

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

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

Діапазонний програмований кварцовий генератор

Назва теми

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр, назва

Освітня програма Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі

Назва

Шифр КПТР. 021028.01.07 ПЗ

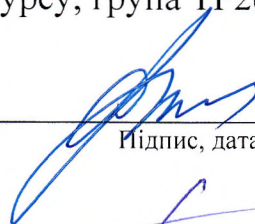
Виконав: здобувач 3 курсу, група ТР2с-21-1


Підпис

Коржан М.М.

Ініціали, прізвище

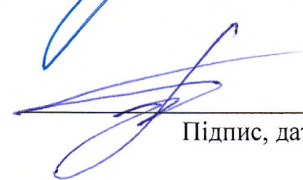
Керівник:

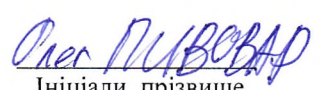

Підпис, дата

д.т.н., проф. Підченко С.К.

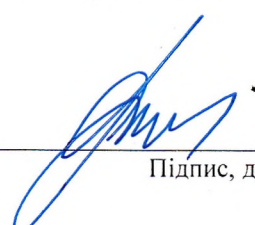
Ініціали, прізвище


Нормоконтроль:


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

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


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

18 червня 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій (ТМІТ)

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр і назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр і назва

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМІТ

Підченко С.К.

Підпис, дата

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ**

Коржану Миколі Миколайовичу

Прізвище, ім'я, по батькові здобувача

1 Тема проекту Діапазонний програмований кварцовий генератор

керівник проекту Підченко Сергій Костянтинівич, д.т.н, професор

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

Затверджено наказом ректора університету від «15» 02 чер. № 8

2 Строк подання студентом проекту на кафедру: _____

3 Вихідні дані до проекту розробити діапазонний кварцовий генератор з цифровим керуванням для діапазону частот 39,1-40,2 МГц; 12 логічних входи - рівень логіки "1" - 1,9...2,5 В, рівень логіки "0" - 0...2 В. Напруга живлення 12,6 В.

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

1. Огляд літературних джерел і патентних матеріалів

2. Розробка структури та алгоритму керування діапазонного кварцового генератора

3. Розробка принципової схеми та програмного забезпечення для діапазонного кварцового генератора

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

1. Схема електрична структурна Е1

2. Схема електрична принципова Е3

6 Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

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


7 Дата видачі завдання 15.02.24р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вибір тематики проекту		
2	Аналіз початкових даних проекту		
3	Написання вступу та 1 розділу		
4	Написання 2 розділу		
5	Оформлення креслення структурної схеми		
6	Написання 3 розділу		
7	Оформлення креслення принципової схеми та демонстраційних плакатів		
8	Компоновка та формування висновків		
9	Корекція зауважень керівника		
10	Підготовка доповіді, оформлення документів супровіду проекту		
11	Подання готового проекту на попередній захист		
12	Корекція зауважень під час попереднього захисту		
13	Рецензування, антиплагіат, підписи		

Здобувач


Підпис


Ініціали, прізвище

Керівник проекту


Підпис


Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проєкту: «Діапазонний програмований кварцовий генератор»

Автор роботи: Коржан Микола Миколайович

Керівник роботи: Підченко Сергій Костянтинович, д.т.н., професор

Пояснювальна записка: 52с., 15 рис., 3 дод., 45 джерел.

Графічна частина: 2 креслення.

ДІАПАЗОННИЙ ГЕНЕРАТОР, КВАРЦ, ПРОГРАМНЕ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ПРИНЦИПОВА СХЕМА

Метою проєкту є розробка програмованого діапазонного кварцового генератора для використання в якості джерела високостабільних коливань для промислових радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій.

Задачі проєкту: аналіз існуючих методів синтезу частоти, програмних засобів керування та сучасної елементної бази; проєктування та моделювання діапазонного кварцового генератора; розробка структурної схеми; розробка алгоритму керування та цифрового інтерфейсу інтеграції пристрою; розробка принципової схеми діапазонного кварцового генератора; розробка та тестування програмного забезпечення для керування діапазонним генератором.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Огляд літературних джерел і патентних матеріалів.....	9
1.1 Огляд конструкційних особливостей та фізичних властивостей кварцових резонаторів	9
1.2 Актуальність використання кварцових генераторів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікацій.....	14
1.2 Огляд патентних матеріалів за темою кваліфікаційного проєкту.....	19
1.3 Аналіз вихідних даних та постановка технічного завдання на проєктування.....	22
Висновки до першого розділу	23
2 Розробка структури та алгоритму керування діапазонного кварцового генератора.....	24
2.1 Розрахунок параметрів кварцового генератора	24
2.2 Розробка схеми електричної структурної діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням.....	29
2.3 Опис методу непрямого синтезу частоти з ФАПЧ	30
Висновки до другого розділу	35
3 Розробка принципової схеми та програмного забезпечення для діапазонного кварцового генератора.....	36
3.1 Вибір та обґрунтування елементної бази для реалізації структурних компонентів діапазонного генератора	36
3.2 Розробка та опис схеми електричної принципової.....	39
3.3 Розробка та опис програмного забезпечення	40
Висновки до третього розділу.....	50
Висновки.....	51

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>				
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розроб.</i>	Коржан М.М.				Діапазонний програмований кварцовий генератор		<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	Підченко С.К.							6	52
<i>Н. Контр.</i>	Стецюк В.І.				ХНУ, ТР2с-21-1				
<i>Затв.</i>	Підченко С.К.								
					Пояснювальна записка				

Перелік джерел посилання.....	52
Додаток А. Схема електрична структурна.....	58
Додаток Б. Схема електрична принципова.....	59
Додаток В. Код програми.....	60

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		7

ВСТУП

Кварцові генератори відомі своєю високою точністю і стабільністю частоти. Використання програмного керування дозволяє підтримувати ці характеристики на високому рівні, забезпечуючи точне налаштування частоти. Програмне керування також дозволяє змінювати частоту генератора в межах заданого діапазону забезпечуючи універсальність такого пристрою. Такі генератори можуть використовуватися в різних галузях техніки, включаючи телекомунікації, радіоелектроніку, медичне обладнання, промислову автоматіку, де потрібним є налаштування на різні частоти для оптимальної роботи пристроїв. Потенційно можливим є зниження витрат на виробництво і обслуговування завдяки меншій кількості компонентів і можливості оновлення програмного забезпечення замість фізичної заміни компонентів. Ці ключові аспекти підтверджують **актуальність теми проєкту**.

Метою проєкту є розробка програмованого діапазонного кварцового генератора для використання в якості джерела високостабільних коливань для промислових радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій.

Задачі проєкту:

1. Аналіз існуючих методів синтезу частоти, програмних засобів керування та сучасної елементної бази.

2. Проєктування та моделювання діапазонного кварцового генератора. Розробка структурної схеми. Розробка алгоритму керування та цифрового інтерфейсу інтеграції пристрою. Розробка структурної схеми пристрою.

3. Розробка принципової схеми діапазонного кварцового генератора. Розробка та тестування програмного забезпечення для керування діапазонним генератором.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		8

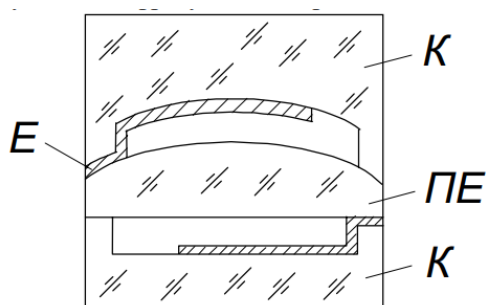
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Огляд конструкційних особливостей та фізичних властивостей кварцових резонаторів

Генератори гармонічних коливань на базі кварцових резонаторів (КР) – кварцові генератори (КР) – широко використовуються в радіотехніці та телекомунікаціях для генерування високостабільних гармонічних сигналів [1]. Висока стабільність вихідного сигналу частоти забезпечується за рахунок електромеханічних коливань, які виникають в КР результаті явищ прямого та зворотного п'єзоефекту [2].

В своєму стандартному виконанні КР складається із кварцової пластини, яка закріплена між двома електродами. В результаті подачі на електроди змінної різниці потенціалів, резонатор починає вібрувати на своїй частоті, значення якої залежить від фізичних параметрів кварцової пластини, таких як геометричні розміри, форма та тип зрізу [3].

На рисунку 1.1 показана конструкція КР, де п'єзоелемент (ПЕ) збуджується електричним полем, створеним в міжелектродному зазорі. Електроди нанесені на кварцові блоки є елементами кріплення ПЕ, які мають ідентичні з ним тип зрізу і азимутальну орієнтацію [1].



Е – електрод,

К - кварцовий блок з напиленням електродом

Рисунок 1.1 – Конструкція КР, який збуджується в міжелектродному зазорі

					КПТР.021028.01.07 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		9

Перевагою такої конструкції є підвищена стабільність параметрів КР протягом часу завдяки відсутності матеріалів електродного покриття, що є джерелом дестабілізуючої механічної напруги, а також дрейфу частоти резонатора в результаті старіння, зміни хімічного складу тощо [1,3].

Зазвичай для аналізу КР зображується у вигляді еквівалентної електричної схеми. На рисунку 1.2 наведені декілька варіантів таких еквівалентних схем КР, зокрема на середніх частотах та надвисоких частотах (НВЧ). Параметри еквівалентних схем подані в таблиці 1.1.

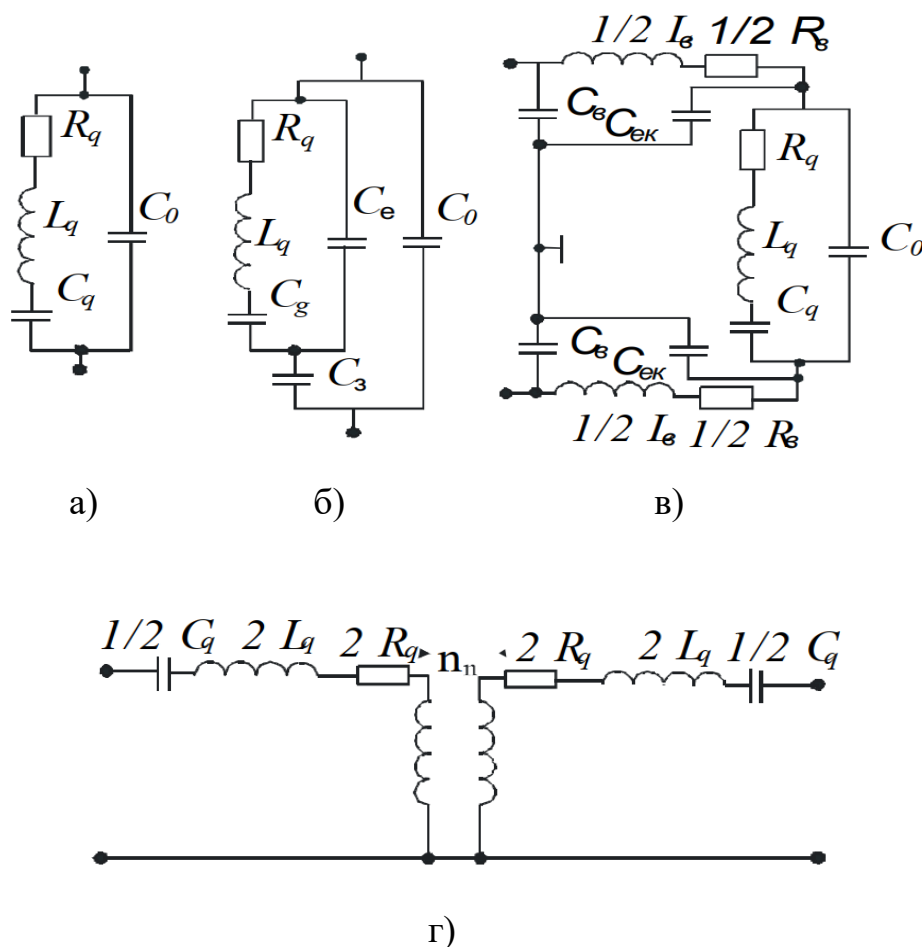


Рисунок 1.3 – Еквівалентні схеми кварцових резонаторів:

двополюсний КР на середніх частотах (а); двополюсний КР на середніх частотах з міжелектродним зазором (б); двополюсний КР НВЧ (в); чотириполюсний КР (г)

Значення параметрів еквівалентних схем КР залежать від його фізичних параметрів, причому ця залежність визначається видом коливань та зрізом ПЕ [1].

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-------	----------	-------	------

Таблиця 1.1 – Параметри еквівалентної схеми КР

Позначення параметру	Назва
L_q	динамічна індуктивність
C_q	динамічна ємність
R_q	опір втрат
C_e	статична ємність електродів
C_z	статична ємність зазору
C_b	статична ємність виводів
$C_{ек}$	статична ємність електродів
C_0	статична ємність електроду відносно корпусу та резонатора
n_n	модуль коефіцієнту передачі

Так, для еквівалентної, зображеної на рисунку 1.2,а, справедливі такі співвідношення параметрів еквівалентної схеми та фізичних параметрів КР:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_q = \frac{d_q S}{8\varepsilon^2 S_e} \\ C_q = \frac{8\varepsilon^2 S_e}{\pi^2 n^2 c' S} \\ R_q = \frac{d_q a_m}{4\varepsilon^2 S_e} \\ C_0 = \frac{\varepsilon_0'' S_e}{4S\pi} \end{array} \right. , \quad (1.1)$$

де d_q – густина кварцу;
 c' – модуль пружності кварцу;
 S – товщина пластини;
 n – номер механічної гармоніки;
 S_e – площа електродів;
 a_m – коефіцієнт затухання;

ε – п'єзоелектрична стала кварцу;

ε_0'' – значення діелектричної проникливості у напрямку товщини.

Аналіз співвідношень (1.1) показує, що динамічна індуктивність L_q пропорційна масі m КР, динамічна ємність C_q обернено пропорційна пружності c' ; опір R_q – визначається витратами енергії; C_0 – ємність, яка утворена електродами КР.

Результати моделювання і експериментальні дослідження фізичних величин КР [1] показують, що на частотах до 80–100 МГц для використання вищих гармонік справедливі наближені співвідношення:

$$\begin{cases} L_{q,n} \approx L_q \\ C_{q,n} \approx \frac{C_q}{n^2} \\ C_{0,n} \approx C_0 \end{cases} \quad (1.2)$$

На більш високій частотах, однак, в силу нерівномірності розподілу амплітуд гармонік на поверхні кварцу, зі збільшенням номеру механічної гармоніки n динамічна індуктивність $L_{q,n}$ зростає за законом [1]:

$$L_{q,n} = \frac{1,4L_q(n-1)}{2} \quad (1.3)$$

Частоти послідовного та паралельного резонансів – ω_q та ω_0 відповідно – залежать від параметрів схеми та визначаються співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \omega_q &= \frac{1}{\sqrt{L_q C_q}} \\ \omega_0 &= \frac{1}{\sqrt{L_q \frac{C_0 C_q}{C_0 + C_q}}} \end{aligned} \quad (1.4)$$

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		12

Резонансний проміжок $Q = \omega_q - \omega_0$, що визначається різницею частот послідовного та паралельного резонансів, також залежить від номеру механічної гармоніки:

$$\Omega_n = \frac{\Omega}{n} \quad (1.5)$$

На рисунку 1.4 наведені амплітудно-частотна (АЧХ) та фазочастотна (ФЧХ) характеристики для КР на частоті $f = 5$ МГц – криві $A(f_g)$ та $\psi(f_g)$ відповідно [1].

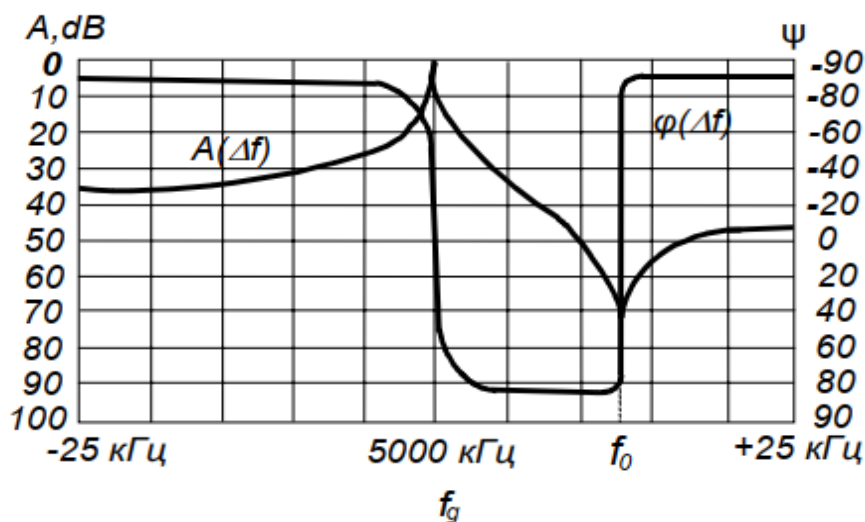


Рисунок 1.4 – Частотні характеристики (АЧХ та ФЧХ) для КР на частоті 5 МГц

Важливими також такі параметри, як характеристичний опір ρ_q , добротність та коефіцієнт зв'язку p :

$$\rho_q = \sqrt{\frac{L_q}{C_q}}$$

$$Q = \frac{\rho_q}{R_q} \quad (1.6)$$

$$\frac{\omega_0 - \omega_q}{\omega_q} = \frac{1}{2} p \Rightarrow p = \frac{C_q}{C_0}$$

Залежність добротності та опору втрат КР від номеру механічної гармоніки також показано на рисунку 1.5.

