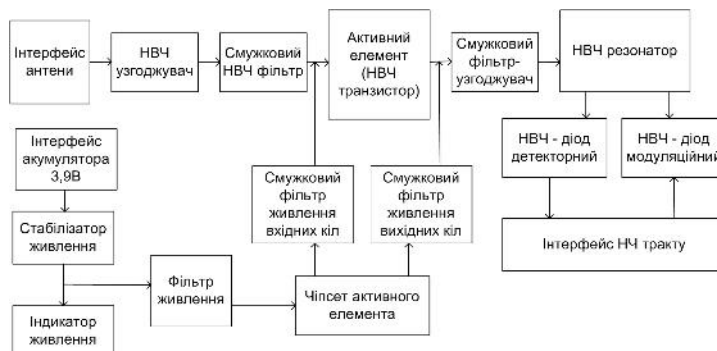
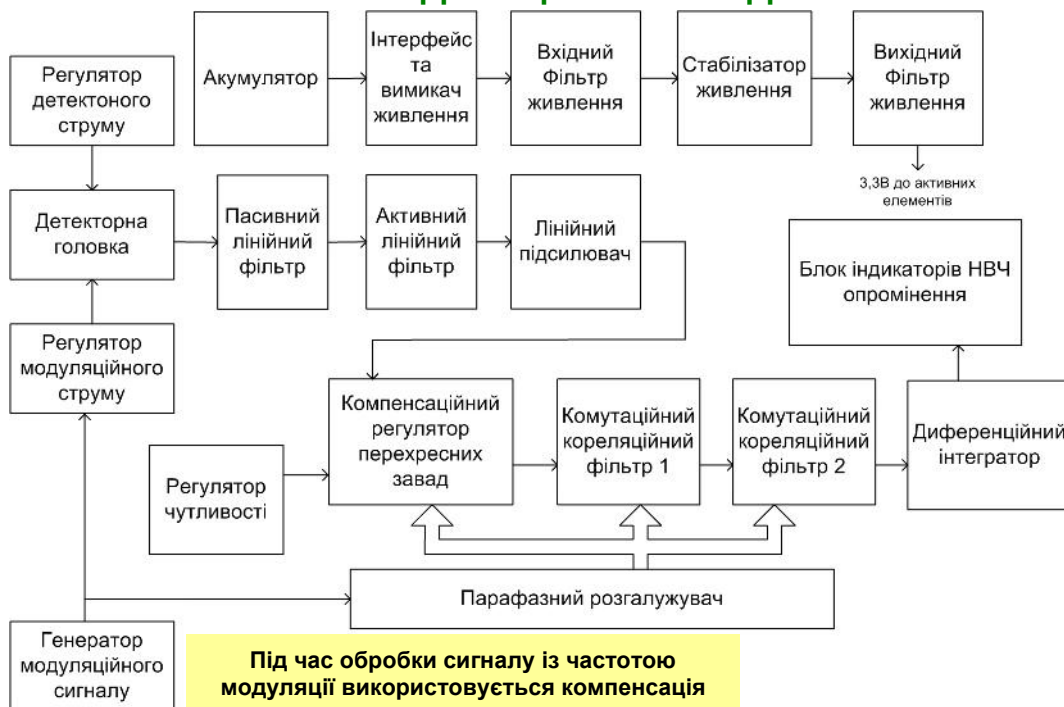


Рисунок 3 – Структурна схема детекторної головки

СТРУКТУРНА СХЕМА МОДУЛЯЦІЙНОГО РАДІОМЕТРА НВЧ

6



Під час обробки сигналу із частотою модуляції використовується компенсація перехресних завад та два каскади комутаційних кореляторів.

