

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи магістра
на тему

«Електронна система виміру розповсюдження ультразвуку»
(тема роботи)

Завідувач кафедри

(підпис)

А. С. Опанасюк

(прізвище, ініціали)

Курівник роботи

(підпис)

О. В. Д'яченко

(прізвище, ініціали)

Студент гр.

ЕС.М-31
(шифр групи)

(підпис)

Д. Ю. Радько

(прізвище, ініціали)

Суми 2024 р.

Сумський державний університет
Факультет _____ електроніки та інформаційних технологій
Кафедра _____ електроніки і комп'ютерної техніки
Спеціальність _____ 171 Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри Опанасюк А. С.

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра
Радьку Даниїлу Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: «Електронна система виміру розповсюдження ультразвуку»
затверджено наказом по університету від «01» жовтня 2024 р. №1103 -VI

2. Термін здачі студентом закінченої роботи _____

3. Вихідні дані до роботи:

- напруга живлення – 5 В;
- три режиму роботи;
- частота ультразвукових коливань – 40 кГц;
- максимальний час розповсюдження – 10,7 мс;
- світлодіодна індикація виміру реального часу швидкості ультразвуку.

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити):

- огляд літературних джерел по тематиці проекту;
- розробка схем функціонування пристрою

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень або плакатів):

- алгоритм схема;
- структурна схема пристрою;
- функціональна схема;
- електрична принципова схема.

6. Дата видачі завдання 01.10.24

7. Керівник роботи кандидат фіз.-мат. наук, доцент Д'яченко Олексій Вікторович

8. Завдання прийняв до виконання Радько Даниїл Юрійович

Календарний план

№ пор.	Найменування етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по тематиці проекту	1.10.24	
2	Розробка алгоритму функціонування пристрою	5.10.24	
3	Розробка структурної схеми пристрою	12.10.24	
4	Розробка принципової схеми пристрою	22.10.24	
5	Розрахунок основних вузлів принципової схеми	10.11.24	
6	Оформлення графічної частини	24.11.24	
7	Оформлення пояснювальної записки	06.12.24	
8	Рецензування роботи та підготовка до захисту	15.12.24	

Студент Радько Д. Ю.

Керівник роботи Д'яченко О. В.

« _____ » _____ 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Випускна робота містить : 61 с.; 19 рис.; 10 табл.; 16 джерел.

Дана робота присвячена розробці пристрою для виміру часу розповсюдження ультразвуку.

У вступі зазначено актуальність розробки пристрою для вимірювання часу поширення ультразвукових хвиль, який може бути застосований у різних галузях, від побутових до промислових систем.

У розділі «Огляд літератури та постановка завдання проектування» розглянуті існуючі ультразвукові прилади та методи вимірювання часу ультразвукових хвиль, а також перспективи їх використання.

У розділі «Розробка електронної системи з використанням отриманих результатів досліджень» розроблено алгоритм функціонування пристрою, структурну, функціональну та принципову схеми пристрою.

У розділі «Розрахунок основних характеристик проектованої системи» наведено загальний опис параметрів системи, аналіз вимог та було розраховано основні вузли принципової схеми.

У розділі «Техніко-економічна частина» було проведено аналіз ринку систем виміру розповсюдження ультразвуку, досліджено існуючі аналоги системи та розраховано економічні характеристики системи і точки беззбитковості.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ.....	7
1.1 Ультразвуковий далекомір	7
1.2 Ультразвуковий вимірювач октанового числа бензину	9
1.3 Аналіз існуючих методів вимірювання часу ультразвукових хвиль	15
1.4 Перспективи використання ультразвукових вимірювальних пристроїв	17
2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	20
2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою	20
2.2 Розробка структурної схеми пристрою	21
2.3 Розробка функціональної схеми пристрою.....	24
2.4 Вибір елементної бази.....	25
2.4.1 Операційний підсилювач.....	25
2.4.2 Мікросхема декодера тонального сигналу	27
2.4.3 Польові N-канальні транзистори	29
2.4.4 Ультразвуковий датчик.....	30
2.4.5 Цифровий-аналоговий перетворювач	31
2.4.6 Світлодіоди	32
2.4.7 Стабілітрони.....	32
2.5 Розробка принципової схеми пристрою.....	34
3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ	37
3.1 Загальний опис параметрів системи	37
3.2 Аналіз вимог до системи.....	38

					ЕЛІТ 6.171.00.10.469 ПЗ			
Змн	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	<i>Електронна система виміру розповсюдження ультразвуку</i>	Лист.	Аркуш	Листів
<i>Розроб.</i>		<i>Радько Д. Ю.</i>					3	----
<i>Перевір.</i>		<i>Д'яченко О. В.</i>				СумДУ ЕС.м-31		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Опанасюк А.С.</i>						

3.3	Розрахунок основних вузлів принципової схеми.....	39
4	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	42
4.1	Економічна доцільність впровадження електронної системи виміру розповсюдження ультразвуку	42
4.2	Розрахунок економічних характеристик проектованої системи	46
4.3	Порівняння з існуючими рішеннями	52
4.4	Розрахунок точки беззбитковості	55
	ВИСНОВКИ.....	57
	ЛІТЕРАТУРА.....	59
	ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ	61

					<i>ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ</i>	Арк.
						4
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Ультразвук, як форма механічних коливань із частотами, вищими за межу сприйняття людського слуху (20 кГц), є одним із найефективніших засобів неруйнівного контролю, діагностики та вимірювань. Завдяки своїм фізичним властивостям, таким як здатність проникати через різноманітні середовища та взаємодіяти з їх структурою, ультразвук знайшов широке застосування в різних галузях: від медицини до промисловості, від науки до технологій.

Ефективність використання ультразвукових хвиль значною мірою залежить від точності їх вимірювання та аналізу. Для цього розробляються спеціалізовані електронні системи, які забезпечують високу чутливість, точність та швидкість обробки сигналів. Впровадження новітніх методів обробки сигналів, а також інтеграція сучасних мікроконтролерів і сенсорів дозволяє суттєво покращити характеристики таких систем.

Проте сучасні системи ультразвукового вимірювання часто стикаються з низкою проблем: вплив шумів і зовнішніх перешкод, недостатня точність у визначенні параметрів, обмежені можливості калібрування для різних середовищ. У цьому контексті розробка нової електронної системи вимірювання розповсюдження ультразвуку, яка забезпечуватиме підвищену точність, чутливість і адаптивність до умов вимірювання, є надзвичайно актуальною задачею.

У сучасному світі потреба у високоточних засобах вимірювання зростає в усіх галузях. У промисловості ультразвукові методи використовуються для контролю якості матеріалів, виявлення дефектів, вимірювання товщини та структурного аналізу. У медицині вони є основою ультразвукової діагностики, яка дозволяє отримувати високоточні зображення тканин та органів. З огляду на це, розробка нових систем, що базуються на сучасних електронних компонентах і алгоритмах обробки сигналів, відкриває широкі можливості для вдосконалення існуючих підходів.

					ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
						5
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою роботи є розробка та дослідження електронної системи вимірювання розповсюдження ультразвукових хвиль, що забезпечує високу точність, чутливість і надійність в умовах різних середовищ.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- Проаналізувати існуючі методи і засоби вимірювання параметрів ультразвуку.
- Розробити концепцію електронної системи вимірювання з урахуванням сучасних вимог до точності та чутливості.
- Дослідити методи обробки ультразвукових сигналів для забезпечення високої точності вимірювань.
- Виконати моделювання роботи системи та провести аналіз її характеристик.
- Оцінити практичне застосування розробленої системи в реальних умовах.

Розроблена система забезпечує підвищену точність вимірювання параметрів ультразвукових хвиль завдяки використанню сучасних методів обробки сигналів і адаптивного підходу до налаштування під конкретні умови. У роботі вперше застосовано алгоритми компенсації перешкод та шумів для електронних систем такого типу, що суттєво покращує точність вимірювань.

Результати дослідження можуть бути використані у виробництві систем неруйнівного контролю, медичної апаратури для діагностики, а також у наукових дослідженнях для аналізу властивостей матеріалів. Розроблена система є адаптивною і може бути налаштована для роботи з різними середовищами, що розширює сферу її застосування.

					<i>ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Ультразвуковий далекомір

Задача автоматичного поповнення резервуару рідиною, наприклад, водою в дачному будинку, є досить поширеною як у побуті, так і на підприємствах. Для вирішення цієї проблеми традиційно використовуються ємнісні та резистивні датчики рівня рідини, але є й можливість застосування ультразвукового далекоміра.

З використанням ультразвукового далекоміра НС-5804 без мікроконтролера можна створити пристрій для вимірювання рівня рідини в різних ємностях [1-3], зокрема в резервуарах для води, та інтегрувати його з автоматом управління насосом. Оскільки для цього типу задач точність вимірювань не є критичною, можна застосувати малогабаритний стрілочний прилад, наприклад, мікроамперметр. Для автоматичного включення насоса в систему слід включити необхідні компоненти управління. Шкалу мікроамперметра можна проградувати у відсотках від об'єму резервуара, що значно спростить процес візуального відображення рівня рідини. Використання мікроамперметра з максимальним струмом 100 мкА дозволяє взагалі обійтися без градування шкали.

Схема пристрою показано на рис. 1.1. Пристрій складається з двох основних частин: датчика і блоку індикатора з елементами управління насосом та джерелом живлення. Як основа датчика використовується ультразвуковий далекомір НС-SR04. На операційному підсилювачі DA1.1 створений генератор прямокутних імпульсів з періодом близько 12 мс, що є достатнім для вимірювання відстані до поверхні води в резервуарі, висота якого не перевищує 2 м. Параметри імпульсів можна коригувати за допомогою зміни значень резистора і конденсатора. Запуск імпульсів для далекоміра здійснюється за допомогою диференціюючого RC-ланцюга.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

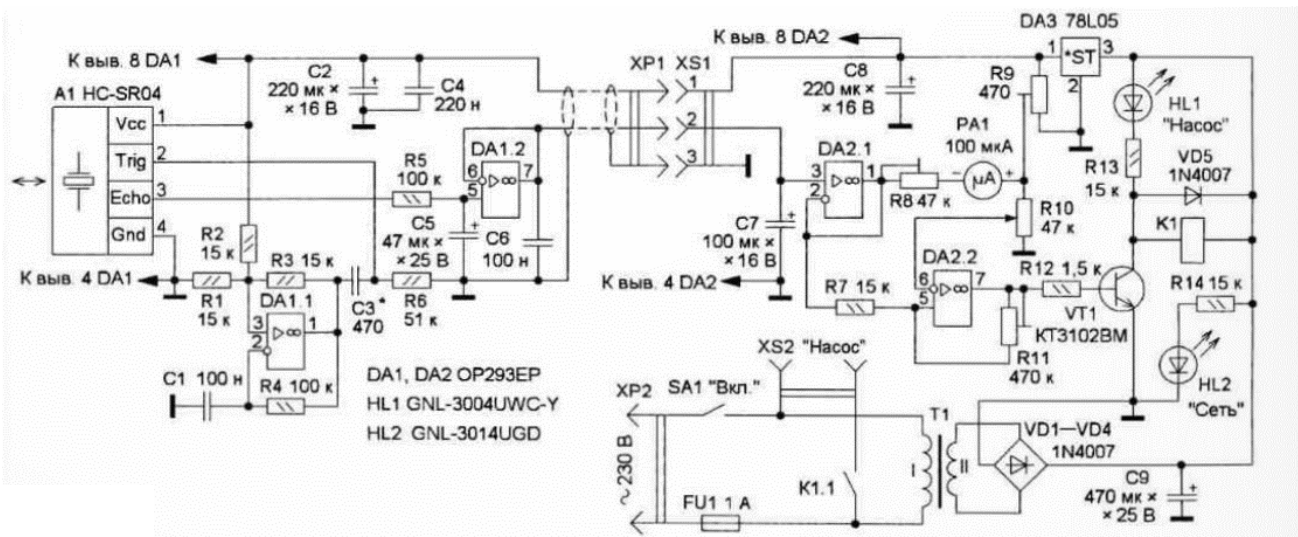


Рисунок 1.1 – Схема ультразвукового далекоміра [1]

Імпульси з виходу Echo далекоміра мають тривалість, яка залежить від відстані до поверхні води, і надходять на інтегруючий RC-ланцюг, де формується постійна напруга, яка пропорційна рівню води в резервуарі. Чим нижчий рівень води, тим більша відстань до поверхні, а отже, більша напруга на конденсаторі. Операційний підсилювач DA1.2 працює як буфер, передаючи напругу на індикаторний блок.

