

## Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи  
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

ВИСОКОСТАБІЛЬНИЙ НАДВИСОКОЧАСТОТНИЙ ГЕНЕРАТОР  
З ЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ НА ОСНОВІ КВАДРАТОРА  
08-34.МКР.004.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,  
групи АРЗ-18м  
спеціальності 172 – Телекомунікації та  
радіотехніка

\_\_\_\_\_ Клименко В.А.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

\_\_\_\_\_ Кононов С.П.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМІ

\_\_\_\_\_ Коваль Л.Г

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення  
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр  
Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації  
(шифр і назва)  
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка  
(шифр і назва)  
Освітня програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ТКСТБ  
к.т.н., професор Г.Г. Бортник

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 року

## З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Клименку Вадиму Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора

керівник роботи Кононов Сергій Павлович, канд. техн. наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року № 254

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: 1) смуга частоти вхідних сигналів:  $2 \div 20$  ГГц ; 2) відношення сигнал/шум – 60 дБ; 3) рівень вихідної напруги на навантаження (75 Ом) – від 0 до -60 дБ; 4) похибка встановлення частоти – не гірше 0.02%;

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Використання сигнал-генераторів в радіозв'язку, радіомовлення і телебаченні; розробка структурної схеми надвисокочастотного високостабільного генератора; вибір елементної бази окремих вузлів, та можливі схемні рішення надвисокочастотного високостабільного генератора; аналіз економічної ефективності розробки; аналіз економічної ефективності розробки; Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Параметри і характеристики елементної бази. Квадратор. Схеми електричних принципів. Надвисокочастотний генератор. Схеми електричних структур. Високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора. Частотний перетворювач на основі квадратора. Комп'ютерне моделювання. Охорона праці. Спрощена структурна схема ЗІГ-резонатора.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кононов С.П., доцент кафедри ТКСТБ		
Економічна частина	Лесько О.Й. к.е.н. професор ЕПВМ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В. к.т.н. доц. кафедри БЖДПБ.		

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	06.09.2019р.	
2.	Використання сигнал-генераторів в радіозв'язку, радіомовленні і телебаченні	13.09.2019р.	
3.	Розробка структурної схеми надвисокочастотного високостабільного генератора	04.10.2019р.	
4.	Вибір елементної бази окремих вузлів, та можливі схемні рішення надвисокочастотного високостабільного генератора	25.10.2019р.	
5.	Аналіз економічної ефективності розробки	15.11.2019р.	
6.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	22.11.2019р.	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	29.11.2019р.	
8.	Нормоконтроль МКР	02.11.2019р.	
9.	Попередній захист МКР, рецензування МКР	06.12.2019р.	
10.	Захист МКР ЕК	09.12. 2019р.	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Клименко В.А.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Кононов С.П.

## РЕФЕРАТ

Клименко В.А. високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора: магістерська кваліфікаційна робота – Вінниця: ВНТУ 2019р., 115 - стор., 35 – рис., 9 – табл., 36 – бібл. – українською мовою.

В даній магістерській кваліфікаційній роботі проведено розробку високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора який дозволить спростити процес проектування НВЧ апаратури та її діагностику

У роботі було розроблені структурні схеми пристрою. Здійснено пошук способів підвищення його точності. Проведено моделювання у програмі Microcap. Результати моделювання дозволили перевірити коректну роботу генератора.

## ABSTRACT

Klimenko VA high-frequency, high-frequency generator with frequency converter based on square meter: master's qualification work - Vinnitsa: VNTU 2019, 115 - pages, 35 - fig., 9 - table, 36 - bibl. - In ukrainian.

In this master's qualification work the development of a high-stable high-frequency oscillator with a frequency converter on the basis of a square was made, which will simplify the process of designing microwave equipment and its diagnostics

The structural diagrams of the device were developed in the work. We are looking for ways to improve its accuracy. Micro-cap simulation was performed. The simulation results made it possible to verify the correct operation of the generator.

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛ-ГЕНЕРАТОРІВ В РАДІОЗВ'ЯЗКУ, РАДІОМОВЛЕННІ І ТЕЛЕБАЧЕННІ.....	11
1.1 Способи реалізації сигнал-генераторів.....	11
1.2 Аналоговий генератор синусоїдального сигналу.....	12
1.3 LC-генератори синусоїдальної напруги.....	14
1.4 Генератори на п'єзокерамічних фільтрах.....	17
1.5 Генератори на кварцових резонаторах.....	19
1.6 Генератори сигналів довільної форми і стандартних функцій (AFG).....	20
1.7 Генератори на ЗІГ-резонаторах.....	22
1.8 Синтезатори частоти на ЗІГ-резонаторах.....	26
2 СПОСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ НВЧ.....	27
2.1 Резонансні частотоміри.....	27
2.2 Електронно-рахункові частотоміри.....	29
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ВИСОКОСТАБІЛЬНОГО НАДВИСОКОЧАСТОТНОГО ГЕНЕРАТОРА.....	35
3.1 Вибір елементної бази окремих вузлів, та можливі схемні рішення надвисокочастотного високостабільного генератора.....	35
3.1.1 Опорний генератор.....	35
3.1.2 Квадратор.....	39
3.1.3 Стробоскопічний змішувач.....	53
3.1.4 Дільник частоти.....	55
3.1.5 Суматор.....	57
3.1.6 Мікроконтроллер.....	58
3.1.7 Автогенератор.....	59
3.1.8 Атенюатор.....	59
3.2 Розробка детальної структурної схеми та опис роботи пристрою.....	60
4 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	61

5	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	68
5.1	Технологічний аудит розробленого висостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора.....	68
5.2	Розрахунок витрат на виконання роботи.....	73
5.3	Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки.....	77
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	83
6.1	Виробнича санітарія та гігієна праці.....	83
6.2.	Промислова та пожежна безпека при проведенні розробки високостабільного надвисокочастотногогенератора.....	89
6.3	Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи високостабільного надвисокочастотного генератора в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	91
6.4	Висновки.....	95
	ВИСНОВКИ.....	97
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	98
	Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання.....	101
	Додаток Б (довідниковий). Параметри і характеристики елементної бази.....	108
	Додаток В (обов'язковий). Квадратор. Схема електрична принципова.....	109
	Додаток Г (обов'язковий). Надвисокочастотний генератор. Схема електрична структурна.....	110
	Додаток Д (обов'язковий). Високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора.....	111
	Додаток Е (обов'язковий). Частотний перетворювач на основі квадратора. Схема електрична структурна.....	112
	Додаток Є (обов'язковий).Результати Комп'ютерного моделювання.....	113
	Додаток Ж (довідниковий). Охорона праці.....	114
	Додаток З (обов'язковий). Спрощена структурна схема ЗІГ-резонатора.....	115

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019



## ВСТУП

*Актуальність теми* полягає у тому, що високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора може використовуватись в галузі телекомунікації, у системах та комплексах які працюють на надвисоких частотах(НВЧ) від 3 до 30 ГГц. Його застосування дозволяє спростити процес проектування НВЧ апаратури, та її діагностику[1].

*Аналіз останніх досліджень* показав, що немалою роль в оптимізації та налагодженні телекомунікаційних мереж зв'язку відіграє вимірювальна техніка. Особливо при роботі в діапазоні НВЧ [2], так як вимоги до точності такої апаратури значно вищі ніж до апаратури, яка працює на нижчих частотах.

Для дослідження НВЧ апаратури використовують генератори на ЗІГ–резонаторах[3], так як такі генератори можуть формувати сигнал в дуже широкому діапазоні з високою точністю. Цифрове керування таких генераторів дозволяє отримувати сигнал на виході з різним типом модуляції. Проте одним з недоліків даних генераторів є висока температурна нестабільність, що призводить до зменшення точності встановлення частоти генерації. Тому актуальною є розробка надвисокочастотних генераторів з частотним перетворювачем, в якому би використовувався квадратор.

*Метою даної кваліфікаційної роботи* є розробка нового способу побудови високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора.

*Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:*

- аналіз способів генерації сигналів;
- розробка структурну схему генератора;
- виконати комп'ютерне моделювання основних вузлів високостабільного генератора;
- виконати економічну частину магістерської кваліфікаційної роботи;

– виконати розгляд питань з охорони праці та цивільної оборони.

*Об'єктом дослідження є* способи генерації високостабільних надвисокочастотних сигналів.

*Предметом дослідження є* високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора.

*Методи досліджень* базуються на методі аналізу радіотехнічних кіл, методі формування надвисокочастотних сигналів, методі частотної фільтрації, та комп'ютерному моделюванні.

*Наукова новизна одержаних результатів:*

а) вперше запропоновано спосіб реалізації високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора ;

б) вперше розроблено структурну схему на основі способу реалізації частотного перетворювача на основі квадратора в високостабільних надвисокочастотних генераторах.

*Практичне значення* роботи полягає в тому, що на основі проведених теоретичних досліджень обґрунтовано та розроблено структуру високостабільного надвисокочастотного генератора та виконано розробку детальної структурної схеми даного приладу.

Крім того, результати дипломної роботи можна використовувати в навчальному процесі в дисциплінах , «Системи радіо-зв'язку радіомовлення і телебачення ».

*Апробація результатів роботи.* Основні ідеї роботи тричі обговорювались на I міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем» СПРН-2019 (14-16 листопада 2019 р., м. Вінниця), ВНТУ (дві доповіді) та міжнародній науково-технічній конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи – 2019» (18-24 листопада 2019 р., м. Київ); КПІ ім. Ігоря Сікорського.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Технологічний аудит розробленого високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора

Як було підкреслено раніше, станом на сьогодні актуальною є проблема генерації сигналів різної форми частоти та їх модуляції. Окрім того, стрімкий розвиток галузі радіозв'язку, радіомовлення і телебачення потребує використання більшого діапазону частот НВЧ-діапазону, оскільки перехід на НВЧ-діапазон відкриває нові можливості бездротового зв'язку, дає змогу створювати нові пристрої радіозв'язку, що, у свою чергу, приводить до стрімкого розвитку НВЧ-пристроїв. Зменшення розмірів та підвищення стабільності сигнал-генераторів НВЧ є ключовим в цьому питанні.

Тому з метою розв'язання цієї проблеми використовуються нові методи генерації сигналів, зокрема ЗІГ-резонатори, які дозволяють значно швидше переналагоджувати частоту в НВЧ-діапазоні. Такі властивості ЗІГ-резонаторів є корисними для цифрових пристроїв, що є особливо актуальним, враховуючи розвиток цифрової техніки на сьогоднішній день.

Тому у виконаній нами магістерській кваліфікаційній роботі було досліджено специфіку вимірів частоти в НВЧ-діапазоні, а також досліджено відповідні методи та особливості їх роботи. Для цього нами було: досліджено використання сигнал-генераторів в радіозв'язку, радіомовленні і телебаченні; досліджено способи реалізації сигнал-генераторів; проаналізовано загальну структурну схему генераторів сигналу та типові схеми RC-генераторів, LC-генераторів, генераторів на п'єзокерамічних фільтрах, генераторів на кварцових резонаторах, генераторів сигналів довільної форми і стандартних функцій (AFG) та генераторів на ЗІГ-резонаторах.

