

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Лабораторний генератор сигналів діапазону 0,06-108 МГц

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи РА-41

спеціальності 172 Електронні комунікації та

радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

Гарасимів Ю.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яворський Б.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів Л.Є.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«28» квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гарасиміву Юрію Олеговичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Лабораторний генератор сигналів діапазону 0,06-108 МГц

Керівник роботи Яворський Богдан Іванович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 28 » 04 2026 року № 4/7-199

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Діапазон робочих частот – 0,06...108 МГц; Кількість піддіапазонів – 10; Тип вихідного сигналу – синусоїдний; Номінальна вихідна амплітуда – 0,1...2 В;

Опір навантаження – 50 Ом або  $\geq 1$ кОм;

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

аналіз технічного завдання; аналіз схемних рішень виконання виробу;

розроблення схеми структурної виробу, схеми електричної принципової,

розрахунок номіналів елементів схеми електричної принципової; конструювання виробу,

а саме: обґрунтування вибору елементної бази, трасування друкованої плати,

розробка компоновки друкованого вузла.

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

1. Структурна схема;

2. Схема електрична принципова;

3. Друкована плата;

4. Друкований вузол;



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Лабораторний генератор сигналів діапазону 0,06-108 МГц». Кваліфікаційна робота бакалавра // ТНТУ ім. І. Пулюя, ФПТ, РА-41 // Тернопіль, 2026р. // с. - 66, рис.- 5, бібліог.- 13, додат.- 3.

Ключові слова: ГЕНЕРАТОР, СИГНАЛ, ДІАПАЗОН, ЧАСТОТА, МОДУЛЯЦІЯ.

В роботі проводиться проектування лабораторного генератора сигналів діапазону 0,06-108 МГц. Проаналізовано технічні характеристики проєктованого генератора та основні підходи до побудови лабораторних генераторів сигналів, зокрема особливості побудови генераторів на LC-контурах, на кварцових резонаторах, генераторів із фазовою автопідстройкою частоти, DDS-генераторів, генераторів на основі мікроконтролерів. Також проведено огляд схемних рішень прототипів. Для розроблюваного лабораторного генератора було обрано схему LC-генератора з варикапним керуванням частотою. На основі цього було розроблено схему структурну та електричну. Схема електрична проєктованого генератора поєднує LC-задаючий генератор із перемиканням індуктивностей, електронне керування частотою за допомогою варикапа, стабілізоване живлення, буферизацію та підсилення високочастотного сигналу. Це дало можливість отримати стабільний лабораторний генератор сигналів у широкому діапазоні частот 0,06–108 МГц із можливістю частотної модуляції та роботи в режимі генератора частоти, що коливається.

Технічні вимоги до генератора: діапазон робочих частот – 0,06...108 МГц; кількість піддіапазонів – 10; тип вихідного сигналу – синусоїдний; номінальна вихідна амплітуда – 0,1...2 В; опір навантаження – 50 Ом або  $\geq 1$ кОм; нестабільність частоти – не більше  $\pm 0,1\%$ .

## ANNOTATION

Theme of qualification work: "Laboratory signal generator with a range of 0.06-108 MHz". Qualifying work of a bachelor // TNTU, FPT, group RA-41. // Ternopil, 2026 //p. - 66, fig. - 5, , bibliog. - 13, appendix- 3.

Keywords: GENERATOR, SIGNAL, RANGE, FREQUENCY, MODULATION.

The work is devoted to the design of an Laboratory signal generator with a range of 0.06-108 MHz. The technical characteristics of the designed generator and the main approaches to building laboratory signal generators were analyzed, in particular, the features of building generators on LC circuits, on quartz resonators, generators with phase-locked frequency, DDS generators, generators based on microcontrollers. A review of the circuit solutions of prototypes was also conducted. For the developed laboratory generator, an LC generator circuit with varicap frequency control was selected. Based on this, a structural and electrical circuit was developed. The electrical circuit of the designed generator combines an LC-setting generator with switching inductances, electronic frequency control using a varicap, stabilized power supply, buffering and amplification of a high-frequency signal. This made it possible to obtain a stable laboratory signal generator in a wide frequency range of 0.06–108 MHz with the possibility of frequency modulation and operation in the mode of an oscillating frequency generator.

Technical requirements for the generator: operating frequency range – 0.06...108 MHz; number of subbands – 10; output signal type – sinusoidal; nominal output amplitude – 0.1...2 V; load resistance – 50 Ohm or  $\geq 1\text{kOhm}$ ; frequency instability – no more than  $\pm 0.1\%$ .

## Зміст

Вступ.....	7
1. Основна частина.....	9
1.1 Аналіз технічного завдання.....	9
1.2 Аналіз підходів до побудови лабораторних генераторів сигналів.....	10
1.3 Огляд прототипів проєктованого генератора.....	13
1.4 Опис структурної схеми генератора сигналів діапазону 0,06–108 МГц.....	18
1.5 Аналіз схеми електричної лабораторного генератора сигналів діапазону 0,06-108 МГц.....	20
1.6 Розрахунок елементів генератора сигналів 0,06-108 МГц.....	27
1.7 Обґрунтування вибору елементної бази генератора.....	38
1.8 Аналіз друкованої плати генератора та розрахунок провідного рисунка.....	44
1.9 Аналіз конструкції друкованого вузла проєктованого генератора.....	51
1.10 Оцінювання електромагнітної сумісності лабораторного генератора.....	54
1.11 Висновки до розділу 1.....	56
2 Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.....	57
2.1 Планування заходів з охорони праці. Види планування та контролю стану охорони праці. Виявлення, оцінка та зменшення ризиків небезпечних подій.....	57
2.2 Здійснення заходів щодо зниження дії радіоактивних випромінювань.....	59
2.3. Висновки до розділу 2.....	62
Висновки.....	63
Список використаних джерел.....	65
Додатки	

					ГЮО 2.893.001 ПЗ			
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Лабораторний генератор сигналів діапазону 0,06-108 МГц	<i>Лім</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Гарасимів Ю.О.				у	6	66
<i>Перевір.</i>		Яворський Б.І.				ТНТУ, РА-41		
<i>Н. контр.</i>		Хвостівська Л.В.						
<i>Зат. каф.</i>		Дунець В.Л.						
<i>Рецензент</i>		Дедів Л.Є.						

## Вступ

*Актуальність теми.* Постійний розвиток електронних комунікацій, радіотехнічних систем, засобів бездротового зв'язку та вимірювальної техніки формує потребу в удосконаленні обладнання для налаштування, діагностики та дослідження електронних пристроїв. Одним із найважливіших приладів, що використовується під час проектування, випробувань та експлуатації радіоелектронної апаратури, є генератор сигналів. Його застосовують для формування тестових сигналів із заданими параметрами, необхідних для перевірки працездатності окремих вузлів і систем, визначення їхніх характеристик та проведення лабораторних досліджень.

Сьогодні значна увага приділяється створенню універсальних вимірювальних приладів, які забезпечують широкий діапазон робочих частот, високу стабільність параметрів вихідного сигналу, точність налаштування та зручність керування. Особливо актуальними є генератори сигналів, здатні працювати в діапазоні від десятків кілогерц до 108 МГц, оскільки цей частотний спектр охоплює широкий клас технічних застосувань: від дослідження низькочастотних електронних схем до налаштування радіоприймальних та передавальних пристроїв, що працюють у діапазоні ультракоротких хвиль.

Діапазон частот 0,06–108 МГц є важливим для функціонування багатьох сучасних електронних систем. У межах цього діапазону здійснюється передавання сигналів радіомовлення, працюють різноманітні телекомунікаційні пристрої, системи службового та спеціального зв'язку, навігаційне обладнання, вимірювальні комплекси та радіоелектронні засоби різного призначення. Тому наявність генератора, здатного формувати сигнали в такому широкому частотному діапазоні, дозволяє ефективно проводити дослідження характеристик електронних компонентів, каскадів підсилення,

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		7

фільтрів, резонансних контурів, трактів обробки сигналів та інших функціональних вузлів радіотехнічних систем.

Таким чином, розроблення лабораторного генератора сигналів діапазону 0,06–108 МГц є актуальним завданням, оскільки це дасть можливість дослідження широкого спектра електронних систем і сприятиме підвищенню ефективності процесів розроблення, налагодження та експлуатації радіоелектронної апаратури.

*Практичне значення.* Результати можуть бути використані при розробці універсального джерела високочастотних сигналів для дослідницьких та ремонтно-налагоджувальних робіт. Завдяки широкому діапазону частот, простій конструкції та невисокій вартості пристрій може бути впроваджений у навчальних лабораторіях чи сервісних центрах.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		8

## 1. Основна частина

### 1.1 Аналіз технічного завдання

В роботі проводиться розроблення лабораторного генератора сигналів діапазону 0,06-108 МГц. Він призначений для формування електричних гармонічних коливань у широкому діапазоні частот з можливістю частотної модуляції зовнішнім сигналом.

Генератор повинен забезпечувати:

- генерацію синусоїдальних високочастотних коливань;
- плавну перебудову частоти в межах кожного піддіапазону;
- дискретне перемикання піддіапазонів;
- частотну модуляцію зовнішнім сигналом;
- можливість роботи як генератора частоти, що коливається;
- регулювання рівня вихідного сигналу;
- стабільність параметрів у процесі тривалої роботи.