У вузлі індикатора застосовується повторювач напруги DA2-1, який забезпечує стабільність сигналу на вході мікроамперметра. Напруга, що надходить на вимірювальний прилад, пропорційна рівню рідини в резервуарі, і індикується у відсотках від загального об'єму резервуара. Для балансування стрілочного приладу використовується підстроювальний резистор.

Для управління насосом застосовуються ОУ DA2.2, транзистор VT1 і реле K1. Поріг включення насоса регулюється змінним резистором, а гістерезис перемикачання налаштовується підстроювальним резистором. Транзистор VT1 подає сигнал на реле K1, яке управляє подачею живлення на насос. Світлодіоди HL1 і HL0 індикують стан пристрою. Джерело живлення складається з

трансформатора, діодного моста та стабілізуючого конденсатора для забезпечення стабільної напруги для операційних підсилювачів і датчика.

1.2 Ультразвуковий вимірювач октанового числа бензину

Багато сучасних автомобілів оснащено електронними системами запалювання, які включають комп'ютерні блоки управління подачею палива та його упорскуванням. Одним із важливих параметрів для коректної роботи цих систем є октанове число бензину. Якщо це число не відповідає стандарту, двигун не може працювати в оптимальному режимі, що порушує процес упорскування палива та може призвести до значного зниження потужності або навіть аварії. Тому розробка доступного та простого пристрою для моніторингу октанового числа пального є актуальною задачею для автолюбителів.

Для експрес-аналізу октанового числа бензину випускається лабораторний аналізатор ХХ-440, який є простим у використанні та надійним завдяки впровадженню передових технологій і патентованих рішень. Прилад автоматично проводить самотестування після кожного увімкнення, забезпечуючи високу точність вимірювань. Результати відображаються на дисплеї та можуть бути роздруковані разом із номером проби, датою і часом випробування на вбудованому принтері. Проте вартість цього пристрою може досягати десятків тисяч доларів, що робить його недоступним для більшості користувачів. Створення подібного приладу навіть досвідченими радіоаматорами в домашніх умовах є складним завданням.

Для виготовлення компактного та економічного пристрою для оперативного контролю якості палива можна застосувати ультразвуковий метод вимірювання октанового числа бензину [4], який базується на визначенні швидкості поширення ультразвуку в паливі. Такий підхід уже використовується в промислових октаномерах, таких як АС-98, SHATOX SX-150, ОКТАН-ІМ та

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

інших. Хоча запропонований метод не може зрівнятися з високою точністю промислових приладів, він здатний ефективно відрізнити бензин хорошої якості від неякісного. Це особливо важливо для водіїв, оскільки якість пального на багатьох автозаправних станціях часто не відповідає стандартам. Такий октанометр також простий у виготовленні, не вимагає складного налаштування і використовує доступні компоненти.

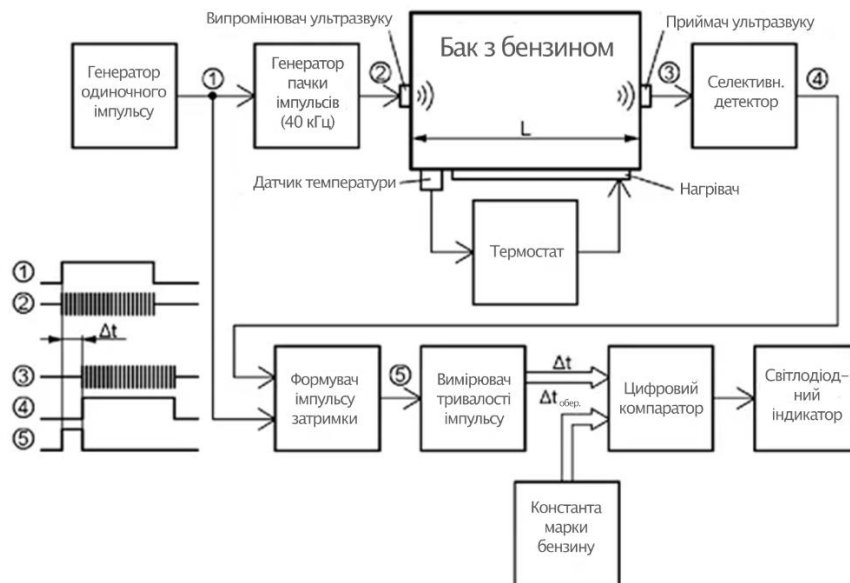


Рисунок 1.2 – Блок-схема ультразвукового октанометру

Блок-схема ультразвукового октаноміра представлена на рис. 1.2. Генератор одиночного імпульсу формує імпульс (1), який передається на резонансну частоту ультразвукового випромінювача (2). Для найпоширеніших ультразвукових випромінювачів, що використовуються сьогодні, ця частота складає 40, 200 або 400 кГц [5]. Імпульс спрямовується в бензобак автомобіля. З протилежного боку бензобака ультразвуковий приймач приймає імпульс (3), після чого селективний детектор перетворює його в імпульс постійного струму (4), який затриманий відносно імпульсу (1) на час, необхідний для поширення ультразвуку в бензині. Цей час дорівнює

$$\Delta t = \frac{L}{V},$$

де L – відстань між випромінювачем та приймачем ультразвуку;

V – швидкість поширення ультразвуку в аналізованому бензині.

По фронтах випромінюваного та прийнятого імпульсів формується імпульс (5), тривалість якого дорівнює Δt .

Вимірюючи час поширення ультразвукових хвиль та знаючи відстань між випромінювачем і приймачем, можна визначити швидкість звуку в бензині, що дозволяє оцінити його октанове число. Для визначення тривалості імпульсу використовуються імпульси з відомим періодом, які підраховуються за допомогою лічильника. Це число порівнюється з еталонними значеннями, характерними для різних марок бензину, після чого на світлодіодному індикаторі відображають результат порівняння, що дозволяє зробити висновки щодо марки та якості пального.

Значення швидкості ультразвукових хвиль у різних бензинах та в повітрі при різних температурах наведені в таблиці 1.1. Оскільки швидкість поширення ультразвуку в бензині значною мірою залежить від температури, для підвищення точності вимірів у прилад вводять термостат, що включає датчик температури та нагрівач у баку з бензином. Це особливо важливо в зимовий період, коли температура значно варіюється, забезпечуючи більш точні результати вимірювань.

Принципова схема октаномера, що працює за описаним принципом, представлена на рис. 1.3. Передавач та селективний детектор ультразвукового сигналу побудовані на базі мікросхеми тонального декодера LM567 (DA2). Ця мікросхема є синхронним детектором, опорний генератор якого охоплений петлею ФАПЧ. Генератор можна налаштувати на будь-яку частоту F від 100 Гц до 500 кГц, вибравши відповідні параметри елементів $C6$, $R9$ та $R10$:

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$$F = \frac{1}{1,1 \cdot C6 \cdot (R9 + R10)}$$

Таблиця 1.1 – Швидкості ультразвукових хвиль у різних бензинах та в повітрі при різних температурах

Температура, °С	Середовище				
	AI-80	AI-92	AI-95	AI-98	Повітря
-20	1329	1376	1374	1380	319
-10	1283	1320	1327	1335	325
0	1238	1273	1281	1291	331
10	1 189	1226	1235	1242	337
20	1 141	1179	1188	1196	343
30	1095	1132	1142	1151	349

У приладі застосовуються ультразвукові перетворювачі МА40S4R (ВМ1) та МА40S4S (ВА1), які мають резонансну частоту 40 кГц [5], тому генератор також повинен працювати на такій самій частоті. Використання одного і того ж генератора для формування як випромінюваного імпульсу, так і для детектування прийнятого сигналу забезпечує стабільну настройку приймача на сигнал передавача. Кварцовий генератор, що базується на логічному елементі DD8.4, генерує лічильні імпульси з частотою 1 МГц, які, за допомогою елемента DD8.3, формують імпульс різниці між випромінюваним і прийнятим сигналами, що виникає на виході елемента DD8.1. Таким чином, кількість імпульсів, що проходять через елемент DD8.3, відповідає часу, який ультразвук витрачає на подолання певної відстані в бензині, вираженому в мікросекундах. Для різних марок бензину при температурі 20°С та довжині мірного відрізка 1 м це значення (N) наведене в таблиці 1.2.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

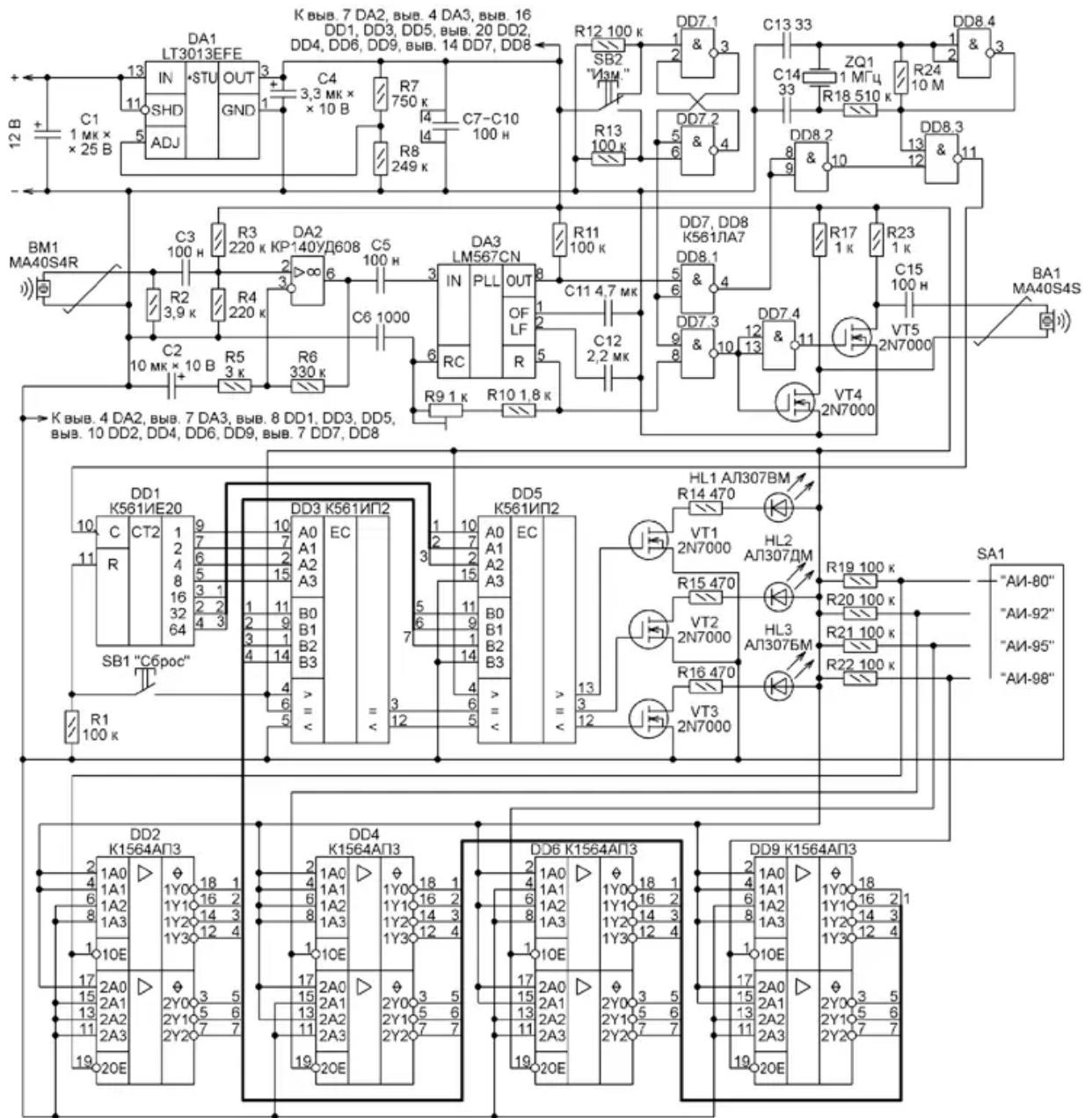


Рисунок 1.3 – Принципова схема октаномера

Таблиця 1.2 – Кількість імпульсів для різних марок бензину при температурі 20°C та довжині мірного відрізка 1 м