В результаті проведених досліджень було встановлено залежності між досліджуваними параметрами, використання яких може пришвидшити процес проектування, тестування та обслуговування обладнання зв'язку, підвищити якість обслуговування та надійність обладнання зв'язку. Отримані нами результати мо-

жуть бути також використані в лабораторних цілях при побудові генераторів для дослідження приладів, які працюють на НВЧ-частотах.

Для встановлення технічного рівня та комерційного потенціалу нашої розробки проведемо її технологічний аудит. Для проведення технологічного аудиту скористаємося експертним методом і запросимо 3-х експертів, які є фахівцями з розв'язання цієї проблеми: к.т.н., доцента Васильківського І.В.; к.т.н., доцента Стальченка О.В. та зав. лабораторією Макогона В.І.

Запрошені експерти здійснювали оцінювання технічного рівня комерційного потенціалу нашої розробки за рекомендаціями Державного комітету України з питань науки, інновацій та інформатики [18], наведеними в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Критерії оцінювання технічного рівня та комерційного потенціалу розробки і їх бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-тер.	0	1	2	3	4
<b>Технічна здійсненність концепції:</b>					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено робоздатність продукту в реальних умовах
<b>Ринкові переваги (недоліки):</b>					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-тер.	0	1	2	3	4
<b>Ринкові перспективи</b>					
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
<b>Практична здійсненність</b>					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
<b>Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)</b>					
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 5.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-тер.	0	1	2	3	4
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Встановлення технічного рівня та комерційного потенціалу розробки здійснюється за рекомендаціями, наведеними в [19] та показаними у таблиці 4.2.

Таблиця 5.2 – Технічні рівні та комерційний потенціал будь-якої наукової розробки

Середньоарифметична сума балів $\bar{СБ}$ , розрахована на основі висновків експертів	Технічний рівень та комерційний потенціал розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

При проведенні технологічного аналізу запрошені експерти особливу увагу звертали на такі критерії, як величина фінансових ресурсів, необхідних для впровадження нашої розробки; наявність фахівців, здатних реалізувати нашу розробку, терміни реалізації нашої розробки; наявність нових та дорогих матеріалів для реалізації розробки; необхідність отримання різних дозвільних документів; місткість та перспективи розвитку ринку даної продукції, наявність аналогів та ринкові ціни на них тощо.

Провівши кваліфікований та об'єктивний технологічний аудит нашої розробки, експерти виставили такі оцінки (див. таблицю 5.3).

Таблиця 5.3 – Результати технологічного аудиту розроблених методів фільтрації

Критерії	Прізвище, ініціали експертів		
	Васильківський І.В.	Стальченко О.В.	Макогон В.І.
	Бали, виставлені експертами:		
1	4	4	3
2	3	4	4
3	3	3	3
4	4	4	3
5	3	4	3
6	3	3	3
7	3	4	4
8	4	3	4
9	4	4	3
10	3	4	3
11	4	4	3
12	4	4	3
Сума балів	СБ <sub>1</sub> = 42	СБ <sub>2</sub> = 45	СБ <sub>3</sub> = 39
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 СБ_i = \frac{42 + 45 + 39}{3} = \frac{126}{3} = 42$		

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 42 бали, то це свідчить, що наша розробка має технічний рівень та комерційний потенціал, який вважається «високим». Це пояснюється тим, що проведені нами дослідження відкривають нові можливості для пришвидшення процесу проекту-

вання, тестування та обслуговування обладнання зв'язку, підвищення якості обслуговування та надійності обладнання зв'язку.

## 5.2 Розрахунок витрат на виконання роботи

Проведення досліджень та розробка високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора передбачають використання таких основних статей витрат:

А). Основна заробітна плата  $Z_o$  розробників, яка визначається за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад розробника, грн; прийmemo, що у ВНТУ

$M = (4173 \dots 19000)$  грн/місяць;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; прийmemo  $T_p = 23$  дні;

$t$  – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці 4.4:

Таблиця 5.4 – Основна заробітна плата розробників (округлено до цілих чисел)

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн
1. Науковий керівник магістерської роботи	17000	739	25 годин	3080
2. Магістрант-студент-виконавець	2400	104	72	7488
3. Консультант з економічної частини	12000	522	2,5 години	218
Загалом				$Z_o = 10786$ грн

Б). Додаткова заробітна плата  $Z_d$  розробників розраховується як (10...12)% від величини їх основної заробітної плати, тобто:



$$Z_d = \alpha \cdot Z_o = (0,1 \dots 0,12) \cdot Z_o. \quad (5.2)$$

Прийmemo, що  $\alpha = 0,114$ . Тоді для нашого випадку отримаемо:

$$Z_d = 0,114 \times 10786 \approx 1230 \text{ грн.}$$

В). Нарахування на заробітну плату НЗП<sub>зп</sub> розробників та робітників розраховуються за формулою:

$$\text{НЗП}_{\text{зп}} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100}, \quad (5.3)$$

де  $\beta$  – ставка обов'язкового єдиного внеску на державне соціальне страхування, %.  $\beta = 22\%$ . Тоді:

$$\text{НЗП}_{\text{зп}} = (10786 + 1230) \cdot 0,22 \approx 2644 \text{ грн.}$$

Г). Амортизація основних засобів А, які використовувались під час виконання даної роботи:

$$A = \frac{Ц \cdot N_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ грн,} \quad (5.4)$$

де Ц – загальна балансова вартість основних засобів, грн;

$N_a$  – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що  $N_a = (5 \dots 25)\%$ ;

T – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань (округлено)

Найменування обладнання, приміщень тощо	Балансова вартість, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, міс.	Величина амортизаційних відрахувань, грн
1. Комп'ютерна техніка, обладнання тощо	41900	20	3,0 при 60% використанні	1257
2. Приміщення університету, кафедри	12700	5	3,0 при 60% використанні	95
Всього				A = 1352

Д). Витрати на матеріали М розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot C_b \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де  $H_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування, кг;  $C_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування;  $K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ ;  $B_i$  – маса відходів матеріалу  $i$ -го найменування;  $C_b$  – ціна відходів матеріалу  $i$ -го найменування;  $n$  – кількість видів матеріалів.

Е). Витрати на комплектуючі К розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i \text{ грн.}, \quad (5.6)$$

де  $H_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;  $C_i$  – ціна комплектуючих  $i$ -го виду;  $K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ ;  $n$  – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі склали приблизно 750 грн (папір, друк тощо).

Ж). Витрати на силову електроенергію  $V_e$  розраховуються за формулою:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d}, \quad (5.7)$$

де  $V$  – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р.  $V \approx 2,5$  грн/кВт;

$\Pi$  – установлена потужність обладнання, кВт;  $\Pi = 1,6$  кВт;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що  $\Phi = 155$  годин;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання потужності;  $K_{\Pi} < 1 = 0,63$ .

$K_d$  – коефіцієнт корисної дії,  $K_d = 0,52$ .

Тоді витрати на електроенергію будуть дорівнювати:

$$V_e = \frac{V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{2,5 \cdot 1,6 \cdot 155 \cdot 0,63}{0,52} \approx 751 \text{ грн.}$$

И). Інші витрати  $V_{\text{інш}}$  можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників, тобто:

$$V_{\text{інш}} = (0,1 \dots 3) \times Z_o. \quad (5.8)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{\text{інш}} = 2,0 \times 10786 = 21572 \text{ грн.}$$

К). Сума всіх попередніх статей витрат складає витрати на виконання роботи безпосередньо розробником-магістрантом –  $V$ .

$$V = 10786 + 1230 + 2644 + 1352 + 750 + 751 + 21572 = 39085 \text{ грн.}$$

Л). Загальні витрати на можливе завершення та впровадження результатів нашої розробки  $V_{\text{заг}}$  розраховуються за формулою:

$$V_{\text{заг}} = \frac{V}{\beta}, \quad (5.9)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання роботи. Домовимося, що  $\beta \approx 0,7$  [19], оскільки наша розробка потребує ще певного доопрацювання.

$$\text{Тоді: } V_{\text{заг}} = \frac{39085}{0,7} = 55835,71 \text{ грн або приблизно 56 тис. грн.}$$

Тобто прогнозовані загальні витрати на проведення досліджень та розробку високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора становлять приблизно 56 тис. грн.

### 5.3 Розрахунок економічного ефекту від можливої комерціалізації нашої розробки

Економічний ефект від можливої комерціалізації нашої розробки полягає у тому, що проведені нами дослідження відкривають нові можливості для пришвидшення процесу проектування, тестування та обслуговування обладнання зв'язку, підвищення якості обслуговування та надійності обладнання зв'язку.

Існуючі на ринку аналогічні розробки коштують від 7000\$ до 13000\$. Прийmemo середню ціну  $C = (7000+13000)\$/2 = 10000\%$  або 240 тис. грн (при курсі НБУ 1\$ = 24 грн станом на 25.11.2019 р.)

Оскільки наша розробка має значно кращі функціональні можливості та характеристики, то її можна буде реалізовувати на ринку навіть дорожче, ніж аналогічні, наприклад, за 250 тис. грн, тобто на 10 тис. грн дорожче.

Аналіз місткості ринку даної продукції показує, що в даний час в Україні кількість реальних користувачів подібних розробок є незначною і складає приблизно 20 осіб щороку. Оскільки наша розробка має значно кращі функціональні характеристики, то можна очікувати зростання попиту на нашу розробку принаймні

протягом 4-х років після її впровадження, тобто, якщо наша розробка буде впроваджена з 1 січня 2021 року, то її результати будуть виявлятися протягом 2021-го, 2022-го, 2023-го та 2024 років.

Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- а) 2021 р. – приблизно +  $\Delta$  5 шт.;
- б) 2022 р. – +  $\Delta$ 10 шт.;
- в) 2023 р. – + $\Delta$  15 шт.;
- г) 2024 р. – + $\Delta$  20 шт.

Можливе збільшення чистого прибутку  $\Delta\Pi_i$ , що його може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки становитиме [19]:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (5.10)$$

де  $\Delta\Pi_o$  – зміна основного якісного показника від впровадження результатів розробки у цьому році. Зазвичай таким показником є збільшення ціни нової розробки, грн. Для нашого випадку  $\Delta\Pi_o = 250 - 240 = +10$  тис. грн;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів розробки;  $N = 20$  шт.;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: +5, +10, +15 та +20 шт.;

$\Pi_o$  – основний якісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році після впровадження результатів розробки, грн;  $\Pi_o = 250$  тис. грн;

$n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; для нашого випадку  $n = 4$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість;  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати  $\rho = (0,2 \dots 0,5)$ ; візьмемо  $\rho = 0,5$ ;

$\nu$  – ставка податку на прибуток. У 2019 році  $\nu = 18\%$ .