Основні технічні характеристики:

- 1) Діапазон робочих частот – 0,06...108 МГц;
- 2) Кількість піддіапазонів – 10;
- 3) Тип вихідного сигналу – синусоїдний;
- 4) Номінальна вихідна амплітуда – 0,1...2 В;
- 5) Опір навантаження – 50 Ом або  $\geq 1$ кОм;
- 6) Нестабільність частоти – не більше  $\pm 0,1\%$ ;
- 7) Похибка встановлення частоти – не більше  $\pm 2\%$ ;
- 8) Девіація частоти при ЧМ – не менше  $\pm 75$  кГц;
- 9) Генератор повинен працювати від джерела постійної напруги 9...12;
- 10) Максимальний струм споживання – 100 мА;
- 11) Максимальна споживана потужність – 1,5 Вт.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		9

## 1.2 Аналіз підходів до побудови лабораторних генераторів сигналів

Лабораторні генератори сигналів призначені для формування електричних коливань заданої частоти, амплітуди та виду модуляції. Такі прилади широко застосовуються під час налагодження, ремонту та дослідження радіоелектронних пристроїв.

Основними вимогами до лабораторних генераторів є широкий діапазон робочих частот, висока стабільність частоти, можливість частотної та амплітудної модуляції, плавне регулювання рівня вихідного сигналу, низький рівень гармонійних спотворень, простота конструкції та налаштування.

Залежно від способу формування сигналу можна виділити декілька основних підходів до побудови генераторів.

### 1) Генератори на LC-контурах.

Найбільш традиційним способом побудови лабораторних ВЧ-генераторів є використання коливального контуру, утвореного індуктивністю та ємністю. Для зміни частоти застосовуються багатосекційні перемикачі котушок, змінні конденсатори, варикапи.

До переваг LC-генераторів належать простота схеми, низький рівень фазових шумів, висока чистота спектра, можливість роботи на частотах понад 100 МГц, легка реалізація частотної модуляції.

Основними недоліками є залежність частоти від температури, необхідність використання набору котушок, складність автоматичного керування частотою, обмежена точність встановлення частоти.

### 2) Генератори на кварцових резонаторах.

У кварцових генераторах замість LC-контуру використовується кварцовий резонатор. Частота визначається механічним резонансом кварцової пластини.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		10











Перемикач SA4 дозволяє підключити вхід частотоміра до виходу генератора для вимірювання частоти сигналу або до роз'єму XW1, щоб вимірювати частоту будь-якого зовнішнього сигналу, поданого на цей роз'єм.

Змінним резистором R24 регулюють амплітуду ВЧ-сигналу на виході генератора, але оскільки цей резистор знаходиться під потенціалом плюсової лінії живлення, сигнал подано з нього на роз'єм XW2 через конденсатори C13 та C18.

Наступним розглянемо НВЧ-генератор для діапазону 1,2 - 2,4 ГГц. В принципі НВЧ-генератор, що перебудовується, досить важкий у виконанні і застосовується в приймачі супутникового телебачення. Складність його виготовлення пов'язана з реалізацією основних параметрів: оптимальної вихідної потужності (необхідний надійний зв'язок з типом змішувача, що використовується), коефіцієнта перекриття діапазону, допустимої нестабільності частоти, вихідного імпедансу, лінійності при перенастроюванні в діапазоні, відсутності гармонік та ін.

Для НВЧ-генератора вихідна потужність може бути розрахована за такою формулою  $P_{out} = U_m / 2Z_o$ , де  $P_{out}$  – вихідна потужність генератора,  $U_m$  – амплітуда вихідного сигналу,  $Z_o$  – опір навантаження, Ом.

Для балансного змішувача реалізованого на арсенід-галієвих діодах з бар'єром Шоткі, необхідна вихідна потужність близько 10 мВт.

Коефіцієнт перекриття діапазону – це параметр, який містить інформацію про межі переналаштування НВЧ-генератора. Розглянутий генератор на 1,2-2,4 ГГц (рис.1.4) розділений по частотному діапазону на частини: перший генератор – від 1,2 до 1,85 ГГц, другий генератор – від 1,75 до 2,4 ГГц. Це дозволило під час реалізації пристрою використовувати доступні елементи – транзистори типу BFR90 (BFR91, BFR91A) та варикапи BB126.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		16



довжина котушки 8 мм. Індуктивність L5 визначає частоту другого генератора та виготовлена з виводу від варикапу VD3, довжина котушки 3 мм.

Варикапи VD1, VD2 та VD3, VD4 необхідно підібрати по парах з однаковими характеристиками. Режим роботи по струму визначають резистори R1 - R6. Комутація в генераторі може здійснюватися за допомогою реле, живлення якого слід подавати через дросель. Цей елемент на схемі не вказано. Напруга на варикапах змінюється від 2 до 32 В.

Вихідний сигнал знімається за допомогою котушок L9, L10, які розташовуються поряд з резисторами R9, R10, їх взаємний зв'язок регулюється зближенням чи видаленням.

Для розроблюваного лабораторного генератора було обрано схему LC-генератора з варикапним керуванням частотою.

Даний підхід забезпечує:

- перекриття широкого діапазону частот від 0,06 до 108 МГц;
- просту реалізацію частотної модуляції;
- невисоку вартість;
- відсутність необхідності програмування;
- достатню стабільність для лабораторних робіт і налагодження

радіоелектронної апаратури.

Порівняно з PLL- та DDS-рішеннями обраний підхід має значно простішу конструкцію та не потребує цифрових вузлів керування, що повністю відповідає вимогам до лабораторного генератора сигналів.

#### 1.4 Опис структурної схеми генератора сигналів діапазону 0,06–108 МГц

Структурна схема генератора складається з таких основних функціональних вузлів:

- Вузол введення керуючих сигналів;

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		18

- Вузол керування частотою генерації;
- LC-задавальний генератор;
- Буферний каскад;
- Вихідний підсилювач;
- Блок живлення.

Робота генератора здійснюється таким чином. На вхід модуляції може подаватися низькочастотний модулюючий сигнал від зовнішнього джерела. При необхідності роботи генератора в режимі автоматичної перебудови частоти на інший вхід подається пилоподібна напруга. Обидва сигнали надходять до вузла керування частотою.

Вузол керування частотою побудований на варикапі та допоміжних елементах зміщення і фільтрації. Під дією керуючої напруги змінюється ємність варикапа, що призводить до зміни резонансної частоти коливального контуру. Таким чином реалізуються режими частотної модуляції та плавної автоматичної перебудови частоти.

Основним вузлом формування високочастотного сигналу є LC-задаючий генератор. Частота генерації визначається параметрами коливального контуру, до складу якого входять змінний конденсатор, варикап та одна з котушок індуктивності, що вибирається перемикачем діапазонів. Така побудова забезпечує перекриття широкого діапазону частот від 0,06 до 108 МГц.

Сформований високочастотний сигнал надходить до буферного каскаду. Основним призначенням цього каскаду є електрична розв'язка задаючого генератора та вихідних кіл. Буферний каскад зменшує вплив навантаження на коливальний контур, що сприяє підвищенню стабільності частоти та амплітуди сигналу.

Далі сигнал подається на вихідний підсилювач. У цьому каскаді здійснюється підсилення потужності високочастотного сигналу до рівня, достатнього для роботи із зовнішніми пристроями та вимірювальними

						ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			19

системами. Вихідний підсилювач також виконує функцію узгодження генератора з навантаженням.

З вихідного підсилювача сигнал надходить на вихідний роз'єм, до якого підключаються досліджувані пристрої або вимірювальна апаратура.

Живлення всіх функціональних вузлів забезпечується блоком живлення, який формує стабілізовану напругу, необхідну для забезпечення високої стабільності параметрів генератора.

Таким чином, структурна схема відображає послідовність проходження сигналу від вузла керування частотою до вихідного підсилювача та демонструє взаємодію всіх основних функціональних блоків генератора сигналів діапазону 0,06–108 МГц. Вона наведена на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Структурна схема проектного лабораторного генератора

### 1.5 Аналіз схеми електричної лабораторного генератора сигналів діапазону 0,06-108 МГц

На основі проведеного аналізу та схеми структурної розроблено схему електричну проектного генератора, що показана на рис. 1.5.





генерації; чим менша індуктивність, тим вища частота. Перемикання котушок здійснюється перемикачем SA1.

Перемикач SA1 є багатопозиційним перемикачем діапазонів. Він підключає до коливального контуру одну з котушок L1–L10, завдяки чому змінюється діапазон частот генератора. На схемі біля SA1 позначені піддіапазони, що відповідають окремим положенням перемикача. Таким чином, SA1 дозволяє грубо встановити потрібну область частот.

Конденсатор C3 є змінним конденсатором налаштування частоти. Він входить до складу коливального LC-контуру разом із вибраною котушкою індуктивності. Зміна ємності C3 призводить до зміни резонансної частоти контуру, а отже – до плавного налаштування частоти генерації всередині вибраного піддіапазону. Цей елемент виконує функцію основного органу ручного налаштування частоти.