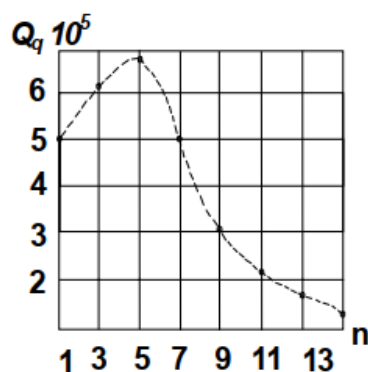


Рисунок 1.5 – Залежність добротності Q_q КР від номеру механічної гармоніки n

З рисунку 1.5 видно, що зі зростанням номеру механічної гармоніки, починаючи до значення $n = 5$, добротність Q суттєво зростає, але потім починає поступово знижуватись [1].

1.2 Актуальність використання кварцових генераторів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікацій

В складі автоколивальної схеми КР використовуються в КГ для генерування високостабільних гармонічних сигналів [1]. Такі КГ поділяються на генератори фіксованих частот, діапазонні керовані керованих генератори, термокомпенсовані генератори та КГ ударного збудження. У вимірювальній техніці КР можуть бути використані в якості чутливих елементів в складі вимірювальних перетворювачів температури та механічних впливів – тиску, вібрації, прискорення тощо [1-2].

До вимог, які найчастіше ставляться до КГ відноситься [1]:

- робоча частота,
- показник нестабільності відносно зовнішніх впливів,
- добротність та опір втрат.

Класифікувати КГ прийнято за такими параметрами [1]:

- формі та розміри,
- тип зрізу ПЕ,
- матеріал корпусу,
- тип розміщення, кількість, форма, розміри та призначенням виводів,
- наявністю чи відсутністю відводів від металічного корпусу.

Корпус КР призначений для захисту від зовнішніх механічних та кліматичних дестабілізуючих впливів. Він складається з основи та кожуха та забезпечує герметизацію і вакуумування порожнини КР.

Широкого поширення отримали такі КР:

- в металевих корпусах «Б» (НС-33), «М» (НС-49), «ММ» (НС-52), «ЧА», НС-49/S – таблиця 1.2;
- резонатори в скляних корпусах типу «Е», «С» – таблиця 1.3;
- резонатори в корпусах НС-52, НС-52- SMD для мобільного зв'язку (Motorola, LX – 2, LX - 4, Samsung, NEC, Bumerang [1]).

Таблиця 1.2 – Резонатори в металевих корпусах

Тип	Корпус	Діапазон частот (номер гармоніки)	Точність налагодження $\times 10^{-6}$	Динамічний опір, Ом
1	2	3	4	5
РК379	М (НС-49)	420...550 кГц (1)	± 30	< 3000
РК379	М (НС-49) (НС-49-SMD)	3500... 27000 кГц (1) 20 ...60 МГц (3) 60 ...100 МГц (5)	$\pm 5... \pm 30$	20...100
	ММ (НС-52) (НС-52-SMD)	5000 ...45000 кГц (1) 20...150 МГц (3) 60 ...150 МГц (5)	$\pm 5... \pm 30$	30...150

Кінець таблиці 1.2

1	2	3	4	5
РК386	М (НС-49)	4000... 27000 кГц (1) 20 ...60 МГц (3) 60 ...100 МГц (5)	±5...±30	20...100
	ММ (НС-52)	5000 ...45000 кГц (1) 20...100 МГц (3) 60 ...150 МГц (5)	±5...±30	30...150
РК379	Б (НС-33)	750...10000 кГц (1)	±10...±20	30...600
РК426		1000...8000 кГц (1)		
РК432	НС-49/S	10000...25000 кГц (1)	±15...±50	< 25
РК411	М (НС-49)	100 ... 150 МГц (5)	±10...±30	80...200
РК412				
РК 76	М (НС-49)	4500...20000 кГц (1) 20...30 МГц (3)	±15...±30	40...70
РК407	М (НС-49)	10000...36000 кГц (1)	±25	20
РК372	ЧА	30,7.....32,8 кГц (1)	±30	-
РК146	ЧА	32,768.....32,7778 кГц (1)	±30	-
РК404	транзисторного типу (діаметр –18,5 мм, висота –6,0 мм)	2 000 кГц (1)	±10	≤50

*Довгочасна нестабільність РК 404 $\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$ за 2 роки [1].

Таблиця 1.3 – Резонатори в скляних корпусах

Тип	Корпус	Діапазон частот (номер гармоніки)	Точність налагодження $\times 10^{-6}$	Динамічний опір, Ом
1	2	3	4	5
Е	4 ... 550 кГц	-10...+60	±75	±20...±50
С		-20...+70	±100	
		-40...+70	±200	
		-60... +85	±250 ±300	

Кінець таблиці 1.3

1	2	3	4	5
Е	Діапазон частот від 840 кГц до 150 МГц			
С	Діапазон частот від 840 кГц до 100 МГц			

* Розміри корпусів [1]:

тип Е – діаметр 10,16 мм, висота 25 – 92 мм (виводи гнучкі);

тип С – діаметр 19,0 мм, висота 48 – 98 мм.

В таблиці 1.4 наведено параметри таких КГ:

1. ГК85: прецизійний мініатюрний КГ загальним об'ємом 8 см³. Характеризується високою стабільністю частоти порядку 10⁻⁸ и малим розмірам, та може бути використаний в найрізноманітніших системах та пристроях.

2. ГК87: високочастотний прецизійний КГ на частотах від 50 МГц до 112 МГц, який побудований на базі КР з ПЕ SC-зрізу. За рахунок спеціальної схеми забезпечує «плато» фазових шумів до 165дБ/Гц, що дозволяє використовувати цей КГ для побудови синтезаторів частоти, синтезаторів з фазовим автопідстроюванням частоти (ФАПЧ), а також безпосередньо в якості керованого напругою термостатованого КГ.

3. ГК89: КГ з високим рівнем стабільності та подвійним термостатуванням. Використання КГ забезпечує температурну та добову стабільність частоти $\pm 1 \times 10^{-10}$ за довгочасної стабільності $\pm (0,5 \dots 1 \dots 2) \times 10^{-8}$ /год.

Таблиця 1.4 – Тактико-технічні параметри деяких моделей КГ

Параметри	Модель		
	ГК85	ГК87	ГК89
1	2	3	4
Діапазон частот, МГц	10...26	50...112	4...10
Стандартні частоти, МГц	10,0; 13,0; 16,384; 26,0	100	4,096; 5,0; 8,192; 10,0

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
Корпус: дюймовий тип метричний тип, мм	1''×1''×0,5''	2''×2''×0,5	2''×2''×1,5''
Температурна нестабільність частоти в межах: -10...+60 °С -20...+60 (+70) °С -40...+70 °С -60...+70 °С	±1×10 ⁻⁸ ±1,5×10 ⁻⁸ ±3×10 ⁻⁸ -	±1×10 ⁻⁷ ±2×10 ⁻⁷ ±5×10 ⁻⁷ -	±1×10 ⁻¹⁰ (±5×10 ⁻¹¹) ±1,5×10 ⁻¹⁰ ±2×10 ⁻¹ -
Довгочасна нестабільність частоти: за рік, ×10 ⁻⁸ за 10 років, ×10 ⁻⁷	±(3...10) ±3	± 50 ± 20	±(0,5...2) ±(0,3...1)
Короткочасна нестабільність за 1 с (варіація Алана)	2×10 ⁻¹¹	-	2×10 ⁻¹²
Фазовий шум, дБ/Гц, при відлагодженні від несучої (типове, для 10 МГц, окрім ГК87): 1 Гц 10000 Гц	-85 -150	-60 -165	-100 -155

Кінець таблиці 1.4

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Напруга живлення, В			
Струм споживання:	5	12	12
в усталеному режимі, мА	150	120	270
в піковому (розігрів) , мА	500	400	1200
Час встановлення частоти з точністю $\pm 1 \times 10^{-7}$, хв.	2	10	15

1.2 Огляд патентних матеріалів за темою кваліфікаційного проєкту

Даний розділ присвячений огляду патентних матеріалів щодо розробки та удосконалення методів покращення тактико-технічних характеристики КГ та їх застосування в радіотехніці та телекомунікаціях.

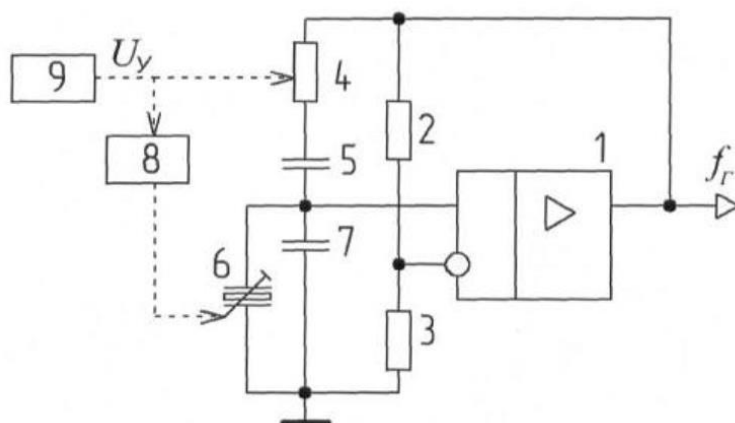
У патенті на корисну модель [4] автор пропонує реалізацію LC-генератора гармонічних коливань, який складається із паралельного коливальний контур з підключеним до нього конвектором від'ємного опору, який в свою чергу складається із підсилювача з додатним та від'ємним зворотними зв'язками. Відмінною рисою генератора є використання в якості конвектору від'ємного опору двох неінвертуючих високочастотних транзисторних підсилювачів.

Пристрій для регулювання змінної напруги представлений в патенті на корисну модель [5]. Пристрій складається із трансформатора з секційною обмоткою, початок якої підключено до мережі живлення, керований реактор,

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		19

з'єднаний з відводом обмотки, та некерований реактор, з'єднаний з крайнім виводом обмотки [5]. Кінці керованого та некерованого реакторів з'єднані між собою та створюють загальну точку, підключену до мережі живлення, блок відключення некерованого реактора, ввімкнений паралельно некерованому реактору. Відрізняється пристрій тим, що блок відключення виконаний у вигляді який виконаний у вигляді сімісторного ключа [5].

Варіант керованого кварцового генератора представлений в патенті на корисну модель [6]. Пристрій складається з операційного підсилювача (ОП) з колами додатного та від'ємного зворотних зв'язків. В колі додатного зворотного зв'язку використано керований КР, електроди якого підключені між неінвертуючим входом ОП та нульовою точкою схемою. Керуючий вхід підключений до джерела постійної напруги через електронний ключ, який відрізняється тим, що між неінвертуючим входом ОП та його виходом послідовно підключено конденсатор і керований опором резистор, керуючий вхід якого з'єднаний з джерелом постійної напруги, від'ємний зворотний зв'язок утворений ділльником напруги на двох резисторах [6]. На рисунку 1.5 зображена принципова схема керованого кварцового генератора [6].

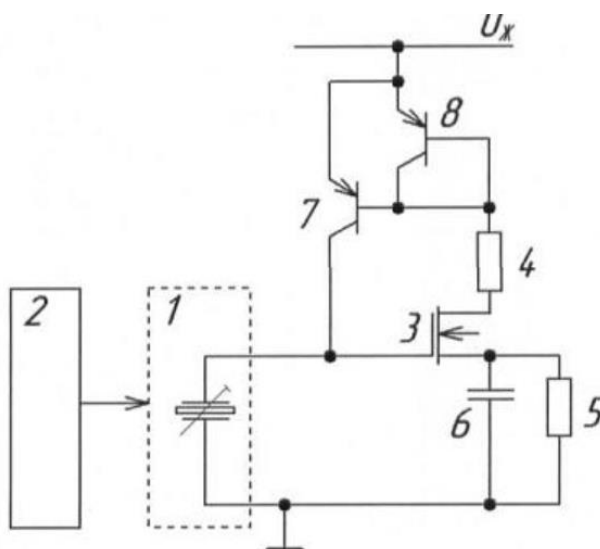


- 1 – операційний підсилювач; 2,3 – резистори, які включені послідовно між виходом ОП та нульової точкою схеми; 4 – керований опором резистор; 5,7 – конденсатор; 6 – керований КР; 8 – електронний ключ керованого КР; 9 – джерело постійної напруги

Рисунок 1.5 – Принципова схема керованого генератора [6]

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		20

Ще опис варіант КГ з управлінням частотою наведено в патенті [7]. Даний пристрій складається з паралельного резонансного контуру, підсилювача, інвертору струму та подільника напруги, що відрізняється тим, що резонансний контур КГ утворений п'єзрезонансна система (ПРС) з модуляцією зазору лінійним індукційно-динамічним перетворювачем, що з'єднаний з пристроєм керування [7]. Принципова схема КГ з керування частотою показана на рисунку 1.6.



1 – керована ПРС; 2 – формувач імпульсів керування; 3 – підсилювач на польовому транзисторі; 4 – резистор кола живлення інвертора струму; 4,5 – резистори подільника напруги; 6 – конденсатор, включений до схеми з метою зменшення від’ємного зворотного зв’язку;
7,8 – інвертор струму, виконаний на базі біполярних (БП) транзисторах

Рисунок 1.6 – Принципова схема КГ з керуванням частотою [7]

Приклад застосування КР в якості вимірювального перетворювача (ВП) запропоновано в патенті на корисну модель [8]. Даний ВП складається з п'єзрезонансного сенсора з модульованим зазором і частотним виходом, який відрізняється тим, що КР включений до одного з плечей мосту Віна, вхідна діагональ якого підключена до генератора керованої напругою (ГКН), до входу керування якого підключений вихід генератора лінійно-змінної напруги, інше

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		21

суміжне плече мосту Віна утворене послідовно з'єднаним керованим за опором резистором та конденсатором, вихідна діагональ мосту Віна підключена до нуля індикатора, вихід якого підключений до керуючого входу електронного ключа, до входу якого підключений вихід генератора лінійно змінної напруги, а вихід підключений до пристрою індикації та зберігання, причому вихід генератора лінійно-змінної напруги підключений до керуючого входу керованого за опором резистора через схему формування напруги керування [8].

В патенті на корисну модель [9] запропонована схема КГ з управлінням частоти. Дана реалізація КГ містить транзистор з колом базового зсуву, колекторне навантаження, один з виводів якого додатною клемою джерела живлення, а інший – з колектором транзистора, резистор емітерного кола, один вивід якого з'єднаний із загальною шиною, а інший – з емітером транзистора, коло зворотного зв'язку [9]. Також запропонований КГ містить включене між емітером і базою транзистора, коло зворотного зв'язку включає перший конденсатор, перша обкладка якого з'єднана із загальною шиною, другий конденсатор, перша обкладка якого з'єднана з другою обкладкою першого конденсатора, а друга обкладка – з емітером транзистора, який відрізняється тим, що між базою транзистора та другим виводом другого конденсатора включений п'єзоелектричний резонатор з керуванням частоти, до обмотки індуктора якого підключений вихід ширинно-імпульсного модулятора (ШІМ), вхід якого підключений до джерела сигналу управління.

1.3 Аналіз вихідних даних та постановка технічного завдання на проєктування

Відповідно до технічного завдання на проєктування, необхідно розробити діапазонний КГ з цифровим керуванням на для діапазону частот 39,1 – 40,2 МГц. Керування здійснюється через цифровий інтерфейс задання частот кількість 12 логічних входів, причому рівень логічної «1» становить 19...25 В, а рівень логічного «0» – порядку 0...2 В. Напруга живлення генератора дорівнює 12,6 В.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		22

Конструкторська документація – схема електрична структурна, схема електрична принципова.

Вихідні параметри до технічного завдання для діапазонного КГ подані в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Вихідні параметри діапазонного КГ

Параметр	Значення
Живлення, В	12,6
Кількість входів керування	12
Рівень логічної «1», В	19...25
Рівень логічного «0», В	0...2
Діапазон частот, МГц	39,1...40,2
Крок переналаштування частоти, кГц	100

Висновки до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи було проведено огляд літературних джерел та патентних матеріалів щодо практичного застосування кварцових генераторів в радіотехніці та телекомунікаціях. Розглянуто фізичні властивості, схеми заміщення та основні аналітичні співвідношення для одночастотних кварцових резонаторів.

Проведено аналіз вихідних даних та сформульовано технічне завдання на проектування діапазонного кварцового генератора з цифровим керуванням.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		23

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ТА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ДІАПАЗОННОГО КВАРЦОВОГО ГЕНЕРАТОРА

2.1 Розрахунок параметрів кварцового генератора

Однією із задач, які необхідно вирішити на етапі проектування діапазонного КГ є виконання теоретичних розрахунків та аналізу основних технічних характеристик КГ та аналіз його короткочасної нестабільності залежно від флуктуаційних параметрів автоколивальної схеми. Таким чином, даний розділ присвячений розрахунку енергетичних характеристик КГ.

Для заданого в технічному завданні (див. таблицю 1.5) діапазону частот 30...45 МГц існує на сьогодні велика кількість реалізацій схем КГ, для яких добре розроблена методика розрахунку в частотній області генерування. Актуальність такої методики викликана необхідністю в методі розрахунку КГ на основі довідникових даних, або таких параметрів, які можна отримати шляхом відносно простих вимірювань для широкого діапазону частот.