Величина чистого прибутку  $\Delta\Pi_1$  для потенційного інвестора протягом першого року від можливого впровадження нашої розробки (2021 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = [10 \cdot 20 + 250 \cdot 5] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 495 \text{ тис. грн.}$$

Величина чистого прибутку  $\Delta\Pi_2$  для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом другого (2022 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_2 = [10 \cdot 20 + 250 \cdot 10] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 922 \text{ тис. грн.}$$

Величина чистого прибутку  $\Delta\Pi_3$  для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом третього (2023 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_3 = [10 \cdot 20 + 250 \cdot 15] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 1350 \text{ тис. грн.}$$

Величина чистого прибутку  $\Delta\Pi_4$  для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом четвертого (2024 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_4 = [10 \cdot 20 + 250 \cdot 20] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) \approx 1777 \text{ тис. грн.}$$

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$\text{ПП} = \sum_1^r \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.11)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн;

$t$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки. Для нашого випадку  $t = 4$  роки;

$\tau$  – ставка дисконтування. Прийmemo ставку дисконтування  $\tau = 0,10$  (10%);

$t$  – період часу від моменту тих чи інших платежів до початку розробки.

Тоді приведена вартість всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від комерціалізації нашої розробки, складе:

$$\begin{aligned} \text{ПП} &= \frac{495}{(1+0,10)^2} + \frac{922}{(1+0,10)^3} + \frac{1350}{(1+0,10)^4} + \frac{1777}{(1+0,10)^5} = \\ &\approx 409 + 693 + 922 + 1103 = 3127 \text{ тис. грн.} \end{aligned}$$

Теперішня вартість інвестицій  $PV$ , що можуть бути вкладені для реалізації нашої розробки:  $PV = (2 \dots 5) \times V_{\text{заг}}$ .

Для нашого випадку  $PV = (2 \dots 5) \times 46 = 5 \times 56 = 280$  тис. грн.

Розраховуємо абсолютний ефект від можливих вкладених інвестицій  $E_{\text{абс}}$ .

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - PV, \quad (5.12)$$

де ПП – приведена вартість всіх можливих чистих прибутків від можливого впровадження нашої розробки, грн;

$PV$  – теперішня вартість інвестицій  $PV = 280$  тис. грн.

Абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) за чотири роки складе:

$$E_{\text{абс}} = 3127 - 280 = 2847 \text{ тис. грн. або по } 711,75 \text{ тис. грн щорічно}$$

протягом 4-х років.

Оскільки  $E_{\text{абс}} > 0$ , то вкладання коштів на виконання та впровадження нашої розробки може бути доцільним.

Далі розрахуємо внутрішню норму дохідності  $E_v$  вкладених інвестицій:

$$E_B = T_{\text{ж}} \sqrt[5]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1, \quad (5.13)$$

де  $E_{\text{абс}}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{\text{абс}} = 3127$  тис. грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій  $PV = 280$  тис. грн;

$T_{\text{ж}}$  – життєвий цикл розробки, роки.  $T_{\text{ж}} = 5$ .

Для нашого випадку:

$$E_B = \sqrt[5]{1 + \frac{3127}{280}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 11,167} - 1 = \sqrt[5]{12,167} - 1 = 1,648 - 1 \approx 0,648 \approx 64,8 \%$$

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, нижче за яку потенційний інвестор не буде займатися комерціалізацією нашої розробки. Мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування  $\tau_{\text{мін}}$  визначається за формулою:

$$\tau_{\text{мін}} = d + f, \quad (5.14)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні  $d = (0,10 \dots 0,17)$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = (0,05 \dots 0,50)$ , але може бути і значно більше.

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,15 + 0,45 = 0,60 \text{ або } \tau_{\text{мін}} = 60\%$$

Оскільки величина  $E_B = 64,8\% > \tau_{\text{мін}} = 60\%$ , то потенційний інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації нашої розробки.

Далі розраховуємо термін окупності коштів, які можуть бути вкладені у комерціалізацію нашої розробки. Термін окупності  $T_{\text{ок}}$  розраховується за формулою:



$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_{\text{в}}}. \quad (5.15)$$

Для нашого випадку термін окупності  $T_{\text{ок}}$  коштів складе:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,648} \approx 1,543 \text{ років,}$$

що свідчить про потенційну доцільність комерціалізації нашої розробки.

Результати виконаної економічної частини магістерської кваліфікаційної роботи зведено у таблицю:

Показники	Задані у ТЗ	Досягнуті у магістерській кваліфікаційній роботі	Висновок
1. Витрати на розробку	Не більше 60 тис. грн	56 тис. грн.	Досягнуто
2. Абсолютний ефект від впровадження розробки тис. грн	Щороку не менше 700 тис. грн	по 711,75 тис. грн щорічно протягом 4-х років.	Виконано
3. Внутрішня норма дохідності інвестицій, %	не менше 60%	64, 8%	Досягнуто
4. Термін окупності інвестицій, роки	до 3-х років	1,543 років	Виконано

Таким чином, основні техніко-економічні показники нашої розробки, визначені у технічному завданні, виконані.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основне завдання охорони праці – це зменшення вірогідності виникнення захворювань та виробничого травматизму при забезпеченні регламентованих показників умов праці.

У даному розділі наводиться розгляд шкідливих, небезпечних і уражаючих для людини і оточуючого середовища факторів, що утворюються при проведенні розробки високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора. В ньому висвітлюються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення товщини суцільного екрану для захисту від ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки, безпека у надзвичайних ситуаціях [1].

### 6.1 Виробнича санітарія та гігієна праці

#### 6.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Визначаємо для приміщення, в якому проводяться роботи з розробки високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

Відповідно до [2] допустимі параметри температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні для холодного та теплого періодів року наведені у таблиці Ж.1 додатку Ж.

Перепад температури повітря вздовж висоти робочої зони допускається до 3°C. Для опромінення менше 25% поверхні тіла працівника, допустима інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м<sup>2</sup>.

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), які використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних процесів, вентиляцій, для контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, що використовуються в даному виробничому приміщенні наведено в таблиці Ж.2 додатку Ж.

Для забезпечення нормованих показників мікроклімату та чистоти повітря робочої зони передбачено: у приміщенні має бути встановлена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року; з метою підвищення вологості повітря потрібно використовувати зволожувачі або розташовувати місткості з водою за типом акваріумів поблизу опалювальних приладів; застосування витяжної вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

#### 6.1.2 Виробниче освітлення

З метою забезпечення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги висуваються щодо якісних та кількісних показників освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводяться роботи з розробки високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора, згідно [3] знаходимо, що вони відносяться до III розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – великий та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд 2.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості для штучного освітлення наведені в таблиці Ж.3 додатку Х.

Оскільки приміщення розташоване у м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а вікна орієнтовані за азимутом  $135^\circ$ , то за таких обставин КЕО розраховується за формулою [3, 4]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (5.1)$$

де  $e_n$  – табличне значення КЕО, %;

$m_N$  – коефіцієнт світлового клімату;

$N$  – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

Підставляючи відомі значення отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N,b} = 2 \cdot 0,85 = 1,7 (\%);$$

$$e_{N,c} = 1,2 \cdot 0,85 = 1,02 (\%).$$

З метою встановлення нормованих значень показників освітлення запропоновано: при недостатньому природному освітлені в світлий час доби доповнення штучним завдяки використанню люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; застосування штучного освітлення в темний час доби.

### 6.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що при експлуатації пристроїв крім усього іншого устаткування використовується обладнання, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, необхідно передбачити шумовий та вібраційний захист.

Визначено, що приміщення, в якому проводиться робота з розробки високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем

на основі квадратора може мати робочі місця із шумом та вібрацією, який генерується електродвигунами вентиляційної системи.

Для запобігання травмуванню працюючих від дії шуму та вібрації вони підлягає нормуванню. Головним нормативом стосовно промислового шуму, що діє в нашій країні, є [5], у відповідності з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях в виробничих приміщеннях не повинні перевищувати значень, що наведено в таблиці Ж.4 додатку Х. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці Ж.5 додатку Ж для 3-ї категорії (технологічна) типу "в".

З метою забезпечення допустимих параметрів віброакустичних коливань у приміщенні запропоновано: своєчасне здійснення профілактичного ремонту; проведення перевірки рівнів шуму та вібрації.

#### 6.1.4 Виробничі випромінювання

Проведений аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому виконується робота з розробки високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів наведені у таблиці Х.6 додатку Х.

З метою забезпечення захисту та досягнення нормованих рівнів випромінювань необхідно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Визначимо товщину суцільного алюмінієвого екрану для захисту від електромагнітного випромінювання, якщо частота поля  $f = 30000$  кГц, фактична напруженість електричного поля  $E_{\phi} = 140$  В/м, число витків котушки  $n = 12000$  шт., а її радіус  $r = 0,03$  м, сила струму в котушці  $I = 1,5$  А, відстань від джерела до робочого місця  $X = 0,45$  м.

Товщину суцільного екрану будемо визначати як найбільшу із товщин суцільного екрану для захисту від джерел електричної та магнітної складових ЕМВ, відповідно

$$\delta = \max\{\delta_E, \delta_H\} \text{ [мм]}, \quad (5.2)$$

де  $\delta_E$  – товщина суцільного екрану для захисту від джерела електричного поля, мм;

$\delta_H$  – товщин суцільного екрану для захисту від джерела магнітного поля, мм.

Товщина екрану  $\delta_E$  від електричної складової електромагнітного випромінювання у випадку використання суцільного екрану може бути визначена за формулою

$$\delta_E = \frac{65 L_E}{\sqrt{f \mu \gamma}} \text{ [мм]}, \quad (5.3)$$

де  $L_E$  – ефективність екранування від електричної складової електромагнітного випромінювання, дБ;

$f$  – частота електромагнітного поля, Гц;

$\mu$  – магнітна проникність металу захисного екрану, Г/м;

$\gamma$  – електрична провідність металу екрану, (Ом·м)<sup>-1</sup>.

Ефективність екранування від електричної складової електромагнітного випромінювання розраховується за формулою

$$L_E = 20 \lg \frac{E_\Phi}{E_{ГД}} \text{ [дБ]}, \quad (5.4)$$

де  $E_\Phi$  – фактична напруженість електричного поля, В/м;

$E_{ГД}$  – гранично допустима напруженість електричного поля, В/м.

Товщина екрану  $\delta_H$  від магнітної складової електромагнітного випромінювання у випадку використання суцільного екрану може бути визначена за формулою

$$\delta_H = \frac{65L_H}{\sqrt{f\mu\gamma}} \text{ [мм]}, \quad (5.5)$$

де  $L_H$  – ефективність екранування від магнітної складової електромагнітного випромінювання, дБ.

Ефективність екранування від магнітної складової електромагнітного випромінювання розраховується за формулою

$$L_H = 20 \lg \frac{H_\Phi}{H_{ГД}} \text{ [дБ]}, \quad (5.6)$$

де  $H_\Phi$  – фактична напруженість магнітного поля, А/м;

$H_{ГД}$  – гранично допустима напруженість магнітного поля, А/м.