Діод VD1 є варикапом, тобто напівпровідниковим діодом, ємність якого залежить від прикладеної зворотної напруги. Він використовується для електронного керування частотою генератора. Зміна керуючої напруги на варикапі змінює його ємність, що впливає на загальну ємність коливального контуру і, відповідно, на частоту генерації. Завдяки цьому реалізується частотна модуляція або режим генератора частоти, що коливається.

Роз'єм XS1 призначений для подавання сигналу частотної модуляції від зовнішнього джерела. На цей вхід можна подавати низькочастотний модулюючий сигнал, який через відповідні елементи схеми впливає на напругу керування варикапом VD1. У результаті змінюється ємність варикапа, а отже, частота високочастотного генератора змінюється відповідно до форми зовнішнього модулюючого сигналу.

Роз'єм XS2 використовується тоді, коли прилад працює як генератор частоти, що коливається. На цей роз'єм подають пилоподібну напругу від зовнішнього джерела. Пилоподібна напруга змінює керуючу напругу на варикапі VD1, унаслідок чого частота генератора плавно перебудовується в

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		23

певному діапазоні. Такий режим корисний для дослідження амплітудно-частотних характеристик фільтрів, підсилювачів, резонансних контурів та інших частотно-залежних пристроїв.

Конденсатор С1 увімкнений у вхідному колі модуляції та виконує функцію розділового або фільтрувального елемента. Він може пропускати змінну складову модулюючого сигналу та блокувати постійну складову, запобігаючи впливу зовнішнього джерела на внутрішні режими схеми.

Резистори R1–R5 та конденсатори С5, С8 формують кола зміщення, фільтрації та керування варикапом VD1. Резистор R1 обмежує струм у колі варикапа та ізолює керуюче коло від коливального контуру. Резистори R2, R3, R4 задають початковий рівень напруги керування або виконують функцію регулювання глибини модуляції чи девіації частоти. Конденсатори С5 і С8 фільтрують керуючу напругу, зменшують паразитні високочастотні складові та забезпечують стабільну роботу вузла електронного налаштування. Резистор R5 виконує функцію розрядного елемента в колі керування.

Резистори R6, R7, R8 задають режими роботи транзисторів VT1 і VT2 за постійним струмом. Вони формують необхідні напруги зміщення на електродах транзисторів, забезпечують стабільність робочої точки та впливають на амплітуду коливань. Конденсатор С7 бере участь у високочастотному зворотному зв'язку та шунтує певну ділянку схеми за змінним струмом. Конденсатор С9 також належить до кола високочастотного зв'язку та корекції режиму генератора. Він забезпечує передачу змінної складової сигналу між каскадами та водночас розділяє їх за постійним струмом.

Транзистор VT3 є потужнішим транзистором порівняно з VT1 і VT2 та використовується як буферний та стабілізуючий елемент у колі живлення. Його призначення полягає в тому, щоб розвантажити задаючий генератор від впливу наступних каскадів і забезпечити стабільні умови роботи. Буферизація важлива, оскільки безпосереднє навантаження коливального контуру може

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		24





генератор сигналів у широкому діапазоні частот 0,06–108 МГц із можливістю частотної модуляції та роботи в режимі генератора частоти, що коливається.

### 1.6 Розрахунок елементів генератора сигналів 0,06-108 МГц

Генератор побудовано за схемою LC-автогенератора з комутацією контурних котушок L1...L10. Активним елементом задавального генератора є польовий транзистор VT1 BF245. Частотне керування здійснюється варикапом VD1 BB104. Стабілізоване живлення вузла генератора забезпечує DA1 типу 78L05 з вихідною напругою 5 В. За даними виробників, стабілізатори сімейства 78L05 розраховані на вихідний струм до 100 мА, а BF245 є ВЧ JFET-транзистором для підсилювальних та генераторних каскадів; BB104 має ємність порядку 11...39 пФ залежно від зворотної напруги.

Резонансна частота контуру визначається виразом:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Звідси індуктивність котушки для заданої частоти:

$$L = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C}$$

Для попереднього розрахунку приймаємо еквівалентну ємність контуру:

$$C_{\min} = 18 \text{ пФ}, \quad C_{\max} = 90 \text{ пФ}$$

де враховано ємність варикапа VD1, підлаштувального конденсатора C3, монтажні та вхідні ємності транзистора VT1.

Коефіцієнт перекриття одного діапазону:

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		27

$$K_f = \sqrt{\frac{C_{\max}}{C_{\min}}} = \sqrt{\frac{90}{18}} = \sqrt{5} \approx 2,24$$

Загальний діапазон частот:

$$K_{\Sigma} = \frac{108}{0,06} = 1800$$

Для 10 піддіапазонів середній коефіцієнт перекриття  
 $K_{\text{підд}} = \sqrt[10]{1800} \approx 2,12$ .

Оскільки  $K_{\text{підд}} < K_f$ , вибраної зміни ємності достатньо для перекриття всього діапазону.

Розрахунок котушок L1-L10. Результати розрахунків зведено в таблиці 1.2.

Так, для верхнього піддіапазону 51,04...108 МГц:

$$L_{10} = \frac{1}{(2\pi \cdot 51,04 \cdot 10^6)^2 \cdot 90 \cdot 10^{-12}} \approx 0,108 \text{ мкГн}$$

$$L_{10} = \frac{1}{(2\pi \cdot 108 \cdot 10^6)^2 \cdot 18 \cdot 10^{-12}} \approx 0,121 \text{ мкГн}$$

Приймаємо середнє значення:

$$L_{10} \approx 0,114 \text{ мкГн}$$

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		28

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків номіналів котушок L1-L10

Котушка	Діапазон, МГц	Розрахункова індуктивність
L1	0,060...0,127	82,7 мГн
L2	0,127...0,269	18,5 мГн
L3	0,269...0,569	4,13 мГн
L4	0,569...1,203	922 мкГн
L5	1,203...2,546	206 мкГн
L6	2,546...5,387	46,0 мкГн
L7	5,387...11,40	10,3 мкГн
L8	11,40...24,12	2,29 мкГн
L9	24,12...51,04	0,512 мкГн
L10	51,04...108,0	0,114 мкГн

Розрахунок живлення DA1. Для DA1 78L05 приймаємо  $U_{\text{вих}} = 5 \text{ В}$ .

Мінімальна вхідна напруга стабілізатора:

$$U_{\text{вх. min}} = U_{\text{вих}} + U_{\text{drop}}$$

За умови  $U_{\text{drop}} \approx 2 \text{ В}$ :

$$U_{\text{вх. min}} = 5 + 2 = 7 \text{ В}$$

Практично доцільно подавати на вхід стабілізатора  $U_{\text{вх}} = 9...12 \text{ В}$ .

Потужність, що розсіюється стабілізатором:

$$P_{DA1} = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}}) I_{\text{спож}}$$

За  $U_{\text{вх}} = 12 \text{ В}$ ,  $I_{\text{спож}} = 30 \text{ мА}$ :

$$P_{DA1} = (12 - 5) \cdot 0,03 = 0,21 \text{ Вт}$$

Таке значення допустиме для малопотужного стабілізатора за умови нормального тепловідведення.

Розрахунок модулятора на варикапі VD1 ВВ104. Варикап VD1 ВВ104 використовується як керована напругою ємність LC-контур. Для ВВ104 приймаємо діапазон ємності приблизно  $C_{VD1} = 11...39$  пФ при зворотній напрузі до 30 В.

Залежність частоти генератора від ємності контуру:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_0 + C_{VD1})}}$$

де  $C_0$  – стала частина ємності контуру: монтажна ємність, ємність транзистора VT1, підлаштувальний конденсатор С3.

Для малих змін ємності девіація частоти:

$$\frac{\Delta f}{f_0} \approx -\frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta C}{C_\Sigma}$$

$$\Delta f \approx -\frac{f_0}{2} \cdot \frac{\Delta C}{C_\Sigma}$$

де:

$$C_\Sigma = C_0 + C_{VD1}$$

Для ЧМ-модуляції приймаємо стандартну девіацію

$$\Delta f = 75 \text{ кГц}$$

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		30

Для діапазону УКХ, наприклад при  $f_0 = 100 \text{ МГц}$  і  $C_\Sigma = 30 \text{ пФ}$  потрібна зміна ємності варикапа:

$$\Delta C = \frac{2\Delta f C_\Sigma}{f_0}$$
$$\Delta C = \frac{2 \cdot 75 \cdot 10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-12}}{100 \cdot 10^6}$$
$$\Delta C = 0,045 \text{ пФ}$$

Отже, для частотної модуляції потрібна дуже мала зміна ємності VD1 – близько  $\Delta C \approx 0,05 \text{ пФ}$ .

Це означає, що звуковий модулюючий сигнал необхідно подавати на варикап через розділовий конденсатор і великий обмежувальний резистор, щоб не порушувати основну напругу налаштування.