Бензин	N	N mod 128
АИ-80	876	108
АИ-Э2	848	80
АИ-95	842	74
АИ-98	836	68

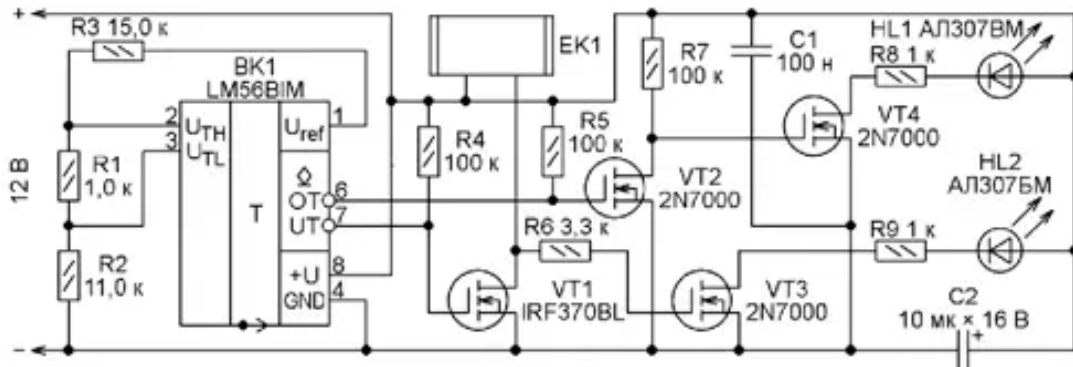


Рисунок 1.4 – Схема термостату

Ці напруги отримують із зразкової напруги U_{ref} за допомогою резистивного дільника напруги $R1-R3$. Задавшись значенням $R_{\Sigma}=R1+R2+R3$, опори цих резисторів можна розрахувати за формулами:

$$R_2 = \frac{U_{TL} * R_{\Sigma}}{1,25}, R_1 = \frac{U_{TL} * R_{\Sigma}}{1,25} - R_2, R_3 = R_{\Sigma} - R_1 - R_2.$$

Згідно з номіналами резисторів $R1-R3$, зазначеними на схемі, температура включення нагрівального елемента становить приблизно 18°C , а температура вимкнення – близько 26°C . Якщо температура бензину нижча за 18°C , світиться світлодіод $HL2$, і активується нагрівальний елемент $EK1$. Якщо ж температура перевищує 26°C , нагрівальний елемент вимикається, але включається світлодіод $HL1$. Таким чином, коли будь-який з світлодіодів увімкнений, вимірювання октанового числа бензину є недостовірним. Для коректного вимірювання температури бензину корпус мікросхеми $LM56BIM$ має бути добре термічно з'єднаний із бензобаком. Для обігріву бензобака застосовуються самоклеючі нагрівальні плівки [7].

1.3 Аналіз існуючих методів вимірювання часу ультразвукових хвиль

Вимірювання часу проходження ультразвукових хвиль є важливим етапом у розробці приладів для контролю, діагностики та моніторингу. Залежно від завдань і умов застосування, використовуються різні методи, кожен із яких має свої переваги, недоліки та приклади реалізації в конкретних приладах.

Одним із найпростіших і поширених є прямий метод. Він полягає у вимірюванні часу між передачею та прийомом ультразвукового сигналу за допомогою таймера. Такий підхід реалізований, наприклад, у далекомірах HC-SR04 (рис. 1.5), що широко використовуються в робототехніці та системах автоматизації. Цей метод вирізняється низькою вартістю та простотою реалізації, однак має обмежену точність і є чутливим до шумів та спотворень сигналу. [8]



Рисунок 1.5 – Далекомір HC-SR04

Фазовий метод базується на порівнянні фаз переданого та отриманого сигналів. Він забезпечує високу точність і стійкість до зовнішніх перешкод. Наприклад, ультразвуковий товщиномір Panametrics 25DL (рис. 1.6) використовує цей метод для неруйнівного контролю матеріалів. Такий підхід дозволяє виявляти навіть незначні зміни у часі проходження хвилі, що робить його незамінним у задачах із високими вимогами до точності.

Кореляційний метод передбачає математичний аналіз подібності між сигналами на вході та виході системи. Він є найбільш точним серед розглянутих, але вимагає значних обчислювальних ресурсів. Прикладом приладу, що використовує цей метод, є ультразвуковий витратомір KROHNE ALTOSONIC V12 (рис. 1.7), який застосовується для вимірювання швидкості потоку рідини.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Рисунок 1.6 – Товщиномір Panametrics 25DL

Завдяки стійкості до шумів та високій точності цей метод є незамінним у промислових системах моніторингу.



Рисунок 1.7 – Ультразвуковий витратомір KROHNE ALTOSONIC V12

Імпульсно-лічильниковий метод базується на підрахунку імпульсів генератора протягом часу проходження ультразвукового сигналу. Його використовують у простих рівнемірах, таких як Siemens SITRANS LU150, які вимірюють рівень рідини в резервуарах. Цей метод менш точний порівняно з іншими, але має мінімальні вимоги до апаратної частини, що робить його ефективним для задач із невисокими вимогами до точності. [9]

Як видно з таблиці 1.3, кожен із розглянутих методів має свої переваги та недоліки. Прямий метод є найпростішим у реалізації, тоді як кореляційний забезпечує найвищу точність, але потребує значних обчислювальних ресурсів. У проєкті планується використати комбінований підхід, щоб забезпечити оптимальний баланс між точністю, складністю реалізації та вартістю.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Застосування цього підходу дозволить створити пристрій, здатний ефективно виконувати свої функції в широкому діапазоні умов експлуатації.

Таблиця 1.3 – Переваги та недоліки різних методів вимірювання часу ультразвукових хвиль

Метод	Точність	Стійкість до шумів	Складність реалізації	Обчислювальна складність
Прямий	Середня	Низька	Низька	Низька
Фазовий	Висока	Висока	Середня	Середня
Кореляційний	Дуже висока	Висока	Висока	Висока
Імпульсно-лічильниковий	Низька	Низька	Низька	Низька

1.4 Перспективи використання ультразвукових вимірювальних пристроїв

Ультразвукові вимірювальні пристрої мають великий потенціал для застосування в різних сферах, і перспективи їх використання є дуже широкими завдяки постійному розвитку технологій. У медичній діагностиці вони вже зарекомендували себе як ефективні засоби для візуалізації внутрішніх органів, а також для вимірювання товщини тканин та виявлення патологій. З часом очікується, що ультразвукові пристрої зможуть здійснювати безконтактний моніторинг стану здоров'я, включаючи вимірювання рівня кисню в організмі та контролювання кровообігу, що значно знизить витрати часу і коштів на медичні обстеження. Перспективи розвитку цих технологій відкривають нові горизонти для портативних пристроїв, що дозволить проводити діагностику прямо на місці.

У промисловості ультразвукові пристрої активно використовуються для неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій, де вони здатні виявляти

дефекти, тріщини та інші порушення без пошкодження об'єктів. Це надзвичайно важливо для таких галузей, як авіація, суднобудування, а також для нафтової та газової промисловості, де безпека продукції є критичною. Вдосконалення ультразвукових датчиків дозволить здійснювати точні вимірювання навіть в екстремальних умовах, таких як високий тиск чи температура, що забезпечить нові можливості для використання ультразвукових технологій в агресивних середовищах.

Окрім того, ультразвукові пристрої застосовуються в системах вимірювання рівня рідин і сипучих матеріалів у резервуарах та ємностях. Вони дозволяють точно вимірювати рівень навіть в умовах агресивних середовищ, високих температур та пилу. Це відкриває нові можливості для їхнього використання в системах дистанційного моніторингу, що стане невід'ємною частиною автоматизованих промислових процесів. Ультразвукові датчики також можуть бути впроваджені в автоматизовані системи контролю на екологічно чутливих об'єктах, де їхня здатність здійснювати безконтактне вимірювання допоможе уникнути аварій і катастроф.

З розвитком технологій автономних транспортних засобів і робототехніки ультразвукові вимірювальні пристрої знаходять застосування для навігації і уникнення перешкод. Вони забезпечують точні вимірювання відстані до об'єктів, що є критично важливим для безпілотних автомобілів та дронів, а також для інших роботизованих систем. Застосування ультразвукових датчиків у таких системах дозволяє підвищити безпеку і ефективність автономних транспортних засобів.

У аграрному секторі ультразвукові датчики допомагають оптимізувати процеси зрошення та моніторингу стану ґрунту, визначаючи рівень вологи, що дозволяє знизити витрати води і підвищити врожайність. Вони також можуть бути використані для автоматичного збору врожаю за допомогою роботизованих систем, що робить ці технології незамінними в майбутньому для забезпечення ефективності сільськогосподарського виробництва.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Загалом, розвиток ультразвукових вимірювальних пристроїв має величезний потенціал, що відкриває нові можливості для їхнього застосування в багатьох сферах. Завдяки зниженню вартості та покращенню характеристик, ультразвукові датчики будуть використовуватися не тільки для традиційних завдань, але й для вирішення нових наукових і технічних проблем. Технології, такі як інтеграція з Інтернетом речей (IoT) і штучним інтелектом, сприятимуть розвитку більш ефективних і точних систем моніторингу, що дозволить застосовувати ультразвукові вимірювання для автоматичного управління виробничими процесами та моніторингу інфраструктури. [10]

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

Алгоритм функціонування пристрою для вимірювання розповсюдження ультразвуку розпочинається з увімкнення живлення. Після цього користувач обирає режим роботи: одноразове вимірювання або режим генерації імпульсів.

У режимі одноразового вимірювання активується генератор із частотою 10 Гц, який формує ультразвукові імпульси. Ці імпульси подаються на передавальний датчик (BQ1) і приймаються приймальним датчиком (BM1). На цьому етапі система виконує налаштування резонансної частоти сигналу, перевіряючи, чи досягнута вона. Якщо резонансна частота не встановлена, процес повторюється, і система виконує повторну генерацію та вимірювання імпульсів, доки не буде досягнуто бажаного резонансного стану.

У режимі генерації імпульсів використовується генератор із періодом 42 мкс (24 кГц). Сформовані імпульси проходять через лінію затримки, де виконується підрахунок кількості імпульсів у пачці. Далі сигнал передається на 8-розрядний ЦАП, який перетворює кількість імпульсів у пропорційну їм напругу. Отримана напруга порівнюється з опорною напругою. Якщо напруги співпадають, виконується ідентифікація часу поширення ультразвукових хвиль, що завершує роботу алгоритму. У разі відсутності співпадіння процес повторюється до досягнення умов для завершення вимірювання.

На рисунку 2.1 (додаток А рис. А.1) представлено повну блок-схему алгоритму функціонування пристрою.

					ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
						20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