В якості методу розрахунку використано один із методів, що відповідає вищеописаному критерію і який справедливий для широкого діапазону частот та високій вихідній потужності генерування.

З метою розрахунку енергетичних співвідношень для стаціонарного режиму КГ, розглянемо еквівалентну схему, яка зображена на рисунку 2.1. Будемо при цьому вважати, що реактивні компоненти схеми $Z_{вх}$, $Z_{вих}$, $Z_{н}$ впливають на фазові співвідношення КГ – на баланс фаз і частоту генерування, однак не впливають на баланс амплітуди.

Розглядаючи баланс амплітуд, з рисунку 2.1 видно, що вихідна потужність $P_{вих}$ виділяється на навантаженні, а її частина через коло зворотного зв'язку (33) надходить на базу транзистора, інша частина $P_{кв}$ розсіюється на КР. Таким чином, вихідну потужність можна подати у вигляді суми:

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		24

$$P_{вих} = P_H + P_{кв} + P_{вх} \quad (2.1)$$

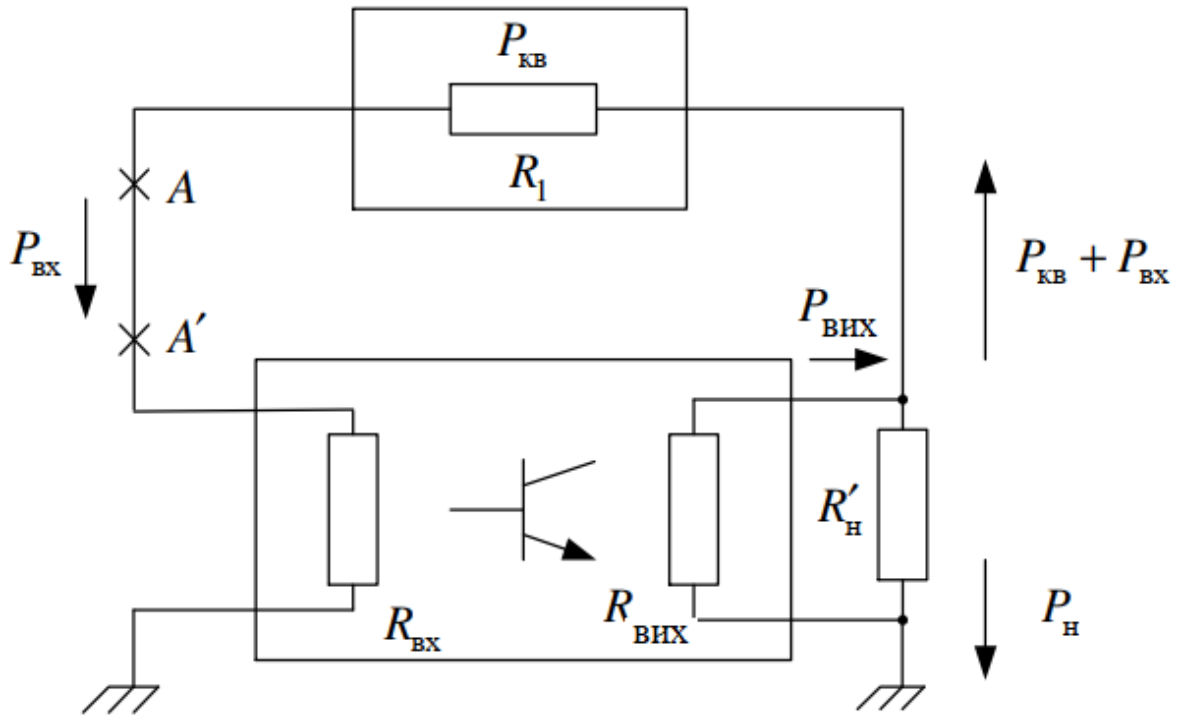


Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема кварцового генератора

Тоді коефіцієнт передачі транзистора K_p за потужністю та коефіцієнт використання добротності K_Q КР визначатимуться виразами:

$$\begin{cases} K_p = \frac{P_{вих}}{P_{вх}} \\ K_Q = \frac{P_{кв}}{P_{вх}} = \frac{R_e}{R_{вх}} \end{cases} \quad (2.2)$$

де R_e – еквівалентний опір втрат КР.

Ввівши заміну $R_{вх} = R_e$, схему, що зображена на рисунку 2.1, можна зобразити у вигляді, який показано на рисунку 2.2.

За рахунок підключення КР до опорів R_e/K_Q його добротність зменшується до значення, що визначається співвідношенням:

$$Q_e \frac{QR_e}{R_1 + \frac{2R_e}{K_Q}} = \frac{Q_{KQ}}{K_Q + 2}, \quad (2.3)$$

де Q – ненавантажена добротність КГ.

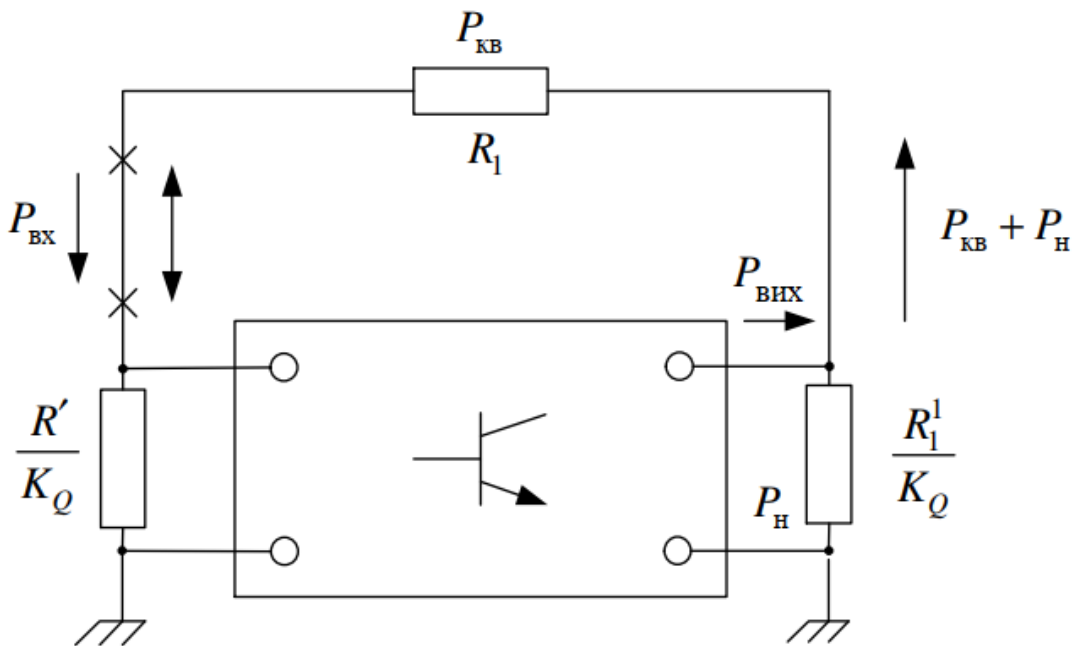


Рисунок 2.2 – Модифікована еквівалентна схема КГ

На основі співвідношень (2.1) – (2.4) отримуємо:

$$K_p = \frac{P_H + \frac{P_{KB}}{K_Q} + P_{KB}}{\frac{P_{KB}}{K_Q}} = K_Q \left(\frac{P_H}{P_{KB}} + 1 \right) + 1 \quad (2.5)$$

Отже, вираз (2.5) становить умову балансу амплітуд КГ в стаціонарному режимі. З виразу (2.5) отримуємо вираз для вихідної потужності КГ:

$$P_n = \frac{P_{кв}}{K_Q} (K_p - K_Q - 1) \quad (2.6)$$

На практиці часто має місце умова $K_p > 1 > K_Q + 1$, тоді маємо:

$$P_n = \frac{P_{кв} K_p}{K_Q} = \frac{P_{кв} K_p}{2} \left(\frac{Q}{K_Q} - 1 \right) \quad (2.7)$$

В результаті аналізу виразу (2.6) можна зробити висновок, що для $K_p = K_Q + 1$, $P_n = 0$, так як вся вихідна потужність розсіюється на підтримку самозбудження КГ.

Позначимо коефіцієнт зниження добротності КР через $K_{Qн}$:

$$K_{Qн} = \frac{Q_e}{Q} = \frac{K_Q}{K_Q + 2} \quad (2.8)$$

Для коефіцієнту передачі кола ЗЗ справедливий вираз:

$$K_{33} = \frac{P_{6x}}{P_{33}} = \frac{1}{K_Q + 1} \quad (2.9)$$

↓

$$K_{33} = \frac{1 - K_Q}{1 + K_Q} \quad (2.10)$$

Використовуючи вираз для коефіцієнту регенерації $G = K_{33} K_p$, отримуємо:

$$K_{Qн} = \frac{K_p - G}{K_p + G} \quad (2.11)$$

На основі аналізу виразу (2.11) можна зробити висновок, що для деякого заданого коефіцієнту G , який зазвичай обирається рівним 2, збільшення значення K_{QH} можна отримати лише шляхом підвищення значення K_p . Аналогічний висновок можна отримати проаналізувавши вираз (2.6). В результаті підвищення K_p необхідний коефіцієнт регенерації G може бути отриманий для менших значень P_{KB} . Одночасно з цим, для забезпечення максимального значення величини Q_c суттєве зменшення P_H є небажаним. З цієї позиції, оптимальним вважатиметься таке значення P_{KB} , яке не викликатиме нелінійних ефектів коливаль в околі частоти n -ї механічної гармоніки КР. Таке значення потужності є зазвичай довідниковою інформацією для конкретного КР.

Для зручності розрахунків та моделювання КР на частотах 50-200 МГц для $P_{KB} = 0,5$ мВт, зручно представити вихідну потужність P_H через величини K_p , P_{KB} , K_{QH} наступним чином:

$$K_Q = \frac{2K_{QH}}{1 - K_Q} \quad (2.12)$$

$$P_H = P_K \frac{K_p(1 - K_{QH}) - K_{QH} - 1}{2K_{QH}} \quad (2.13)$$

Отже, дійсну величину K_{QH} можна визначити з виразу (2.12), а з виразу (2.13) для заданого значення K_p можна отримати максимальне значення вихідної потужності P_H .

Наведені співвідношення дозволяють провести енергетичний розрахунок КГ для заданих значень параметрів G , K_{KB} та Q_c . Також для вимірних значень імпедансу $Re(Z_{вх})$ і залежності $K_p(P_{вх})$ можна визначити коефіцієнт трансформації та фазовий зсув з подальшим складанням схеми заміщення КГ. Таким чином, описаний метод розрахунку енергетичних параметрів КГ можна застосовувати для синтезу КГ широкого діапазону частот.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		28

2.2 Розробка схеми електричної структурної діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням

В результаті проектування структури діапазонного КГ з програмним керуванням та цифровим інтерфейсом встановлення частоти, у відповідності до поставленого технічного завдання в розділі 1, була розроблена структурна схема пристрою, яка зображена на рисунку 2.3 (кола живлення не показані на схемі для збереження її компактності).

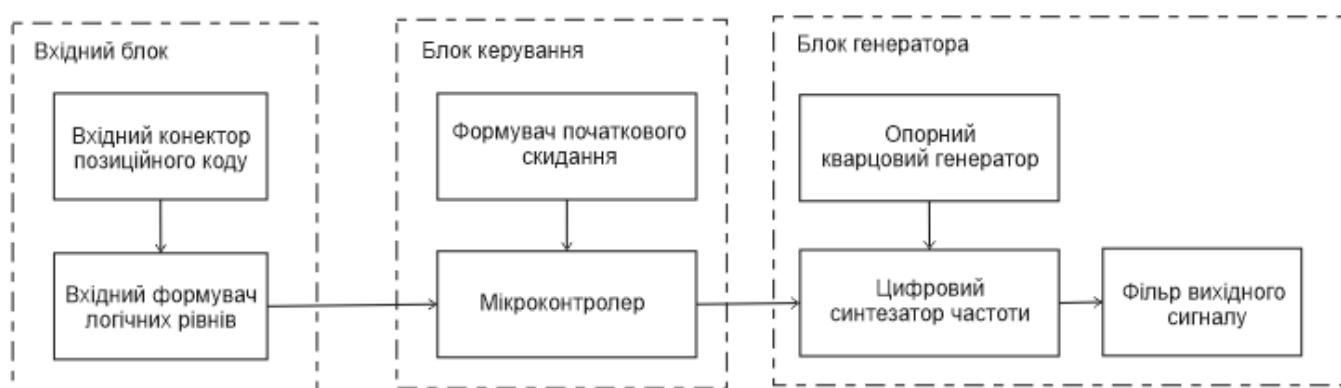


Рисунок 2.3 – Схема електрична структурна діапазонного програмованого КГ

У відповідності до розробленої схеми, пристрій складається з трьох основних блоків:

- вхідний блок,
- блок керування,
- блок генератора.

Вхідний блок представляє собою інтерфейс для підключення пристрою до джерела логічних сигналів керування, який відповідно до технічного завдання є 12, з узгодженням логічних рівнів. Таким чином, цей блок складається із вхідного конектора позиційного коду задання частоти та формувача вхідних логічних рівнів.

Блок керування виконаний на базі мікроконтролера (МК), програмне забезпечення (ПЗ) якого реалізує перетворення позиційного коду виставлення частоти у відповідний сигнал керування КР. Крім того, до блоку керування також включено коло формувача початкового скидання МК, яке забезпечує завантаження ПЗ з початковою ініціалізацією змінних та виставлення базової частоти діапазонного КГ.

Основну частину програмованого діапазонного генератора складає блок генератора, який в свою чергу складається з таких компонентів:

- опорний генератор (ОГ),
- цифровий синтезатор частоти,
- фільтр вихідного сигналу.

Опорний кварцовий генератор служить джерелом високостабільних гармонічних коливань для синтезатора частоти з цифровим керуванням, який приймає цифровий сигнал переналаштування частоти з МК через комунікаційний інтерфейс. Для усунення завад та власних шумів вихідного сигналу діапазонного генератора, в коло блоку генератора включено вихідний фільтр сигналу.

2.3 Опис методу непрямого синтезу частоти з ФАПЧ

В якості методу синтезу частоти для цифрового синтезатора блоку генератора (див. структурно схему на рисунку 2.3) було обрано непрямий синтез з ФАПЧ [16]. Під час непрямого синтезу підвищення частоти досягається завдяки використанню ЗЗ. Цей підхід, відомий як фазова синхронізація, суттєво відрізняється від прямого синтезу частот (ПЦС). В ході аналізі систем непрямого синтезу основна увага приділяється стійкості та діапазону захоплення частоти петлею ФАПЧ, а не побічним складовим вихідного сигналу. Цей метод також використовує змішувачі (ЗМ), помножувачі (МЧ), дільники частоти (ДЧ), фільтри, а також генератори керовані напругою (ГКН), програмовані дільники частоти, фазові та частотні дискримінатори. Фазові шуми, швидкість перемикавання частот,

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		30

крок сітки вихідних частот та вплив умов навколишнього середовища на параметри системи суттєво відрізняються від характеристик систем прямого синтезу. Проблеми, що виникають при розробці систем непрямого синтезу, мають динамічний характер, зокрема стійкість петлі ФАПЧ та захоплення частоти. Системи непрямого синтезу частот мають низку переваг перед системами прямого синтезу, серед яких компактні розміри, менша вага та низьке споживання постійного струму інтегральними пристроями.

На рисунку 2.4 представлена структурна схема аналогового ФАПЧ [16]. Вихідна частота $f'_{\text{вих}}$ ГКН переноситься в область низьких частот і порівнюється з сигналом опорною частотою $f_{\text{вих}} + (\Delta f_{0-9})_1$. За невеликого значення різниці цих частот фазовий дискримінатор (ФД) генерує змінну напругу, що повільно змінюється проходячи через фільтр нижніх частот (ФНЧ) та надходить на ГКН, здійснюючи захоплення частоти. За умови захоплення частоти ФД виробляє постійну напругу, величина і полярність якої визначається величиною і знаком різниці фаз коливань опорної частоти і перетвореного коливання ГКН.

