

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Анатолій ОПАНАСЮК

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 171 Електронні системи та компоненти,
освітньо-професійної програми _____,
на тему: «Пристрій виміру часу розповсюдження ультразвуку»

Здобувача (ки) групи ЕС-91 Скрипченка Владислава Олександровича
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Владислав СКРИПЧЕНКО
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник доцент кафедри ЕіКТ, к.т.н., доцент Анатолій НОВГОРОДЦЕВ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Суми – 2023

Сумський державний університет

Факультет ЕЛІТ

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

Спеціальність 171 Електронні системи і компоненти

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

електроніки та комп'ютерної техніки

_____ А. С. Опанасюк.

“ ____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра

Скрипченка Владислава Олександровича

1. Тема роботи :« Пристрій виміру часу розповсюдження ультразвуку»

затверджена наказом по університету № _____ від “ ____ ” _____ 2023 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 10.06.2023.

3. Вихідні дані до роботи:

- напруга живлення - 5 В;
- напруга стабілізації - 3,3 В;
- восьми зарядний ЦАП;

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

- Вступ
- Огляд літератури за обраним напрямком
- Розробка, обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми пристрою що проектується
- Розробка та розрахунок принципової схеми.
- Висновки
- Список використаної літератури

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

1. Блок-схема алгоритму функціонування.

2. Схема електрична структурна.

3. Схема електрична принципова.

Дата видачі завдання: 20.03.2023

Прийняв до виконання студент:

Скрипченко В.О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури	23.03.2023	
2	Вибір елементної бази	01.04.2023	
3	Розрахунок основних вузлів	05.05.2023	
4	Оформлення графічного матеріалу	06.06.2022	
5	Оформлення пояснювальної записки	07.06.2023	
6	Здача роботи на перевірку	10.06.2023	

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Випускна робота містить : 38 с.; 18 рис.; 7 табл.; 7 джерел.

Дана робота присвячена розробці пристрою для виміру часу розповсюдження ультразвуку.

У розділі «Огляд літератури за обраним напрямком» було проведено огляд приборів як ультразвуковий далекомір та ультразвуковий вимірювач октанового числа бензину.

Також було розроблено алгоритм функціонування та структурну схему пристрою для виміру часу розповсюдження ультразвуку. У даному розділі наведено відповідні схеми та опис структурної схеми пристрою.

У розділі «Розробка та розрахунок принципової схеми» було обрано елементну базу, розроблено принципову схему пристрою та розраховано основні вузли цієї схеми.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ОБРАНИМ НАПРЯМКОМ ПРОЕКТУВАННЯ	7
1.1 Ультразвуковий далекомір	7
1.2 Ультразвуковий вимірювач октанового числа бензину	9
2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИБОРУ	17
2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою	17
2.2 Розробка структурної схеми пристрою	18
3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИБОРУ	21
3.1 Вибір елементної бази.....	21
3.2 Розробка принципової схеми пристрою.....	29
3.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми.....	33
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	37

					ЕЛІТ 6.171.00.10.324 ПЗ				
		<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розроб.</i>	<i>Скрипченко</i>				Пристрій виміру часу розповсюдження ультразвуку Пояснювальна записка	<i>Лит.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Листів</i>	
<i>Перевір.</i>	<i>Новгородцев</i>						4		
<i>Реценз.</i>						СумДУ ЕС-91			
<i>Н. Контр.</i>									
<i>Затверд.</i>	<i>Опанасюк</i>								

ВСТУП

Розповсюдження ультразвуку – це процес переміщення у просторі і в часі збурень, які присутні у звуковій хвилі. Звукова хвиля розповсюджується у речовині, яка може бути у газоподібному, рідкому або твердому стані, тобто визиває деформацію середовища.