Робочу точку варикапа доцільно вибрати посередині характеристики:

$$U_{VD1} = 3...5 \text{ В}$$

Для зміщення варикапа приймаємо подільник R1–R5 від стабілізованої напруги 5 В. Якщо потрібно отримати  $U_{VD1} = 2,5 \text{ В}$ , то:

$$U_{VD1} = U_{\text{ж}} \cdot \frac{R5}{R1 + R5}$$

При  $R1 = R5$  одержуємо:

$$U_{VD1} = 5 \cdot \frac{10}{10 + 10} = 2,5 \text{ В}$$

Приймаємо:

$$R1 = 10 \text{ кОм}$$

$$R5 = 10 \text{ кОм}$$

Щоб модуляційний сигнал не шунтував контур, резистор подачі модуляції повинен бути значно більшим за опір контуру. Приймаємо  $R_{\text{мод}} = R2 = 47...100 \text{ кОм}$ .

Практично  $R2 = 68 \text{ кОм}$ .

Розділовий конденсатор модуляційного входу  $C1$  визначається з умови пропускання нижньої частоти звукового сигналу:

$$C1 = \frac{1}{2\pi R_{\text{мод}} f_{\text{н}}}$$

Для:

$$R_{\text{мод}} = 68 \text{ кОм}, \quad f_{\text{н}} = 20 \text{ Гц}$$

$$C1 = \frac{1}{2\pi \cdot 68 \cdot 10^3 \cdot 20}$$

$$C1 \approx 0,117 \text{ мкФ}$$

Приймаємо стандартний номінал  $C1 = 0,1 \text{ мкФ}$ .

Для фільтрації ВЧ-сигналу у колі керування варикапом встановлюється блокувальний конденсатор  $C8 = 1...10 \text{ нФ}$ .

Приймаємо  $C8 = 4,7 \text{ нФ}$ .

Розрахунок каскадів на VT1, VT2 та стабілізатора DA1.

Розрахунок задавального генератора на VT1 BF245.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		32

VT1 BF245 працює як активний елемент LC-генератора. Живлення каскаду здійснюється від стабілізованої напруги  $U_{\text{ж}} = 5 \text{ В}$ .

Для малосигнального режиму приймаємо струм стоку  $I_D = 2 \text{ мА}$ .

Напруга на стоці для симетричного режиму:

$$U_D \approx \frac{U_{\text{ж}}}{2} = 2,5 \text{ В}$$

Опір у колі стоку:

$$R_D = \frac{U_{\text{ж}} - U_D}{I_D}$$
$$R_D = \frac{5 - 2,5}{2 \cdot 10^{-3}} = 1250 \text{ Ом}$$

Приймаємо стандартне значення:

$$R_D = 1,2 \text{ кОм}$$

Для автоматичного зміщення затвора використовується резистор у колі витоку. Приймаємо напругу зміщення  $U_S = 1 \text{ В}$ .

Тоді:

$$R_S = \frac{U_S}{I_D}$$
$$R_S = \frac{1}{2 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Ом}$$

Приймаємо:  $R_S = 510 \text{ Ом}$

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		33

Резистор витоку шунтується конденсатором для збільшення коефіцієнта підсилення на ВЧ. Його ємність визначається з умови:

$$X_C \leq \frac{R_S}{10}$$
$$C_S \geq \frac{10}{2\pi f_{\min} R_S}$$

Для найнижчої робочої частоти:

$$f_{\min} = 60 \text{ кГц}$$
$$C_S \geq \frac{10}{2\pi \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 510}$$
$$C_S \geq 0,052 \text{ мкФ}$$

Приймаємо  $C_S = 0,068 \dots 0,1 \text{ мкФ}$ .

Резистор витоку затвора повинен мати великий опір, щоб не шунтувати контур:  $R_G = 470 \text{ кОм} \dots 1 \text{ МОм}$ .

Приймаємо  $R_G = 1 \text{ МОм}$ .

Розрахунок буферного каскаду на VT2 BF506.

VT2 BF506 використовується як буферний ВЧ-каскад, який зменшує вплив навантаження на задавальний генератор.

Приймаємо режим роботи:

$$U_{ж} = 5 \text{ В}$$

$$I_C = 5 \text{ мА}$$

Для симетричного режиму  $U_{CE} \approx 2,5 \text{ В}$ .

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		34

Опір колекторного навантаження:

$$R_C = \frac{U_{ж} - U_{CE}}{I_C}$$
$$R_C = \frac{5 - 2,5}{5 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Ом}$$

Приймаємо стандартний номінал  $R_C = 510 \text{ Ом}$ .

Напругу на емітері приймаємо  $U_E = 0,7 \text{ В}$ .

Тоді емітерний резистор:

$$R_E = \frac{U_E}{I_E}$$
$$R_E = \frac{0,7}{5 \cdot 10^{-3}} = 140 \text{ Ом}$$

Приймаємо  $R_E = 150 \text{ Ом}$ .

Напруга бази:

$$U_B = U_E + U_{BE}$$
$$U_B = 0,7 + 0,7 = 1,4 \text{ В}$$

Для подільника базового зміщення приймаємо струм подільника у 10 разів більшим за струм бази:

$$I_{\text{под}} = 10I_B$$

За коефіцієнта передачі струму:

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		35

$$\beta = 50$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_B = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{50} = 0,1 \text{ мА}$$

$$I_{\text{под}} = 1 \text{ мА}$$

Нижній резистор подільника:

$$R_2 = \frac{U_B}{I_{\text{под}}}$$

$$R_2 = \frac{1,4}{1 \cdot 10^{-3}} = 1,4 \text{ кОм}$$

Приймаємо  $R_2 = 1,5 \text{ кОм}$ .

Верхній резистор подільника:

$$R_1 = \frac{U_{\text{ж}} - U_B}{I_{\text{под}}}$$

$$R_1 = \frac{5 - 1,4}{1 \cdot 10^{-3}} = 3,6 \text{ кОм}$$

Приймаємо  $R_1 = 3,6 \text{ кОм}$ .

Розділовий конденсатор між VT1 і VT2 визначається з умови малого реактивного опору на мінімальній частоті:

$$C_{\text{зв}} \geq \frac{1}{2\pi f_{\text{min}} R_{\text{вх}}}$$

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		36

Для:

$$f_{\min} = 60 \text{ кГц}, \quad R_{\text{вх}} = 1,5 \text{ кОм}$$

$$C_{\text{зв}} \geq \frac{1}{2\pi \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^3}$$

$$C_{\text{зв}} \geq 1,77 \text{ нФ}$$

Приймаємо  $C_{\text{зв}} = 2,2 \text{ нФ}$ .

Для ВЧ-розв'язки живлення каскаду  $C_{\text{бл}} = 0,01 \dots 0,1 \text{ мкФ}$ . Приймаємо  $C_{\text{бл}} = 0,047 \text{ мкФ}$ .

Розрахунок стабілізатора напруги DA1 78L05. DA1 формує стабілізовану напругу живлення задавального генератора  $U_{\text{вих}} = 5 \text{ В}$ .

Приймаємо вхідну напругу  $U_{\text{вх}} = 12 \text{ В}$ . Сумарний струм споживання каскадів:

$$I_{\Sigma} = I_{VT1} + I_{VT2} + I_{\text{інш}}$$

$$I_{\Sigma} = 2 \text{ мА} + 5 \text{ мА} + 8 \text{ мА} = 15 \text{ мА}$$

Потужність, що розсіюється стабілізатором:

$$P_{DA1} = (U_{\text{вх}} - U_{\text{вих}})I_{\Sigma}$$

$$P_{DA1} = (12 - 5) \cdot 15 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{DA1} = 0,105 \text{ Вт}$$

Це допустиме значення для стабілізатора 78L05.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		37

## 1.7 Обґрунтування вибору елементної бази генератора

Вибір елементної бази генератора виконано з урахуванням робочого діапазону частот, необхідності частотної модуляції, стабільного живлення, достатнього рівня вихідного сигналу та простоти реалізації на доступних дискретних компонентах.

Стабілізатор DA1 типу 78L05 використовується для формування стабільної напруги живлення задаючого генератора та буферних каскадів  $U_{ст} = 5 \text{ В}$ .

Його вибір обґрунтовується тим, що мікросхеми серії L78L забезпечують вихідний струм до 100 мА, мають вбудований захист від короткого замикання та теплового перевантаження. Це достатньо для живлення малопотужних ВЧ-каскадів генератора, сумарний струм яких не перевищує приблизно 50...80 мА. Запас за струмом:

$$K_I = \frac{I_{max}}{I_{спож}} = \frac{100}{50} = 2$$

Отже, стабілізатор має приблизно двократний запас за струмом.

Потужність розсіювання при вхідній напрузі 12 В:

$$P_{DA1} = (U_{вх} - U_{вих})I$$

$$P_{DA1} = (12 - 5) \cdot 0,05 = 0,35 \text{ Вт}$$

Таким чином, 78L05 забезпечує стабільне живлення ВЧ-частини генератора та зменшує частотний дрейф, спричинений коливаннями напруги живлення.

Як VT1 вибрано BF245 як активний елемент задаючого LC-генератора. Цей транзистор є малOSHумним JFET, придатним для роботи у ВЧ-каскадах.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		38

Для BF245 характерні малі паразитні ємності: вхідна ємність близько 3 пФ, зворотна передавальна ємність близько 0,7 пФ, вихідна ємність близько 0,9 пФ. Крім того, гранична частота за провідністю становить близько 700 МГц, що значно перевищує верхню робочу частоту генератора 108 МГц.