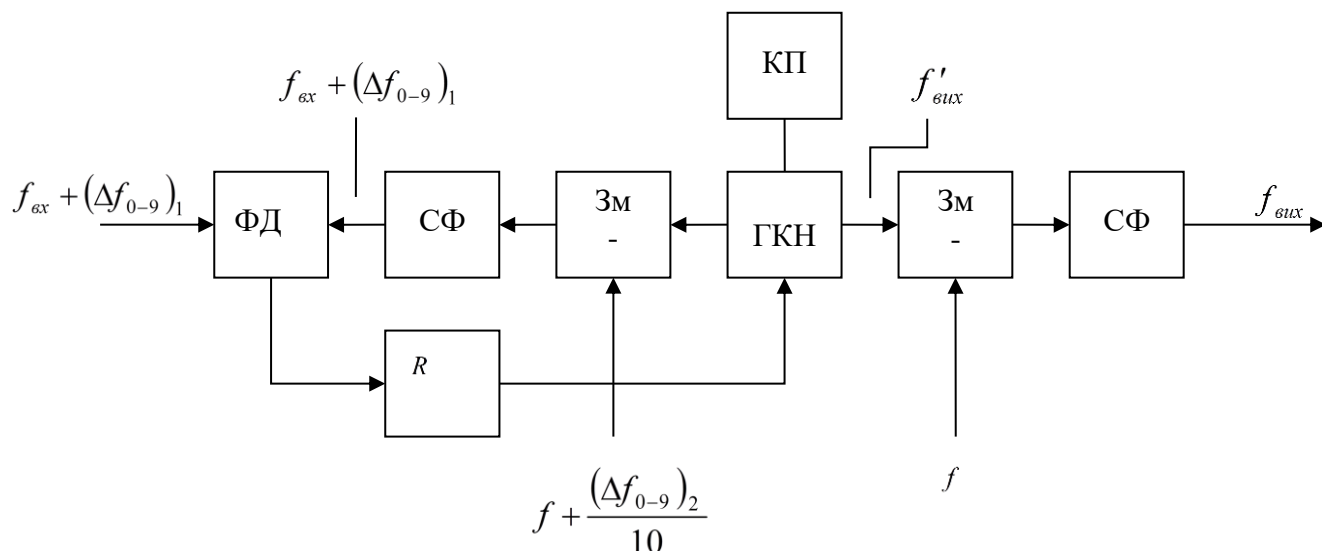


Рисунок 2.4 – Структурна схема аналогового ФАПЧ

Коло ФНЧ, яке часто реалізується як комбінація фільтра та лінії затримки, змінює амплітуду і фазу сигналів, що проходять через нього відповідно до

частоти, забезпечуючи стабільну роботу петлі ФАПЧ. Коли частоти сигналів, які порівнюються сильно відрізняються, на виході ФД з'являється швидко змінна напруга змінного струму, яка ефективно подавляється фільтром, що запобігає захопленню частоти. Змішувач і смуговий фільтр, що виділяє сигнал різницевої частоти, розташовані після ГКН і виконують функцію усунення зсуву вихідної частоти на величину f .

Схема налаштовується шляхом оптимального підбору відповідних значень $(\Delta f_{0-9})_1$ і $(\Delta f_{0-9})_2$ та виставленням ГКН на частоту, яка близьку до вихідної з метою забезпечення захоплення частоти. Для цього необхідним є виконання умов:

$$f_{вих} = f_{вх} + f + (\Delta f_{0-9})_1 + (\Delta f_{0-9})_{2/10} \quad (2.14)$$

$$f_{вих} = f_{вх} + (\Delta f_{0-9})_1 + (\Delta f_{0-9})_{2/10} \quad (2.15)$$

Типовим застосуванням петлі ФАПЧ є фільтрація з метою усунення фазових шумів. Можна показати, що петля ФАПЧ фактично діє як ФНЧ для коливань опорної частоти і як фільтр верхніх частот для шумів ГКН, причому постійна часу фільтра однакова в обох випадках. Функціональна схема петлі ФАПЧ зображена на рисунку 2.4.

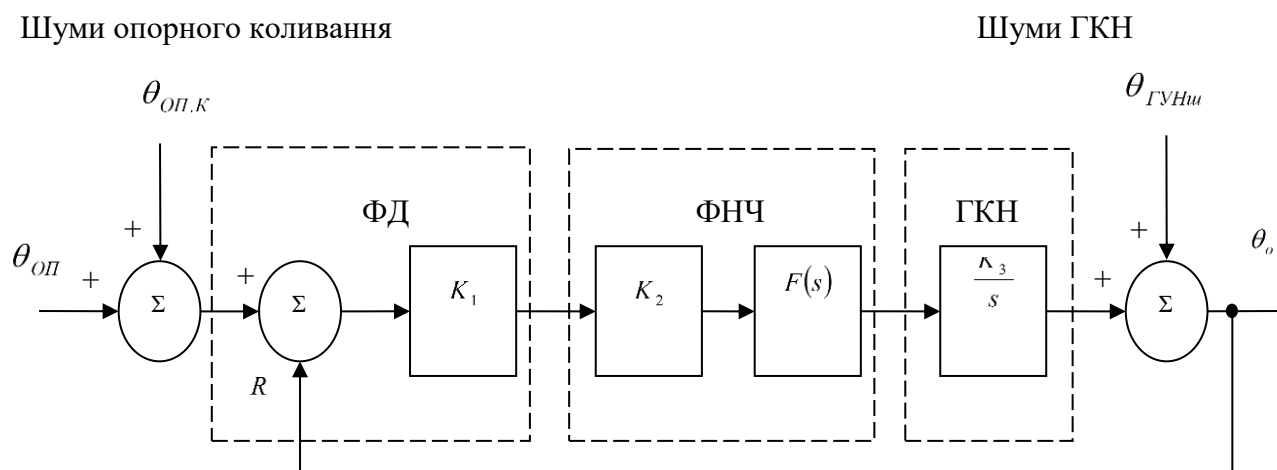


Рисунок 2.4 – Функціональна схема петлі ФАПЧ

Важливою модифікацією є цифрова система ФАПЧ [16]. Базова структурна схема петлі цифрової ФАПЧ наведена на рисунку 2.5. Дана схема також складається з ГКН, змінного подільника частоти (ДЗКР), ФД та ФНЧ. Частота ГКН ділиться подільником частоти та порівнюється із опорною частотою. Вихідна напруга ФД використовується для стабілізації частоти ГКН. Вихідна частота налаштовується за допомогою сигналу керування, який змінює коефіцієнт дільника ДЗКР.

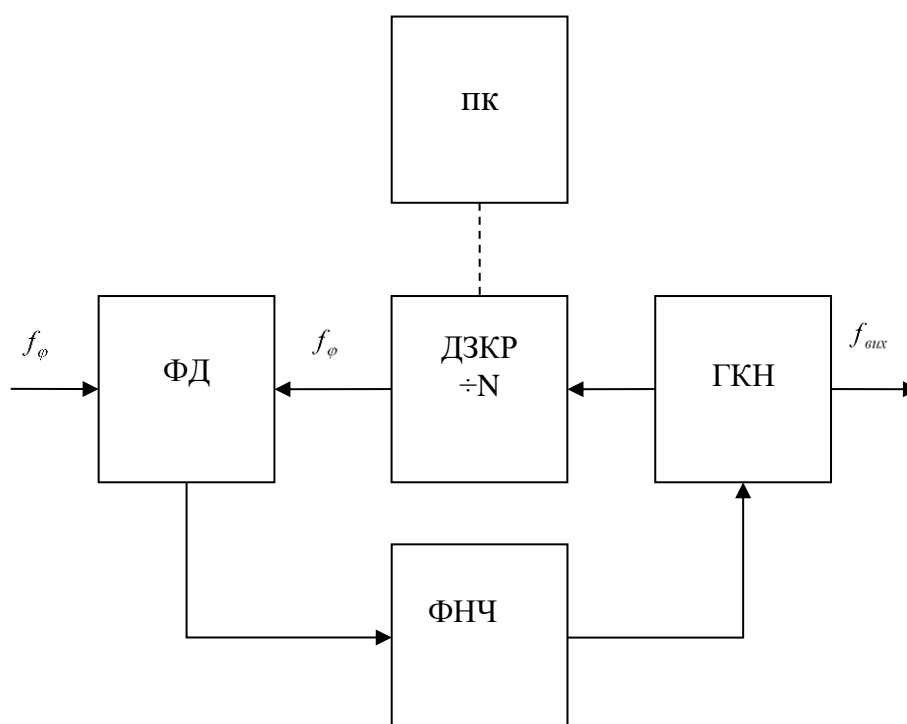


Рисунок 2.5 – Базова структурна схема цифрової ФАПЧ

Умова захоплення частоти цифровою системою ФАПЧ задається виразом:

$$f_{вих} = Nf_{\phi} \quad (2.16)$$

З виразу (2.16) видно, що найменше збільшення частоти дорівнює частоті порівняння фаз у ФД f_ϕ . Дана властивість є актуальною коли за колом ФАПЧ встановлений множник частоти з коефіцієнтом множення, що не кратний 10. До інших переваг петлі цифрової ФАПЧ відносяться компактні розміри та низьке енергоспоживання. За рахунок використання невеликої кількості фільтрів у колах цифрової ФАПЧ, широко застосовуються інтегральні схеми, що сприяє суттєвому зменшенню габаритів пристроїв, в тому числі з батарейним живленням.

Подібно до аналогових ФАПЧ, шуми на частотах, які близькі до несучої визначаються шумами опорної частоти та шумами компонентів, наприклад подільників, а далекі від несучої частоти шуми визначаються шумами ГКН. Однак на практиці структура цифрових синтезаторів на базі ФАПЧ є складнішою за вищеописану.

На рисунку 2.6 показана структурна схема цифрової петлі ФАПЧ, яка реалізує метод підвищення верхньої частоти ДЗКР до значень, які дозволяють функціонувати КГ на частотах НВЧ-діапазону.

Щоб помістити сигнал в смугу частот ДЗКР при вузькому діапазоні вихідних частот, може бути достатньо перевести частоту ГКН в нижчий діапазон за допомогою змішувача з виділенням різницевої частоти. Для відносної ширини смуги вихідних частот від 8 до 20 % необхідний додатковий дільник частоти з коефіцієнтом N_2 .

Для захоплення частоти необхідно, щоб виконувалась умова:

$$f_{\text{вих}} = \frac{Nf_\phi + f}{N_2} \quad (2.17)$$

де $f_\phi = f_{\text{оп}} / N_1$.

З урахуванням модифікацій схеми, максимальне значення частоти складає $n_2 f_\phi$, ставить вимогу до невисокого значення коефіцієнту N_2 .

Висновки до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи була представлена математична модель для розрахунку кварцового генератора на основі методу розрахунку енергетичних параметрів КГ, який можна застосовувати для синтезу КГ широкого діапазону частот; розроблено та описану структурну схему діапазонного генератора з програмним керуванням, а також описано детально метод непрямого синтезу частоти на основі кола цифрового ФАПЧ для реалізації синтезатора частоти діапазонного кварцового генератора.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		<i>35</i>

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДІАПАЗОННОГО КВАРЦОВОГО ГЕНЕРАТОРА

3.1 Вибір та обґрунтування елементної бази для реалізації структурних компонентів діапазонного генератора

В якості керованого КГ було обрано мікросхему Si599 [17], що відноситься до сімейства Si598 XO/Si599 VCXO використовує схемотехніку DSPLL® від Skyworks Solutions для забезпечення тактування з низьким джиттером на широкому діапазоні частот. Вони можуть бути програмовані користувачем на вихідну частоту від 10 до 810 МГц з роздільною здатністю 28 частин на трільйон (PPT). Пристрій програмується через 2-контактний I²C-сумісний послідовний інтерфейс. Широкий діапазон частот та надзвичайно точна програмова роздільна здатність роблять ці пристрої оптимальним для застосувань, які вимагають динамічної настройки частоти. З використанням інтегрованого КР такі генератори забезпечують стабільну частоту.

На рисунку 3.1 показано зовнішній вигляд мікросхеми КГ Si598. Позначення виводів мікросхеми показано на рисунку 3.2.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд мікросхеми КГ Si598

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		36

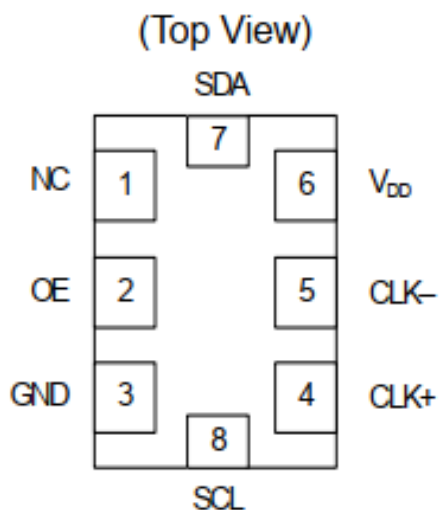


Рисунок 3.2 – Нумерація та позначення виводів мікросхеми КГ Si598

На рисунку 3.3 показана функціональна схема КГ Si598.

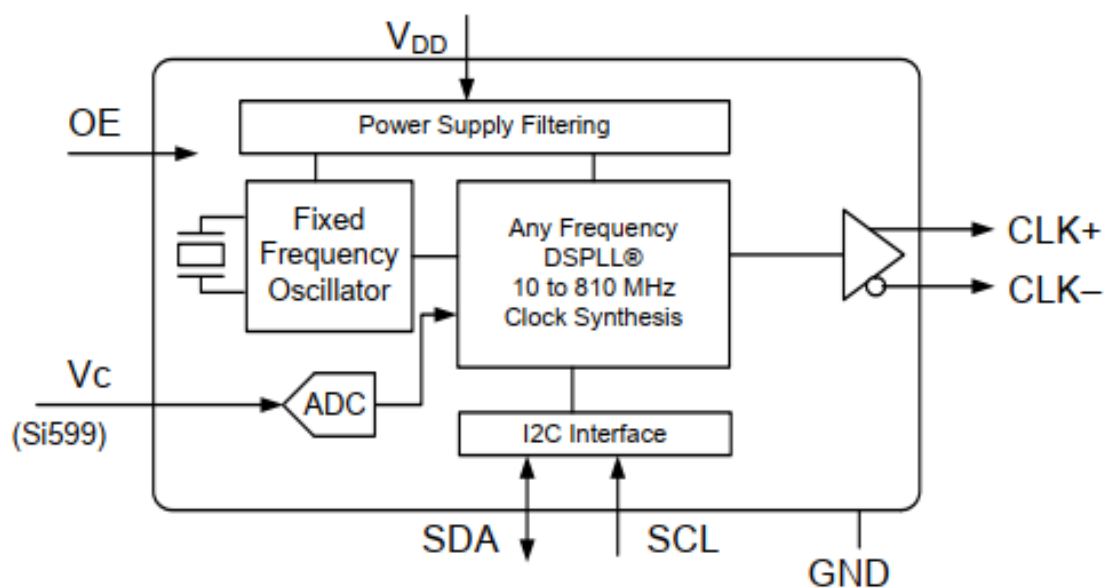


Рисунок 3.3 – Функціональна схема КГ Si598

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата

Мікросхеми КГ сімейства Si59x складаються з генератора з цифровим керуванням (DCO) на основі третього покоління технології DSPLL від Skyworks Solutions [17], який працює на внутрішньому кристалі з фіксованою частотою. Вихідна частота пристрою за замовчуванням встановлена на заводі і може бути перепрограмована через послідовний порт I²C. Після вимкнення живлення пристрій повернеться до вихідної частоти, встановленої заводом.

Частота на виході f_{out} визначається шляхом програмування частоти DCO f_{DCO} і дільників виходу пристрою (HS_DIV, N1). Частота виходу обчислюється за допомогою наступного співвідношення:

$$f_{out} = \frac{f_{DCO}}{\text{вих.подільник}} = \frac{f_{XTAL} \times RFREQ}{HSDIV \times N1} \quad (3.1)$$

Частота DCO може налаштовуватися в діапазоні від 4.85 до 5.67 ГГц за допомогою високороздільного 38-бітного дробового множника (RFREQ). Частота DCO є добутком внутрішнього кристала з фіксованою частотою (f_{XTAL}) і RFREQ.

Роздільна здатність RFREQ 38 біт дозволяє налаштовувати частоту DCO з роздільною здатністю 28 частин на трільйон (ppt).

Як показано на рис. 3, пристрій дозволяє перепрограмування частоти DCO до ± 3500 ppm від центральної конфігурації без переривання вихідного годинника. Зміни, більші за вікно ± 3500 ppm, змушують пристрій recalібрувати свою внутрішню налаштувальну схему, що призводить до тимчасової зупинки вихідного годинника і його запуску в будь-якій довільній точці під час тактового циклу.

Цей процес recalібрування встановлює нову центральну частоту і може займати до 10 мс. Схеми, що отримують тактовий сигнал від пристрою Si59x і чутливі до глітчів або коротких імпульсів, можуть потребувати скидання після завершення процесу recalібрування.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		38

Частота DCO може налаштовуватися в діапазоні від 4.85 до 5.67 ГГц за допомогою високороздільного 38-бітного дробового множника (RFREQ). Частота DCO є добутком внутрішнього кристала з фіксованою частотою (f_{XTAL}) і RFREQ [17].

Роздільна здатність RFREQ 38 біт дозволяє налаштовувати частоту DCO з роздільною здатністю 28 частин на трільйон (ppt).

Як показано на рис. 3, пристрій дозволяє перепрограмування частоти DCO до ± 3500 ppm від центральної конфігурації без переривання. Зміни, більші за вікно ± 3500 ppm, змушують пристрій рекалібрувати свою внутрішню налаштувальну схему, що призводить до тимчасової зупинки вихідного годинника і його запуску в будь-якій довільній точці під час тактового циклу.

Цей процес рекалібрування встановлює нову центральну частоту і може займати до 10 мс. Схеми, що отримують тактовий сигнал від пристрою Si59x і чутливі до глітчів або коротких імпульсів, можуть потребувати скидання після завершення процесу рекалібрування.