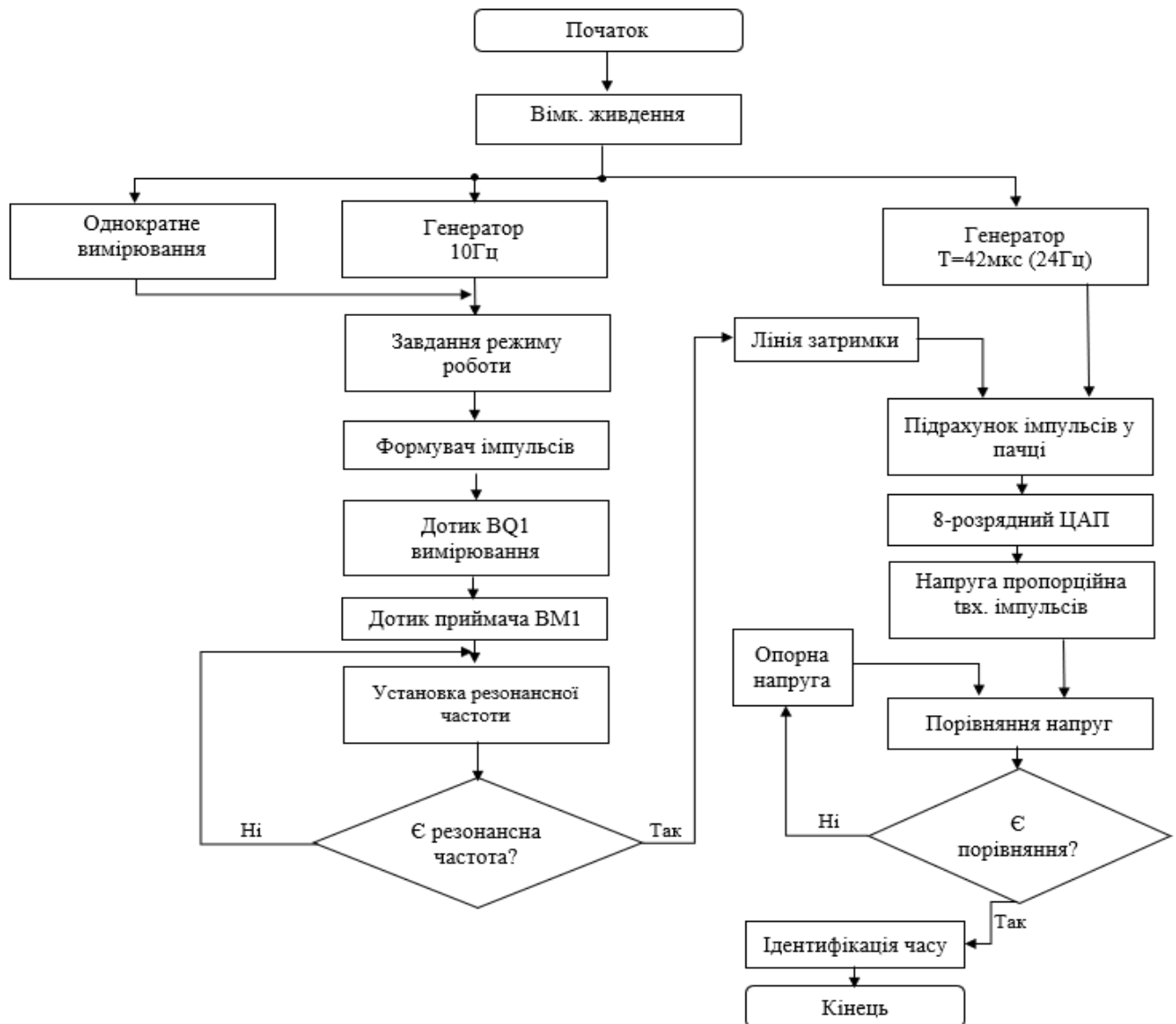


Рисунок 2.1 – Алгоритм функціонування пристрою

2.2 Розробка структурної схеми пристрою

Структурна схема пристрою, розроблена на основі алгоритму, зображена на рис. 2.2 (додаток Б рисунок Б.1). Ключовими компонентами схеми є датчики (випромінювач і приймач), генератори, лічильник, блок резонансної частоти, компаратор та цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП).

Принцип роботи схеми наступний. За допомогою блоку переминок задається один з трьох режимів роботи пристрою. Перший режим

використовується для налаштування пристрою та оптимізації розташування вимірювача і приймача. Другий режим дозволяє виконати одноразове вимірювання часу поширення ультразвукових хвиль від випромінювача до приймача.

У третьому, робочому, режимі імпульси з генератора 1 (частотою 10 Гц) передаються через блок перемичок на формувач імпульсів і блок співпадіння. До формувача імпульсів також подаються імпульси частотою 40 кГц, що відповідають резонансній частоті ультразвукового вимірювача та приймача. Після підсилення ці імпульси потрапляють на вимірювач коливань.

Блок стробірування здійснює стробірування вхідних імпульсів із лінії затримки імпульсами генератора 2, які мають період слідування 42 мкс (24 Гц). Імпульс від блоку стробірування активує лічильник, який підраховує кількість імпульсів у пакеті, що пропорційна тривалості вхідного імпульсу та часу розповсюдження ультразвукових хвиль.

Після підрахунку імпульсів лічильник скидається в початковий стан. Кодовий вихід лічильника передається на входи восьмирозрядного цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). Після завершення вхідного імпульсу напруга на виході ЦАП пропорційна тривалості цього імпульсу.

Період слідування імпульсів (4 мкс) відповідає максимальному часу розповсюдження близько 10,7 мс. За цей час ультразвук у повітрі при кімнатній температурі долає відстань до 3,5 м. Напруга на виході ЦАП передається на вхід компаратора, в інверсний вхід якого подається порогова напруга з блоку опорної напруги.

Порівняння цих напруг дозволяє на виході компаратора активувати індикатор часу ультразвукового імпульсу. Змінний резистор блоку опорної напруги оснащений шкалою, проградуєваною в одиницях часу або іншої вимірюваної величини, яка визначається за допомогою ультразвуку.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
						22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

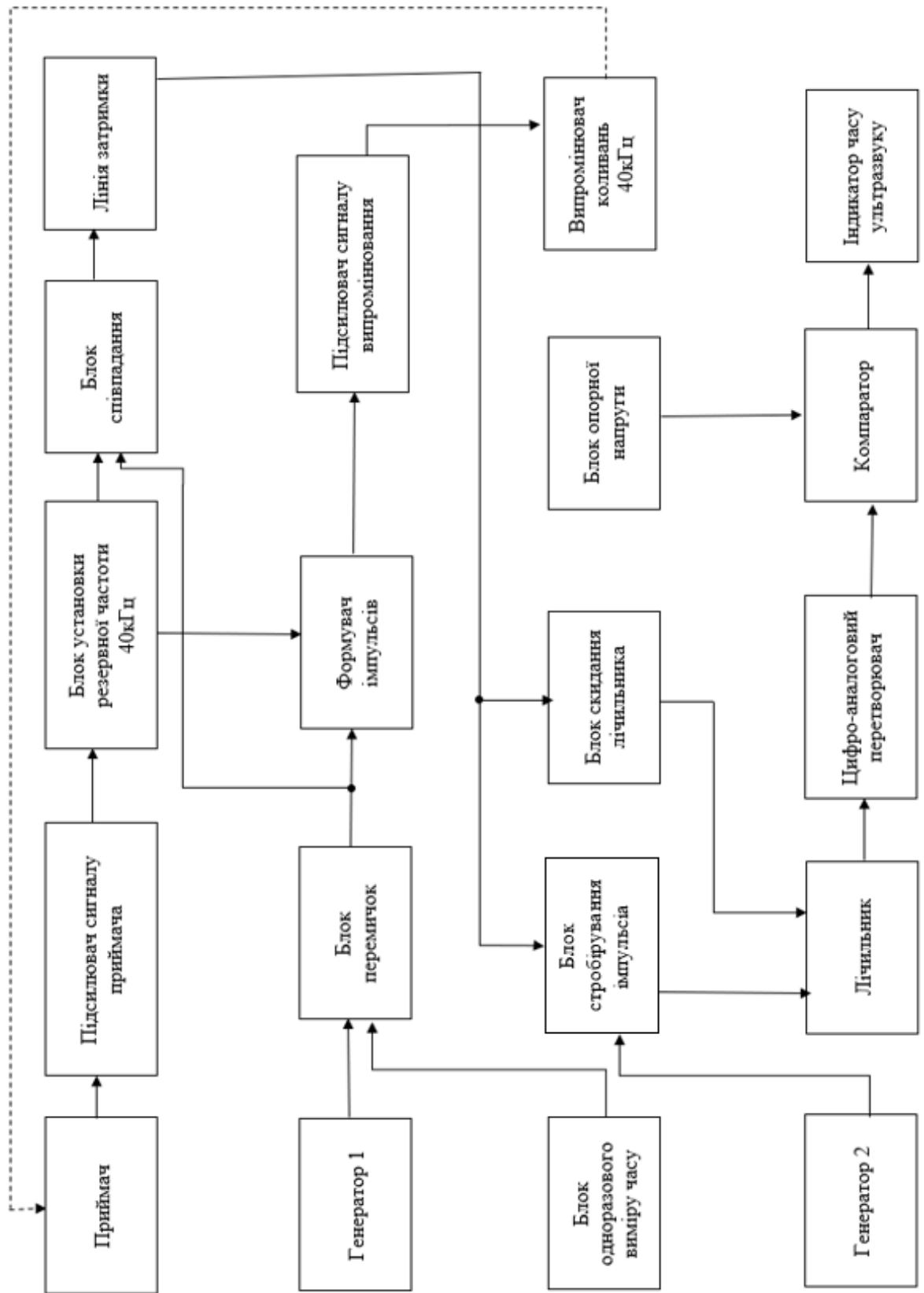


Рисунок 2.2 – Структурна схема

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-------	------	----------	--------	------

2.3 Розробка функціональної схеми пристрою

Функціональна схема (рис. 2.3) електронної системи вимірювання поширення ультразвуку складається з кількох взаємопов'язаних блоків, які забезпечують генерацію, передачу, обробку та відображення ультразвукових сигналів.

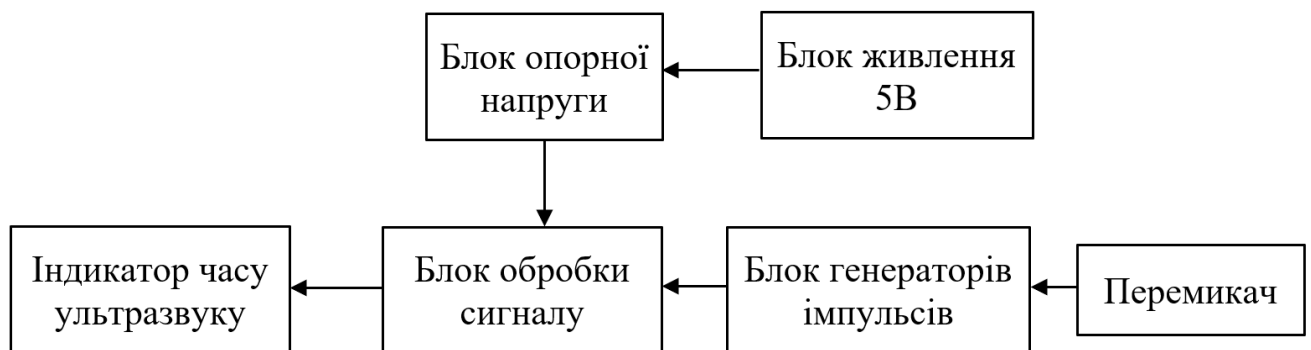


Рисунок 2.3 – Функціональна схема

Основним джерелом живлення для всіх компонентів системи є блок живлення, який забезпечує стабільну напругу 5 В, необхідну для коректної роботи пристрою. Це гарантує стабільність роботи та захищає елементи схеми від перепадів напруги.

Для досягнення високої точності вимірювань у системі використовується блок опорної напруги. Цей блок генерує стабільну напругу, яка слугує базовим рівнем для калібрування пристрою. Він забезпечує надійність і точність даних, що є критично важливим для коректного визначення параметрів ультразвукових хвиль.

Взаємодія користувача з пристроєм здійснюється через перемикач, який дозволяє задавати режим роботи системи або ініціювати процес вимірювання. Перемикач безпосередньо пов'язаний із блоком генераторів імпульсів. Останній є ключовим компонентом, що формує ультразвукові імпульси заданих частоти та

					ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

амплітуди. Ці імпульси передаються через середовище, властивості якого досліджуються, наприклад, швидкість поширення хвиль.

Після проходження ультразвукових хвиль через середовище сигнал обробляється в спеціалізованому блоці обробки сигналу. Цей блок аналізує отриманий сигнал, визначаючи параметри, такі як час проходження хвилі через середовище. Обробка сигналу включає фільтрацію шумів, підсилення корисного сигналу та виділення необхідної інформації для подальшого аналізу.

Результат роботи системи відображається на індикаторі часу ультразвуку. Індикатор надає користувачеві інформацію про час проходження ультразвукової хвилі через середовище, що є ключовим параметром для розрахунку швидкості поширення ультразвуку. Ця інформація може бути використана для дослідження фізичних властивостей матеріалів, таких як густина, жорсткість або еластичність.

Загалом, функціональна схема забезпечує комплексну роботу всіх компонентів, дозволяючи точно вимірювати час поширення ультразвукових хвиль і проводити дослідження середовищ різного типу. Це робить пристрій універсальним інструментом для наукових і промислових застосувань.

2.4 Вибір елементної бази

2.4.1 Операційний підсилювач

Універсальний операційний підсилювач КР140УД608 широкого застосування з внутрішньою частотною корекцією, захистом виходу від короткого замикання та можливістю балансування. КР140УД608 містить вхідний диференціальний повторювач на "супербетта" транзисторах, що дозволяє зменшити вхідні струми.