Запас за частотою:

$$K_f = \frac{f_T}{f_{max}} = \frac{700}{108} \approx 6,5$$

Такий запас є достатнім для стійкої генерації на всіх піддіапазонах.

Мала вхідна ємність BF245 є особливо важливою, оскільки вона входить до сумарної ємності коливального контуру. Чим менша паразитна ємність транзистора, тим менший її вплив на налаштування частоти та стабільність генератора.

Як VT2 кибрано ВЧ-транзистор BF506. Він використовується як буферний ВЧ-каскад між задаючи генератором і вихідною частиною. Його основне призначення – зменшення впливу навантаження на LC-контур.

BF506 є ВЧ PNP-транзистором, призначеним для застосування в генераторах, змішувачах і ВЧ-підсилювачах. Для нього вказується гранична частота порядку 550 МГц, коефіцієнт шуму близько 3 дБ при роботі на сотнях мегагерц і мала колекторно-емітерна ємність близько 0,12 пФ.

Запас за частотою:

$$K_f = \frac{550}{108} \approx 5,1$$

Отже, VT2 може працювати у всьому заданому діапазоні генератора без істотного зниження підсилення.

Транзистор VT3 вибрано типу BD233. Він застосовується у вихідному каскаді як підсилювач струму або драйвер навантаження. Транзистори серії

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		39

BD233 мають допустимий постійний струм колектора до 2 А, імпульсний струм до 6 А, допустиму напругу колектор-емітер 45 В, а розсіювана потужність залежно від корпусу та умов охолодження може становити до десятків ват при охолодженні або близько одиниць ват без радіатора.

Для даного генератора живлення становить  $U_{ж} = 9 \dots 12 \text{ В}$ , що значно менше допустимої напруги BD233  $U_{CEmax} = 45 \text{ В}$ . Запас за напругою:

$$K_U = \frac{45}{12} = 3,75$$

Якщо робочий струм вихідного каскаду прийняти  $I_C = 50 \text{ мА}$ , то запас за струмом становить:

$$K_I = \frac{2}{0,05} = 40$$

Тому BD233 має значний запас за струмом і потужністю, що підвищує надійність вихідного каскаду.

Транзистор VT4 вибрано типу 2SC3801. Він використовується у ВЧ-вихідному каскаді для формування сигналу на вихідному роз'ємі XW1. За довідковими даними, 2SC3801 є кремнієвим NPN-транзистором з допустимою напругою колектор-база 30 В, максимальним струмом колектора 30 мА і допустимою потужністю розсіювання близько 0,25 Вт.

Для малопотужного лабораторного генератора такі параметри є достатніми, оскільки вихідний каскад працює з невеликою амплітудою сигналу та струмами порядку одиниць або десятків міліампер.

Запас за напругою при живленні 12 В:

$$K_U = \frac{30}{12} = 2,5$$

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		40

Максимальна допустима потужність  $P_{max} = 0,25$  Вт. При робочому струмі  $I_C = 10$  мА і напрузі  $U_{CE} = 6$  В:

$$P = U_{CE} I_C$$

$$P = 6 \cdot 0,01 = 0,06 \text{ Вт}$$

Запас за потужністю:

$$K_P = \frac{0,25}{0,06} \approx 4,2$$

Отже, VT4 має достатній запас за потужністю для роботи у вихідному ВЧ-каскаді.

Варикап VD1 вибрано типу ВВ104. Він є основним елементом електронного керування частотою генератора. Його ємність змінюється залежно від прикладеної зворотної напруги, що дозволяє здійснювати плавне налаштування частоти та частотну модуляцію.

Для ВВ104 характерний діапазон ємності приблизно  $C_{VD1} = 11 \dots 39$  пФ при допустимій зворотній напрузі до 30 В. Також для нього вказується малий послідовний опір близько 0,4 Ом і добротність близько 200.

Частота LC-контурів визначається:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Зміна ємності варикапа забезпечує зміну сумарної ємності контуру:

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		41

$$C_{\Sigma} = C_0 + C_{VD1}$$

Коефіцієнт перекриття за ємністю:

$$K_C = \frac{C_{max}}{C_{min}} = \frac{39}{11} \approx 3,55$$

Коефіцієнт перекриття за частотою:

$$K_f = \sqrt{K_C}$$
$$K_f = \sqrt{3,55} \approx 1,88$$

Цього достатньо для плавної перебудови частоти в межах кожного піддіапазону, а також для реалізації частотної модуляції зовнішнім сигналом.

Діоди VD2, VD3, VD4 вибрано типу ГД507А. Вони використовуються у допоміжних колах формування, обмеження чи детектування сигналу. ГД507А є германієвим мікросплавним імпульсним діодом, призначеним для роботи в імпульсних пристроях. Для нього характерне мале пряме падіння напруги не більше приблизно 0,5 В при струмі 5 мА.

Мале пряме падіння напруги є важливою перевагою для малосигнальних ВЧ-кіл:

$$U_F \approx 0,3 \dots 0,5 \text{ В}$$

На відміну від кремнієвих діодів, у яких:

$$U_F \approx 0,6 \dots 0,7 \text{ В}$$

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		42

германієві діоди починають проводити струм при меншій амплітуді сигналу. Тому вони придатні для обмеження, детектування та стабілізації рівня ВЧ-сигналів малої амплітуди.

Діод VD5 вибрано типу 1N4007. Він застосовується у колі живлення для захисту пристрою від переполюсовки або імпульсних перенапруг. 1N4007 є випрямним кремнієвим діодом із максимальною повторюваною зворотною напругою 1000 В і допустимим середнім прямим струмом 1 А.

Для генератора з напругою живлення  $U_{ж} = 9 \dots 12 \text{ В}$  запас за зворотною напругою становить:

$$K_U = \frac{1000}{12} \approx 83$$

За струмом при споживанні до 100 мА:

$$K_I = \frac{1}{0,1} = 10$$

Отже, 1N4007 має значний запас за напругою та струмом і забезпечує надійний захист кола живлення.

Таким чином, обрана елементна база відповідає вимогам до лабораторного генератора діапазону 0,06-108 МГц. Транзистори BF245 і BF506 забезпечують роботу задаючого та буферного ВЧ-каскадів із достатнім частотним запасом. Варикап ВВ104 дозволяє реалізувати плавне електронне налаштування частоти та частотну модуляцію. Транзистори BD233 і 2SC3801 забезпечують формування вихідного сигналу з достатнім запасом за струмом і потужністю. Стабілізатор 78L05 підвищує стабільність частоти за рахунок стабілізації живлення, а діоди ГД507А та 1N4007 виконують функції формування, обмеження і захисту сигналів та живлення.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		43

1.8 Аналіз друкованої плати генератора та розрахунок провідного рисунка

Друкована плата генератора має габаритні розміри:

$$A \times B = (125 \times 75) \text{ мм}$$

Площа плати:

$$S_{\text{пл}} = A \cdot B$$

$$S_{\text{пл}} = 125 \cdot 75 = 9375 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{пл}} = 93,75 \text{ см}^2$$

Плата виконана як одностороння друкована плата з провідним рисунком на одній стороні. На платі передбачено чотири монтажні отвори діаметром:

$$d_{\text{отв}} = 2,6 \pm 0,2 \text{ мм}$$

Таке виконання є доцільним для лабораторного генератора, оскільки забезпечує механічну жорсткість конструкції та можливість кріплення плати до корпусу приладу.

Оцінка компоновання друкованої плати. Перемикач діапазонів і контурні котушки розміщені у лівій частині плати. Це відповідає схемі генератора, оскільки котушки L1-L10 повинні мати мінімальну довжину з'єднань з перемикачем SA1 та контуром генератора.

ВЧ-частина генератора розміщена у центральній частині плати. Вихідні каскади та роз'єм виходу XW1 розташовані ближче до правої частини плати.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		44

Такий поділ є правильним, оскільки зменшується паразитний зв'язок між вихідним каскадом і задаючим генератором.

Для діапазону до 108 МГц особливо важливо зменшити паразитні індуктивності провідників. Довжина хвилі на верхній частоті становить:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$
$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{108 \cdot 10^6}$$
$$\lambda \approx 2,78 \text{ м}$$

Критерієм короткого ВЧ-з'єднання можна вважати:

$$l \leq \frac{\lambda}{20}$$
$$l \leq \frac{2,78}{20} = 0,139 \text{ м}$$
$$l \leq 139 \text{ мм}$$

Максимальні довжини провідників на платі менші за це значення, тому в першому наближенні їх можна розглядати як зосереджені елементи. Однак для контурів генератора бажано, щоб довжина провідників була не більше:

$$l = 5 \dots 20 \text{ мм}$$

оскільки навіть невелика паразитна індуктивність впливає на частоту генерації.

Розрахунок мінімальної ширини провідників за струмом. Для друкованого провідника ширина визначається за допустимою густиною струму:

$$b = \frac{I}{j \cdot h}$$

де  $b$  – ширина провідника, м;  $I$  – струм провідника, А;  $j$  – допустима густина струму, А/мм<sup>2</sup>;  $h$  – товщина мідної фольги, м.