3.2 Розробка та опис схеми електричної принципової

Принципова схема пристрою містить вхідний конектор підключення каналу позиційного коду частоти XS1 типу CON13P, вхідний 12-канальний формувач логічних рівнів 3.3В-логіки з вхідних рівнів “1” — 19...25В, “0” — 0...2В на резистивних подільниках напруги R1–R24 та захисних обмежуючих стабілітронах VD1–VD12 типу BZX55C3V3, 32-бітний мікроконтролер (далі по тексту МПК) на архітектурі Cortex-M3 тактовою частотою 72МГц зі зниженим енергоспоживанням на мікросхемі DD1 типу STM32F103C6T6, формувача початкового скиду МПК на елементах R30, VD13, C11, кола кварцового генератора 8МГц на елементах BQ1, C14, C15, цифровий синтезатор частоти на мікросхемі DA1 типу Si599, блокувальних конденсаторах C1, C3 кола живлення, фільтр виходу синтезатора на елементах R27, R28, C8 та паразитній ємності

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		39

схеми. Вихідна частота синтезатора задається з МПК через інтерфейс I²C. Сигнал з виходу синтезатора частотою 40МГц подається на вихід пристрою через контакти X1, X2. Стабілізатор напруги живлення пристрою 3.3В зібран на мікросхемі інтегрального стабілізатора LM7833D та блокувальних конденсаторах C2, C4-C7, C9, C10, C12, C13. Завантаження програми в МПК пристрою можливо за допомогою спеціального програматора з інтерфейсом SWD через конектор XG2.

На вхід пристрою подається позиційний код потрібної частоти, всього можливо задати 12 значень вихідної частоти з номінальним значенням 40МГц. МПК за вхідним кодом задає по інтерфейсу I²C вихідну частоту роботи синтезатора, і тим самим вихідну частоту самого пристрою. Амплітуда вихідного сигналу забезпечується не менше 1В.

3.3 Розробка та опис програмного забезпечення

Розроблене ПЗ для керування роботою діапазонного генератора представлено кодом для МК серії STM32, повний лістинг якого наведено а Додатку В.

Для роботи з МК серії STM32F10x виконано підключення бібліотеки за допомогою оператора `#include "stm32f10x.h"`.

Далі лістинг програми містить блок визначення констант, які задають адреси регістрів синтезатора Si599:

- Si599_ADDR – адреса шини I²C для зв'язку з синтезатором DDS Si599, зсунута на один біт вліво (для правильної роботи з I²C протоколом);

- Si599_HSN1Div – адреса регістру HSN1Div в блоці регістрів Si599, який використовується для налаштування синтезатора;

- Si599_NewFreq – адреса регістра NewFreq в блоці регістрів Si599, який відповідає за встановлення частоти;

- Si599_FreezeDCO – адреса регістра FreezeDCO в блоці регістрів Si599.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		40

Нижче наведений фрагмент коду демонструє задання цих констант із присвоєнням відповідних значень:

```
#include "stm32f10x.h"
// I2C адреса Si599
static const uint8_t Si599_ADDR = 0x55 << 1;
// Адреса регістра HSN1Div в блоці регістрів Si599
static const uint8_t Si599_HSN1Div = 7;
// Адреса регістра NewFreq в блоці регістрів Si599
static const uint8_t Si599_NewFreq = 135;
// Адреса регістра FreezeDCO в блоці регістрів Si599
static const uint8_t Si599_FreezeDCO = 137;
```

Діапазон робочих частот КГ задається масивом дійсних чисел одинарної точності зі значеннями елементів, що відповідають 12 позиціям вхідного інтерфейсу виставлення частоти – цільовим значенням частоти генератора в діапазоні від 39,1 МГц до 40,2 МГц.

Фрагмент коду визначення робочого діапазону частот:

```
const float frequencies[12] = {39.1f, 39.2f, 39.3f, 39.4f,
39.5f, 39.6f, 39.7f, 39.8f, 39.9f, 40.0f, 40.1f, 40.2f};
```

Далі в програмному коді слідує службові функції для роботи з шиною I²C:

- I2C_Init – для ініціалізації шини,
- I2C_Start – функція для запуску I²C та початку передачі даних за адресою,
- I2C_SendData – для передачі даних шиною I²C,
- I2C_Stop – містить код для зупинки передачі даних.

Функція I2C_Init ініціалізує модуль I²C на мікроконтролері STM32 вмикаючи тактування периферії шини та конфігуруючи виводи SCL SDA МК

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		41

Фрагмент коду призначений для налаштування виводів для забезпечення виведення з відкритим стоком (Open Drain) з альтернативною функцією (AF). Порт GPIO_PORT_I2C необхідно замінити на відповідний макрос або конкретну портову групу та піни для SCL і SDA.

```
GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;  
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_SCL | GPIO_Pin_SDA;  
// Вихід з відкритим стоком  
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF_OD;  
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;  
GPIO_Init(GPIO_PORT_I2C, &GPIO_InitStructure);
```

Фрагмент коду для налаштування периферії I2C, в якому встановлюються основні параметри такі як швидкість передачі даних (100 кГц у цьому випадку), режим (I2C_Mode_I2C), цикл роботи (50% duty cycle), власна адреса пристрою (0x00), активація підтвердження отримання (ACK), та формат адреси пристрою (7 біт).

```
I2C_InitTypeDef I2C_InitStructure;  
// Тактова частота I2C 100 кГц  
I2C_InitStructure.I2C_ClockSpeed = 100000;  
I2C_InitStructure.I2C_Mode = I2C_Mode_I2C;  
I2C_InitStructure.I2C_DutyCycle = I2C_DutyCycle_2;  
I2C_InitStructure.I2C_OwnAddress1 = 0x00;  
I2C_InitStructure.I2C_Ack = I2C_Ack_Enable;  
I2C_InitStructure.I2C_AcknowledgedAddress =  
I2C_AcknowledgedAddress_7bit;  
I2C_Init(I2C1, &I2C_InitStructure);  
I2C_Cmd(I2C1, ENABLE);
```

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		42

Останній рядок рядок включає сам модуль I2C1 для подальшої роботи.

Функція I2C_Start ініціює процес взаємодії зі SLAVE-пристроєм по шині I2C, включаючи генерацію стартового сигналу, передачу адреси та очікування підтвердження від пристрою. Обов'язково перевірте, що визначені макроси (наприклад, I2C_FLAG_BUSY, I2C_FLAG_SB, I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED) вірно відповідають вашій конкретній мікросхемі STM32 та версії бібліотеки CMSIS. Функція складається з таких частин:

1. Очікування готовності шини I²C – рядок очікування, поки шина I2C1 не буде вільною (біт зайнятості встановлений):

```
while (I2C_GetFlagStatus(I2C1, I2C_FLAG_BUSY) == SET);
```

2. Генерація стану START. Спочатку виконується очистка попередніх стоп-послідовностей (якщо такі є) і потім генерується стартовий сигнал на шині I²C:

```
// Очистка попередніх прапорців STOP  
I2C_GenerateSTOP(I2C1, RESET);  
I2C_GenerateStart(I2C1, ENABLE);
```

3. Очікування стану START від пристрою за допомогою циклу, який чекає, доки не буде встановлений прапор SB (start bit), що підтверджує успішну генерацію стартового сигналу:

```
while (I2C_GetFlagStatus(I2C1, I2C_FLAG_SB) == RESET);
```

4. Передача SLAVE-адреси з бітом напрямку – формується адреса пристрою, з яким ведеться спілкування, і напрямок передачі (запис або читання):

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		43

```
I2C_SendData(I2C1, (address << 1) | direction);
```

5. Очікування підтвердження адреси від SLAVE-пристрою – цикл чекає, поки майстер (МК) успішно вибере режим передачі даних до SLAVE-пристрою:

```
while (I2C_CheckEvent(I2C1,  
I2C_EVENT_MASTER_TRANSMITTER_MODE_SELECTED) != SUCCESS);
```

Функція I2C_SendData дозволяє передавати один байт даних через шину I²C, після того як було забезпечено, що шина готова для передачі (прапор TXE встановлений). Важливо враховувати, що перед викликом цієї функції потрібно впевнитися, що шина I2C налаштована правильно і була ініціалізована.

1. Очікування прапору TXE (Transmit Data Register Empty) – цикл чекає, поки не буде встановлений прапор TXE, що означає, що регістр передачі даних (DR - Data Register) вільний і готовий для прийому нових даних.

```
while (I2C_GetFlagStatus(I2C1, I2C_FLAG_TXE) == RESET);
```

2. Передача даних: передається конкретний байт data через шину I2C1. Функція I2C_SendData() є частиною бібліотеки STM32, і вона відправляє один байт в регістр передачі.

```
I2C_SendData(I2C1, data);
```

Функція I2C_Stop дозволяє коректно завершувати передачу даних по шині I²C і забезпечує правильне завершення комунікації з підключеним пристроєм. Вона включає в себе очікування завершення стоп-послідовності та очищення відповідного прапора, що робить її корисною у функціоналі I²C комунікації на мікроконтролерах STM32.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		44

1. Генерування стану STOP – сигналу стоп-послідовності на шині I2C1, що вказує підключеним пристроям, що передача закінчена і шина тепер вільна для інших пристроїв:

```
I2C_GenerateSTOP(I2C1, ENABLE);
```

2. Очікування стану STOP від пристрою: цикл чекає, поки не буде встановлений флаг STOPF (stop detection flag), що підтверджує успішне виявлення стоп-послідовності:

```
while (I2C_GetFlagStatus(I2C1, I2C_FLAG_STOPF) == RESET);
```

3. Очистка прапора STOP. Після виявлення стоп-послідовності необхідно очистити цей флаг, щоб підготувати шину для нових операцій передачі даних.

```
I2C_ClearFlag(I2C1, I2C_FLAG_STOPF);
```

Функція Set_Si599_Frequency призначена для налаштування частоти на синтезаторі Si599 через шину I2C на мікроконтролері. Розглянемо кожен крок детально.

1. Ініціалізація змінних і конвертація частоти:

```
// Буфер блока регістрів Si599
uint8_t Si599_Regs[20] = {0};
// Подільник частоти HSDiv DCO Si599
uint8_t HSDiv = 4;
// Подільник частоти N1Div DCO Si599
uint8_t N1Div = 8;
// Регістр HSDiv/N1Div Si599
uint8_t HSN1Div = 0x00;
// Регістр RFREQ біти [7:0]
```

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		45

```

uint8_t RFREQ1 = 0x00;
// Регістр RFREQ біти [15:8]
uint8_t RFREQ2 = 0x00;

// Регістр RFREQ біти [23:16]
uint8_t RFREQ3 = 0x00;
// Регістр RFREQ біти [31:24]
uint8_t RFREQ4 = 0x00;
// Регістр RFREQ біти [37:32] і N1Div біти [1:0]
uint8_t RFREQ5 = 0x00;
// Конвертація частоти в 64-біт ціле число, Гц
uint64_t frequency_int = (uint64_t)(frequency * 1000000);

RFREQ1 = (frequency_int >> 32) & 0xFF;
RFREQ2 = (frequency_int >> 24) & 0xFF;
RFREQ3 = (frequency_int >> 16) & 0xFF;
RFREQ4 = (frequency_int >> 8) & 0xFF;
RFREQ5 = frequency_int & 0xFF;

HSN1Div = (N1Div - 1) >> 2 | (HSDiv - 4) << 5;
RFREQ5 = RFREQ5 | (N1Div - 1) << 6;

```

В цьому блоці ініціалізуються змінні для налаштування синтезатора Si599. Si599_Regs – це буфер для зберігання значень регістрів, HSDiv та N1Div - параметри подільників частоти, а RFREQ1 до RFREQ5 - це частотні значення, які будуть встановлені в регістри синтезатора.

2. Початок комунікації по шині I²C супроводжується викликом функції I2C_Start(SI599_ADDR, I2C_Direction_Transmitter), яка описана вище.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		46

3. Налаштування регістрів синтезатора Si599 – в блоці виконується наповнення буфера Si599_Regs значеннями регістрів синтезатора Si599. Після цього відбувається послідовна передача цих значень через шину I2C з використанням функції I2C_SendData().

```
// Адреса регістра FreezeDCO
Si599_Regs[0] = Si599_FreezeDCO;
// Значення регістра FreezeDCO, Freeze DCO
// Передача кадра даних Si599 по шині I2C
Si599_Regs[1] = 0x90;

I2C_SendData(Si599_Regs[0]);
I2C_SendData(Si599_Regs[1]);
// Адреса регістра HSN1Div
Si599_Regs[0] = Si599_HSN1Div;
// Значення регістра HSN1Div
Si599_Regs[1] = HSN1Div;
// Значення регістра RFREQ5
Si599_Regs[2] = RFREQ5;
// Значення регістра RFREQ4
Si599_Regs[3] = RFREQ4;
// Значення регістра RFREQ3
Si599_Regs[4] = RFREQ3;
// Значення регістра RFREQ2
Si599_Regs[5] = RFREQ2;
// Значення регістра RFREQ1
Si599_Regs[6] = RFREQ1;
// Цикл передачі кадра даних Si599 по шині I2C
for (int i = 0; i < 7; i++) {
```

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		47

```

    I2C_SendData (Si599_Regs[i]);
}

// Адреса регістра FreezeDCO
Si599_Regs[0] = Si599_FreezeDCO;

// Значення регістра FreezeDCO, UnFreeze DCO
Si599_Regs[1] = 0x80;

// Передача кадра даних Si599 по шині I2C
I2C_SendData (Si599_Regs[0]);
I2C_SendData (Si599_Regs[1]);

// Адреса регістра NewFreq
Si599_Regs[0] = Si599_NewFreq;
// Значення регістра NewFreq
Si599_Regs[1] = 0x40;
// Передача кадра даних Si599 по шині I2C
I2C_SendData (Si599_Regs[0]);
I2C_SendData (Si599_Regs[1]);

```

4. Завершення передачі даних шиною I2C шляхом виклику функції I2C_Stop.

Точка входу в програму представлена функцією main, призначена для налаштування вихідної частоти пристрою на основі стану пінів введення порту А мікроконтролера STM32 через шину I²C за допомогою синтезатора Si599.

Розглянемо основні кроки в цій програмі:

1. Ініціалізація порту А як вхідного.

```
RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOA, ENABLE);
```

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		48

```

GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_All;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_IN_FLOATING;
GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);

```

2. Ініціалізація шини I2C шляхом виклику функції I2C_Init перед початком основного циклу.

3. Головний нескінченний цикл while (1):

```

while (1) {
    // Зчитування значення порту А цілком
    uint16_t port_value = GPIO_ReadInputData(GPIOA);

    // Цикл аналізу окремої лінії (пін) порту А
    for (int i = 0; i < 12; i++) {
        // Перевірка пін лог "1" ?
        if (port_value & (1 << i)) {
            // Пін лог "1"
            // Встановлення вихідної частоти пристрою з
масиву частот по індексу i циклу for
            frequency_index = i;

Set_Si599_Frequency(frequencies[frequency_index]);
        }
    }
}

```

В цьому циклі програми здійснюється наступне:

- зчитується значення всього порту А за допомогою GPIO_ReadInputData(GPIOA). Це значення представляється як 16-бітне число, де кожен біт відповідає стану відповідного піна.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		49

- цикл for проганяється 12 разів (для 12 пінів порту A) для перевірки кожного піна.

- умова if (port_value & (1 << i)) перевіряє, чи встановлений біт i у port_value, що вказує на те, що пін є логічною "1".

- якщо пін є "1", то встановлюється змінна frequency_index відповідно до індексу i, і викликається функція Set_Si599_Frequency() для налаштування частоти на синтезаторі Si599 за допомогою значення частоти з масиву frequencies.

Таким чином, програма постійно моніторить стан пінів порту A і налаштовує вихідну частоту пристрою через синтезатор Si599 в залежності від стану цих пінів.

Висновки до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи було описано та обґрунтовано вибір елементної бази для керованого кварцового генератора; розроблено принципову схему діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням, а також розроблено та детально описано програмне забезпечення для мікроконтролера сімейства STM32 для керування діапазонним генератором.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		50

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі представлена розробка діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням. На основі технічного завдання було розроблено схему електричну структурну та схему електричну принципову генератора. В якості елементної бази було обрано генератор з цифровим інтерфейсом керування, який реалізує непрямий метод синтезу частоти на базі фазового автопідстроювання частоти.

Розробка, тестування та налагодження програмного забезпечення проводились на базі 32-бітного мікроконтролера сімейства STM32.

Практичне застосування діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням покликане замінити окремі кварцові генератори із спеціальними частотами, що ускладнює ремонт та обслуговування таких пристроїв. В той час, коли використання діапазонного генератора дозволить оптимізувати підбір опорного джерела стабільних коливань шляхом програмного виставлення потрібної частоти.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
						51
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Підченко С.К. П'єзрезонансні пристрої. Фізичні принципи роботи, основні параметри та характеристики /Ф.Ф. Колпаков, С.К. Підченко. – Консп. Лекцій з курсу “Радіопередавальні пристрої”. – Хмельницький: ТУП, – 2003. – 59 с.

2. Синтезатори частот [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://stud.com.ua/175369/tehnika/sintezatori_chastot

3. Підченко С.К. Теорія і реалізаційні основи інваріантних багаточастотних п'єзрезонансних пристроїв та систем / Монографія // Хмельницький: ХНУ, 2014. – 400 с.

4. Пат. № 70204 Україна, МПК Н03В 7/00. Lc – генератор гармонічних коливань / О. С. Чайковський; заявник і патентовласник Національний технічний університет «КПІ». – № u201115689 ; заявл. 30.12.2011 ; опубл. 25.05.2012, Бюл. № 10. – 5 с.: іл.

5. Пат. № 92890 Україна, МПК: G05F 1/14, H02M 5/22. Пристрій для регулювання змінної напруги / А.В. Антонов, Д.М. Барановський, А.О. Семенов, К.О. Коваль, В. А. Барчук; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201403221; заявл. 31.01.2014 ; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17. – 4 с.: іл.