Вимірявши час розповсюдження ультразвуку від його випромінювача до приймача і знаючи відстань між ними, можна судити про властивості середовища. Ультразвук використовують в системах охоронної сигналізації, медицині, вимірювачах відстані (ефект Доллера), аналізу хімічного стану речовини та інше.

Ультразвук, акустичні хвилі з частотами від $2 \cdot 10^4$ Гц до 10^9 Гц. Виділяють у низьких ($2 \cdot 10^4 - 10^5$ Гц), середніх ($10^5 - 10^7$ Гц) та високих ($10^7 - 10^9$ Гц) частот. Кожен з цих діапазонів характеризується специфічністю, особливостями генерації, прийому, поширення та застосування.

Властивості та особливості поширення

По фізичній природі ультразвук є пружними хвилями, і в цьому він не відрізняється від звуку, тому частотна межа між звуковими і УЗ-хвилями умовна. Однак завдяки вищим частотам і, отже, малим довжинам хвиль (так, довжини хвиль високих частот у повітрі становлять $3,4 \cdot 10^{-3} - 3,4 \cdot 10^{-7}$ м, у воді $1,5 \cdot 10^{-4} - 1,5 \cdot 10^{-6}$ м, у сталі $5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-6}$ м) має місце ряд особливостей поширення ультразвуку.

Зважаючи на малу довжину хвилі характер його поширення визначається в першу чергу молекулярною структурою середовища, тому, вимірюючи швидкість і коефіцієнт згасання, можна судити про молекулярні властивості речовини. Характерна особливість поширення ультразвуку у багатоатомних газах та у багатьох рідинах – існування областей дисперсії звуку, що супроводжується сильним зростанням його поглинання у газах, і зокрема у повітрі, поширюється з великим згасанням. Рідини і тверді тіла (особливо монокристали) є, як правило,

					ЕЛІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
						5
		№ докум.	Підпис	БР		

хорошими провідниками ультразвуку, загасання в них значно менше. Тому області використання ультразвуку середніх та високих частот відносяться майже виключно до рідин та твердих тіл, а в повітрі та газах застосовують лише у низьких частотах.

Друга особливість ультразвуку – можливість отримання великої інтенсивності навіть за порівняно невеликих амплітудах коливань, тобто при цій амплітуді щільність потоку енергії пропорційна квадрату частоти. УЗ-хвилі великої інтенсивності супроводжуються низкою нелінійних ефектів. Так, для інтенсивних плоских УЗ-хвиль при малому поглинанні середовища синусоїдальна у випромінювача хвиля перетворюється в міру поширення на слабку періодичну ударну хвилю; поглинання таких хвиль виявляється значно більшим, ніж хвиль малої амплітуди. Поширення УЗ-хвиль у газах і рідинах супроводжує рух середовища (акустичний перебіг). До важливих нелінійних явищ, що виникають при поширенні інтенсивного ультразвуку в рідинах, відноситься кавітація акустична.

					ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
						6
		№ докум.	Підпис	БР		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ОБРАНИМ НАПРЯМКОМ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Ультразвуковий далекомір

Нерідко в побуті та на підприємствах виникають задачі автоматичного наповнення резервуару будь-якою рідиною, наприклад, у дачному будинку необхідно доливати воду в бак. Для вирішення такої задачі зазвичай використовують ємнісні та резистивні датчики рівня рідини. Для цих цілей пропонують використовувати ультразвуковий далекомір.

Використовуючи принципи застосування ультразвукового далекоміра НС-5804 без мікроконтролера [1-3], можна зробити вимірювач рівня рідини в будь-якій ємності (наприклад, в резервуарі з водою), суміщений з автоматом керування насосом. Оскільки високої точності вимірювань при цьому не потрібно, як індикатор можна застосувати малогабаритний стрілочний прилад, наприклад мікроамперметр. Щоб автоматично ввімкнути насос у пристрій, можна ввести відповідні елементи.