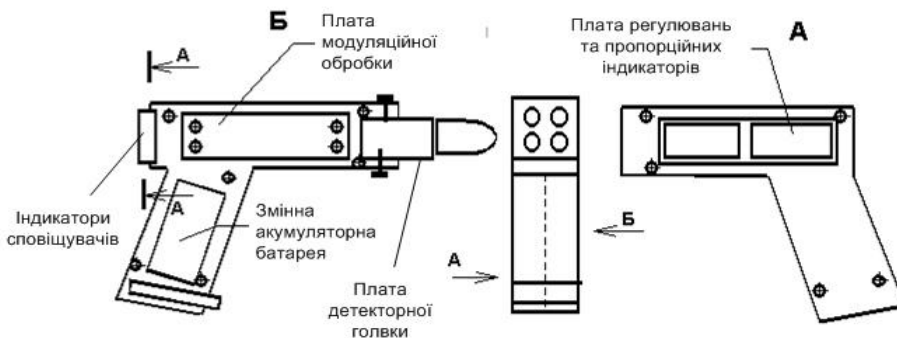


Рисунок 1 – Варіант внутрішнього компонування

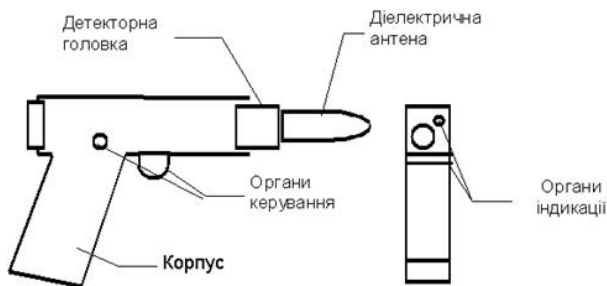


Рисунок 2 – Варіант зовнішнього компонування

Конструкція виробу у вигляді пістолету дозволяє підвищити зручність під час застосування.

АНТЕНА РАДІОМЕТРА НВЧ

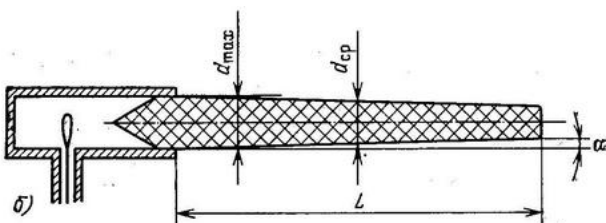


Рисунок 1 – Конструкція стрижневої конусної антени НВЧ

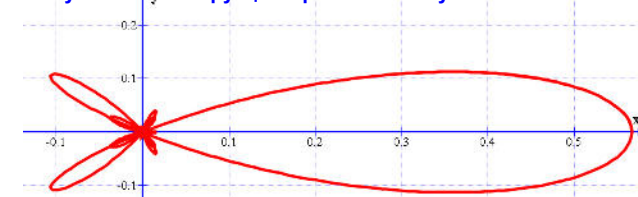


Рисунок 2 – Діаграма спрямованості в площині E

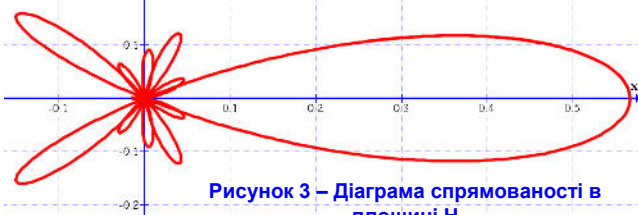


Рисунок 3 – Діаграма спрямованості в площині H

Вихідні параметри для розрахунку діелектричної стрижневої конусної антени:

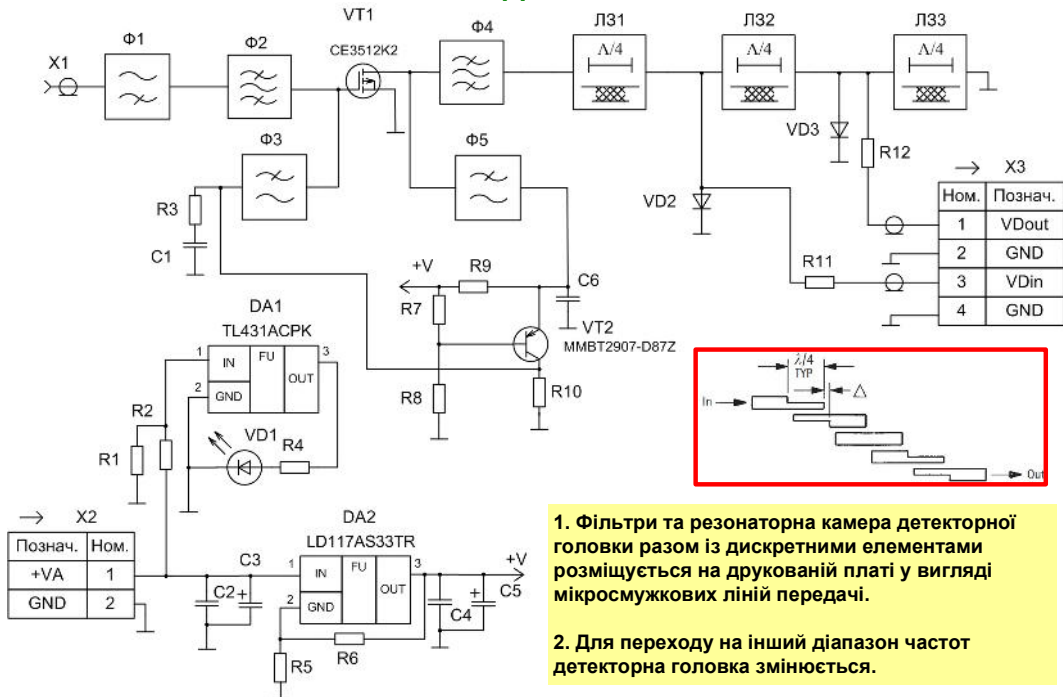
1. Діапазон частот 8-12ГГц.
2. Коефіцієнт спрямованої дії – не менше 20.
3. ККД не менше 95%.

Розраховані параметри антени:

1. Матеріала стрижня – фоторопласт.
2. Форма - круглий конус.
3. Довжина стрижня - 83мм
4. Максимальний/мінімальний діаметр – 23/9 мм.
5. Коефіцієнт спрямованої дії -22.
6. ККД – 97%.
7. Ширина діаграми спрямованості – 29 градусів.

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ДЕТЕКТОРНОЇ ГОЛОВКИ

9

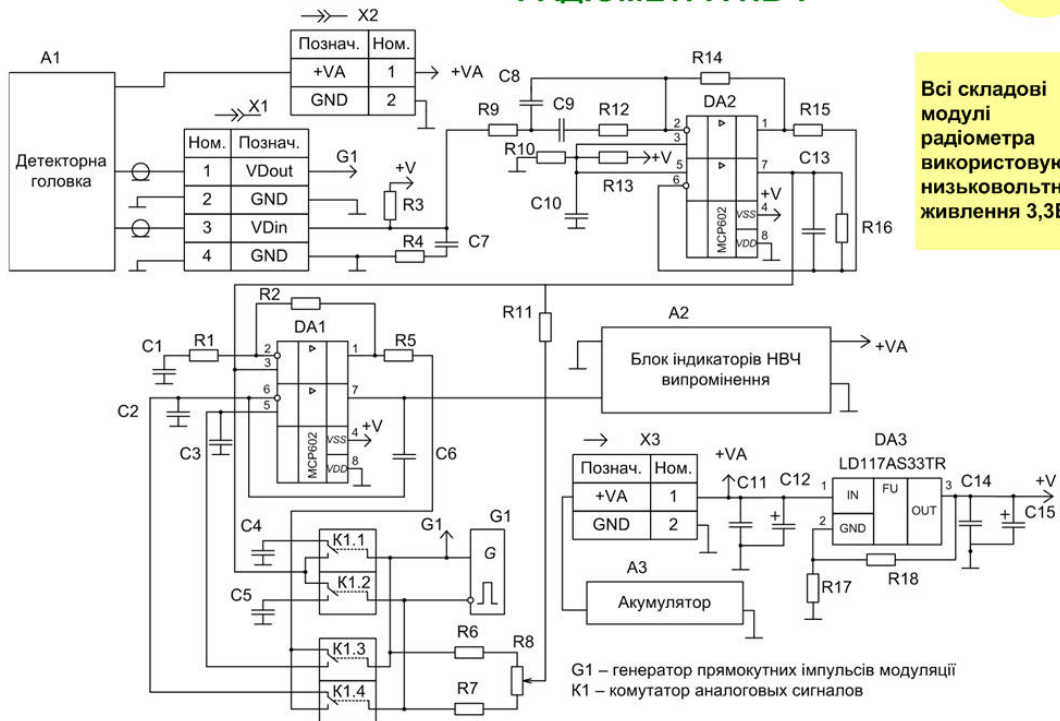


1. Фільтри та резонаторна камера детекторної головки разом із дискретними елементами розміщується на друкованій платі у вигляді мікросмужкових ліній передачі.