Основні характеристики КР140УД608 наведено в таблиці 2.1.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.1 – Характеристики КР140УД608

Напруга живлення (ном.)	$\pm 15\text{В}$
Напруга живлення (дод.)	$\pm 5.. \pm 18\text{В}$
Струм споживання, не більше	$\pm 2,8\text{мА}$
Максимальна вихідна напруга	$\pm 11\text{В}$
Максимальна синфазна вхідна напруга	11В
Максимальна вхідна диференціальна напруга	30В
Напруга усунення нуля	$\pm 5\text{мВ}$
Вхідний струм, не більше	30нА
Різниця вхідних струмів, не більше	10нА
Коефіцієнт посилення напруги	>70000
Напруга живлення (ном.)	$\pm 15\text{В}$
Напруга живлення (дод.)	$\pm 5.. \pm 18\text{В}$
Швидкість наростання (макс.)	$>2,5\text{В/мкс}$
Частота одиничного посилення	1МГц
Максимальний вихідний струм	25мА
Температурний діапазон	$-20..+70^{\circ}\text{C}$
Корпус	2101.8-1 (DIP-8)
Аналоги	МС1456G

Призначення виводів КР140УД608 наведено у таблиці 2.2.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 2.2 – Призначення виводів КР140УД608

1	Offset	Балансування нуля
2	Vin(-)	Інвертуючий вхід
3	Vin(+)	Неінвертуючий вхід
4	-Vee	Мінус харчування
5	Offset	Балансування нуля
6	Vout	Вихід
7	+ Vcc	Плюс харчування
8	NC	Не підключено

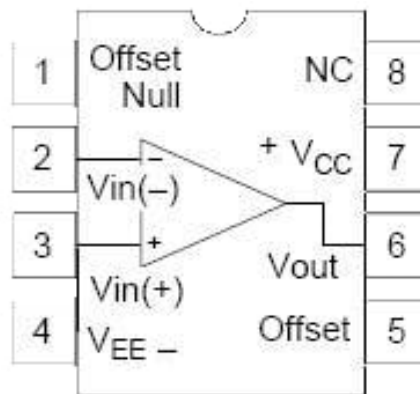


Рисунок 2.4 – Розташування виводів

2.4.2 Мікросхема декодера тонального сигналу

Мікросхема IL567CN, IL567CD – декодер тонального сигналу.

Мікросхема призначена для прийому та декодування синусоїдальних сигналів у широкому діапазоні частот у телекомунікаційних системах.

Мікросхема може застосовуватися для сенсорного тонального декодування, контролю частоти, широкосмугової FSK демодуляції, контролю ультразвукової частоти, у прецизійному генераторі, пошукових декодерах.

Основні характеристики:

- смуга пропускання, BW, % (щодо центральної частоти fC)
щонайменше: 10;
не більше: 18;
максимальна центральна частота смуги пропускання, fC, кГц
щонайменше: 100; (при UCC = 5, R = 2,8 кОм, C = 3300 пФ)
трохи більше: 500; (при UCC = 5, R = 2,8 кОм, C = 800 пФ)
- центральна частота регулюється від 001 Гц до 500 кГц;
- струм споживання у режимі спокою, ICC, ма (При UCC = 5, RL = 20 кОм), не більше: 8;
- діапазон робочих температур від 0 до плюс 70 °С;
- стійкість до впливу статичної електрики з потенціалом 200 В.
значення потенціалу статичної електрики 350;
- логічне поєднання виходів із здатністю навантаження 100мА;
- високе придушення позасмугових сигналів та шумів;
- для мікросхем IL567CN тепловий опір «кристал-довкілля» не більше 110 °С/Вт, для мікросхем IL567CD - не більше 160 °С/Вт.

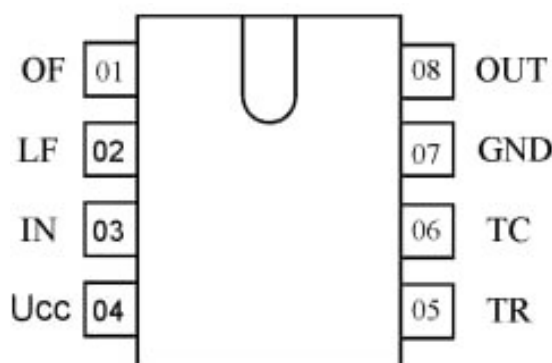


Рисунок 2.5 – Розташування виводів

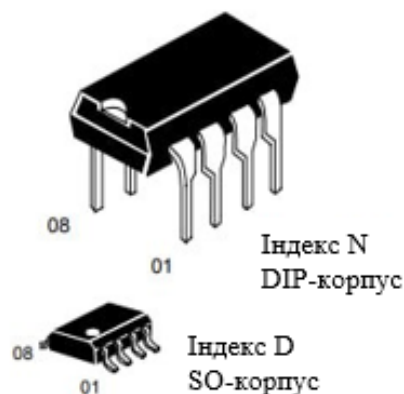


Рисунок 2.6 – Мікросхеми в DIP-корпусі та SO-корпус

2.4.3 Польові N-канальні транзистори

КП501А/КП501Б (рис. 2.7) – кремнієві польові N-канальні транзистори із середньою потужністю з ізольованим затвором та посиленням каналу, виготовлені за епітаксійно-планарною технологією. Прилади очікуваного зворотного включення захисним діодом.

Транзистори КП501А/КП501Б особливо важливі для роботи як елемент комутації в телефонних апаратах, апаратурі засобів зв'язку та електронній апаратурі. Характеристики даного транзистора наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики КП501

Основні характеристики КП501 (+25°C)		
Максимальна напруга сток-виток	240V	200V
Максимальна напруга виток-затвор	±20V	
Максимальний струм стоку (постійний)	180mA	
Максимальний струм стоку (імпульсний)	1,0A	2,0A
Максимальна розсіювана потужність	0,5W	
Струм витоку затвору	<0,02µA	
Порогова напруга на затворі	1,0...3,0V	
Опір сток-витік (відкр.)	10 om	
Діапазон робочих температур	-55...+150°C	

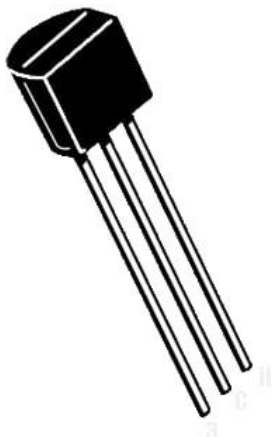


Рисунок 2.7 – Транзистор КП501А/КП501Б

2.4.4 Ультразвуковий датчик

МА40S4S (рис. 2.8) – ультразвуковий датчик із відкритою конструкцією, що працює на частоті 40 кГц. Датчик забезпечує високу чутливість та стабільність роботи, що робить його оптимальним для використання в пристроях вимірювання відстані, контролю рівня рідини та інших системах ультразвукового аналізу.



Рисунок 2.8 – Датчик

Датчики МА40S4S широко застосовуються в промислових і побутових ультразвукових системах завдяки їхній надійності, компактності та здатності працювати в умовах високих температур і вологості. Основні характеристики МА40S4S наведені в таблиці 2.4.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.4 – Характеристики MA40S4S

Діапазон робочих температур	від -40 °С до 85 °С
Конструкція	відкритого типу
Центральна частота	40 кГц
Чутливість	-63 дБ тип. (0 дБ=10 В/Па)
Спрямованість	80 град. (тип.)
Ємність	2550pF
Допуск на ємність	±20%

2.4.5 Цифровий-аналоговий перетворювач

AD557JN (рис. 2.9) — це повний 8-розрядний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), який забезпечує вихідну напругу в діапазоні від 0 до 2,56 В. Цей компонент відзначається вбудованим прецизійним еталоном напруги, що значно спрощує його використання в схемах високої точності. AD557JN підтримує роботу з одним джерелом живлення напругою 5 В, що робить його енергоефективним і зручним для інтеграції в сучасні електронні пристрої.

Основними особливостями AD557JN є: повний 8-розрядний ЦАП;

- вихідна напруга — від 0 В до 2,56 В;
- внутрішній прецизійний еталон забороненої зони;
- робота з одним джерелом живлення: 5 В (10%);
- повний інтерфейс мікропроцесора;
- швидко: 1 с встановлення напруги до 1/2 LSB;
- низька потужність: 75 мВт;
- користувальницькі обрізки не потрібні;
- гарантований монотонний перегрів;
- усі помилки вказано від TMIN до TMAX;
- невеликий 16-вивідний DIP або 20-вивідний корпус PLCC;
- низька вартість.

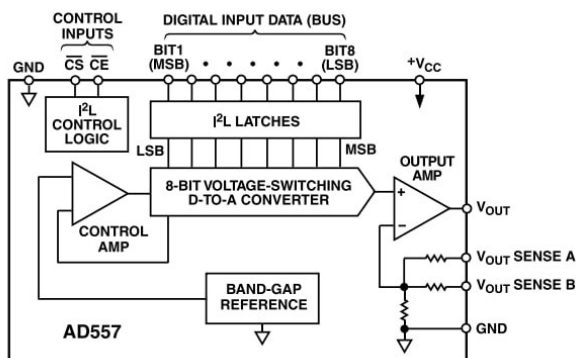


Рисунок 2.9 – Функціональна блок-схема

2.4.6 Світлодіоди

L-314LRC – світлодіод червоного свічення з прозорим корпусом, виконаний на основі напівпровідникового матеріалу з високою світловою ефективністю. Завдяки використанню сучасної технології виготовлення, прилад забезпечує стабільне свічення за низьких енергетичних витрат.

Світлодіоди типу L-314LRC широко застосовуються у якості індикаторів в електронних пристроях, системах автоматики, побутовій техніці та іншій апаратурі. Особливості включають компактний корпус, низьке тепловиділення та високу надійність у роботі. Основні характеристики:

- кольори свічення червоний;
- довжина хвилі 1 кольору 643 нм;
- сила світла 1 кристала 400 мкд;
- кут по горизонталі 20°;
- тип лінзи біла, прозора.

2.4.7 Стабілітрони

Стабілітрони КС133Г кремнієві, дифузійно-сплавні, малої потужності.

Призначені для стабілізації напруги 3,3 В діапазоні струмів стабілізації 1...37,5 мА.

Випускаються у скляному корпусі з гнучкими різноспрямованими висновками.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Для позначення типу та полярності використовується умовне маркування кольоровим кодом.

Колір мітки на торці корпусу з боку катодного виводу:

- для КС133Г - помаранчевий,
- для КС139Г - сірий,
- для КС147Г - зелений,
- для КС156Г – червоний.

Тип корпусу: КД-4-1, маса трохи більше 0,5 г.

Основні технічні параметри стабілітрона КС133Г:

- Номінальна напруга стабілізації: 3,3 при $I_{ст}$ 5 мА;
- Розкид напруги стабілізації: 2,95...3,65 В;
- Диференціальний опір стабілітрону: 150 Ом при $I_{ст}$ 5 мА;
- Мінімально допустимий струм стабілізації: 1 мА;
- Максимально допустимий струм стабілізації: 37,5 мА;
- Максимально-допустима потужність, що розсіюється, на стабілітроні: 0,125 Вт;
- Робочий інтервал температури навколишнього середовища: -60...+125 °С.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд КС133Г

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2.5 Розробка принципової схеми пристрою

Вимірявши час поширення ультразвуку від його випромінювача до приймача і знаючи відстань між ними, можна судити про властивості середовища розповсюдження. Хоча основне призначення пропонованого пристрою — вимір швидкості ультразвуку в різних середовищах, на його основі можна будувати системи охоронної сигналізації, вимірювачі відстані, аналізатори хімічного складу різних речовин.

Схема пропонованого вимірювача часу розповсюдження зображена на додатку Г рисунку Г.1. Пристрій додано низькочастотний генератор імпульсів та перемикач 51, за допомогою якого можна змінювати режим роботи.

Коли перемикач встановлена в положення 1-2, випромінювач ВQ1 безперервно генерує ультразвукові коливання частотою 40 кГц, які приймаються ультразвуковим приймачем ВМ1. Якщо сигнал прийнято, на виході елемента DD2.1 встановлюється високий логічний рівень, у разі відсутності сигналу – низький. Цей режим використовується для налаштування пристрою і оптимального розташування випромінювача і приймача. Він також може бути застосований в охоронній сигналізації: при перетині ультразвукового променя порушником сигнал змінюється, що фіксується зміною рівня на виході.

У положенні 3-4 перемикач дозволяє виконувати одноразові вимірювання часу поширення ультразвуку від випромінювача до приймача. Поки кнопка SB1 не натиснута, тригер на елементах DD1.1 і DD1.2 знаходиться у стані низького рівня, що забороняє випромінювання, і на виході елемента DD2.1 також встановлюється низький рівень. Натискання кнопки і її утримання дозволяють активувати випромінювання. Зміна рівня на виході в момент натискання кнопки на високий рівень свідчить про те, що сигнал ще не досяг приймача, а після досягнення – рівень знову стає низьким. Це дозволяє сформувати імпульс високого рівня, тривалість якого відповідає часу поширення ультразвуку.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При встановленні перемички в положення 5-6 ультразвукові коливання модулюються імпульсами з частотою близько 10 Гц. Це дозволяє на виході спостерігати повторювані імпульси, що тривають протягом часу розповсюдження, що дає можливість стежити за змінами цього часу.