Фактична напруженість магнітного поля визначається за допомогою виразу

$$H_\Phi = \frac{nIr^2}{4X^2} \beta_m \text{ [А/м]}, \quad (5.7)$$

де  $n$  – число витків котушки, шт.;

$I$  – сила струму в котушці, А;

$r$  – радіус котушки, м;

$X$  – відстань від джерела до робочого місця, м;

$\beta_m$  – коефіцієнт, що визначається співвідношенням  $X / r$ .

Для  $X / r = 0,45 / 0,03 = 15 > 10 \beta_m = 1$ .

Для діапазону частот 30...50 МГц  $E_{ГД} = 80$  В/м,  $H_{ГД} = 3$  А/м.

У випадку використання алюмінієвого екрану  $\mu = 4\pi 10^{-7}$  Г/м,  $\gamma = 3,54 \cdot 10^7$  (Ом·м)<sup>-1</sup>.

Після підстановки відомих значень у формули (5.4, 5.3, 5.7, 5.6, 5.5, 5.2), одержимо:

$$L_E = 20 \lg \frac{140}{80} = 4,3673 \text{ (дБ)};$$

$$\delta_E = \frac{65 \cdot 4,3673}{\sqrt{30000 \cdot 10^3 \cdot 4\pi 10^{-7} \cdot 3,54 \cdot 10^7}} = 0,00777 \text{ (мм)};$$

$$H_\Phi = \frac{12000 \cdot 1,5 \cdot 0,03^2}{4 \cdot 0,45^2} 1 = 20 \text{ (А/м)};$$

$$L_H = 20 \lg \frac{20}{3} = 13,2976 \text{ (дБ)};$$

$$\delta_H = \frac{65 \cdot 13,2976}{\sqrt{30000 \cdot 10^3 \cdot 4\pi 10^{-7} \cdot 3,54 \cdot 10^7}} = 0,02367 \text{ (мм)};$$

$$\delta = \max\{0,00777; 0,02367\} = 0,02367 \text{ (мм)}.$$

Таким чином, товщина суцільного екрану для захисту від джерела ЕМВ складатиме 0,02367 мм.

6.2 Промислова та пожежна безпека при проведенні розробки високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора



### 6.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, його розміри і взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру роботи [7].

Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, має складати не менше  $6,0 \text{ м}^2$ , об'єм приміщення – не менше як  $20 \text{ м}^3$ , висота – не менше  $3,2 \text{ м}$  [8].

Кольорове оздоблення інтер'єру приміщення повинно відповідати вказівкам з проектування кольорової обробки інтер'єрів приміщень будівель промислових підприємств. Поверхня підлоги має бути рівною, без вибоїн, не слизькою, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Забороняється використовувати під час оздоблення інтер'єру полімерні матеріали, які забруднюють повітря шкідливими хімічними речовинами та сполуками.

### 6.2.2 Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом в даному приміщенні можуть бути: робота під напругою під час проведення ремонтних робіт, несправність устаткування, випадкове торкання до струмоведучих частин чи металевих частин, що опинилися під напругою. У відповідності до [9] це приміщення належить до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності високої (більше 75 %) вологості. Через це безпека використання електрообладнання має гарантуватись комплексом заходів, що передбачають застосування ізоляції струмовідних частин, захисного заземлення, захисних блокувань та ін [10].

### 6.2.3 Пожежна безпека

Згідно [26] приміщення, в якому проводиться робота з розробки високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. Дане приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висовуються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горючого покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку.

Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці Ж.7. В таблиці Ж.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Вибираємо, що приміщення, в якому проводиться робота з розробки, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [27].

### 6.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи високостабільного надвисокочастотного генератора в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

В даній частині розділу необхідно провести дослідження безпеки роботи високостабільного НВЧ генератора в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу.

Вплив радіації призводить як до оборотних, так і необоротних змін електричних властивостей твердотільних приладів і інтегральних схем. Оскільки такі зміни можуть приводити до відмов електронних підсистем, значні зусилля

останнім часом направляються на розробку методів, що дозволяють уникнути погіршення параметрів мікроелектронного обладнання при опроміненні. У багатьох випадках вирішувати цю проблему доцільно шляхом створення радіаційно-стійких приладів і інтегральних схем [28].

До часток, які при влученні в прилади й схеми можуть викликати небажані наслідки, відносяться електрони, протони, фотони, альфа-частинки, важкі іони. Основні наслідки впливу опромінення на електронні пристрої – іонізація і зсув атомів. Вони викликають різні зміни в напівпровідникових приладах.

При бомбардуванні кремнію фотони й заряджені частинки можуть викликати зсув атомів з положення рівноваги. У випадку фотонів цей процес реалізується за рахунок появи комптоновських електронів з досить великою енергією, які потім взаємодіють із ядрами мішені. Поки ядрам передається мінімальна енергія (для кремнію 21 еВ), буде відбуватися зсув атомів. Відсутність атома у своєму нормальному положенні – це перший вид радіаційного дефекту.

В опроміненому кремнії можуть зустрічатися різні типи дефектів. Елементарні дефекти іноді називають точковими або ізольованими. Можливе виникнення областей з більшим числом досить близько розташованих дефектів. Така область називається кластером дефектів або каскадом зсувів. Згідно з фізикою напівпровідників, атоми домішки в решітках кремнію мають дискретні рівні енергії, які лежать у забороненій зоні між мінімумом зони провідності й максимумом валентної зони. Порушення періодичності атомної решітки може привести до виникнення деяких рівнів енергії в забороненій зоні. До їхньої появи приводять, зокрема, радіаційні дефекти, і саме ці дефектні стани або центри впливають на електричні властивості напівпровідникових приладів. Тому є необхідним провести дослідження стійкості роботи високостабільного НВЧ генератора саме при впливах іонізуючих випромінюваннях та електромагнітному імпульсі.

### 6.3.1 Дослідження безпеки роботи високостабільного надвисокочастотного генератора в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій безпеки роботи високостабільного НВЧ генератора в цих умовах приймається таке максимальне значення дози опромінення елементної бази ( $D_{gr}, P$ ), при якому в елементній базі можуть виникнути зміни, але РЕА ще буде працювати з необхідною якістю.

В якості критерію по стійкості роботи можна використати граничне значення дози радіації :

$$D_{gr} = k \cdot D_{zv} \cdot k_{nosl}, \quad (7.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт надійності (приймається  $k = 0,92$ );

$D_{zv}$  – доза, яка відповідає початку зворотних змін в елементах;

$k_{nosl}$  - коефіцієнт послаблення радіації (приймається  $k_{nosl} = 5$ ).

Доза, яка відповідає початку зворотних змін в елементах, що дорівнює мінімальному значенню  $D_{gr}$ . Оскільки дана мережа міститиме в своїй будові мікросхеми, тому допустима експозиційна доза цих елементів РЕС становитиме  $D_{gr} = 10^3$  (Р). Отже подальші розрахунки проводяться відповідно до цього значення.

Шляхом підстановки числових значень в (7.1) розраховується  $D_{gr}$  :

$$D_{gr} = 0,92 \cdot 10^3 \cdot 5 = 4600(P).$$

Отже, працездатність високостабільного SHF генератора в умовах дії іонізуючих випромінювань можлива при  $D_{gr} < 4600P$ .

### 6.3.2 Дослідження безпеки роботи високостабільного надвисокочастотного генератора в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: напруга живлення:  $U_{жс} = 12B$ ; максимальна довжина горизонтальної струмопровідної частини електричної принципової схеми:  $l_B = 5$  м.

В якості показника стійкості елементів високостабільного НВЧ генератора до дії електромагнітного імпульсу використовують коефіцієнт безпеки [20]:

$$K_{\sigma} = 20 \lg \frac{U_{\sigma}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 [\text{дБ}], \quad (7.2)$$

де  $U_{\sigma}$  - допустиме коливання напруги живлення;

$U_{B(\Gamma)}$  - напруга наведена за рахунок електромагнітного імпульсу у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних системах.

Спочатку визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\sigma} = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} \cdot N, \quad (7.3)$$

де  $N$  - допустимі коливання (приймається  $N = 5\%$ )

Шляхом підстановки числових даних в (7.3) отримується:

$$U_{\sigma} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,6(B).$$

Визначається максимально очікувана напруга в горизонтальних лініях[20]:

$$U_B = \frac{U_{\sigma}}{10^{\frac{K}{20}}} \quad (7.4)$$

Після підстановки числових даних:

$$U_B = \frac{12,6}{10^{\frac{40}{20}}} = 0,126(B).$$

З формули визначається горизонтальна складова напруженості електричного

поля[20]:

$$U_B = E_r \cdot l_B. \quad (7.5)$$

Отже,  $E_r$  визначається:

$$E_r = \frac{U_B}{l_B}. \quad (7.6)$$

Після підстановки числових даних в формулу (6.6):

$$E_r = \frac{0,126}{5} = 0,0252 (B/m).$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається з формули[20]:

$$E_r = 10^{-3} \cdot E_B. \quad (7.7)$$

Тоді  $E_B$  буде:

$$E_B = 0,0252 \cdot 1000 = 25,2 (B/m).$$

Це значення вертикальної складової напруженості електромагнітного поля можна вважати граничним, до якого гарантується безпечна робота високостабільного надвисокочастотного генератора.

#### 6.4 Висновки

Отже, в даному розділі було проведено дослідження безпеки роботи високостабільного надвисокочастотного генератора при дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу. Як видно з отриманих результатів, високостабільного надвисокочастотного генератора є стійким до дії іонізуючих випромінювань.

Згідно з виконаними розрахунками безпека роботи високостабільного НВЧ генератора в умовах дії електромагнітного імпульсу можлива при напруженості

вертикальної складової електричного поля  $E_B < 25,2 \text{В/м}$ .

### Висновки до розділу

В результаті написання цього розділу було розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення товщини суцільного екрану для захисту від ЕМВ, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні розробки високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора, безпека у надзвичайних ситуаціях.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі було проведено розробку високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора, який може використовуватись в галузі телекомунікації, у системах та комплексах, які працюють в діапазоні НВЧ від 3 до 30 ГГц. Його застосування дозволяє спростити процес проектування НВЧ апаратури та її діагностику.

В роботі розглянуто високостабільний надвисокочастотний генератор, пояснено принцип його роботи. Також запропоновано вдосконалену схему частотного перетворювача, в якій використовується квадратор. Результатом роботи є суттєве підвищення точність вимірів частоти.

Виконано моделювання у програмі Multisim. Результати моделювання дозволили сформулювати вимоги до схемотехнічного виконання квадратора.

Було проведено технологічний аудит розробленого високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора, розрахунок витрат на виконання роботи при виготовленні даного генератора. Також розраховано економічний ефект від можливої комерціалізації розробки.

Також в даній роботі було досліджено стійкість роботи високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора в умовах дії загрозливих чинників НС.