2. Для переходу на інший діапазон частот детекторна головка змінюється.

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА РАДІОМЕТРА НВЧ

10



Всі складові модулі радіометра використовують низьковольтне живлення 3,3В.

Функціональна схема радіометра НВЧ складається із 3 модулів виконаних на окремих платах.

G1 – генератор прямокутних імпульсів модуляції
K1 – комутатор аналогових сигналів

РОЗРАХУНОК АКТИВНОГО ФІЛЬТРУ МОДУЛЯЦІЙНОГО СИГНАЛУ

11

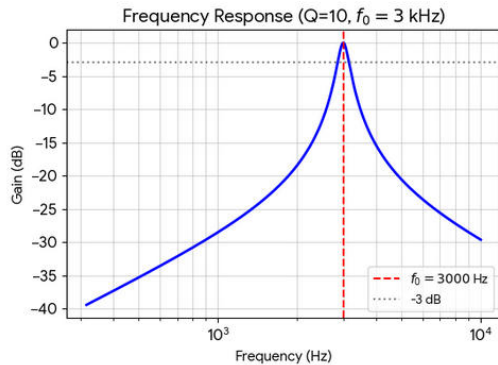


Рисунок 1 – Частотна характеристика активного фільтру 2-го порядку

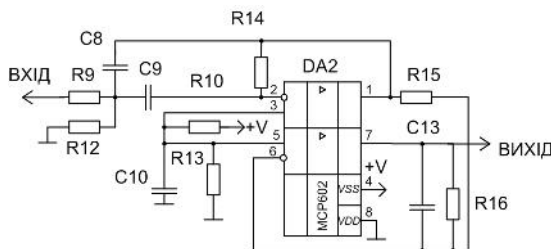


Рисунок 2 – Підсилювач модуляційного сигналу (фрагмент схеми)

Вихідні параметри для розрахунку активного фільтру на низьковольтному операційному підсилювачі:

1. Модуляційна частота – 3 кГц.
2. Порядок фільтру – 2.
3. Тип фільтру - Батерворта.
4. $C9=C8=10\text{нФ}$.

Розраховані параметри активного фільтру:

1. Приведені до стандартного ряду E12 $R9=51\text{кОм}$, $R12=270\text{Ом}$, $R16=100\text{кОм}$.
2. Приведена частота резонансу 3071Гц.
3. Смуга прозорості – 300Гц.
4. коефіцієнт підсилення на резонансній частоті 0,98.

Фільтрація модуляційного сигналу зосереджена на першому ОП мікросхеми, а підсилення на другому ОП в одному корпусі.

ВИСНОВКИ

12

1. На базі розгляду принципів роботи радіометрів та аналізу аналогів аналогів розроблено технічне завдання для розробки радіометра НВЧ, в тому числі ряд технічних вимог, що мають застосовуватись під час проектування та експлуатації приладу.

2. Запропонована для покращення чутливості та технологічності радіометра НВЧ застосувати попереднє активне підсилення радіометричних сигналів в рамках модуляційного принципу обробки на основі використання мікросмужкових ліній передачі друкованої плати із фольгованого фторопласту. Розроблені структурні та функціональні схеми детекторної головки та радіометра загалом.

3. Запропоновано пістолетний варіант зовнішнього компонування та варіант внутрішнього компонування на базі 3-х модулів: змінної детекторної головки із антеною, модуля модуляційної обробки та індикаторного модуля.

Проведено технічні розрахунки діелектричної стрижневої НВЧ антени модуля детекторної головки та активного фільтру попередньої селекції модуля модуляційної обробки.

Завідувачу кафедри телекомунікацій, медійних
та інтелектуальних технологій (ТМІТ)
Сергію ПІДЧЕНКО
здобувача вищої освіти рівня бакалавр,
студента 4 курсу, гр. ТР2-22-1
Дмитра РОГОЗЯНСЬКОГО

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 (StrikePlagiarism та AntiPlagiarism) 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.

14.05.26

дата



підпис

Рогозянський Д.М.