Приймаємо стандартну товщину фольги:

$$h = 35 \text{ мкм} = 35 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Для малопотужної апаратури приймаємо допустиму густину струму:

$$j = 20 \text{ А/мм}^2$$

Сумарний струм споживання генератора приймаємо:

$$I_{\Sigma} = 50 \text{ мА} = 0,05 \text{ А}$$

Тоді мінімальна ширина провідника живлення:

$$b = \frac{0,05}{20 \cdot 35 \cdot 10^{-3}}$$

$$b = 0,071 \text{ мм}$$

Одержане значення є дуже малим, тому ширина провідників вибирається не за струмом, а за технологічними та ВЧ-вимогами.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		46

Приймаємо:

$$b_{\text{СИГН}} = 0,3 \dots 0,5 \text{ мм}$$

$$b_{\text{ЖИВЛ}} = 0,8 \dots 1,5 \text{ мм}$$

$$b_{\text{ЗЕМЛ}} = 1,5 \dots 3,0 \text{ мм}$$

Для даної плати прийнято:

$$b_{\text{СИГН}} = 0,4 \text{ мм}$$

$$b_{\text{ЖИВЛ}} = 1,0 \text{ мм}$$

$$b_{\text{ЗАГ}} = 2,0 \text{ мм}$$

Розрахунок опору друкованого провідника. Опір мідного провідника визначається:

$$R = \rho \frac{l}{bh}$$

де  $\rho = 0,0175 \text{ } \Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м}$  – питомий опір міді;  $l$  – довжина провідника, м;  $b$  – ширина провідника, мм;  $h$  – товщина міді, мм.

Для провідника живлення довжиною:

$$l = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$$

при:

$$b = 1 \text{ мм}, \quad h = 0,035 \text{ мм}$$

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		47

одержимо:

$$R = 0,0175 \frac{0,1}{1 \cdot 0,035}$$

$$R = 0,05 \text{ Ом}$$

Падіння напруги при струмі 50 мА:

$$\Delta U = IR$$

$$\Delta U = 0,05 \cdot 0,05 = 0,0025 \text{ В}$$

$$\Delta U = 2,5 \text{ мВ}$$

Таке падіння напруги є незначним і не впливає на роботу генератора.

Розрахунок провідників вихідного ВЧ-сигналу. Вихід генератора ХW1 працює у високочастотному режимі. Для зменшення втрат і паразитної індуктивності вихідний провідник повинен бути коротким і достатньо широким.

Паразитна індуктивність прямого друкованого провідника орієнтовно становить:

$$L_{\text{пров}} \approx 1 \text{ нГн/мм}$$

Для довжини вихідного провідника:

$$l = 30 \text{ мм}$$

одержимо:

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		48

$$L_{\text{пров}} \approx 30 \text{ нГн}$$

Його реактивний опір на частоті 108 МГц:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2\pi \cdot 108 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-9}$$

$$X_L \approx 20,4 \text{ Ом}$$

Це значна величина для ВЧ-каскаду. Тому вихідні провідники потрібно робити максимально короткими, а загальний провід розміщувати поруч із сигнальним. Рекомендовано:

$$l_{\text{вих}} \leq 20 \dots 30 \text{ мм}$$

$$b_{\text{вих}} = 0,8 \dots 1,5 \text{ мм}$$

Приймаємо  $b_{\text{вих}} = 1,0 \text{ мм}$ .

Розрахунок паразитної ємності між провідниками. Паразитна ємність між сусідніми провідниками впливає на стабільність частоти, особливо у контурі генератора. Її можна оцінити за формулою:

$$C_{\text{пар}} \approx \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}$$

де  $S$  – взаємна площа провідників;  $d$  – відстань між ними;  $\varepsilon_r \approx 4,5$  – діелектрична проникність склотекстоліту.

Для двох паралельних провідників довжиною 20 мм, шириною 0,5 мм та відстанню 0,5 мм:

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		49

$$S = 20 \cdot 0,5 = 10 \text{ мм}^2 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$d = 0,5 \text{ мм} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$C_{\text{пар}} = 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4,5 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-6}}{0,5 \cdot 10^{-3}}$$

$$C_{\text{пар}} \approx 0,8 \text{ пФ}$$

Для ВЧ-генератора така ємність є суттєвою, оскільки ємність контуру на верхніх діапазонах становить одиниці або десятки пікофарад. Тому у контурній частині плати необхідно витримувати збільшені проміжки між провідниками:

$$s_{\text{ВЧ}} \geq 1 \text{ мм}$$

Для низькочастотних і живильних кіл достатньо:

$$s = 0,3 \dots 0,5 \text{ мм}$$

Розрахунок технологічних зазорів. Для плати з максимальною напругою живлення до 12 В електрична міцність не є критичною. Мінімальний зазор між провідниками можна визначити як:

$$s_{\text{min}} = 0,2 \dots 0,3 \text{ мм}$$

Однак через роботу на високих частотах доцільно збільшити зазори в контурній частині  $s_{\text{контур}} = 1 \dots 2 \text{ мм}$ .

Для кіл живлення і низькочастотної модуляції  $s_{\text{НЧ}} = 0,5 \text{ мм}$ .

Для вихідного ВЧ-каскаду  $s_{\text{ВЧ}} = 0,8 \dots 1,0 \text{ мм}$ .

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		50

Провідний рисунок плати загалом відповідає вимогам до ВЧ-пристроїв середньої складності. Позитивними особливостями є:

- короткі з'єднання у зоні перемикача діапазонів і котушок;
- розділення задавального генератора та вихідного каскаду;
- винесення вихідного вузла ближче до краю плати;
- наявність достатнього місця для монтажних отворів;
- відсутність надмірно вузьких довгих провідників у силових колах.

Таким чином, плата розміром 75×125 мм забезпечує достатню площу для розміщення елементів лабораторного генератора діапазону 0,06...108 МГц. Розраховані параметри провідного рисунка забезпечують допустиме падіння напруги, малий активний опір провідників і прийнятні паразитні параметри для роботи генератора у заданому частотному діапазоні.

#### 1.9 Аналіз конструкції друкованого вузла проєктованого генератора

Конструкція вузла передбачає монтаж елементів у отвори (ТНТ-монтаж), що забезпечує високу механічну міцність, простоту виготовлення та можливість багаторазового ремонту і налагодження.

На платі передбачено чотири кріпильні отвори, розташовані по кутах плати для її закріплення в корпусі генератора.

На кресленні витримано функціональний поділ друкованого вузла на декілька окремих зон.

1) Блок перемикачання діапазонів. У лівій верхній частині плати розташовані котушки індуктивності L1–L10 та галетний перемикач SA1. Саме цей вузол формує частото задаючий контур генератора.

Розміщення котушок безпосередньо біля перемикача дозволяє мінімізувати довжину ВЧ-з'єднань, зменшити паразитну індуктивність монтажу, знизити втрати енергії в контурі.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		51

2) Частотоподаючий генератор. У центральній частині друкованого вузла розміщені елементи: VT1 (BF245), VD1 (BB104), R1–R8, C1, C5, C7, C8, C9, перемикач SA2, підлаштувальний конденсатор C3.

Ця зона є найбільш критичною щодо паразитних параметрів.

Особливо важливими є короткі виводи варикапа VD1, короткі з'єднання між VT1 і контуром, мінімальна площа замкнених струмових контурів.

Підлаштувальний конденсатор C3 винесено у верхню праву частину ВЧ-блоку. Таке розміщення забезпечує зручність настроювання, відсутність механічного впливу на котушки, можливість калібрування генератора після складання.

3) Буферний каскад. Поруч із задавальним генератором знаходиться транзистор VT2=BF506 з елементами R10, R12, C12, C13.

Буферний каскад виконує дві функції:

- розв'язує задавальний генератор від навантаження;
- підвищує стабільність частоти.

Розташування VT2 безпосередньо після VT1 дозволяє мінімізувати паразитні ємності між каскадами.

4) Вихідний підсилювач. У правій нижній частині плати розташовані VT3=BD233 та VT4=2SC3801, а також VD2, VD3, R11–R19, C11–C18. Ця зона формує вихідний сигнал генератора та його узгодження із зовнішнім навантаженням.

Вихідний каскад максимально віддалений від частотоподавального генератора. Таке рішення дозволяє зменшити паразитний зворотний зв'язок, самозбудження, вплив вихідного навантаження на частоту генерації.

5) Блок живлення. У лівій нижній частині плати розташовані DA1=78L05, VD5=1N4007, C2, C4, C6, C10.

Цей вузол формує стабілізовану напругу живлення  $U_{ст}=5$  В.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		52

Розміщення блоку живлення на краю плати забезпечує простоту підключення джерела живлення, зменшення рівня пульсацій у ВЧ-частині, покращення електромагнітної сумісності.

Аналіз щільності монтажу. На платі встановлено 4 транзистори, 1 стабілізатор, 5 діодів, 19 резисторів, 18 конденсаторів, 10 котушок, 3 роз'єми, 2 перемикачі. Загальна кількість елементів  $N = 62$ .