6. Пат. № 90271 Україна, МПК: H03C 3/00. Керований кварцовий генератор / Д.П. Васильчук, С.В. Хуторненко, Д.А. Семенець; заявник і патентовласник Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА). – № u201308946; заявл. 16.07.2013 ; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10. – 5 с.: іл.

7. Пат. № 90589 Україна, МПК: H03C 3/00. Кварцовий генератор з управлінням частотою / М.Я. Шевченко, Д.А. Семенець, С.В. Хуторненко; заявник і патентовласник Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА). – № u201307855; заявл. 20.06.2013 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. – 5 с.: іл.

8. Пат. № 102677 Україна, МПК: H03L 1/00, H03B 5/00. Термокомпенсований кварцовий генератор з керованим п'єзрезонатором /

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		52

Д.А. Семенець , Д.П. Васильчук, С.В. Хуторненко; заявник і патентовласник Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА). – № u201505116; заявл. 25.05.2015 ; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 21. – 5 с.: іл.

9. Пат. № 103015 Україна, МПК: H03B 5/32. Кварцовий осциляторний генератор з управлінням частоти / Д.А. Семенець , Д.П. Васильчук, С.В. Хуторненко; заявник і патентовласник Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА). – № u201506155; заявл. 25.06.2015 ; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22. – 5 с.: іл.

10. Пат. № 113289 Україна, МПК: H01L 41/08. Вимірювальний перетворювач з частотним п'єзрезонансним датчиком / Д.А. Семенець, С.В. Хуторненко Д.П. Васильчук,; заявник і патентовласник Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА). – № u201606693; заявл. 21.06.2016; опубл. 25.01.2017, Бюл. № 2. – 6 с.: іл.

11. Пат. № 86099 Україна, МПК H 03L 9/00. Пристрій генерування / С. К. Підченко, А. А. Таранчук, В. І. Стецюк, О. В. Кальватинський ;заявник і патентовласник Хмельниц. нац. університет. – № u201308554 ; заявл. 8.07.2013 ; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 23. – 8 с.: іл.

12. Колпаков Ф. Ф. Теорія і реалізаційні основи інваріантних п'єзрезонансних коливальних систем : монографія / Ф. Ф. Колпаков, С. К. Підченко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2011. – 326 с.

13. Pidchenko S. K. Design Methodology to Construct Information Measuring Systems Built on Piezoresonant Mechanotrons with a Modulated Interelectrode Gap : the monograph / S. K. Pidchenko, A. A. Taranchuk // Applied Measurement System. Published by InTech, Rijeka, Croatia. – 2012. – Chapter 12. – Pp. 229–258.

14. Pidchenko S. Digital Synthesizer with Temperature and Vibration Compensation of Frequency Instability / S. Pidchenko, A. Taranchuk, V. Stecjuk // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunication and Computer Science: Proceedings of the International Conference TCSET'2014 February 25, 2014. – Lviv–Slavske, Ukraine. – Pp. 291–292.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		53

15. Zelensky A. A. The principles of developing invariant piezoresonance units with controlled dynamics / A. A. Zelensky, S. K. Pidchenko, A. A. Taranchuk // Eastern European journal of enterprise technologies // Scientific journal. – Kharkov : Technological center, 2012. – Vol. 6/11 (60). – Pp. 17–22.

16. Андреев О.В. Пристрої генерування та формування радіосигналів: навч. посібник [електронне видання] / О.В. Андреев, В.В. Ципоренко, В.Г. Ципоренко, І.І. Полещук – Житомир: ЖДТУ, 2018. – 138 с

17. Si599 Any Frequency General Purpose Voltage Controlled Oscillator (VCXO) [Electronic resource] / Access: <https://www.skyworksinc.com/en/Products/Timing/General-Purpose-Voltage-Controlled-Crystal-Oscillators-VCXO/Si599>

18. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Пристрої генерування та формування сигналів” з напрямку 6.050901 «Радіотехніка», укл. Марченко С.В. Дніпродзержинськ; ДДТУ, 2015. – 20 с.

19. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Пристрої генерації та формування сигналів" для студентів спеціальностей 7.090701 "Радіотехніка" усіх форм навчання./Укл. С. П. Гулін, В. Г. Козодавов.- Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – 53 с

20. Шинкарук О.М. Приймання та оброблення сигналів : навчальний посібник / О.М. Шинкарук, В. І. Правда, Ю. М. Бойко. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – 365 с.

21. Гайдук О. В. та ін. Радіотелекомунікаційні технології: Радіопередавальні та радіоприймальні пристрої. - Ніжин: ТОВ “Видавництво “Аспект-Поліграф”, 2007. - 320 с

22. Рябенський В.М. Основи моделювання систем і процесів в електротехніці (Використання пакету прикладних програм MATLAB/Simulink). Навчальний посібник / Під редакцією проф. В.М. Рябенського. – Львів: новий Світ – 2000, 2008. – 385 с.

23. Рябенський В.М. Основи моделювання систем і процесів в електротехніці (Використання пакету прикладних програм MATLAB/Simulink).

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		54

Навчальний посібник / Під редакцією проф. В.М. Рябенського. – Львів: новий Світ – 2000, 2008. – 385 с

24. What is Crystal Oscillator Circuit and its Working? [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.watelectronics.com/crystal-oscillator-circuit-workingapplications/> – 1.11.2024.

25. Підченко С. К. Ідентифікація теплового стану кварцового резонатора на етапі встановлення коливань / С. К. Підченко, А. А. Таранчук // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2004. – № 3 (7). С.36-42.

26. Таранчук А. А. Модель кварцового опорного генератора систем синхронізації цифрового телебачення / Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 5 (265). С.160-166.

27. Таранчук А. А. Аналіз методів поліпшення температурних характеристик прецизійних кварцових генераторів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2000. – № 3 – С.196-199.

28. Підченко С. К. Температурно-динамічні характеристики кварцових п'єзрезонаторів АТ- та SC-зрізів / С. К. Підченко, А. А. Таранчук, О. А. Лаба // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2003. - № 2. С. 49 – 55.

29. Stofanik V. Digitally Temperature-Compensated DDS / Balaz I., Minarik M // Proceedings of the 2001 IEEE/EIA International Frequency Control Symposium, pp. 816-819.

30. Stofanik V. An improvement in the temperature-compensated DDS / Balaz I., Minarik M // Proceedings of the 2001 IEEE/EIA International Frequency Control Symposium, pp. 662-664.

31. Matko, V. Next Generation AT-Cut Quartz Crystal Sensing Devices. Sensors, 2011, no. 11, pp. 4474-4482.

32. Huang, X., Wei, W., Tan, F., Fu, W. An Improved Overtone Crystal Oscillator with Microprocessor Temperature Compensation. IEEE International Frequency Control Symposium and Exposition, 2006, pp. 217-220.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		55

33. Taranchuk, A., Pidchenko, S., Skovryha, O. The pressure transducer based on the dual-mode piezoresonant sensors with modulated interelectrode gap. IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2016, pp. 261-263.

34. Pidchenko, S., Taranchuk, A. Synthesis of quartz measuring transducers with low Q-Factor sensor element. IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2017, pp. 489-494.

35. Taranchuk, A., Pidchenko, S. Quartz pulse wave sensor with a capacitive control for healthcare solutions. IEEE Sensors Journal, 2021, vol. 21, no. 6, pp. 8613-8620.

36. Štofanič, V., Kubinec, P., Cocherová, E. Dual-Mode Oscillator with SC Quartz Resonator Operating at Elevated Temperatures. 33rd International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA), 2023, pp. 1-4.

37. Zeng, Z.-Q., Hu, J.-G., Wu, J., Zhong, Q.-H. Wang, D.-M. A High Precision Analog Temperature Compensated Crystal Oscillator Using a New Temperature Compensated Multiplier. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, 2023, vol. 70, no. 2, pp. 680-693.

38. Ferrari, M., Ferrari, V., Kanazawa, K.K. Dual-harmonic oscillator for quartz crystal resonator sensors. Sensors and Actuators A: Physical, 2008, vol. 145–146, pp. 131-138.

39. Sato, T., Akitsu, T. Simultaneous Multimode Oscillation of Stress-Compensated Cut Quartz Resonator with Narrow-Band Wide Variable-Range Quartz Crystal Oscillator. Engineering, 2014, vol. 6, no. 13, pp. 973-988.

40. Pidchenko, S., Taranchuk, A., Yanenko, A. The efficiency of combining the stabilization and measurement functions of a quartz multi-frequency oscillation system. International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 2017, pp. 1-5.

41. Підченко С. К. Узагальнена модель багатоканального багаточастотного кварцового генератора / С. К. Підченко // Вісник Технологічного університету Поділля. Серія 1. Технічні науки – 1997. № 1.– С.76 – 80.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		56

42. Підченко С. К. Дослідження діелектричних характеристик зволоженої формувальної суміші / Ф. Ф. Колпаков, С. К. Підченко, В. В. Мішан // збірник наукових праць "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". – VI наук. - техн. конференція. – Хмельницький, 1999. – С. 72.

43. Підченко С.К. Визначення параметрів п'єзореzonансних коливальних систем з низькодобротним навантаженням / С. К. Підченко, В. В. Мішан, І. В. Миколюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 5.

44. Підченко С. К. Універсальний п'єзореzonансний вимірювач вологості / С. К. Підченко, Ф. Ф. Колпаков, В. В. Мішан, О. А. Лаба // Вісник Хмельницького національного університету. – Том 1. Технічні науки. – Хмельницький, 2007. – № 2. – С. 234 – 236.

45. Підченко С. К. Динамічні властивості прецизійних багаточастотних п'єзореzonансних коливальних систем: концепція двох рівнів / С. К. Підченко // Збірник наукових праць VII наук.-техн. конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах". – Хмельницький, 2000. – с.152 – 155.

					<i>КПТР.021028.01.07 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		57

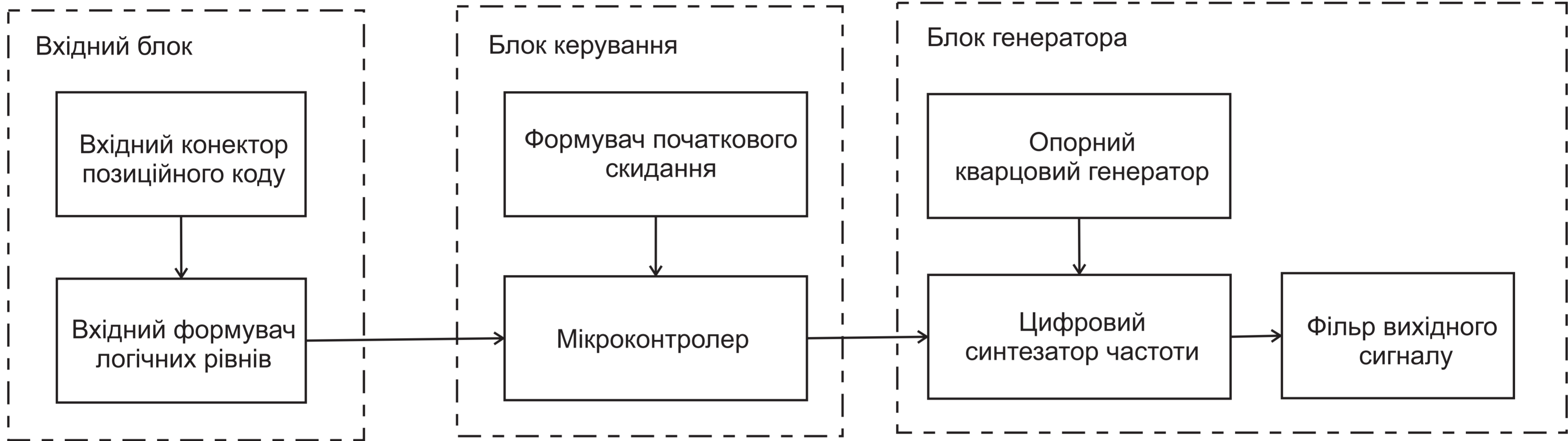
Позиц. познач.	Найменування	Кіл.	Замітки
	Кварцові резонатори		
BQ1	HC49US8.000MHz	1	
	Конденсатори керамічні SMD ±5%		
C1,C2	0805 0.1мкФ	2	
C4-C7	0805 0.1мкФ	4	
C9,C11	0805 0.1мкФ	2	
C8	0805 10нФ	1	
C14,C15	0805 12пФ	2	
	Конденсатори танталові SMD ±10%		
C3,C10	Case C 22мкФ 10B	2	
C13	Case D 10мкФ 25B	1	
	Мікросхеми		
DA1	599CCC000107DG	1	
DA2	LM7833D	1	
DD1	STM32F103C6T6	1	
	Резистори SMD ±5%		
R1-R12	1206 10кОм	12	
R13-R24	1206 2.0кОм	12	
R25,R26	0805 4.7кОм	2	
R27	0805 1кОм	1	
R28	0805 3,3кОм	1	
R29,R30	0805 10кОм	2	
R31	1206 470	1	