Налагодження пристрою включає установку підстроювального резистора R11 для досягнення на виході мікросхеми DA2 резонансної частоти 40 кГц, що є частотою випромінювача ультразвуку BQ1 і приймача BM1. Якщо використовуються елементи з іншою частотою резонансу, частоту генератора слід відповідно змінити.

Період проходження імпульсів на елементах DD1.3 і DD1.4 має бути в два рази більшим за максимальний час поширення ультразвуку. Його точна настройка не обов'язкова.

Для перетворення тривалості вихідних імпульсів на напругу пропонується схема перетворювача, показана на рис. 3.10. Ланцюг затримки (елементи DD1.2, DD1.3 і DD1.5), елемент 2I-HE DD2.1, який служить інвертором, формує короткий імпульс, що скидає лічильник 004 у вихідний стан. Вузол з D-тригером DD3.1 і іншими елементами стробує вхідний імпульс імпульсами генератора, зібраного на елементах DD1.1 і DD1.4. Ці імпульси, з періодом близько 42 мкс при зазначених номіналах компонентів, повторюються. Кількість імпульсів у пачці пропорційна тривалості вхідного імпульсу, що відповідає часу поширення ультразвуку.

Лічильник DD4 підраховує імпульси, код з виходів якого надходить на входи цифроаналогового перетворювача (ЦАП) DA1. Після завершення вхідного імпульсу напруга на виході ЦАП пропорційна його тривалості. Оскільки лічильник і ЦАП восьмирозрядні, кількість імпульсів у пачці не повинна перевищувати 255, що відповідає максимальному часу поширення близько 10,7 мс (при яких ультразвук проходить в повітрі приблизно 3,5 м).

Напруга з виходу ЦАП подається на неінвертуючий вхід компаратора DA2. Інший вхід компаратора підключений до змінного резистора R3, через який встановлюється гранична напруга. При перетині цього порога рівень на виході

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
						35
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компаратора змінюється на протилежний, що активує або деактивує світлодіод HL1. Резистор R3 може бути оснащений шкалою, що дозволяє вимірювати час або іншу величину, що залежить від ультразвукових вимірювань.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Загальний опис параметрів системи

Проектована електронна система вимірювання розповсюдження ультразвукових хвиль розроблена з урахуванням сучасних вимог до точності, компактності, зручності експлуатації та енергоефективності. Основними технічними параметрами системи є напруга живлення, частота ультразвукових коливань, максимальний час розповсюдження сигналу та світлодіодна індикація вимірювань.

Напруга живлення становить 5 В, що відповідає стандартам більшості сучасних електронних пристроїв і дозволяє використовувати широкий спектр компонентів, таких як мікроконтролери, датчики та підсилювачі. Крім того, така напруга забезпечує енергоефективність, що є важливим для створення компактних та економічних пристроїв.

Частота ультразвукових коливань обрана на рівні 40 кГц, що є загальноприйнятим стандартом для подібних систем. Ця частота забезпечує високу стабільність сигналу, а також оптимальні умови для точних вимірювань у повітряному середовищі. Ультразвукові датчики з такою частотою широко доступні та мають перевірену ефективність у застосуванні для неруйнівного контролю, моніторингу стану середовищ і аналізу матеріалів.

Максимальний час розповсюдження сигналу визначений як 10,7 мс, що дозволяє проводити вимірювання на відстанях до 3,5 метрів. Це оптимальний показник, який охоплює широкий спектр задач, включаючи контроль відстані, дослідження властивостей середовищ і використання системи в навчальних або дослідницьких цілях. Такий діапазон вимірювання забезпечує універсальність системи та її придатність для багатьох практичних застосувань.

Особливістю системи є світлодіодна індикація результатів вимірювань. Завдяки цьому користувач отримує можливість у реальному часі візуально

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

спостерігати швидкість розповсюдження ультразвуку, що спрощує процес експлуатації та підвищує зручність використання. Такий інтерфейс особливо корисний у випадках, коли необхідно швидко оцінити результати без використання складного обладнання для аналізу даних.

Зазначені параметри були обрані з урахуванням мети створення системи – забезпечення високої точності, надійності та адаптивності пристрою до умов використання. У результаті, система може бути використана для широкого спектра завдань, зокрема в наукових дослідженнях, промисловості та навчальному процесі.

3.2 Аналіз вимог до системи

Для забезпечення відповідності проєктованої системи поставленим завданням необхідно врахувати кілька ключових характеристик.

Точність вимірювання часу розповсюдження ультразвуку є однією з основних вимог. Система має забезпечувати мінімальну похибку під час вимірювань, що досягається шляхом використання стабільних високочастотних генераторів (частота 40 кГц), високочутливих датчиків та алгоритмів обробки сигналів, які компенсують вплив змін у середовищі розповсюдження хвиль.

Стійкість до зовнішніх шумів і перешкод є важливою умовою для забезпечення надійності роботи пристрою. Для цього в системі передбачено використання низькошумних підсилювачів, фільтрів та екранування електронних компонентів. Це дозволить уникнути впливу електромагнітних завад та забезпечити стабільну роботу навіть у складних середовищах.

Енергоефективність є критичною, враховуючи обмежену напругу живлення системи (5 В). Оптимізація алгоритмів роботи, використання сучасних енергоефективних компонентів, таких як мікроконтролери з низьким

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

споживанням енергії, та перехід у режими зниженої активності в періоди простою дозволять мінімізувати енергоспоживання без втрати продуктивності.

Дотримання цих вимог забезпечить стабільну, точну та енергоефективну роботу системи в умовах реальної експлуатації.

3.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми

1. Розрахунок індикатора швидкості ультразвуку.

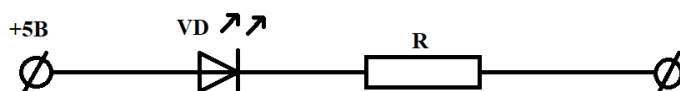


Рисунок 3.1 – Схема індикатору швидкості ультразвуку

Для індикатору використовуємо світлодіод L-314LRC з параметрами:

- напруга живлення: 5 В;
- пряма напруга: 1,8 В;
- зворотна напруга: 1.8 В;
- прямий струм: 30 мА;
- максимальна швидкість прямого струму: 30 мА.

Для обмеження струму світлодіоду вмикають резистор R. Величину опору резистора розраховуємо за формулою:

$$R = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{пр}}}{I_{\text{пр.мах}}} = \frac{5 - 1,8}{30 * 10^{-3}} = 106,7 \text{ Ом}$$

2. Розрахунок блоку опорної напруги.

Блок опорної напруги являє собою параметричний стабілізатор побудований на стабілітроні КС133Г.

Параметри КС133Г:

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

- напруга стабілізації: 3,3 В;
- мінімальний струм стабілізації: 1 мА;
- максимальний струм стабілізації: 37 мА;
- диференційований опір: 150 Ом;
- коефіцієнт стабілізації: 5.

Розрахунок зводиться до вибору стабілітрона на заданому напрямку стабілізації та обмежувального резистору $R_{об}$ та його потужності, яка на наведеному резисторі.

Згідно першого закону Кіргофа

$$I = I_{СТ} + I_H$$

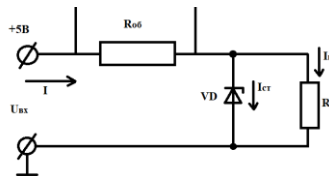


Рисунок 3.2 – Схема блоку опорної напруги

Згідно другого закону Кіргофа

$$U_{ВХ} = U_{R_{об}} + U_H, \text{ де } U_{R_{об}} = I * R_{об}, \text{ підставимо } U_{ВХ} = I * R_{об} + U_H,$$

звідси $R_{об} = \frac{U_{ВХ} - U_H}{I} = \frac{U_{ВХ} - U_H}{I_{СТН} + I_H}$, де $I_{СТН} = \frac{I_{СТ.min} + I_{СТ.max}}{2} = \frac{1+37}{2} = 19 \text{ мА}$

$$R_{об} = \frac{U_{ВХ} - U_H}{I_{СТН} + I_H} = \frac{5 - 3,3}{19 * 10^{-3}} = 89,5 \text{ Ом.}$$

Потужність резистору:

$$P_{R_{об}} = I^2 * R_{об}, \text{ де } I = I_{СТ} + I_H = 35 \text{ мА}$$

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$I_H = \frac{U_H}{R_H} = \frac{3,3 * 10^{-3}}{100} = 0,33 \text{ мА}$$

$$P_{R_{об}} = (3 * 10^{-3})^2 * 89,5 = 26,85 \text{ Вт}$$

3. Розрахунок генераторів тонових імпульсів.

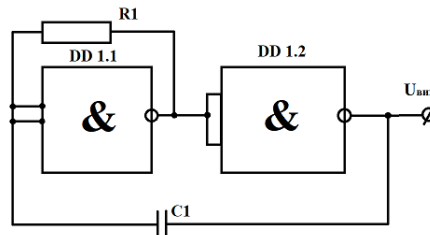


Рисунок 3.3 – Схема генераторів тонових імпульсів

Частота генератора 40 кГц.

Частота генератора задається номіналом резистора R1 і конденсатора C1.

Вона визначається виразом:

$$f_{ген} = \frac{0,8}{RC}$$

де C – ємність конденсатора,

R – опір резистора в Ом.

Із ряду E24 стандартних номіналів вибираємо резистор опором 100 кОм.

Тоді ємність конденсатора буде дорівнювати

$$C = \frac{0,8}{f_{ген} R} = \frac{0,8}{40 * 10^3 * 100 * 10^3} = \frac{0,8}{40} = 200 \text{ мкФ}$$

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічна доцільність впровадження електронної системи виміру розповсюдження ультразвуку

Ринок ультразвукових вимірювальних систем є одним із найбільш динамічно зростаючих сегментів глобальної електронної індустрії. Це обумовлено широким спектром їхнього застосування у таких галузях, як промисловість, медицина, енергетика та будівництво. Ультразвукові технології забезпечують високу точність, неруйнівний контроль та швидкість проведення вимірювань, що є критично важливим для сучасних виробничих і діагностичних процесів.

За оцінками аналітичних агентств, у 2023 році обсяг світового ринку ультразвукових вимірювальних систем перевищив 2,5 мільярда доларів США. Прогнозується, що до 2030 року цей показник зросте до понад 5 мільярдів доларів США зі середньорічним темпом зростання (CAGR) на рівні 6–8%. Основними чинниками такого стрімкого зростання є:

1. Попит на автоматизовані рішення для контролю якості та моніторингу в промисловості. Багато підприємств, особливо в автомобілебудуванні та важкій промисловості, переходять на автоматизовані системи для підвищення точності контролю якості продукції та зниження витрат.

2. Розширення застосування ультразвукових технологій у медичних діагностичних системах. Сучасна медицина активно використовує ультразвук для неінвазивного обстеження органів і тканин, що робить ці технології незамінними в багатьох країнах світу.

3. Потреба в неруйнівному контролі матеріалів. У будівництві та машинобудуванні ультразвукові системи дозволяють виявляти дефекти матеріалів без їх пошкодження, що є важливим для забезпечення надійності конструкцій.

					ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

На сучасному ринку ультразвукових систем провідні позиції займають компанії GE Healthcare, Siemens Healthineers та Olympus, кожна з яких має свої сильні сторони та спеціалізацію в різних галузях.

GE Healthcare [14] є лідером у розробці медичних ультразвукових систем, що широко застосовуються у діагностиці. Основний акцент компанія робить на створенні портативних і стаціонарних рішень із високою роздільною здатністю. Їхня продукція активно використовується в таких напрямках медицини, як кардіологія, акушерство, гастроентерологія та урологія. Однією з головних переваг ультразвукових систем GE Healthcare є застосування технології cSound™, яка забезпечує високу якість візуалізації за рахунок передової обробки сигналів. Крім того, компанія інтегрує свої пристрої з хмарними платформами для зберігання та аналізу даних, що значно спрощує обмін інформацією між лікарями. Висока енергоефективність дозволяє використовувати портативні системи навіть у польових умовах, де доступ до електромережі обмежений. Сумісність із сучасними телемедичними платформами робить ці пристрої зручними для віддаленої діагностики. Водночас висока вартість продукції GE Healthcare часто обмежує її доступність для невеликих клінік чи лікарень із обмеженими бюджетами.