Щільність монтажу:

$$D = \frac{N}{S}$$

$$D = \frac{62}{93,75}$$

$$D = 0,66 \text{ ел./см}^2$$

Для лабораторної апаратури це вважається середньою щільністю монтажу.

Аналіз теплового режиму. Основними джерелами тепла є:

1) DA1 – розсіювана потужність  $P_{DA1} = 0,1 \dots 0,2 \text{ Вт}$  ;

2) VT3 – максимальна потужність  $P_{VT3} \approx 0,3 \dots 0,5 \text{ Вт}$  ;

3) VT4 – максимальна потужність  $P_{VT4} \approx 0,2 \dots 0,3 \text{ Вт}$ .

Сумарна теплова потужність:

$$P_{\Sigma} \approx 1 \text{ Вт}$$

Площа плати  $93,75 \text{ см}^2$  достатня для природного охолодження без застосування радіаторів.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		53

Аналіз технологічності конструкції. Перевагами розробленої конструкції є наступні: одностороння друкована плата, мінімальна кількість перехрещень провідників, зручний доступ до органів настроювання, чітке функціональне зонування, хороша ремонтпридатність.

Оцінка конструкції для роботи на 108 МГц. Для верхньої робочої частоти  $f_{max} = 108 \text{ МГц}$  паразитна індуктивність друкованого провідника становить приблизно  $L_{\text{п}} = 1 \text{ нГн/мм}$ . Для провідника довжиною  $l = 15 \text{ мм}$  одержимо  $L_{\text{п}} = 15 \text{ нГн}$ .

Реактивний опір:

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2\pi \cdot 108 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^{-9}$$

$$X_L \approx 10,2 \text{ Ом}$$

Тому при налагодженні генератора на верхніх діапазонах необхідно враховувати вплив монтажноі індуктивності та ємності.

#### 1.10 Оцінювання електромагнітної сумісності лабораторного генератора

Електромагнітна сумісність генератора характеризує його здатність працювати у заданих умовах без створення недопустимих завад іншим пристроям та без погіршення власних параметрів під дією зовнішніх електромагнітних впливів.

Оскільки генератор працює у діапазоні  $f=0,06-108 \text{ МГц}$ , він є потенційним джерелом високочастотних завад, особливо на верхніх піддіапазонах.

У розробленому генераторі можливими джерелами завад є:

- LC-контур задаючого генератора;

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		54

- каскади на транзисторах VT1, VT2, VT3, VT4;
- вихідний ВЧ-провідник XW1;
- перемикач діапазонів SA1;
- провідники живлення;
- зовнішні кабелі, підключені до XS1, XS2, XS3 та XW1.

Найбільш критичними є кола генератора на VT1 та вихідний каскад, оскільки в них присутні високочастотні напруги.

Зовнішній кабель виходу XW1 може працювати як антена. Для зменшення випромінювання необхідно використовувати коаксіальний кабель з хвильовим опором  $Z_0 = 50 \text{ Ом}$ .

Довжина неекранованої частини кабелю повинна бути мінімальною:

$$l_{\text{неекр}} \leq 10 \text{ мм}.$$

Вхідні роз'єми XS1 і XS2 також необхідно підключати екранованими проводами, оскільки через них можуть проникати зовнішні наведення.

Для покращення електромагнітної сумісності генератора необхідно додатково передбачити:

- Екранування ВЧ-вузла генератора металевим екраном.
- Використання металевого корпусу, з'єднаного із загальним проводом.
- Мінімальну довжину провідників у колах LC-контурі.
- Розміщення блокувальних конденсаторів безпосередньо біля виводів живлення активних елементів.
- Використання коаксіального кабелю для вихідного сигналу.
- Встановлення прохідних конденсаторів або феритових кілець у колах живлення.
- Зменшення площі струмових петель на друкованій платі.

						ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат			55

## 1.11 Висновки до розділу 1

В розділі було проаналізовано технічні характеристики проєктованого генератора та основні підходи до побудови лабораторних генераторів сигналів, зокрема особливості побудови генераторів на LC-контурних, на кварцових резонаторах, генераторів із фазовою автопідстройкою частоти, DDS-генераторів, генераторів на основі мікроконтролерів. Також проведено огляд схемних рішень прототипів. Для розроблюваного лабораторного генератора було обрано схему LC-генератора з варикапним керуванням частотою. На основі цього було розроблено схему структурну та електричну. Схема електрична проєктованого генератора поєднує LC-задаючий генератор із перемиканням індуктивностей, електронне керування частотою за допомогою варикапа, стабілізоване живлення, буферизацію та підсилення високочастотного сигналу. Це дало можливість отримати стабільний лабораторний генератор сигналів у широкому діапазоні частот 0,06–108 МГц із можливістю частотної модуляції та роботи в режимі генератора частоти, що коливається.

Також було проведено розрахунки елементів генератора, обґрунтовано вибір їх конкретних типів. Було проведено розрахунки та розробку топології друкованої плати та компоновку друкованого вузла. Встановлено, що розроблений друкований вузол лабораторного генератора сигналів має раціональне компонування елементів, що відповідає вимогам до ВЧ-пристроїв діапазону 0,06–108 МГц. Функціональні вузли плати логічно розділені, контурні елементи розміщені компактно, а вихідні каскади віддалені від задаючого генератора. Конструкція характеризується достатньою технологічністю, ремонтпридатністю та забезпечує необхідні умови для стабільної роботи генератора в усьому заданому діапазоні частот.

Також проведено цінювання електромагнітної сумісності лабораторного генератора та запропоновано шляхи її забезпечення.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		56

## 2. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

2.1 Планування заходів з охорони праці. Види планування та контролю стану охорони праці. Виявлення, оцінка та зменшення ризиків небезпечних подій

Метою планування заходів з охорони праці є визначення необхідних вкладень у заходи з охорони праці для ефективного впливу на стан охорони праці.

Система планів з охорони праці окремого підприємства може включати:

- перспективне планування (на період, більший одного року) ;
- поточне планування (на рік) ;
- оперативне планування (детальні плани, спрямовані на вирішення конкретних питань працезахоронної діяльності на підприємстві в короткостроковому, до одного року, періоді).

Планування в охороні праці може включати:

- визначення цілей діяльності з охорони праці на підприємстві та засобів їх досягнення;
- вибір методів і базових показників, за допомогою яких може здійснюватися оцінка необхідних вкладень в охорону праці;
- розрахунок суми вкладень у заходи з охорони праці та раціональний розподіл цієї суми за напрямками діяльності;
- забезпечення організації контролю виконання плану (при необхідності здійснення коригування запланованих показників) ;
- здійснення постійного контролю умов і безпеки праці на підприємстві та оперативне реагування на відхилення від нормативних вимог.

Перспективне планування вміщує найбільш важливі, трудомісткі і довгострокові за терміном виконання заходи з охорони праці, виконання яких, як правило, вимагає сумісної роботи кількох підрозділів підприємства.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		57

Можливість виконання заходів перспективного плану повинна бути підтверджена обґрунтованим розрахунком необхідного матеріально-технічного забезпечення і фінансових витрат з зазначенням джерел фінансування.

До перспективних планів належить комплексний план покращення умов праці і санітарно-оздоровчих заходів, що передбачає створення, відповідно до нормативних актів з охорони праці, умов праці, пов'язаних з перспективними змінами підприємства. Таке планування, як правило, розраховане на термін від 2 до 5 років. Реалізація цих планів забезпечується через річні плани номенклатурних заходів з охорони праці, які вносяться до угоди, що є невід'ємною частиною колективного договору.

Поточне планування здійснюється у межах календарного року через розроблення відповідних заходів у розділі «Охорона праці» колективного договору.

Поточні плани передбачають реалізацію заходів із покращення умов праці, створення кращих побутових і соціальних умов на виробництві. Ці плани обов'язково забезпечуються фінансуванням згідно з розробленими кошторисами.

Питання охорони праці можуть віддзеркалюватися в інших поточних планах, які підприємства та організації можуть складати на вимогу трудових колективів:

- план соціального розвитку колективу;
- наукової організації праці;
- механізації важких і ручних робіт;
- охорони праці жінок;
- підготовки підприємства до робіт в осінньо-зимовий період;
- підвищення культури виробництва та ін.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		58

Оперативне планування роботи з охорони праці здійснюється за підсумками контролю стану охорони праці в структурних підрозділах і на підприємстві в цілому.

Оперативні плани складаються для швидкого виправлення виявлених в процесі державного, відомчого і громадського контролю недоліків в стані охорони праці, а також для ліквідації наслідків аварій або стихійного лиха.

Оперативні заходи щодо усунення виявлених недоліків зазначаються безпосередньо у наказі власника підприємства, який видається за підсумками контролю, або у плані заходів, як додатку до наказу.

Організаційно-методичну роботу щодо складання перспективних, поточних та оперативних планів здійснює служба (спеціаліст) охорони праці.

## 2.2 Здійснення заходів щодо зниження дії радіоактивних випромінювань

Оцінка уразливості лабораторного блока живлення від радіоактивного забруднення і проникаючої радіації починається з визначення максимальних очікуваних значень рівня радіації і дози проникаючої радіації. За показник стійкості об'єкта приймається допустима доза радіації, яку можуть одержати люди за час робочої зміни.