Додаток Б  
(довідниковий)

Параметри і характеристики елементної бази.

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток В  
(обов'язковий)

Квадратор.

Схема електрична принципова.

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Г  
(обов'язковий)

Надвисокочастотний генератор.  
Схема електрична структурна.

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Д  
(обов'язковий)

Високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора.

Схема електрична структурна.

ВНТУ ФІЗИКЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Е  
(обов'язковий)

Частотний перетворювач на основі квадратора.

Схема електрична структурна.

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Є  
(обов'язковий)

Результати комп'ютерного моделювання.

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Ж  
(довідниковий)

Охорона праці

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток 3  
(обов'язковий)

Спрощена структурна схема ЗІГ-резонатора

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019



Додаток А  
(обов'язковий)  
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,  
канд. техн. наук, професор

Г.Г.Бортник

“ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

**ВИСОКОСТАБІЛЬНИЙ НАДВИСОКОЧАСТОТНИЙ ГЕНЕРАТОР З  
ЧАСТОТНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ НА ОСНОВІ КВАДРАТОРА  
08-34.МКР.004.00.000 ТЗ**

Керівник роботи

к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ

Кононов С.П.

Виконавець: ст. гр. АРЗ-18м

Клименко В.А.

Вінниця-2019

## 1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 09.12.2019 р.

## 2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

*Метою* даної магістерської кваліфікаційної роботи є розробка нового способу побудови високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора який підвищує точність встановлення частоти автогенератора.

*Задачами* магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
  - аналіз способів генерації сигналів;
  - розробка структурну схему генератора;
  - виконати комп’ютерне моделювання основних вузлів високостабільного генератора;
  - виконати економічну частину магістерської кваліфікаційної роботи;
  - виконати розгляд питань з охорони праці та цивільної оборони.

*Об’єкт дослідження* є способи генерації високостабільних надвисокочастотних сигналів.

*Предмет дослідження* є високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора.

*Основними завданнями* роботи є:

- аналіз використання сигнал-генераторів в радіозв’язку, радіомовленні і телебаченні;

- аналіз способів виміру частоти НВЧ;
- розробка структурної схеми надвисокочастотного висостабільного генератора;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Розроблений в ході виконання високостабільний надвисокочастотний генератор з частотним перетворювачем на основі квадратора дозволить спростити процес проектування НВЧ апаратури та її діагностику.

### 3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах дослідження які були проведені під час переддипломної практики у ВНТУ з 2.09.19 по 4.09.19. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали зібрані під час цієї практики.

Список використаних джерел розробки:

3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернад Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.

3.2 Данилин А.А., Лавренко Н.С. Измерения в радиоэлектронике / А.А. Данилин, Н.С. Лавренко // Учеб. пособие. Спб.: Изд-во «Лань», 2017. – 408 с.

3.3 Генерация и генераторы сигналов / В.П. Дяконов. – М. : ДМК Пресс, 2009. –384 с., ил

3.4 ZXYs of Signal Generators. Tektronix, 75W\_16672\_4.pdf.

3.5 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романьчевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.10 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

#### 4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТКС-18м Клименко В.А.

#### 5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- смуга частот вхідних сигналів: 10÷ 20 ГГц;
- відношення сигнал/шум – не нижче 60 дБ
- рівень вихідної напруги на навантаження (75 Ом) – від 0 до -60 дБ
- динамічний діапазон вхідних сигналів – до 65 дБ;
- похибка встановлення частоти – не гірше 0.02% ;
- тип логічних рівнів ВІС АЦП – ЕСЛ-ТТЛ.

При розробці генератора слід максимально використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

### 6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документ-тація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	02.09.2019р.	06.09.2019р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Використання сигнал-генераторів в радіозв'язку радіомовленні і телебаченні	09.09.2019р.	13.09.2019р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1.
3.	Способи вимірювання частоти НВЧ	16.09.2019р.	04.10.2019р.	Проведений аналіз	Розділ 2
4.	Розробка структурної схеми високостабільного надвисокочастотного генератора	07.10.2019р.	25.10.2019р.	Розроблений метод	Розділ 3
5.	Комп'ютерне моделювання	28.10.2019р.	08.11.2019р.	Характеристики і параметри	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	11.11.2019р.	15.11.2019р.	Економічна частина МКР	Розділ 5
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	18.11.2019р.	22.11.2019р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 6
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	25.11.2019р.	29.11.2019р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, рецензування МКР	02.12. 2019р.	06.12.2019р.	Позитивні відзиви	Відзив. рецензія
10.	Захист МКР ЕК		09.12. 2019р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

## 7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- структурна схема високостабільного надвисокочастотного генератора з частотним перетворювачем на основі квадратора;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленого ІКМ.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення процесу проектування, тестування та обслуговування обладнання зв'язку, підвищення якості обслуговування та якості зв'язку.

## 8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

## 9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

## 10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- нову структурну схему високостабільного надвисокочастотного генератора;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання приладу.

## 11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

# 500 MHz Four-Quadrant Multiplier

## FEATURES

- DC to >500 MHz Operation
- Differential 1 V Full-Scale Inputs
- Differential 4 mA Full-Scale Output Current
- Low Distortion ( $\leq 0.05\%$  for 0 dBm Input)
- Supply Voltages from 4 V to 9 V
- Low Power (280 mW typical at  $V_S = 5$  V)

## APPLICATIONS

- High Speed Real Time Computation
- Wideband Modulation and Gain Control
- Signal Correlation and RF Power Measurement
- Voltage Controlled Filters and Oscillators
- Linear Keyers for High Resolution Television
- Wideband True RMS

## PRODUCT DESCRIPTION

The AD834 is a monolithic laser-trimmed four-quadrant analog multiplier intended for use in high frequency applications, having a transconductance bandwidth ( $R_L = 50 \Omega$ ) in excess of 500 MHz from either of the differential voltage inputs. In multiplier modes, the typical total full-scale error is 0.5%, dependent on the application mode and the external circuitry. Performance is relatively insensitive to temperature and supply variations, due to the use of stable biasing based on a bandgap reference generator and other design features.

To preserve the full bandwidth potential of the high speed bipolar process used to fabricate the AD834, the outputs appear as a differential pair of currents at open collectors. To provide a single ended ground referenced voltage output, some form of external current to voltage conversion is needed. This may take the form of a wideband transformer, balun, or active circuitry such as an op amp. In some applications (such as power measurement) the subsequent signal processing may not need to have high bandwidth.

The transfer function is accurately trimmed such that when  $X = Y = \pm 1$  V, the differential output is  $\pm 4$  mA. This absolute calibration allows the outputs of two or more AD834s to be summed with precisely equal weighting, independent of the accuracy of the load circuit.

The AD834J is specified for use over the commercial temperature range of  $0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$  and is available in an 8-lead DIP package and an 8-lead plastic SOIC package. AD834A is available in cerdip and 8-lead plastic SOIC packages for operation over the industrial temperature range of  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ . The AD834S/883B is specified for operation over the military temperature range of  $-55^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$  and is available in the 8-lead cerdip package. S-Grade chips are also available.

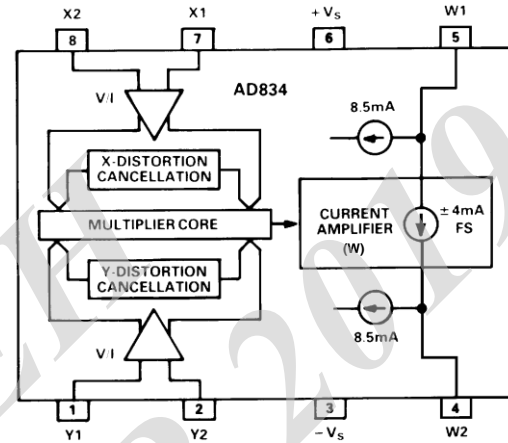
REV. C

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any

infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

# AD834

## FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



Two application notes featuring the AD834 (AN-212 and AN-216) can now be obtained by calling 1-800-ANALOG-D. For additional applications circuits consult the AD811 data sheet.

## PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD834 combines high static accuracy (low input and output offsets and accurate scale factor) with very high bandwidth. As a four-quadrant multiplier or squarer, the response extends from dc to an upper frequency limited mainly by packaging and external board layout considerations. A large signal bandwidth of over 500 MHz is attainable under optimum conditions.
2. The AD834 can be used in many high speed nonlinear operations, such as square rooting, analog division, vector addition and rms-to-dc conversion. In these modes, the bandwidth is limited by the external active components.
3. Special design techniques result in low distortion levels (better than  $-60$  dB on either input) at high frequencies and low signal feedthrough (typically  $-65$  dB up to 20 MHz).
4. The AD834 exhibits low differential phase error over the input range—typically  $0.08^\circ$  at 5 MHz and  $0.8^\circ$  at 50 MHz. The large signal transient response is free from overshoot, and has an intrinsic rise time of 500 ps, typically settling to within 1% in under 5 ns.
5. The nonloading, high impedance, differential inputs simplify the application of the AD834.



# AD834—SPECIFICATIONS (T<sub>A</sub> = +25°C and V<sub>S</sub> = 5 V, unless otherwise noted; dBm

assumes 50 load.)

Model	Conditions	AD834J			AD834A, S			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>MULTIPLIER PERFORMANCE</b>								
Transfer Function		$XY W = (1V) \times 4mA$			$XY W = 2 \times 4mA (1V)$			
Total Error <sup>1</sup> (Figure 6) vs. Temperature vs. Supplies <sup>2</sup>	$-1 V \leq X, Y < +1 V$	$\pm 0.5$	<b>2</b>		$\pm 0.5$	<b>2</b>	% FS	
Linearity <sup>3</sup>	T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub> ±4 V to ±6 V	$\pm 0.1$	<b>0.3 ±0.5</b>	<b>1</b>	$\pm 0.1$	<b>0.3 ±0.5</b>	% FS/V	
Bandwidth <sup>4</sup>		500			500		% FS	
Feedthrough, X	See Figure 5	0.2	<b>0.3</b>		0.2	<b>0.3</b>	MHz	
Feedthrough, Y	X = ±1 V, Y = Nulled	0.1	<b>0.2</b>		0.1	<b>0.2</b>	% FS	
AC Feedthrough, X <sup>5</sup>	X = Nulled, Y = ±1 V X = 0 dBm, Y = Nulled f = 10 MHz f = 100 MHz	-65			-65		dB	
		-50			-50		dB	
AC Feedthrough, Y <sup>5</sup>	X = Nulled, Y = 0 dBm f = 10 MHz f = 100 MHz	-70			-70		dB	
		-50			-50		dB	
<b>INPUTS (X1, X2, Y1, Y2)</b>								
Full-Scale Range	Differential	$\pm 1$	<b>1.1</b>		$\pm 1$		V	
Clipping Level	Differential	$\pm 1.3$			<b>1.1</b>	$\pm 1.3$	V	
Input Resistance	Differential	25			25		kΩ	
Offset Voltage vs. Temperature		0.5	<b>3</b>		0.5	<b>3</b>	mV	
vs. Supplies <sup>2</sup>	T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub> ±4 V to ±6 V	10		<b>4</b>	10		μV/°C	
Bias Current		100	<b>300</b>		100	<b>300</b>	mV	
Common-Mode Rejection	f ≤ 100 kHz; 1 V p-p Y = 1 V; X = ±1 V	45			45		μV/V	
Nonlinearity, X	X = 1 V; Y = ±1 V	70			70		μA	
Nonlinearity, Y	X = 1 V; Y = ±1 V	0.2	<b>0.5</b>		0.2	<b>0.5</b>	dB %	
Distortion, X	X = 0 dBm, Y = 1 V f = 10 MHz f = 100 MHz X = 1 V, Y = 0 dBm f = 10 MHz f = 100 MHz	-60			-60		FS	
		-44			-44		% FS	
Distortion, Y		-65			-65		dB	
		-50			-50		dB	
<b>OUTPUTS (W1, W2)</b>								
Zero Signal Current	Each Output	8.5			8.5		mA	
Differential Offset vs. Temperature	X = 0, Y = 0	$\pm 20$	<b>60</b>		$\pm 20$	<b>60</b>	μA	
	T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub> Differential	40			40		nA/°C	
Scaling Current		3.96	4	4.04	3.96	4	μA	
Output Compliance	f = 10 Hz to 1 MHz	4.75	9		4.75	9	mA	
Noise Spectral Density	Outputs into 50 Ω Load	16			16		V	
							nV/√Hz	

<sup>1</sup> Error is defined as the maximum deviation from the ideal output, and expressed as a percentage of the full-scale output.