XXXXXXXXXXXXXXXXXX

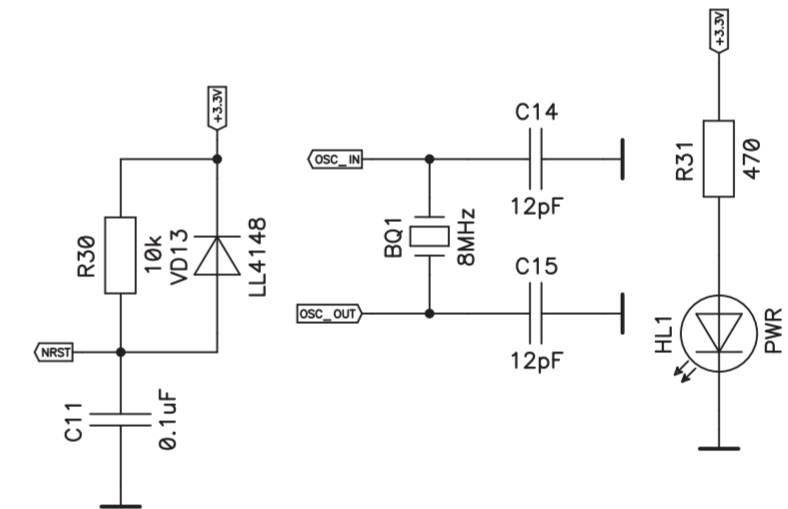
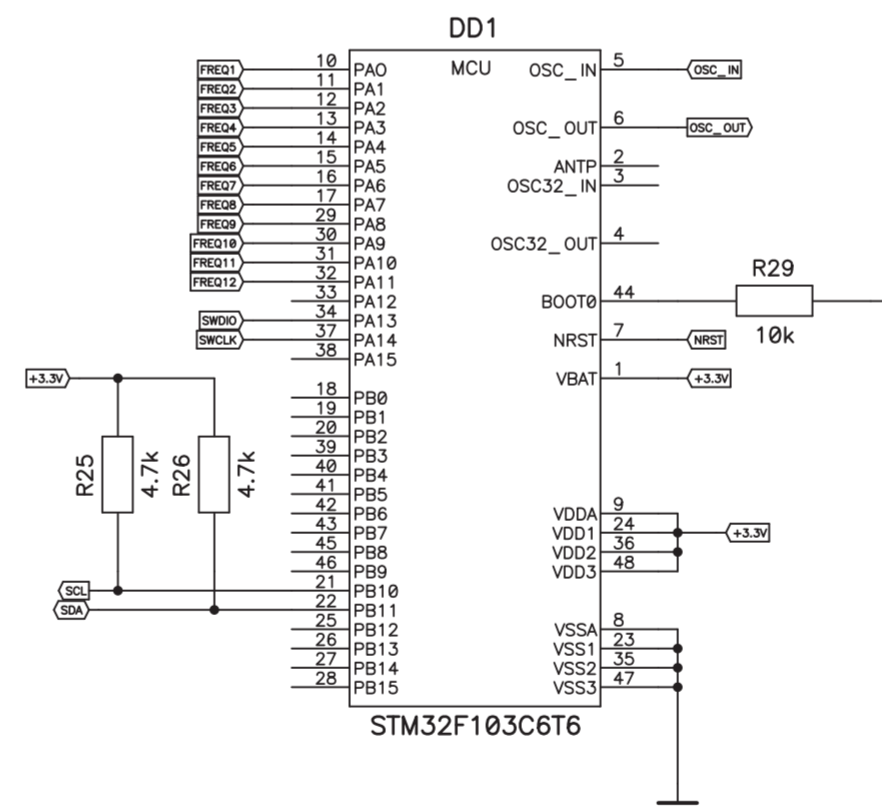
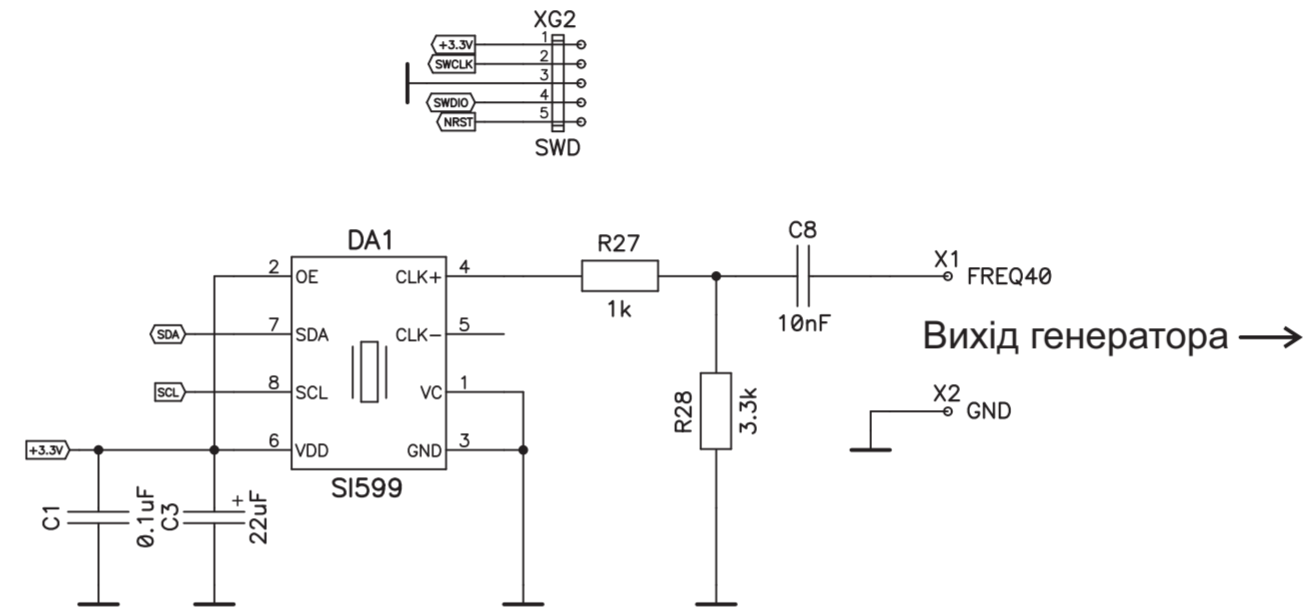
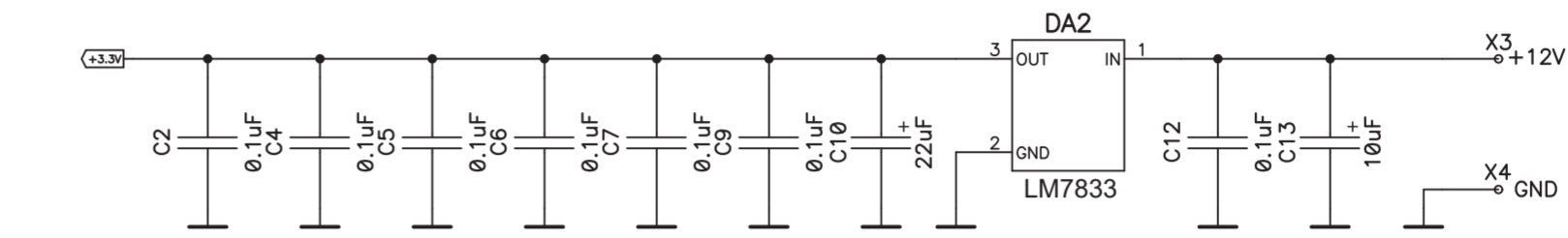
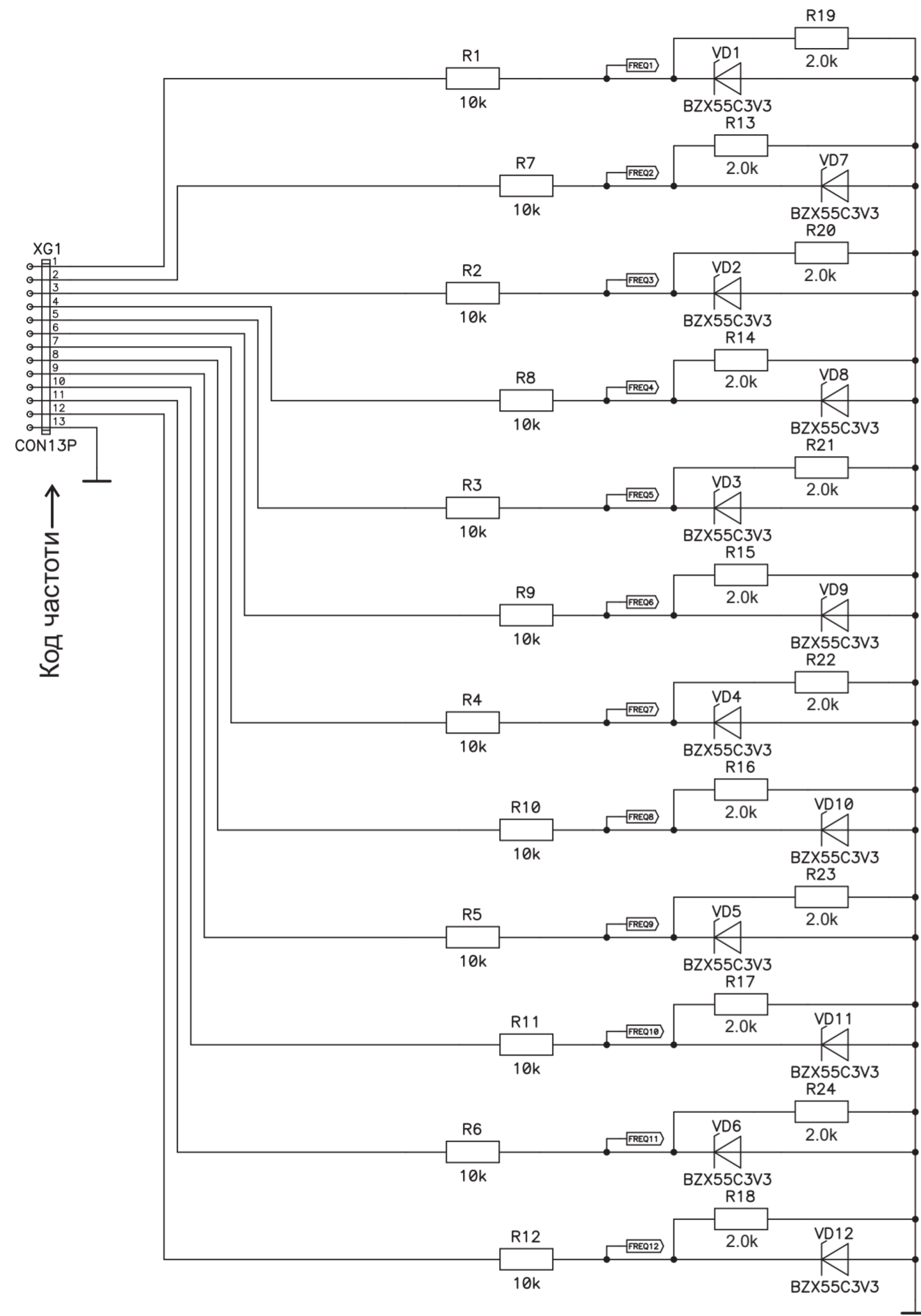
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата
Розроб.		XXXXXXXX		
Керівник		XXXXXXXX		
Консульт.		XXXXXXXX		
Н.контр.		XXXXXXXX		
Зав.каф.		XXXXXXXX		

Генератор DDS 40МГц
Перелік елементів

Літ.	Аркуш	Аркушіє
У	1	2



					КПТР.021028.01.07 Е1				
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Діапазонний програмований кварцовий генератор			Літера	Маса	Масштаб
Розроб.	Коржан М.М.			Схема електрична структурна					
Перевір.	Підченко С.К.						Аркуш 1	Аркушів 1	
Н. контр.	Стецюк В.І.								
Т. контр.									
Затв.	Підченко С.К.						ХНУ, ГР. ТР2с-21-1		



				КПТР.021028.01.07 Е3			
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Діапазонний програмований кварцовий генератор Схема електрична принципова	Літера	Маса	Масштаб
Розроб.	Коржан М.М.						
Перевір.	Підченко С.К.						
Н. контр.	Стецюк В.І.				Аркуш 1	Аркушів 1	
Т. контр.				ХНУ, ГР. ТР2с-21-1			
Затв.	Підченко С.К.						

Факультет
інформаційних технологій



Хмельницький
національний
університет



Кафедра телекомунікацій,
медійних та інтелектуальних
технологій

Кваліфікаційних проєкт бакалавра

Діапазонний програмований кварцовий генератор

Здобувач: Коржан М. М. – гр. TP2c-21-1

Керівник: д.т.н., проф. Підченко С. К.



Актуальність проєкту

Кварцові генератори відомі своєю високою точністю і стабільністю частоти. Використання програмного керування дозволяє підтримувати ці характеристики на високому рівні, забезпечуючи точне налаштування частоти. Програмне керування також дозволяє змінювати частоту генератора в межах заданого діапазону забезпечуючи універсальність такого пристрою. Такі генератори можуть використовуватися в різних галузях техніки, включаючи телекомунікації, радіоелектроніку, медичне обладнання, промислову автоматику, де потрібним є налаштування на різні частоти для оптимальної роботи пристроїв. Потенційно можливим є зниження витрат на виробництво і обслуговування завдяки меншій кількості компонентів і можливості оновлення програмного забезпечення замість фізичної заміни компонентів. Ці ключові аспекти підтверджують **актуальність теми проєкту.**





Мета та задачі проєкту

Метою проєкту є розробка програмованого діапазонного кварцового генератора для використання в якості джерела високостабільних коливань для промислових радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій.

Задачі проєкту:

1. Аналіз існуючих методів синтезу частоти, програмних засобів керування та сучасної елементної бази.
2. Проєктування та моделювання діапазонного кварцового генератора. Розробка структурної схеми. Розробка алгоритму керування та цифрового інтерфейсу інтеграції пристрою. Розробка структурної схеми пристрою.
3. Розробка принципової схеми діапазонного кварцового генератора. Розробка та тестування програмного забезпечення для керування діапазонним генератором.





Вихідні дані технічного завдання на проектування

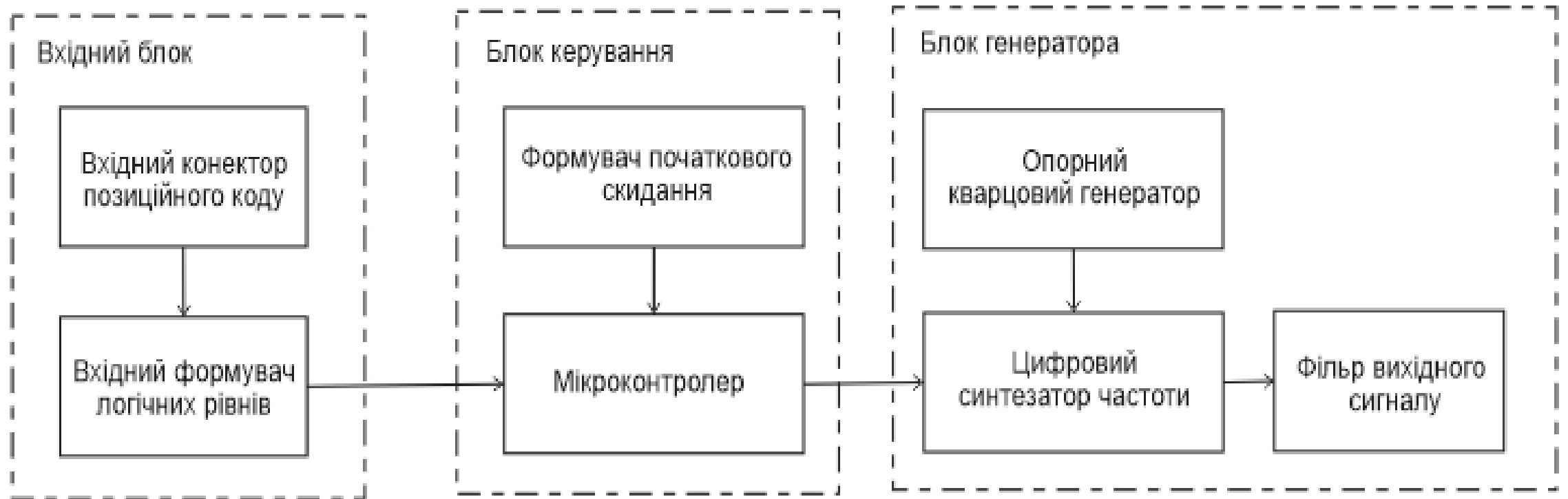
Відповідно до технічного завдання на проектування, необхідно розробити діапазонний КГ з цифровим керуванням на для діапазону частот 39,1 – 40,2 МГц. Керування здійснюється через цифровий інтерфейс задання частот кількість 12 логічних входів, причому рівень логічної «1» становить 19...25 В, а рівень логічного «0» – порядку 0...2 В. Напруга живлення генератора дорівнює 12,6 В. Конструкторська документація – схема електрична структурна, схема електрична принципова.

Параметр	Значення
Живлення, В	12,6
Кількість входів керування	12
Рівень логічної «1», В	19...25
Рівень логічного «0», В	0...2
Діапазон частот, МГц	39,1...40,2
Крок переналаштовування частоти, кГц	100



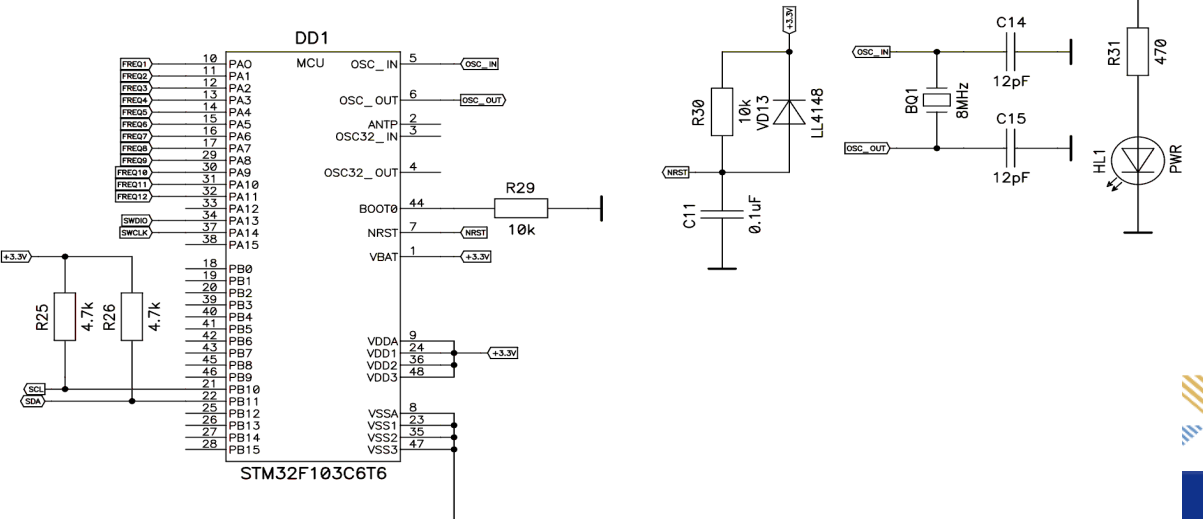
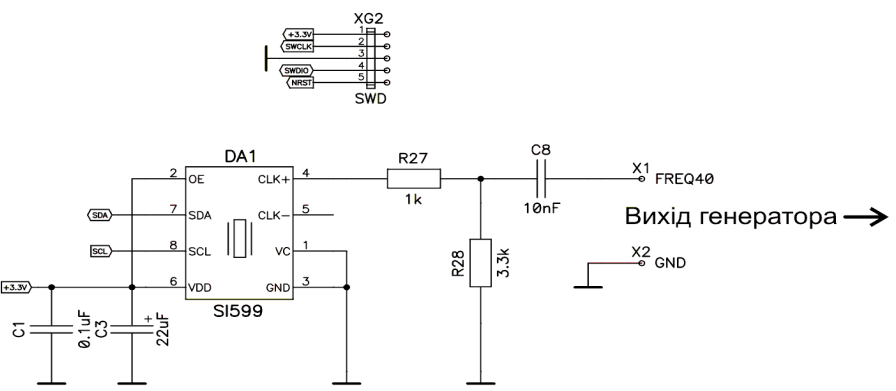
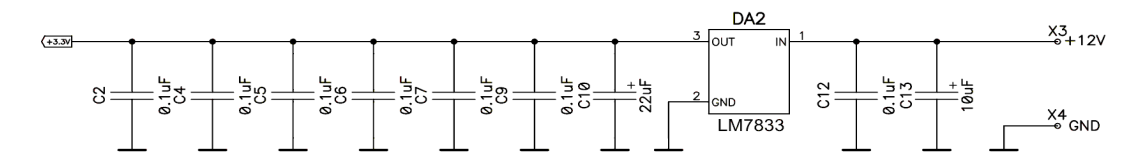
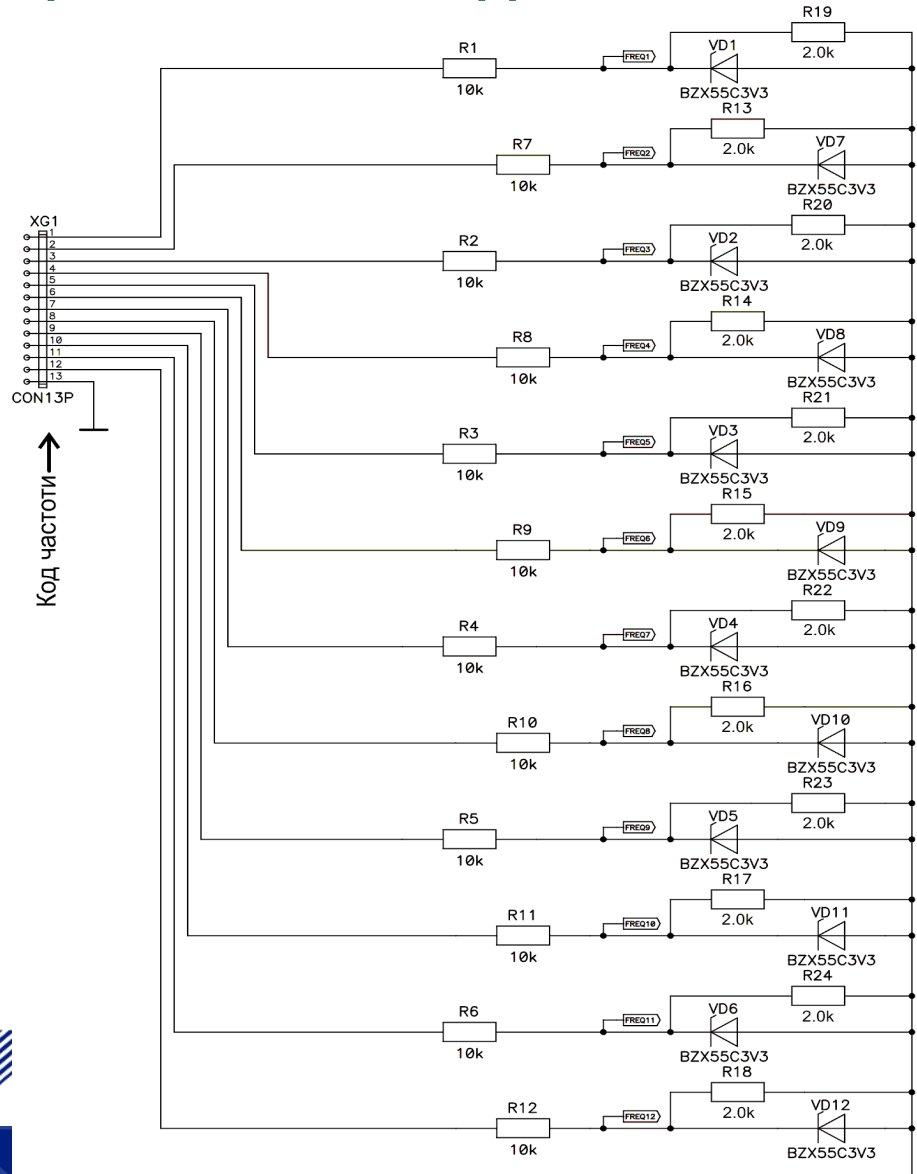