Siemens Healthineers [15], у свою чергу, займає провідну позицію у створенні багатофункціональних ультразвукових систем, які знаходять застосування як у медицині, так і в промисловості. У медичному секторі компанія пропонує рішення для діагностики, зокрема режим еластографії, що дозволяє визначати жорсткість тканин і є важливим для ранньої діагностики пухлин. Для промисловості Siemens створює системи, які застосовуються для неруйнівного контролю матеріалів, наприклад, для виявлення дефектів у зварювальних швах або діагностики стану трубопроводів. Ультразвукові системи компанії оснащені штучним інтелектом, що дозволяє автоматизувати аналіз даних і підвищити точність вимірювань. Модульна структура пристроїв забезпечує можливість інтеграції додаткових функцій, адаптуючи системи під специфічні завдання

					ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

користувачів. Інноваційні системи охолодження дозволяють експлуатувати їх у складних умовах, наприклад, при високих температурах у промисловості. Як і продукція GE Healthcare, системи Siemens є дорогими, що може обмежувати їх використання на підприємствах із обмеженими фінансами.

Olympus [16] спеціалізується на виробництві ультразвукових систем для неруйнівного контролю матеріалів, орієнтуючи свою продукцію на промислові та наукові дослідження. Їхні прилади дозволяють проводити точний аналіз матеріалів і конструкцій без пошкодження об'єктів, що робить їх незамінними в таких галузях, як нафто- і газовидобувна промисловість, суднобудування та авіабудування. Однією з ключових переваг систем Olympus є використання багатопроневих ультразвукових датчиків, які забезпечують високу точність вимірювань навіть у складних умовах. Пристрої компанії відрізняються портативністю, що дозволяє їх використовувати у польових умовах. Спеціалізоване програмне забезпечення OmniScan™ розширює можливості збереження та обробки даних, підвищуючи ефективність роботи операторів. Стійкість систем до екстремальних умов, таких як висока вологість і температура, дозволяє використовувати їх у найважчих промислових середовищах.

Водночас існує значна ніша для економічно доступних та адаптованих до специфічних потреб систем, які можуть розробляти невеликі компанії чи індивідуальні розробники. Такі системи зазвичай використовуються малими підприємствами або в освітніх і дослідницьких цілях, де важливі простота у використанні, гнучкість і доступна вартість.

Попит на ультразвукові вимірювальні системи значно зріс у багатьох галузях, серед яких найбільш вагомі:

1. Машинобудування:

– Ультразвукові системи використовуються для контролю якості деталей, виявлення внутрішніх дефектів, перевірки зварних швів та моніторингу стану механізмів.

– Вони допомагають уникнути аварій та забезпечують відповідність

					ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

стандартам якості, що є особливо важливим у виробництві транспортних засобів, літаків та іншої високотехнологічної продукції.

2. Енергетика:

– Важливим напрямом є діагностика трубопроводів, резервуарів та інших інфраструктурних об'єктів.

– Ультразвукові технології дозволяють виявляти тріщини, корозію та інші дефекти без необхідності демонтажу обладнання. Це забезпечує безперервність роботи підприємств і мінімізує витрати на ремонт.

3. Будівництво:

– Ультразвукові системи застосовуються для оцінки стану будівельних конструкцій, зокрема мостів, бетонних плит та металевих конструкцій.

– Завдяки високій точності вимірювань будівельники можуть оцінювати міцність і довговічність матеріалів, що сприяє забезпеченню безпеки об'єктів.

4. Медицина:

– Ультразвукові системи є незамінними для діагностики внутрішніх органів, вимірювання товщини тканин, виявлення пухлин і пошкоджень.

– Вони використовуються в акушерстві, кардіології, гастроентерології та багатьох інших медичних напрямках, забезпечуючи високу точність і безпеку діагностичних процедур.

Окрім цих основних галузей, ультразвукові технології мають перспективи у сфері екологічного моніторингу, автоматизації виробництва, робототехніки та навіть у побутових пристроях. Наприклад, вони можуть використовуватися для вимірювання рівня рідин у резервуарах, контролю температури середовища чи навіть як частина систем «розумного дому».

Таким чином, ринок ультразвукових вимірювальних систем має великий потенціал для розвитку, і попит на подібні пристрої продовжує зростати. Це

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

створює сприятливі умови для розробки нових рішень, які забезпечать доступність, функціональність та адаптивність у різних галузях.

4.2 Розрахунок економічних характеристик проектованої системи

Собівартість продукції – це сума поточних витрат на виготовлення і збут товару, виражена в грошовому еквіваленті. Витрати на виробництво утворюють виробничу собівартість, тоді як витрати, пов'язані з виготовленням та реалізацією продукції, формують повну собівартість. Розрахунок собівартості за статтями витрат називається калькуляцією. Процес калькулювання собівартості продукції здійснюється згідно з вимогами «Національного положення (стандарту) бухгалтерського обліку», затвердженого наказом Міністерства фінансів України від 31 грудня 1999 року №318, з останніми змінами від 29 вересня 2020 року №588.

В таблиці 4.1 зазначено весь перелік матеріалів, їх ціна за оду одиницю, необхідну кількість та суму компонентів на виготовлення електронної системи виміру розповсюдження ультразвуку.

Витрати пов'язані із виробництвом і сбутом, продукту «Електронна система виміру розповсюдження ультразвуку», пов'язані із наступними величинами:

- Адміністративні витрати;
- Виробничі витрати;
- Обслуговування обладнання;
- Заробітна плата;
- Додаткова заробітна плата;
- Матеріали та компоненти;
- Комерційні витрати.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
						46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Витрати на комплектуючі частини

Назва	Вартість, грн	Кількість, шт.	Сума на виріб, грн
Мікросхема LM567	82	2	164
Ультразвуковий датчик MA40S4S	254.52	2	509.04
Операційний підсилювач KP140УД608	21.10	4	84.40
Цифро-аналоговий перетворювач AD557JN	1312	1	1312
Польовий транзистор КП501А	10	3	30
Фіксовані резистори Yageo CFR-25JR	1.14	8	9.12
Фіксовані резистори Vishay BC MFR- 25FR	0.76	5	3.80
Підстроювальні резистори Bourns 3296W	27.80	2	55.60
Змінні резистори ALPS RK09L	213	1	213
Фільтруючий конденсатор Rubycon YXF	2.50	2	5
Конденсатор для RC-ланцюгів WIMA МКР4	16.40	4	65.60
Розділовий конденсатор Murata GRM32	8.50	8	68
Стабілізаційний конденсатор KEMET C330C104KDR	72.23	8	577.84
Конденсатор для датчиків EPCOS B32529C	31.95	2	63.90
Стабілітрони KC133Г	7.70	5	38.50
Світлодіоди L-314LRC	4	4	16
Інші матеріали (дроти, кріплення тощо)	50	1	50
Всього:			3265.80

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Витрати на заробітну плату вираховуються за наступною формулою:

$$Z_o = T \cdot Ч \cdot K \cdot A \quad (4.1)$$

де T – сумарний час роботи,

$Ч$ – середня ставка робітника,

K – коефіцієнт розрядності,

A – кількість робітників.

$$Z_o = 150 \cdot 120 \cdot 1.3 \cdot 2 = 46\,800 \text{ грн}$$

Додаткова заробітня плата вираховується за наступною формулою

$$Z_d = Z_o \frac{K_d \%}{100} \quad (4.2)$$

де $K_d\%$ – в діапазоні між 10 - 30 %.

$$Z_d = 46\,800 \frac{20}{100} = 9\,360 \text{ грн}$$

Витрати на утримування та експлуатацію обладнання вираховується за наступною формулою:

$$P_{CEO} = Z_o \frac{P_{CEO} \%}{100} \quad (4.3)$$

де $P_{CEO}\%$ – в діапазоні між 120 – 150 %.

$$P_{CEO} = 46\,800 \frac{135}{100} = 63\,180 \text{ грн}$$

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ</i>	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Виробничі витрати вираховуються за формулою:

$$P_{\pi} = Z_o \frac{P_{\pi} \%}{100} \quad (4.4)$$

де $P_{\pi} \%$ – в діапазоні 130 – 250%.

$$P_{\pi} = 46\,800 \frac{190}{100} = 88\,920 \text{ грн}$$

Тепер ми можемо порахувати виробничу собівартість:

$$C_{\pi} = 46\,800 + 9\,360 + 63\,180 + 88\,920 = 208\,260 \text{ грн}$$

Адміністративні витрати вираховуються за наступною формулою:

$$P_a = Z_o \frac{P_a \%}{100} \quad (4.5)$$

де $P_a \%$ – в діапазоні 140-200%.

$$P_a = 46\,800 \frac{170}{100} = 79\,560 \text{ грн}$$

Комерційні витрати вираховуються за наступною формулою:

$$P_b = C_{\pi} \frac{P_b \%}{100} \quad (4.6)$$

де $P_b \%$ - в діапазоні 5-10%.

$$P_b = 208\,260 \frac{7}{100} = 14\,578 \text{ грн } 20 \text{ коп}$$

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
						49
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепер можемо порахувати повну собівартість продукту:

$$C = 208\,260 + 79\,560 + 14\,578.20 = 302\,398 \text{ грн } 20 \text{ коп}$$

Таблиця 4.2 – Зведені розрахунки повної собівартості продукту

Назва	Сума, грн
Адміністративні витрати	79 560.00
Виробничі витрати	88 920.00
Обслуговування обладнання	63 180.00
Заробітна плата	46 800.00
Додаткова заробітна плата;	9 360.00
Матеріали та компоненти	3 265.80
Комерційні витрати	14 578.20
Всього	305 664.00

Після розрахунку повної собівартості продукту, нам необхідно визначити ціноутворення для нього. Проведемо розрахунок оптової ціни продукту за наступною формулою:

$$C_{\text{опт}} = C + П \quad (4.7)$$

де C – це повна собівартість продукту;

$П$ – прибуток.

Величина $П$ вираховується за допомогою показника рентабельності R , який встановлюється підприємством:

$$R = \frac{П}{C} \cdot 100\% \quad (4.8)$$

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Величина R зазвичай складає до 35%. Перетворюємо формулу (4.7) у наступний вираз:

$$C_{\text{опт}} = C + \frac{R \cdot C}{100} \quad (4.10)$$

Підставляємо значення:

$$C_{\text{опт}} = 302\,398.20 + \frac{20 \cdot 302\,398.20}{100} = 362\,877 \text{ грн } 84 \text{ коп}$$

Також, знаходимо ціну для роздрібною торгівлі за наступним співвідношенням:

$$C_{\text{розд}} = 1.2 \cdot C_{\text{опт}}$$

Підставляємо значення:

$$C_{\text{розд}} = 1.2 \cdot 362\,877.84 = 435\,453 \text{ грн } 41 \text{ коп}$$

Цільовий діапазон застосування розробленої електронної системи виміру розповсюдження ультразвуку включає використання в каналотворюючій апаратурі для систем передачі даних, автоматизованих систем керування, а також у зв'язку з іншими додатками в сферах промисловості, медицини і науки.

Ця система побудована на основі оптимально підібраних аналогових елементів та реальних мікросхем, зокрема, мікросхеми LM567, ультразвукових датчиків MA40S4S, а також операційних підсилювачів і інших компонентів. Всі ці елементи мають хороші електричні параметри і швидкодію, що дозволяє ефективно виконувати вимірювання розповсюдження ультразвукових хвиль. Однак варто зазначити, що використання таких компонентів, зокрема, імпортованих

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

мікросхем, впливає на підвищення собівартості продукції майже на 1,5 - 2 рази порівняно з іншими аналогами.

Система базується на принципах роботи зі зворотнім каналом зв'язку, що дозволяє адаптувати її під різні умови роботи, зокрема швидкість обміну інформацією, що безпосередньо впливає на підвищення ефективності роботи системи. Такі вдосконалення також позначаються на вартості продукту, збільшуючи його собівартість на 1,5 – 2 рази, в порівнянні з іншими подібними системами.

З огляду на ці фактори, ціноутворення для цієї системи є оптимальним та прийнятним, враховуючи високі вимоги до якості та надійності продукту.

4.3 Порівняння з існуючими рішеннями

Ультразвукові системи вимірювання, представлені на ринку, охоплюють широкий діапазон функціональних можливостей та цінових категорій. Вибір відповідного пристрою залежить від цілей використання, бюджету та вимог до точності й простоти інтеграції в існуючу інфраструктуру. Для порівняння обрано три популярні моделі: MicrUs Pro, Toshiba Aplio 400, і Siemens Acuson S2000, які представляють різні цінові сегменти.