<sup>2</sup> Both supplies taken simultaneously; sinusoidal input at f ≤ 10 kHz.

<sup>3</sup> Linearity is defined as residual error after compensating for input offset voltage, output offset current and scaling current errors.

# AD834

<b>POWER SUPPLIES</b>						
Operating Range	T <sub>MIN</sub> to T <sub>MAX</sub>	±123	±9	±4	±9	
Quiescent Current <sup>6</sup>						
+V <sub>S</sub>		11	<b>14</b>	11	<b>14</b>	V
-V <sub>S</sub>		28	<b>35</b>	28	<b>35</b>	mA
<b>TEMPERATURE RANGE</b>						
Operating, Rated Performance						
Commercial (0°C to +70°C)		AD834J				
Military (-55°C to +125°C)				AD834S		
Industrial (-40°C to +85°C)				AD834A		
<b>PACKAGE OPTIONS</b>						
8-Pin SOIC (R)		AD834JR, REEL, REEL7		AD834AR		
8-Pin Cerdip (Q)				AD834AQ, SQ/883B		
8-Pin Plastic DIP (N)		AD834JN				

**NOTES**

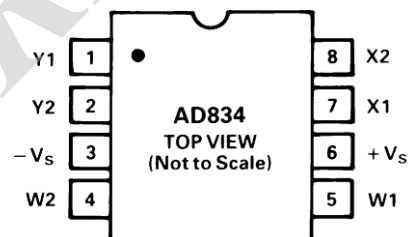
**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Supply Voltage (+V <sub>S</sub> to -V <sub>S</sub> )	18 V
Internal Power Dissipation	500 mW
Input Voltages (X1, X2, Y1, Y2)	+V <sub>S</sub>
Operating Temperature Range	
AD834J	0°C to +70°C
AD834A	-40°C to +85°C
AD834S/883B	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range (Q)	-65°C to +150°C
Storage Temperature Range (R, N)	-65°C to +125°C
Lead Temperature (Soldering 60 sec)	+300°C
ESD Rating	500 V

AD834AR	-40°C to +85°C	SO-8
AD834AQ	-40°C to +85°C	Q-8
AD834SQ/883B	-55°C to +125°C	Q-8
AD834S CHIPS	-55°C to +125°C	DIE

\*N = Plastic DIP; Q = Cerdip; SO = Small Outline IC (SOIC) Package.

**CONNECTION DIAGRAM**  
**Small Outline (R) Package**  
**Plastic DIP (N) Package Cerdip (Q) Package**



**METALIZATION PHOTOGRAPH**  
**CHIP DIMENSIONS AND BONDING DIAGRAM**

Dimensions shown in inches and (mm).  
 Contact factory for latest dimensions.

\*Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the devices. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**THERMAL CHARACTERISTICS**

	JC	JA
8-Pin Cerdip Package (Q)	30°C/W	110°C/W
8-Pin Plastic SOIC (R)	45°C/W	165°C/W
8-Pin Plastic Mini-DIP (N)	50°C/W	99°C/W

**ORDERING GUIDE**

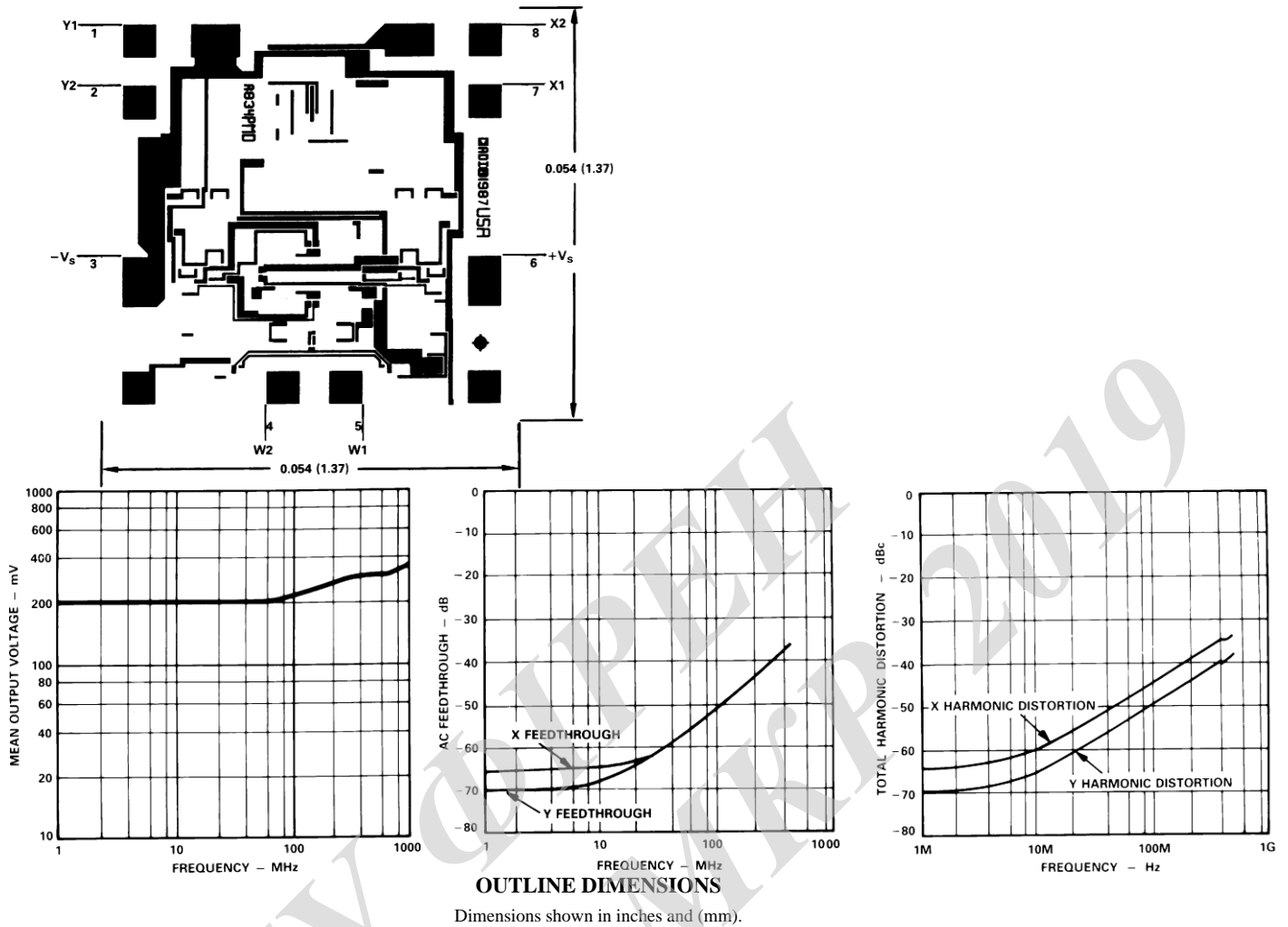
Model	Temperature Range	Package Option*
AD834JN	0°C to +70°C	N-8
AD834JR	0°C to +70°C	SO-8
AD834JR-REEL	0°C to +70°C	SO-8
AD834JR-REEL7	0°C to +70°C	SO-8

<sup>1</sup> Bandwidth is guaranteed when configured in squarer mode. See Figure 5.

<sup>2</sup> Sine input; relative to full-scale output; zero input port nulled; represents feedthrough of the fundamental.

<sup>3</sup> Negative supply current is equal to the sum of positive supply current, the signal currents into each output, W1 and W2, and the input bias currents.

Specifications in **boldface** are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels. Specifications subject to change without notice.



**Small Outline (SO-8) Package Cerdip (Q) Package**

**AD834—Typical Characteristics**

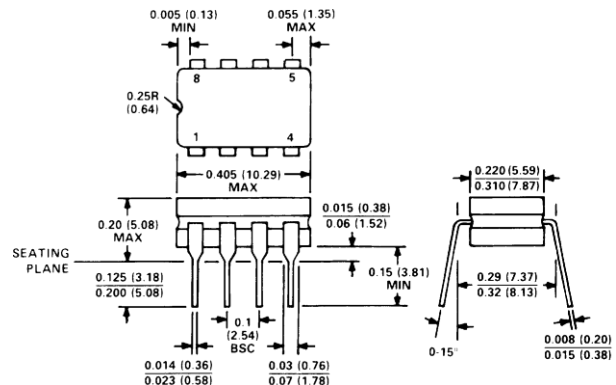
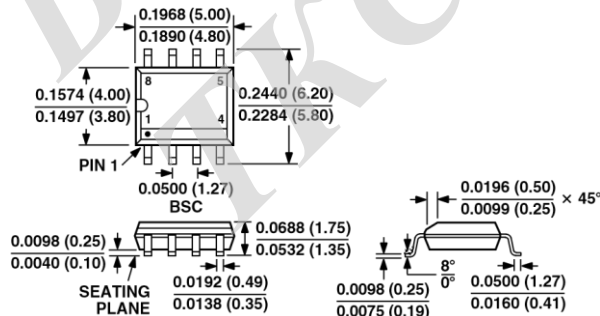
Figure 1. Mean-Square Output vs. Frequency