Структурна схема діапазонного генератора



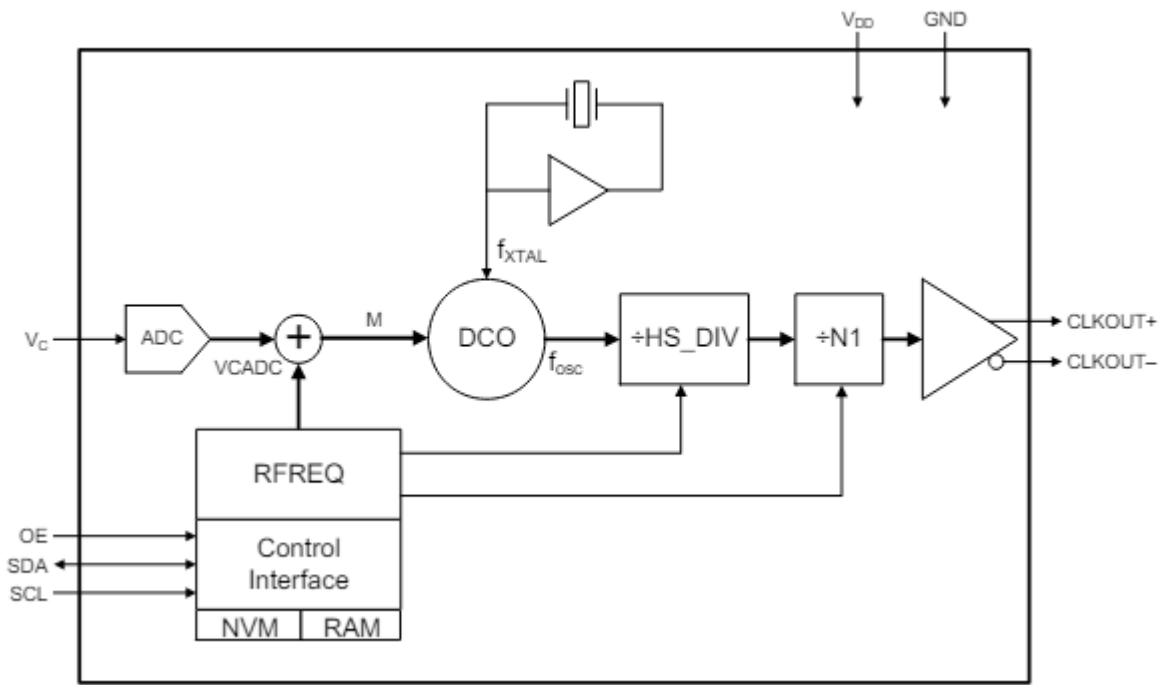


Принципова схема діапазонного генератора

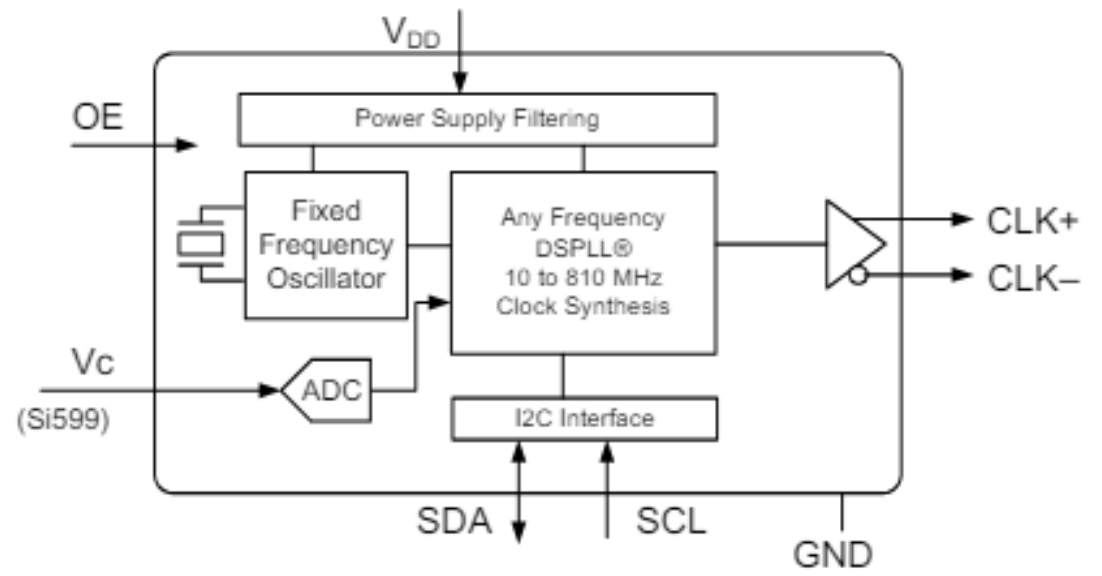




Вибір елементної бази: синтезатор 10–810 MHz Si599 з програмним керуванням по шині I2C

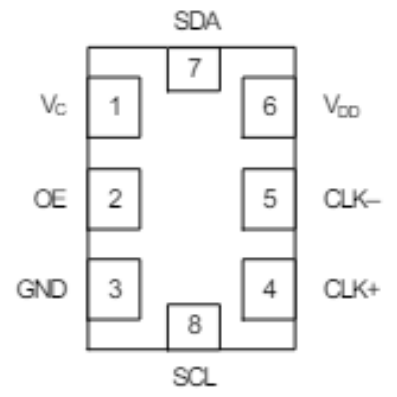


Структурна схема



Функціональна схема

Зовнішній вигляд та розміщення виводів





Опис принципової схеми генератора

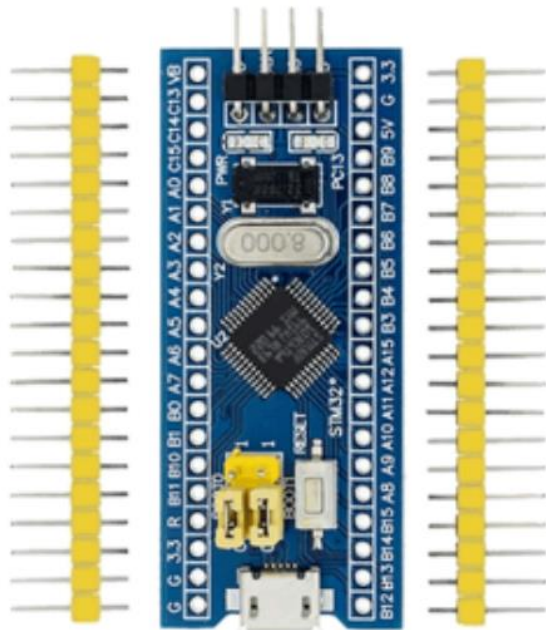
Принципова схема пристрою містить вхідний конектор підключення каналу позиційного коду частоти XS1 типу CON13P, вхідний 12-канальний формувач логічних рівнів 3.3В-логіки з вхідних рівнів "1" — 19...25В, "0" — 0...2В на резистивних подільниках напруги R1–R24 та захисних обмежуючих стабілітронах VD1–VD12 типу BZX55C3V3, 32-бітний мікроконтролер (далі по тексту МПК) на архітектурі Cortex-M3 тактовою частотою 72МГц зі знизеним енергоспоживанням на мікросхемі DD1 типу STM32F103C6T6, формувача початкового скиду МПК на елементах R30, VD13, C11, кола кварцового генератора 8МГц на елементах BQ1, C14, C15, цифровий синтезатор частоти на мікросхемі DA1 типу Si599, блокувальних конденсаторах C1, C3 кола живлення, фільтр виходу синтезатора на елементах R27, R28, C8 та паразитній ємності схеми. Вихідна частота синтезатора задається з МПК через інтерфейс I²C. Сигнал з виходу синтезатора частотою 40МГц подається на вихід пристрою через контакти X1, X2. Стабілізатор напруги живлення пристрою 3.3В зібран на мікросхемі інтегрального стабілізатора LM7833D та блокувальних конденсаторах C2, C4–C7, C9, C10, C12, C13. Завантаження програми в МПК пристрою можливо за допомогою спеціального програматора з інтерфейсом SWD через конектор XG2.

На вхід пристрою подається позиційний код потрібної частоти, всього можливо задати 12 значень вихідної частоти з номінальним значенням 40МГц. МПК за вхідним кодом задає по інтерфейсу I²C вихідну частоту роботи синтезатора, і тим самим вихідну частоту самого пристрою. Амплітуда вихідного сигналу забезпечується не менше 1В.





Налагоджувальна плата: Blue Pill STM32F103C8T6



STM32F103C8T6

Модульна плата з ARM Cortex M-3 мікропроцесором STM32F103C8T6.

Основні характеристики:

Частота - до 72 МГц (через мультиплікатор, кристал - 8 МГц)

Мікročіп - 32-бітний Cortex M3 STM32F103C8(1.25 DMIPS/MHz)

Апаратне ділення та множення в один цикл

7 таймерів, до 9 інтерфейсів комунікації (I2C, SPI, UART, USB, CAN)

Програмна пам'ять - 64Кб

Оперативна пам'ять - 20Кб

Живлення логіки - 2-3.3В

microUSB порт





Висновки

В кваліфікаційній роботі представлена розробка діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням. На основі технічного завдання було розроблено схему електричну структурну та схему електричну принципову генератора. В якості елементної бази було обрано генератор з цифровим інтерфейсом керування, який реалізує непрямий метод синтезу частоти на базі фазового автопідстроювання частоти.

Розробка, тестування та налагодження програмного забезпечення проводились на базі 32-бітного мікроконтролера сімейства STM32.

Практичне застосування діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням покликане замінити окремі кварцові генератори із спеціальними частотами, що ускладнює ремонт та обслуговування таких пристроїв. В той час, коли використання діапазонного генератора дозволить оптимізувати підбір опорного джерела стабільних коливань шляхом програмного виставлення потрібної частоти.





Дякую за увагу!



Завідувачу кафедри ТМІТ
Підченку С. К.
здобувача вищої освіти
студента 3 курсу, гр.ТР2с-21-1
Коржана М. М.

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

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

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

11.06.2024

дата


підпис

Ім'я користувача:
Kafedra TMIT KhNU

Дата перевірки:
18.06.2024 08:50:17 EEST

Дата звіту:
09.07.2024 12:07:50 EEST

ID перевірки:
1016370755

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005657

Назва документа: Коржан_ТРС-21

Кількість сторінок: 52 Кількість слів: 9631 Кількість символів: 67604 Розмір файлу: 862.52 KB ID файлу: 1016177876

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

17.7% Схожість

Найбільша схожість: 5.11% з Інтернет-джерелом (<http://elar.khmnu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/14213/1/%d0%9a>).

17.5% Джерела з Інтернету

552

Сторінка 54

4.7% Джерела з Бібліотеки

38

Сторінка 57

0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

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

Замінені символи

77

Підозріле форматування

10
сторінок

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 12%

ID: 131210 Назва: Діапазонний програмований кварцовий генератор Додано в БД: 2024-06-18 Автора: Коржан Микола Миколайович Керівники: Підченко Сергій Костянтинович Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	46177	406	2597 (6%)	37 (9%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

ВІДГУК

на дипломний проєкт Коржана М. М.
“Діапазонний програмований кварцовий генератор”

Тема кваліфікаційного проєкту «Діапазонний програмований кварцовий генератор» розробці радіотехнічного пристрою – діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням.

Під час роботи над кваліфікаційним проєктом студент Коржан М. М. виконав детальний аналіз вітчизняної та закордонної технічної літератури, а також патентних матеріалів, що дозволило прийняти оптимальні рішення під час проєктування діапазонного генератора.

В пояснювальній записці технічно грамотно та достатньо повно обґрунтований вибір технічних рішень, проведені необхідні розрахунки та дослідження. Розроблено структурну та принципову схеми генератора.

Під час виконання проєкту студент Коржан М. М. проявив себе ініціативним і творчим спеціалістом з добрими теоретичними знаннями та практичними навичками. При розробці електричної принципової схеми вміло використовувались стандартні схемотехнічні рішення, що дозволило суттєво скоротити час на розробку пристрою тестування.

Матеріали кваліфікаційного проєкту мають практичну цінність і можуть бути використані на підприємствах відповідного профілю для впровадження у виробництво.

В цілому кваліфікаційний проєкт виконано на достатньому рівні, заслуговує на оцінку “добре”, а її автор – Коржан М. М. на присвоєння кваліфікації «Бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки».

д.т.н., професор



Підченко С. К.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Дипломник: Коржан Микола Миколайович

Тема: Діапазонний програмований кварцовий генератор

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційного проєкту:

Кількість листів креслень 2 Кількість сторінок записки 52

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою проєкту є розробка програмованого діапазонного кварцового генератора для використання в якості джерела високостабільних коливань для промислових радіотехнічних пристроїв та засобів телекомунікацій. Задачі проєкту: аналіз існуючих методів синтезу частоти, програмних засобів керування та сучасної елементної бази; проєктування та моделювання діапазонного кварцового генератора; розробка структурної схеми; розробка алгоритму керування та цифрового інтерфейсу інтеграції пристрою; розробка принципової схеми діапазонного кварцового генератора; розробка та тестування програмного забезпечення для керування діапазонним генератором.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи:

1) в першому розділі кваліфікаційної роботи було проведено огляд літературних джерел та патентних матеріалів щодо практичного застосування кварцових генераторів в радіотехніці та телекомунікаціях. Розглянуто фізичні властивості, схеми заміщення та основні аналітичні співвідношення для одночастотних кварцових резонаторів;

2) в другому розділі кваліфікаційної роботи була представлена математична модель для розрахунку кварцового генератора на основі методу розрахунку енергетичних параметрів КГ, який можна застосовувати для синтезу КГ широкого діапазону частот; розроблено та описану структурну схему діапазонного генератора

з програмним керуванням, а також описано детально метод непрямого синтезу частоти на основі кола цифрового ФАПЧ для реалізації синтезатора частоти діапазонного кварцового генератора;

3) в третьому розділі кваліфікаційної роботи було описано та обґрунтовано вибір елементної бази для керованого кварцового генератора; розроблено принципову схему діапазонного кварцового генератора з програмним керуванням, а також розроблено та детально описано програмне забезпечення для мікроконтролера сімейства STM32 для керування діапазонним генератором.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатній рівень опису програмного забезпечення програмованого генератора.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Гула І. В., к.т.н.,
доцент кафедри фізики та електротехніки

“_18”_червня_2024_р.

_____ (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОГО ПРОЄКТУ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Діапазонний програмований кварцовий генератор

Автор: Коржан Микола Миколайович

Спеціальність: 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Підченко Сергій Костянтинович, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

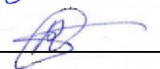
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 17.7% і адресується до 590 першоджерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи



С. К. Підченко

Гарант ОП



В. І. Стецюк

Завідувач кафедри ТМІТ



С. К. Підченко