Для характеристики радіоактивного забруднення застосовують ступінь (щільність) забруднення, який характеризується поверхневою щільністю забруднення радіонуклідами і вимірюється активністю радіонукліда на одиницю площі (об'єму). Основною дозиметричною величиною, за допомогою якої оцінюється дія радіації, є доза випромінювання - кількість енергії, яка поглинута одиницею маси опроміненого середовища. Експозиційна доза визначається тільки для повітря при гама і рентгенівському випромінюванні. Поглинута доза визначається для речовин. Місцевість, що забруднюється внаслідок радіаційної аварії, за щільністю забруднення радіонуклідами умовно поділяють на зони: зону відчуження, зону

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		59



Вплив радіації на напівпровідниковий діод залежить від того, який ефект використаний в основі його роботи, виду матеріалу, питомого опору його, а також конструктивних особливостей діода. Оскільки в підсилювачі використані лише кремнієві діоди то розглянемо лише їхню реакцію.

Під впливом нейтронної радіації провідність точково-контактних діодів зменшується в прямому і зворотному напрямках; у площинних діодів провідність у прямому напрямку також зменшується. Пошкодження діодів обумовлюється зміною характеристик провідності в прямому напрямку. Вплив  $\gamma$ -опромінення викликає оборотні зміни зворотного струму.

Характеристика впливу радіоактивного забруднення на транзистор. Вплив опромінення викликає порушення кристалічної решітки матеріалу (основний ефект) і іонізацію (вторинний ефект). Внаслідок цього змінюються параметри напівпровідникових матеріалів – час життя основних носіїв, питома провідність, швидкість поверхневої рекомбінації дірок з електронами. Внаслідок зміни вищевказаних параметрів зменшується коефіцієнт підсилення по струму, збільшується зворотний струм колектора, зростають шуми транзистора.

Іонізація, створювана радіацією, інjektується надлишок носіїв у транзистор, внаслідок чого виникають значні шуми. Зміна коефіцієнта посилення є незворотнім, а зміни зворотного струму можуть бути оборотними і необоротними. Як бачимо змінюється основний із електричних параметрів підсилювача – коефіцієнт підсилення, а отже вихідна потужність.

Потрібно зазначити, що більшу радіаційну стійкість мають германієві транзистори в порівнянні з кремнієвими.

До основних методів захисту радіоелектронної апаратури відносять такі конструктивні рішення:

- правильно підбирати і розташовувати елементи;
- ширше використовувати керамічні ізолятори в частинах перемикачів, роз'ємах, гніздах і т.д.;

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		61



## Висновки

В кваліфікаційній роботі проведено розроблення лабораторного генератора сигналів діапазону 0,06-108 МГц.

Насам перед було проаналізовано технічні характеристики проєктованого генератора та основні підходи до побудови лабораторних генераторів сигналів, зокрема особливості побудови генераторів на LC-контурних, на кварцових резонаторах, генераторів із фазовою автопідстройкою частоти, DDS-генераторів, генераторів на основі мікроконтролерів. Також проведено огляд схемних рішень прототипів. Для розроблюваного лабораторного генератора було обрано схему LC-генератора з варикапним керуванням частотою. На основі цього було розроблено схему структурну та електричну. Схема електрична проєктованого генератора поєднує LC-задаючий генератор із перемиканням індуктивностей, електронне керування частотою за допомогою варикапа, стабілізоване живлення, буферизацію та підсилення високочастотного сигналу. Це дало можливість отримати стабільний лабораторний генератор сигналів у широкому діапазоні частот 0,06–108 МГц із можливістю частотної модуляції та роботи в режимі генератора частоти, що коливається.

Також було проведено розрахунки елементів генератора, обґрунтовано вибір їх конкретних типів. Було проведено розрахунки та розробку топології друкованої плати та компоновку друкованого вузла. Встановлено, що розроблений друкований вузол лабораторного генератора сигналів має раціональне компонування елементів, що відповідає вимогам до ВЧ-пристроїв діапазону 0,06–108 МГц. Функціональні вузли плати логічно розділені, контурні елементи розміщені компактно, а вихідні каскади віддалені від задаючого генератора. Конструкція характеризується достатньою технологічністю, ремонтпридатністю та забезпечує необхідні умови для стабільної роботи генератора в усьому заданому діапазоні частот.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		63

Також проведено цінювання електромагнітної сумісності лабораторного генератора та запропоновано шляхи її забезпечення.

Проведено аналіз охорони праці та безпеки життєдіяльності.

					ГЮО 2.893.001 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат		64





# ДОДАТКИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедру РТ  
\_\_\_\_\_ к.т.н. Дунець В.Л.  
“28” квітня 2026 р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу бакалавра

На тему: «Лабораторний генератор сигналів діапазону 0,06-108 МГц»

Узгоджено:

Керівник кваліфікаційної роботи

Яворський Б.І. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

“ВИКОНАВЕЦЬ”

Студент групи РА-41

Гарасимів Ю.О. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р.

Тернопіль 2026

# 1 НАЗВА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ Й ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ

1.1 Назва: “Лабораторний генератор сигналів діапазону 0,06-108 МГц”

1.2 Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету на затвердження дипломного проекту № 4/7-199 від 28.04.2026 р.).

## 2 ВИКОНАВЕЦЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

2.1. Студент Гарасимів Ю.О. групи РА-41, кафедри радіотехнічних систем, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

## 3 МЕТА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою роботи є розробка лабораторного генератора сигналів діапазону 0,06-108 МГц що включає в себе:

- вибір апаратного забезпечення для даного пристрою;
- вибір елементної бази розроблювального пристрою;
- розрахунок і вибір компонентів для оптимальної роботи пристрою;
- розробку друкованої плати та друкованого вузла.

## 4 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

Пристрій повинен забезпечувати ряд характеристик, а саме:

- 1) Діапазон робочих частот – 0,06...108 МГц;
- 2) Кількість піддіапазонів – 10;
- 3) Тип вихідного сигналу – синусоїдний;
- 4) Номінальна вихідна амплітуда – 0,1...2 В;
- 5) Опір навантаження – 50 Ом або  $\geq 1$ кОм;
- 6) Нестабільність частоти – не більше  $\pm 0,1\%$ ;
- 7) Похибка встановлення частоти – не більше  $\pm 2\%$ ;
- 8) Девіація частоти при ЧМ – не менше  $\pm 75$  кГц;

- 9) Генератор повинен працювати від джерела постійної напруги 9...12;
- 10) Максимальний струм споживання – 100 мА;
- 11) Максимальна споживана потужність – 1,5 Вт.

## 5 ВИМОГИ ДО ДОКУМЕНТАЦІЇ

5.1 Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

5.2. Комплект конструкторської документації повинен складатися з:

- Пояснювальна записка;
- Структурна схема пристрою;
- Принципова схема пристрою;
- Друкована плата;
- Друкований вузол.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Таблиця 6.1 - Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи

№ етапу	Назва етапу виконання	Термін виконання
1	Отримання завдання на виконання роботи	28.04.2026
2	Аналіз отриманого завдання	05.05.2026
3	Виконання розділу 1	15.05.2026
4	Виконання розділу 2	26.05.2026
5	Оформлення пояснювальної записки	02.06.2026
6	Оформлення презентаційного матеріалу	04.06.2026
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на антиплагіат	06.06.2026
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи	11.06.2026
9	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026

## ДОДАТКОВІ УМОВИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

.1 Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.







Форма	Зона	Поз.	Найменування	Найменування	Кіл.	Примітка
				<b><u>Документація</u></b>		
A2			ГЮО 3.893.001 СК	Складальне креслення		
A2			ГЮО 3.893.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
				<b><u>Деталі</u></b>		
		1	ГЮО 7.102.001	Плата друкована	1	
				<b><u>Стандартні вироби</u></b>		
		2	ГЮО 4.001.001	Прокладка	2	
				<b><u>Інші вироби</u></b>		
		3		AL0307 82,7 мГн	1	L1
		4		AL0307 18,5 мГн	1	L2
		5		AL0307 4,13 мГн	1	L3
		6		AL0307 922 мкГн	1	L4
		7		AL0307 206 мкГн	1	L5
		8		AL0307 46 мкГн	1	L6
		9		AL0307 10,3 мкГн	1	L7
		10		AL0307 2,29 мкГн	1	L8
		11		AL0307 0,512 мкГн	1	L9
		12		AL0307 0,114 мкГн	1	L10
				<b><u>Діоди</u></b>		
		13		BB104	1	VD1
		14		ГД507А	3	VD2-VD4
		15		1N4007	1	VD5
				<b><u>Конденсатори</u></b>		
		16		К10-17-16-Н90-0,1 мкФ±5%	5	C1,C7,C9-C11
				ГЮО 2.893.001		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		
Розроб.		Гарасимів Ю.О.			<b>Лім.</b>	<b>Арк.</b>
Перевір.		Яворський Б.І.				<b>Аркушів</b>
Н. Контр.		Хвостівська Л.В.				1
Затверд.		Дунець В.Л.			2	
Рецензент		Дедів Л.Є.			ТНТУ, гр. РА-41	
Друкований вузол						