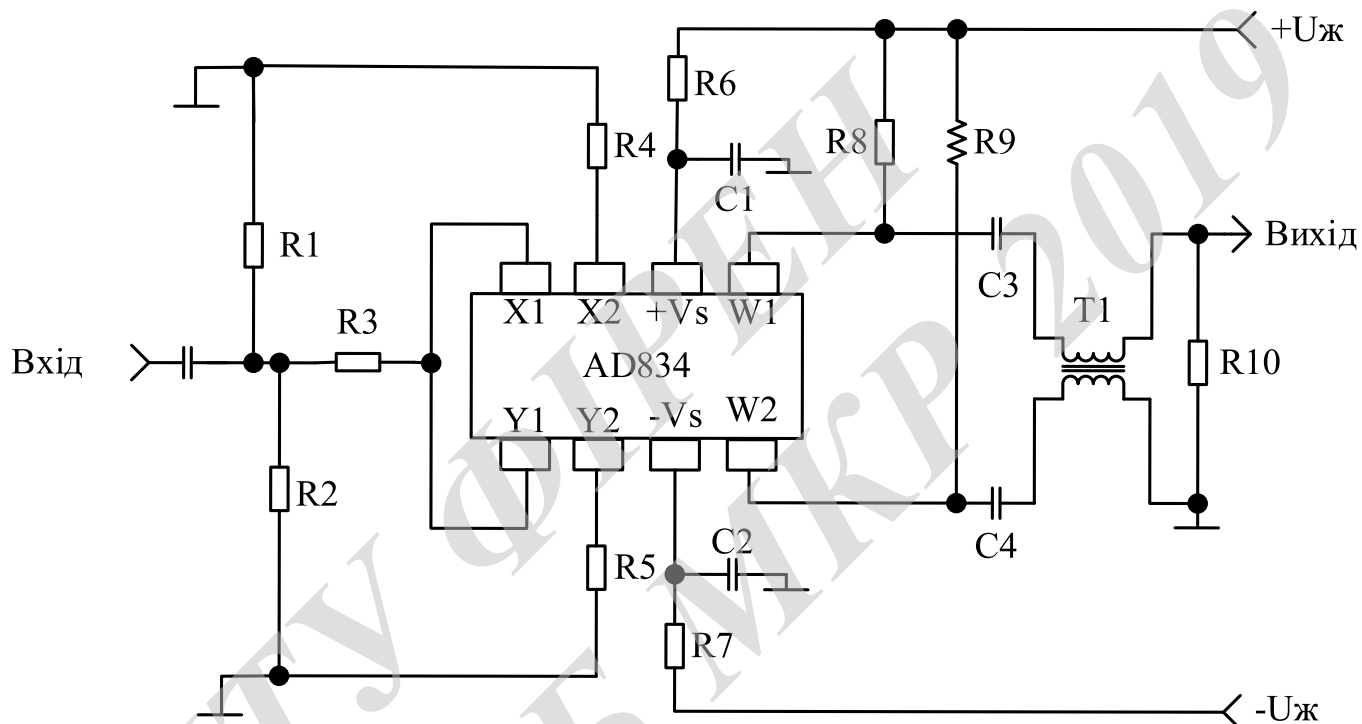
Figure 2. AC Feedthrough vs. Frequency

Figure 3. Total Harmonic Distortion vs. Frequency

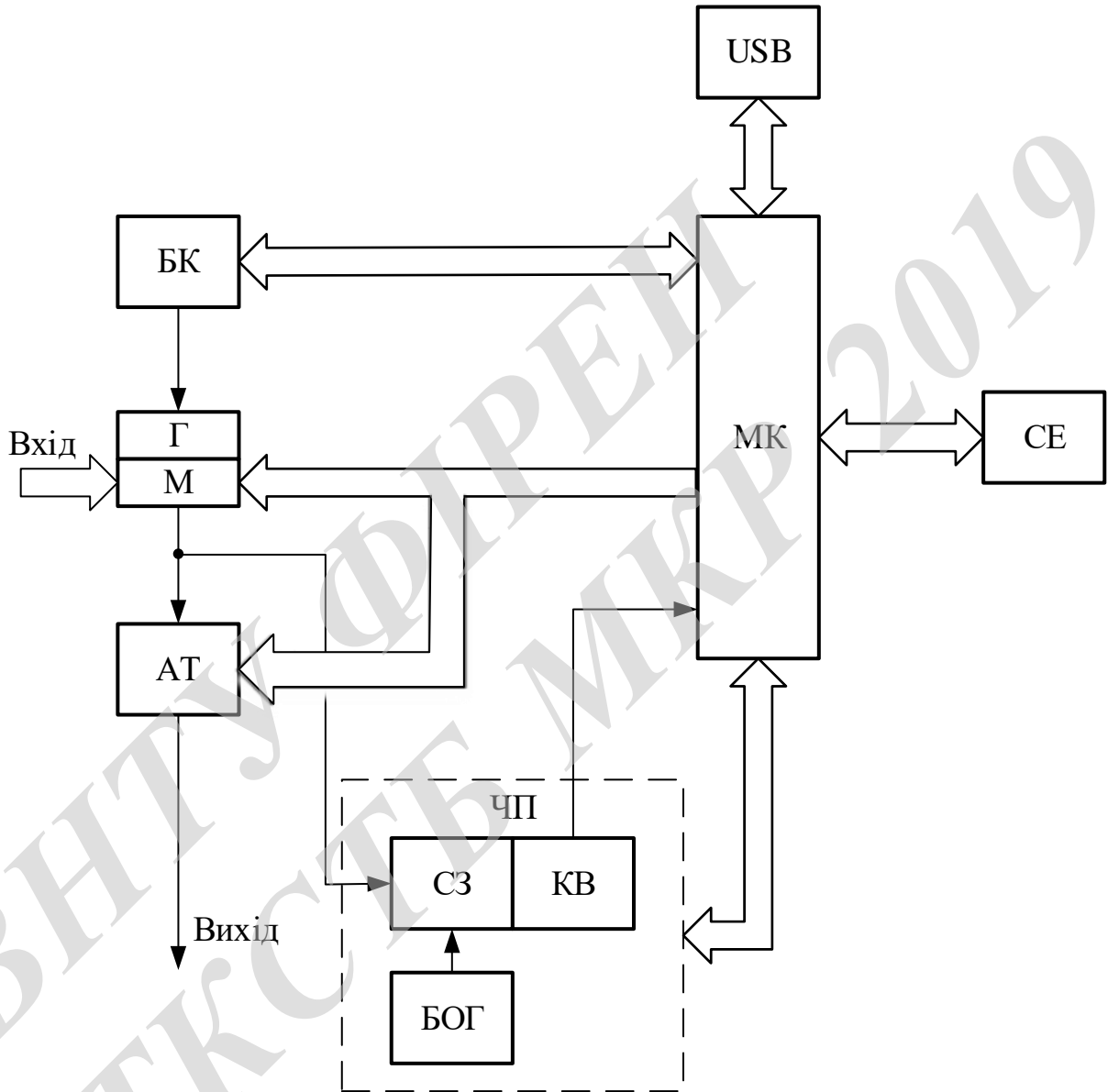
vs. Frequency vs. Frequency vs. Frequency  
**Figure 1.** Figure 1 is a plot of the mean-square output versus frequency for the test circuit of Figure 5. Note that the rising response is due to package resonances.

squarer configuration is a fluctuating current at twice the input frequency with a mean value proportional to the square of the input am



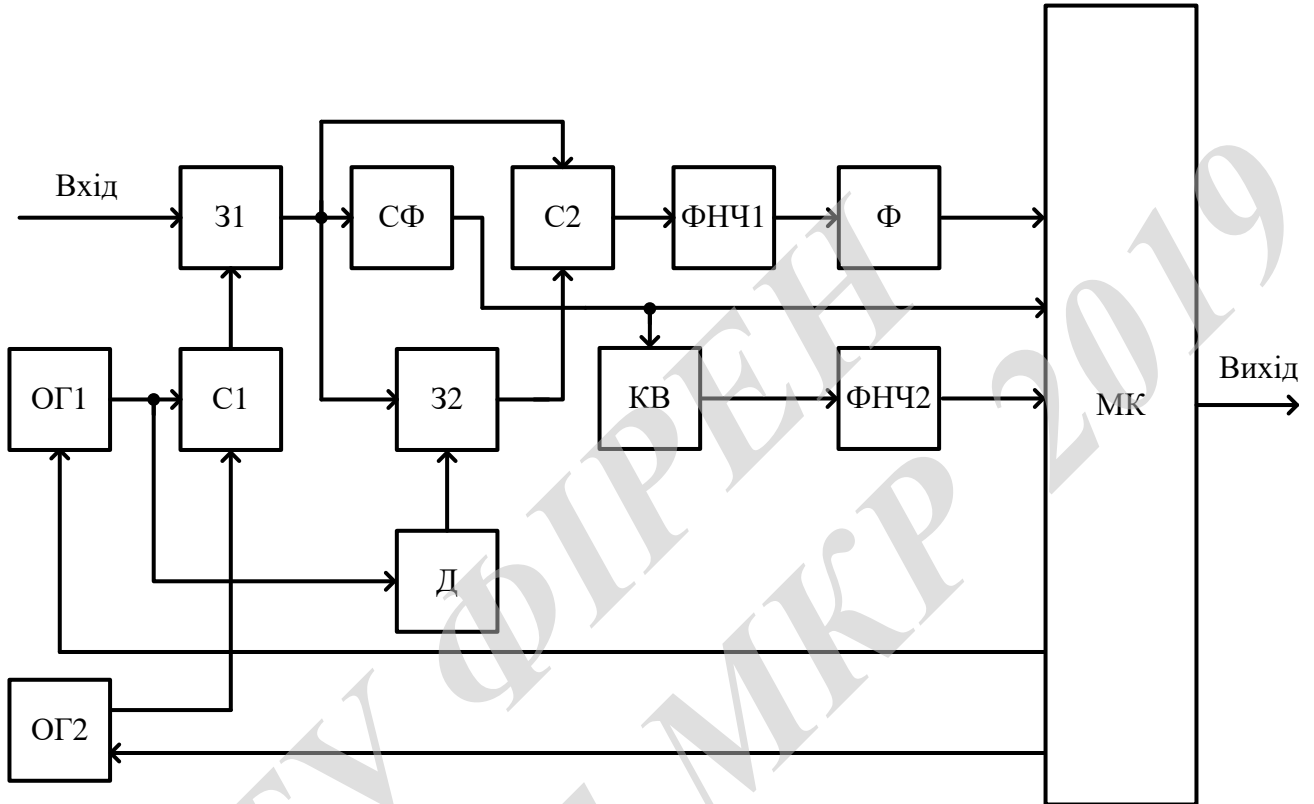


					08-34.МКР.004.00.000 ЕЗ					
Зм.	Лист.	№ Докум.	Підп.	Дата	Квадратор. Схема електрична принципова					
Розробив	Клименко В.А.							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Кононов С.П.								1	1
Т. контр.								ВНТУ, гр. АРЗ-18м		
Реценз.										
Н. контр.	Кононов С.П.									
Затвердж.	Бортник Г.Г.									