MicrUs Pro, що є представником бюджетного сегменту, пропонує доступне рішення для базових ультразвукових вимірювань за ціною від 1 500 до 2 000 доларів (приблизно 55 000–74 000 грн). Цей портативний пристрій створений для використання у польових умовах і телемедицини. Він підтримує 2D-візуалізацію, легко інтегрується зі смартфонами чи ПК, має зручний інтерфейс і не потребує значних налаштувань, що робить його ідеальним для простих діагностичних завдань або мобільного застосування.

Toshiba Aplio 400, представник середнього цінового сегменту, вартістю близько 15 000 доларів (приблизно 555 000 грн), є високопродуктивною

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

стаціонарною системою для ультразвукової діагностики. Вона забезпечує високу якість зображень і широкий набір функцій, зокрема багатоплощинний аналіз і автоматичну обробку даних. Цей пристрій підходить для медичних закладів, де потрібна розширена функціональність для досліджень різного рівня складності, зокрема аналізу внутрішніх органів та судинної системи.

Siemens Acuson S2000 належить до преміум-сегменту з ціною понад 50 000 доларів (приблизно 1 850 000 грн). Ця передова система розроблена для комплексних діагностичних процедур. Вона підтримує об'ємну 3D і 4D-візуалізацію, а також передові технології, такі як еластографія, що дозволяє детально досліджувати структури тканин. Завдяки своїм можливостям цей пристрій є вибором для великих медичних закладів, які спеціалізуються на складних дослідженнях і мають високі вимоги до точності та деталізації.

В таблиці 4.3 висвітлено порівняння розроблюваного приладу з аналогами в різних цінових сегментах.

Розроблювана електронна система виміру розповсюдження ультразвуку із собівартістю 435 453 грн займає унікальну позицію в середньому ціновому сегменті ринку. Завдяки своїй універсальності, пристрій може ефективно використовуватись у навчальних закладах, малих підприємствах та промислових застосуваннях. Простота інтеграції робить його особливо привабливим для користувачів, які потребують швидкого впровадження без складного налаштування.

Порівняно з MicrUs Pro, пристрій розроблений для більш універсальних задач і має значно триваліший термін експлуатації (10 років проти 8 років), хоча програє за портативністю. У порівнянні з Toshiba Aplio 400, розробка має меншу вартість та простішу інтеграцію, але поступається функціональністю й можливостями візуалізації. У сегменті преміум-класу, де лідирує Siemens Acuson S2000, розроблювана система є значно економічнішою і простішою в експлуатації, хоча й не може конкурувати з передовими технологіями, такими як 3D/4D-візуалізація чи еластографія.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Таблиця 4.4 – Порівняння характеристик ультразвукових вимірювальних систем

Характеристика	Розроблюваний пристрій	MicrUs Pro	Toshiba Aplio 400	Siemens Acuson S2000
Точність	±0.5%	±1%	±0.8%	±0.5%
Довговічність	10 років	8 років	12 років	15 років
Простота інтеграції	Легка	Легка	Середня	Висока складність
Ціна (грн)	435 453	55 000 – 74 000	555 000	1 850 000
Призначення	Універсальне	Телемедицина, базова діагностика	Широке застосування в клініках	Складна діагностика та дослідження
Тип пристрою	Стаціонарний, Портативний	Портативний	Стаціонарний	Стаціонарний
Режими візуалізації	Базові	2D	2D, покращена обробка	2D, 3D, 4D
Сфера застосування	Навчання, промисловість	Медицина, телемедицина	Медицина	Медицина
Вага пристрою	~3 кг	1–2 кг	~20 кг	>25 кг
Енергоспоживання	Низьке	Низьке	Середнє	Високе
Особливості	Простота, гнучкість	Сумісність зі смартфонами	Висока роздільна здатність	Еластографія, об'ємна візуалізація

Таким чином, система стане оптимальним вибором для ринкових ніш, де пріоритетом є зниження витрат і висока гнучкість у використанні, а не максимальна функціональність або інноваційність.

4.4 Розрахунок точки беззбитковості

Точка беззбитковості визначається як такий обсяг продажу, за якого сукупний дохід покриває всі витрати, забезпечуючи нульовий прибуток. Для її визначення використовується формула:

$$Q = \frac{F}{P - V} \quad (4.11)$$

де Q – обсяг продажу в штуках,

F – постійні витрати,

P – ціна реалізації одиниці продукції,

V – змінні витрати на одиницю продукції.

Для проведення розрахунку використовуються наступні дані. Постійні витрати, які включають адміністративні, виробничі витрати, обслуговування обладнання, заробітну плату, додаткову заробітну плату, комерційні витрати, становлять $F = 305\,664$ грн. Ціна реалізації одиниці продукції, визначена на основі оптової ціни, складає $P = 435\,453$ грн 41 коп. Змінні витрати на одиницю продукції, що включають витрати на матеріали та компоненти, становлять $V = 3\,265$ грн 80 коп.

Підставимо ці дані у формулу 4.11 та розрахуємо точку беззбитковості.

$$Q = \frac{305\,664}{435\,453.41 - 3\,265.80} \approx 0.7$$

Таким чином, отримане значення $Q \approx 0.7$ означає, що для досягнення точки беззбитковості необхідно реалізувати як мінімум одну одиницю продукту

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

за ціною 435 453 грн 41 коп. Це свідчить про ефективність розробленого продукту, оскільки низький обсяг продажу, потрібний для покриття витрат, забезпечує конкурентоспроможність і високу рентабельність виробництва.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи магістра на тему "Електронна система виміру розповсюдження ультразвуку" було проведено всебічне дослідження існуючих методів та засобів вимірювання часу розповсюдження ультразвукових хвиль. Ультразвукові технології є перспективним напрямком завдяки своїм фізичним властивостям, таким як здатність проникати через різні середовища, висока точність і чутливість. Разом із тим, використання ультразвукових хвиль вимагає врахування таких викликів, як вплив шумів, перешкод і зміни параметрів середовища. Це обумовлює необхідність розробки сучасних систем вимірювання, які поєднують високу точність із практичністю та універсальністю.

У ході роботи проаналізовано існуючі системи ультразвукових вимірювань, розроблено алгоритм функціонування і структурну схему пристрою. Особливу увагу приділено вибору елементної бази, що включає високочутливі датчики, стабільні генератори, мікропроцесорні компоненти та низькошумні підсилювачі. Усі ці складові спрямовані на забезпечення точності вимірювань із похибкою не більше $\pm 0.5\%$ та стабільності роботи пристрою навіть у складних умовах.

Розроблена система працює на частоті ультразвукових коливань 40 кГц і дозволяє проводити вимірювання на відстанях до 3,5 метрів, що відповідає максимальному часу розповсюдження сигналу 10,7 мс. Завдяки інтеграції світлодіодної індикації, система забезпечує візуалізацію результатів вимірювань у реальному часі, що підвищує її зручність і ефективність у використанні.

Система може бути використана в широкому спектрі застосувань. У промисловості вона слугуватиме для неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій, дозволяючи виявляти дефекти та відхилення без пошкодження об'єктів. У медицині розробка стане основою для вдосконалених діагностичних приладів, які потребують високої точності вимірювання параметрів тканин та органів. У сільському господарстві система може застосовуватись для моніторингу ґрунту та оптимізації процесів зрошення, а також у системах автоматизованого

					ЕлІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

збору врожаю. Її компактність і енергоефективність роблять її корисною також для освітніх і наукових цілей.

У перспективі система може бути вдосконалена за кількома напрямками. Перш за все, варто інтегрувати модулі автоматичного калібрування, які адаптуватимуть пристрій до роботи в різних середовищах. Це дозволить збільшити точність вимірювань у змінних умовах та спростить процес підготовки до експлуатації.

Крім того, доцільно впровадити більш продуктивні мікропроцесори, здатні виконувати складніші обчислення, такі як обробка сигналів у реальному часі з використанням кореляційних методів. Це підвищить загальну точність і стабільність роботи пристрою в умовах шумів та перешкод.

Одним із перспективних напрямків є інтеграція штучного інтелекту для автоматичного аналізу отриманих даних. Використання алгоритмів машинного навчання дозволить виявляти закономірності в даних, прогнозувати параметри середовища та автоматично калібрувати пристрій.

Ще одним шляхом вдосконалення є впровадження бездротової передачі даних, що забезпечить можливість віддаленого моніторингу та управління пристроєм через мобільний додаток або хмарну платформу. Це відкриє нові можливості для застосування системи в інтернеті речей (IoT), особливо у складних виробничих умовах або віддалених регіонах.

Також можна додати функціонал енергозбереження, який дозволить системі переходити в сплячий режим у періоди бездіяльності. Це важливо для пристроїв, які працюють у польових умовах і живляться від акумуляторів.

Отже, розроблена електронна система вимірювання часу розповсюдження ультразвуку є сучасним рішенням, яке відповідає вимогам точності, адаптивності та енергоефективності. Її впровадження доцільне в різних сферах, включаючи промисловість, медицину, сільське господарство та науку. Подальший розвиток системи сприятиме її використанню у нових галузях та розширенню функціональних можливостей.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ЛІТЕРАТУРА

1. Нечаев І. Ультразвуковий далекомір HC-SR04 без мікроконтролеру. Частина 1. Сигналізатори присутності. 4-те вид. Одеса : Радіо, 2018. с. 59-62.
2. Нечаев І. Ультразвуковий далекомір HC-SR04 без мікроконтролеру. Частина 2. Аналогова "лінійка". 5-те вид. Одеса : Радіо, 2018. с. 55, 56.
3. Нечаев І. Ультразвуковий далекомір HC-SR04 без мікроконтролеру. Частина 3. Вимикач освітлення. 6-те вид. Одеса : Радіо, 2018. с. 57, 58.
4. Спосіб визначення октанового числа автомобільних бензинів / В. Пашенко та ін. [Електронний ресурс]: <http://bd.patent.su/2189000-2189999/pat/servlet/servletf315.html>.
5. Ultrasonic Sensor. Application Manual. [Електронний ресурс]: <http://www.symmetron.ru/suppliers/murata/files/pdf/murata/ultrasonic-sensors.pdf>.
6. LM56 Dual Output Low Power Thermostat. [Електронний ресурс]: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm56.pdf>.
7. Самоклеючі нагрівальні фолії 12 VDC. [Електронний ресурс]: <http://dip8.ru/files/pdf/fg12v.pdf>.
8. Опанасюк Н. М. Мікроелектронні сенсори : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2013.
9. Захаров А. М. Ультразвукові сенсори в автоматизації. Харків : ХНУРЕ, 2015.
10. Гречко І. В. Методи вимірювання часу поширення ультразвукових хвиль у рідинах. Київ: НТУУ «КПІ», 2012.
11. Рибалко В. В. Ультразвукові методи в контролі якості продукції. Одеса: Одеська національна академія харчових технологій, 2016.
12. Микитенко О. В. Метрологія ультразвукових вимірювань в промисловості. Львів: Львівська політехніка, 2015.
13. Панченко М. А. Сенсорні технології в вимірювальних системах для контролю параметрів середовища. Харків: ХНТУСГ, 2014.

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

14. GE HealthCare Technologies. Washington, 2023. 136 p. URL: <https://investor.gehealthcare.com/static-files/4ac277fa-95b4-44ec-aa74-29020d37ac59>.

15. Siemens Healthineers. URL: <https://www.siemens-healthineers.com/ua>.

16. Ультразвуковий товщиномір Olympus 38dl plus. URL: <https://tppmashprom.com.ua/uk/p/289852165-ultrazvukovoy-tolshchinomer-olympus-38dl-plus/>.

					<i>ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ</i>	Арк.
						60
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ

Познач.	Найменування	Кільк.	Примітка
Конденсатори			
C1	K50-35-16V-10 мкФ $\pm 20\%$	1	
C2-7	K10-7B-H30-0,047 мкФ $\pm 10\%$	8	
C8	K50-27-63V-100 мкФ $\pm 10\%$	1	
C9-C13	K10-7B-H30-0,1 мкФ $\pm 10\%$	5	
Мікросхеми			
DD1	SN74LS00	1	
DD2	SN74LS04	1	
DD3	CD4017	1	
DD4	SN74LS74	1	
Резистори			
R1, R2	МЛТ-0,125-10 кОм $\pm 5\%$	1	
R3-12	МЛТ-0,125-1 кОм $\pm 5\%$	10	
R13-20	МЛТ-0,25-470 Ом $\pm 5\%$	8	
Діоди			
VD1	1N4148	1	
VD2, VD3	1N4007	1	
Транзистори			
VT1	КТ315	1	
VT2	IRF540		
Кнопковий перемикач			
S1	П-2К 88К-16 ОЖО.455.125 ТУ	1	

					ЕЛІТ 6.171.00.05.496 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61