За основу такого пристрою була взято аналогову “лінійку” і доопрацьовано відповідно до нових вимог. Шкалу мікроамперметра можна, і навіть зручніше, проградувати у відсотках від об'єму резервуара, що діє. А якщо застосувати мікроамперметр зі струмом повного відхилення 100 мкА, то градувати, шкалу не потрібно.

Схема пристрою показано на рис. 1.1. Воно складається з двох конструктивних вузлів: датчика та блоку індикатора з вузлом керування насосом та мережевим джерелом живлення. Основа датчика - ультразвуковий далекомір НС-SR04. На ОУ DA1.1 зібраний генератор прямокутних імпульсів з періодом їхнього прямування близько 12 мс. Це трохи менше рекомендованого, оскільки передбачається, що висота резервуара не перевищує 2 м. Період проходження імпульсів можна змінити добіркою конденсатора СТ і резистора В4. Запускаючий

					ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
						7
		№ докум.	Підпис	БР		

імпульс для далекоміра тривалістю кілька десятків мікросекунд формує диференціюючий RC-ланцюг С3R6.

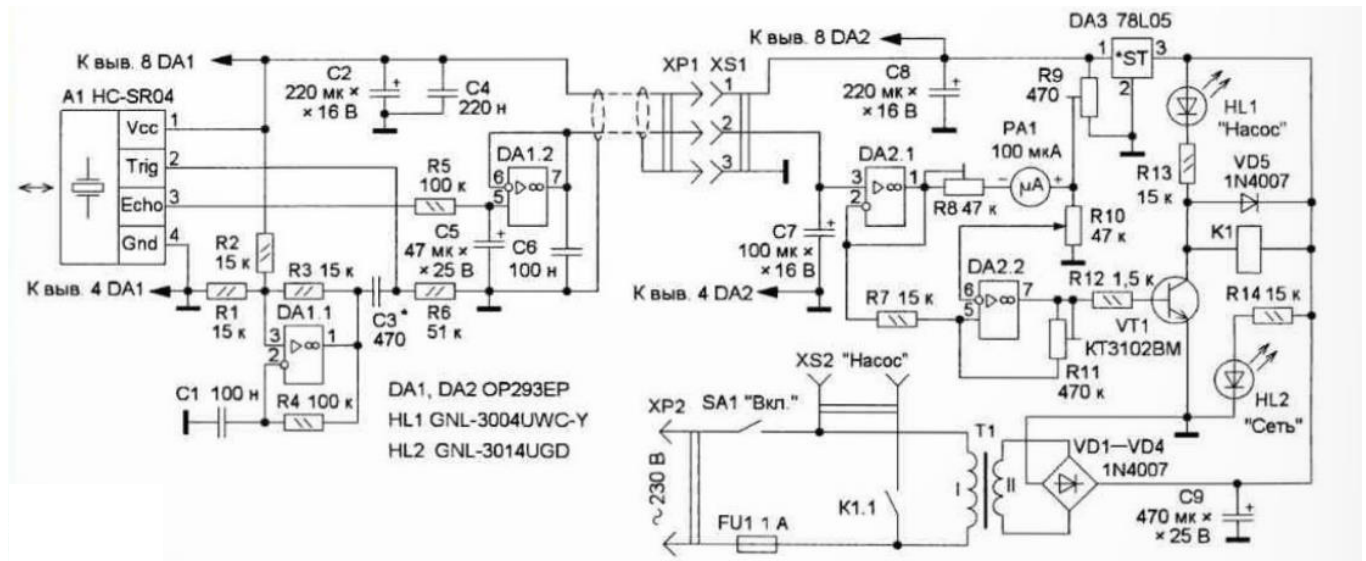


Рисунок 1.1 – Схема ультразвукового далекоміра

На виході Echo далекоміра А1 формуються імпульси з логічним рівнем, тривалість яких залежить від відстані до перешкоди, в даному випадку до поверхні води в резервуарі. Імпульси надходять на інтегруючу RC-ланцюг R5C5 з постійною часом кілька секунд, що забезпечує підвищену перешкоду. Тому на конденсаторі C5 буде присутня постійна напруга, яка залежить від рівня води. Оскільки датчик розташований у верхній частині резервуара, то чим меншим буде рівень води, тим більша відстань, а значить, і постійна напруга на конденсаторі. На ОУ DA1.2 зібрано буфер - повторювач напруги, вихідний сигнал якого по екранному двопровідному кабелю надходить на вузол індикатора. Цим же кабелем надходить напруга +5 для живлення датчика. Перешкоди по лінії живлення пригнічують конденсатори С2 та С4. Конденсатор С6 пригнічує високочастотні перешкоди на виході ОУ.

До складу вузла індикатора входить повторювач напруги на ОУ DA2-1. Перешкоди та наведення на вході пригнічує конденсатор С7. Вихідний сигнал

цього ОУ через струмообмежуючий резистор калібрування В8 надходить на стрілочний вимірювальний прилад - мікроамперметр РА1, який індикує рівень води в резервуарі від 0 до 100%. З двигуна підстроювального резистора R9 надходить напруга для балансування стрілочного вимірювача.