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-16.718

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: UA, US, RU. Помилки в документах: 10%

ID: 271506 Назва: Радіометр НВЧ Додано в БД: 2026-05-14 Автора: Рогозянський Дмитро МІхайлович Керівники: Пивовар Олег Сергійович Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	75015	567	1044 (1%)	20 (4%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Дмитро РОГОЗЯНСЬКИЙ TR2-22-1

Співавтор:

Назва: Радіометр НВЧ

Науковий керівник: Олег ПИВОВАР, к.т.н., доц

Підрозділ: Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Коефіцієнт подібності 1:2.27%

Коефіцієнт подібності 2:1.36%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 17

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-05-14 13:22:42.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

Дата

14.05.26р.

експерт

к.т.н. доц. каф. ТМІТ

Пивовар О.С.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ
Телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій (ТМІТ)

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Радіометр НВЧ

Автор Рогозянський Дмитро Михайлович, гр. ТР2-22-1

Освітня програма Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

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

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	Відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Результати перевірки на плагіат системою Antiplagiarism – 1%.

Результати перевірки на плагіат системою Strikeplagiarism – 2%.

Виявлені мінімальні запозичення є випадковими збігами або результатами обробки форм стандартних бланків та не є плагіатом.

Дата 1.06.26.

Завідувач кафедри ТМІТ


Підпис

Сергій ПІДЧЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми


Підпис

Віктор СТЕЦЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Олег ПИВОВАР
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Рогозянський Дмитро Михайлович на захист кваліфікаційної роботи
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 172 - Телекомунікації та радіотехніка

На тему: Радіометр НВЧ

Кваліфікаційна робота, рецензія і довідка про перевірку на академічні запозичення додаються.

В.а. Декан факультету



Сергій Лисенко
(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Рогозянський Д.М. з 2022 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 17,39 %, добре 21,74 %, задовільно 60,87 %.

шкалою ЄКТС: А 17,39 %, В 13,04 %, С 8,70 %, D 39,13 %, Е 21,74 %.

Методист факультету

(підпис)

Тетяна Козар
(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Рогозянський Д.М. за час виконання кваліфікаційного проекту бакалавра зробив розробку актуальної теми щодо виявлення та вимірювання радіочастотних випромінювань, запропонував власну конструкцію приладу та варіант функціоналізації на базі мікроконтролера. Виявив старанність щодо розрахунків окремих питань та підтвердження правильності прийятих рішень.

Оцінка кваліфікаційної роботи

Відмінно

Керівник кваліфікаційної роботи

Світлана Пирова
(підпис) (ім'я, прізвище)

" 4 " червня 2026 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кваліфікаційну роботу розглянуто. Студент Рогозянський Д.М. допускається до її захисту на екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри Телекомунікацій, мобільних та інтелектуальних технологій
(нозва)

Сергій ПІДЧЕНКО
(підпис, ім'я, прізвище)

" 4 " червня 2026 р.

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційний проект студента групи ТР2-22-1

Рогозянського Дмитра Михайловича

«Радіометр НВЧ»

Зважаючи на ситуацію із військовим вторгненням Росії в Україну тема проекту особливо актуальна та відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Кваліфікаційний проект 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 72 сторінок і є достатнім для кваліфікаційних проектів бакалаврів. Графічна частина представлена 4 кресленнями формату А3.

В першому розділі подано обґрунтовано вибір схеми обробки сигналу в радіометрі, проведено аналіз аналогів та розроблено розширене технічне завдання. Другий розділ присвячений системотехнічному проектуванню детекторної головки та послідовній структурі обробки у вигляді квазіоптимального фільтру. В третьому розділі проведено технічні розрахунки діелектричної антени та активного фільтру.

Перевагами проекту є застосування мікросмужкових технологій в НВЧ тракці та комбінованої компенсаційно-комутаційної обробки в складі модуляційної схеми радіометра, акуратність та технічна грамотність виконання креслень схем на основі державних стандартів. Однак в роботі присутні ряд мілких неточностей формулювань, помилки в нумерації під час посилань, тощо.

В цілому кваліфікаційний проект Рогозянського Дмитра Михайловича «Радіометр НВЧ» виконано на високому технічному рівні та може бути рекомендовано після доопрацювання до впровадження.

Проект заслуговує оцінку «ВІДМІННО».

Рецензент: *К.Т.М. Гоцеліт координатор кибербезпеки*

Мурнар І.В.
2.06.2026р