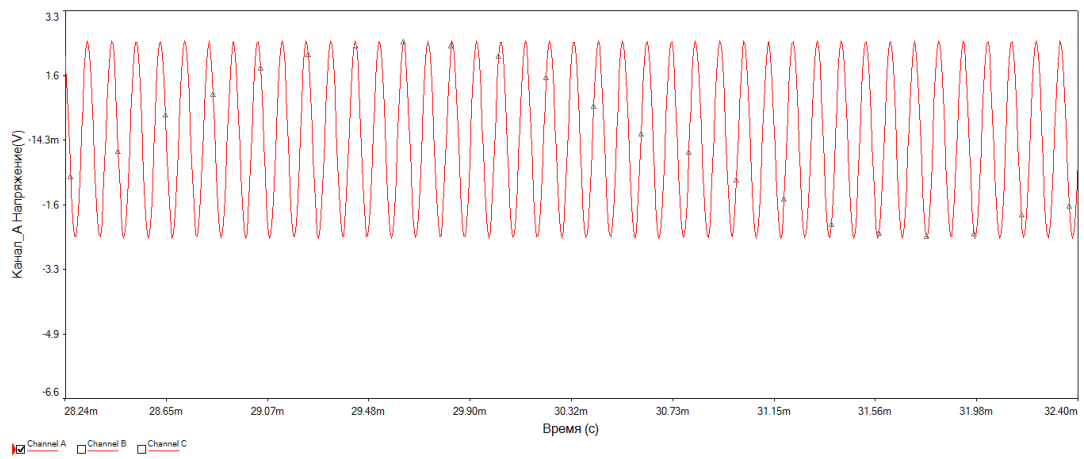


					08-34.МКР.004.00.000 Е1		
Зм.	Лист.	№ Докум.	Підп.	Дата			
Розробив	Клименко В.А.				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Кононов С.П.					1	1
Т. контр.					ВНТУ, гр. АРЗ-18м		
Реценз.							
Н. контр.	Кононов С.П.						
Затвердж.	Бортник Г.Г.				Надвисокочастотний генератор. Схема електрична структурна		

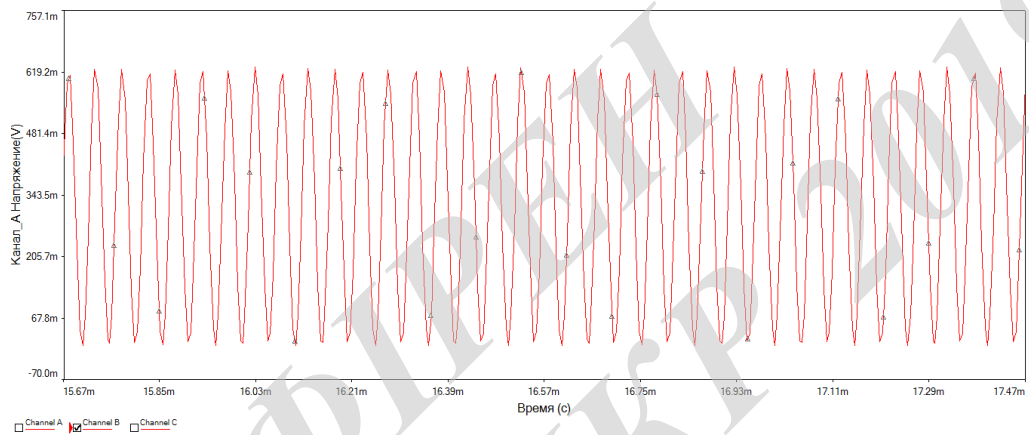
ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019



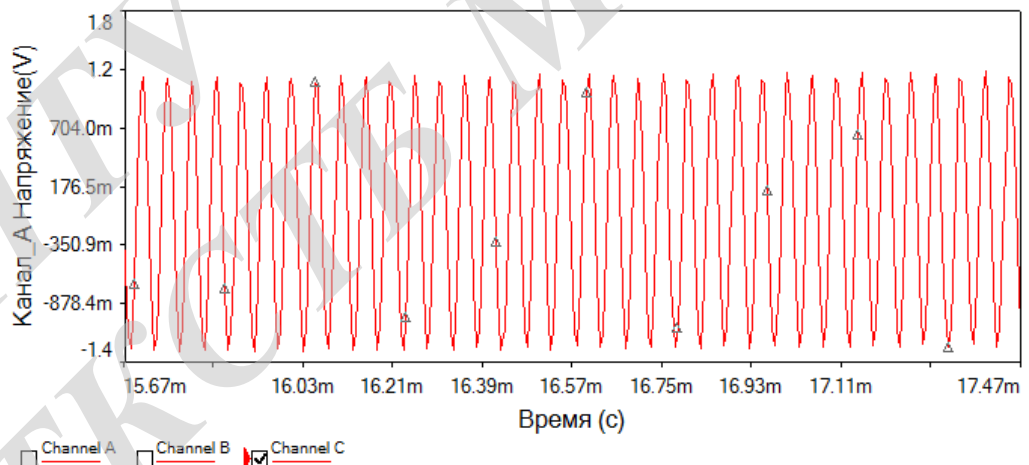
					08-34.МКР.004.00.000 E1			
Зм.	Лист.	№ Докум.	Підп.	Дата				
Розробив	Клименко В.А.				Частотний перетворювач на основі квадратора	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Кононов С.П.						1	1
Т. контр.					Схема електрична структурна	ВНТУ, гр. АРЗ-18м		
Реценз.								
Н. контр.	Кононов С.П.							
Затвердж.	Бортник Г.Г.							



Осцилограмма входного сигнала на вході в квадратора



Осцилограмма сигнала на выходе квадратора



Осцилограмма сигнала на выходе підсилювача



ВНТУ ФІРЕН  
 ТІКСТЬ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000.Е8						
					Результати комп'ютерного моделювання	Лім.		Маса		Масштаб	
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>							
<i>Розроб.</i>		Клименко В.А									
<i>Перевір.</i>		Кононов С.П.									
<i>Т. Контр.</i>											
<i>Реценз.</i>											
<i>Н. Контр.</i>		Кононов С.П.				Арк. 1		Аркушів 1			
<i>Затверд.</i>		Бортник Г.Г.				ВНТУ, АРЗ-18М					

## Додаток Ж

### Допустимі значення виробничих чинників

Таблиця Ж.1 – Допустимі показники мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	≤0,2
Теплий	Іб	21-28	19-30	60 при 27°С	0,1-0,3

Таблиця Ж.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр, що нормується	Значення	Клас небезпеки
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	0,15	4
Іони n <sup>+</sup> , n <sup>-</sup>	число іонів в 1 см <sup>3</sup> повітря	50000	–

Таблиця Ж.3 – Нормативні значення КПО та мінімальні освітленості для штучного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість при штучному освітленні, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	Г	великий	середній	400	200	200	2	1,2

Таблиця Ж.4 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця Ж.5 – Допустимі рівні віброприскорення

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах із середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
36	33	33	39	45	51	33

Таблиця Ж.6 – Гранично допустимі значення електромагнітних полів на робочих місцях згідно

Параметри та одиниці вимірювання	Граничні значення в діапазонах частот					
	1-10 кГц	10-60 кГц	0,06-3 МГц	3-30 МГц	30-50 МГц	50-300 МГц
$E_{гд}$ , В/м	1000	700	500	300	80	
$E_{H_{гд}}$ , $(В/м)^2 \cdot год$	120000	40000	20000	7000	800	
$H_{гд}$ , А/м	75	57	50	–	3,0	–
$E_{H_{гд}}$ , $(А/м)^2 \cdot год$	675	390	200	–	0,72	–

Таблиця Ж.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення

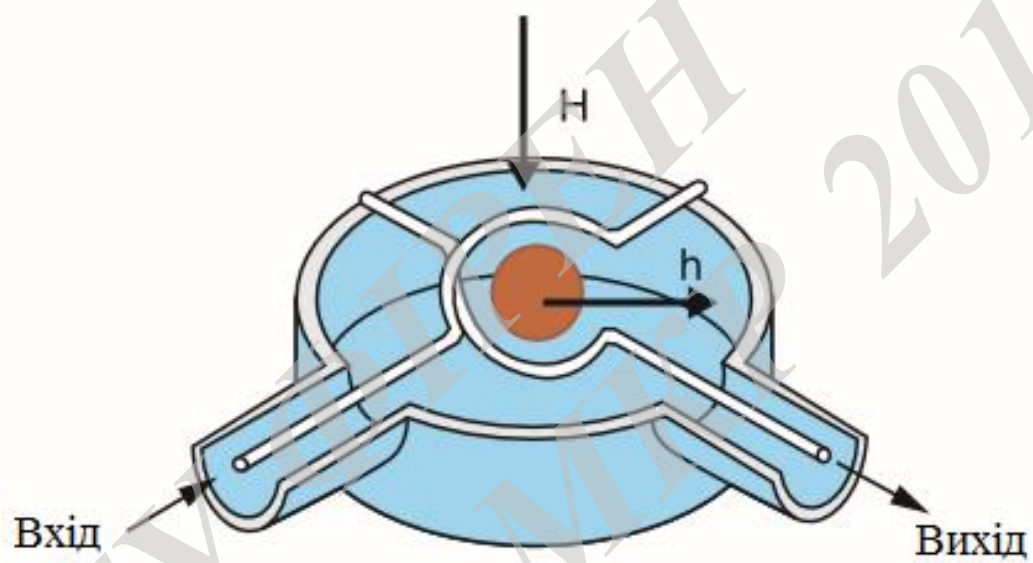
Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
3	REI 120	REI 60	E 15	EI 15	R 120	R 60	REI 45	нн	нн
	M0	M0	M0	M1	M0	M0	M1	нн	нн

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 –  $M \leq 25$  см – для горизонтальних конструкцій;  $M \leq 40$  см – для вертикальних і похилих конструкцій; M2 –  $M > 25$  см – для горизонтальних конструкцій;  $M > 40$  см – для вертикальних і похилих конструкцій, нн – не нормується.

Таблиця Ж.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд

Об'єм приміщення, тис. м <sup>3</sup>	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м <sup>2</sup>			Кількість людей на 1 м ширини евакуйоволу	Протипожежні розриви, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Максимально допустима площа поверху, м <sup>2</sup> , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	B	3	100	60	40	110	9	12	15	3	5200	3500	2600

Примітки: н.о. – не обмежується, н.н. – не нормується.



Спрощена схема ЗІГ-резонатора

ВНТУ ФІРЕН  
ТКСТЬ МКР 2019

					08-34.МКР.004.00.000.Е8						
					Спрощена схема ЗІГ-резонатора	<i>Лім.</i>		<i>Маса</i>		<i>Масштаб</i>	
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>							
<i>Розроб.</i>		Клименко В.А									
<i>Перевір.</i>		Кононов С.П.									
<i>Т. Контр.</i>											
<i>Реценз.</i>											
<i>Н. Контр.</i>		Кононов С.П.				<i>Арк. 1</i>		<i>Аркушів 1</i>			
<i>Затверд.</i>		Бортник Г.Г.				ВНТУ, АРЗ-18м					