На ОУ DA2.2, включеному як компаратор, транзистор VT1 і реле К1 зібраний вузол управління насосом. Поріг включення насоса встановлюють змінним резистором R10, за допомогою підстроювального резистора R11 встановлюють гістерезис перемикачання. Транзистор VT1 подає напругу на реле К1, яке керує живленням насоса. Світлодіоди HL1 та HL0 індикують стан пристрою. Вузол живлення зібраний на трансформаторі Т1, випрямляючий діодний міст VD1-VD4 і згладжуючий конденсатор С9. Напруга живлення ОУ DA2 та плати датчика стабілізовано інтегральним стабілізатором DA3.

1.2 Ультразвуковий вимірювач октанового числа бензину

Багато сучасних автомобілів оснащені електронною системою запалювання з комп'ютерним блоком управління подачею та упорскуванням палива. Один із важливих для правильної роботи блоку управління параметрів – октанове число бензину. При його невідповідності стандартному двигун не зможе працювати в оптимальному режимі, порушиться процес керування упорскуванням палива аж до аварійної втрати потужності. Тому наявність простого та доступного для всіх автолюбителів пристрою контролю октанового числа бензину, що заливається в паливний бак, сьогодні дуже актуальна.

Випускається лабораторний аналізатор ХХ-440, призначений для експрес-аналізу октанового числа бензину. Він простий у використанні та має високу надійність завдяки найскладнішим сучасним технологіям та запатентованим технічним рішенням, застосованим при його створенні. Після кожного увімкнення прилад самотестується для досягнення максимальної точності. Результати

					<i>ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ</i>	Арк
						9
		№ докум.	Підпис	БР		

вимірювання відображаються на дисплеї та можуть бути роздруковані на вбудованому принтері із зазначенням номера проби, дати та часу проведення випробувань. Але вартість такого приладу вимірюється десятками тисяч доларів. Створити аналогічні октаномери в домашніх умовах дуже важко навіть досвідченому радіоаматору.

Для створення малогабаритного та дешевого приладу оперативного контролю якості палива можна скористатися ультразвуковим методом визначення октанового числа бензину [4], в основі якого лежить вимір швидкості поширення ультразвуку в бензині. На основі цього методу вітчизняною промисловістю вже випускаються октаномери АС-98, SHATOX SX-150, ОКТАН-ІМ та ін.

Розглянутий нижче октаномер не претендує на високу точність визначення октанового числа бензину порівняно із заявленою точністю промислових приладів, проте дозволяє відрізнити хороший бензин від поганого. Це важливо для автолюбителя, оскільки якість бензину на багатьох АЗС, на жаль, не відповідає нормам. До того ж такий октаномер простий у виготовленні, що вимагає мінімального налагодження, в ньому використана дешева елементна база.

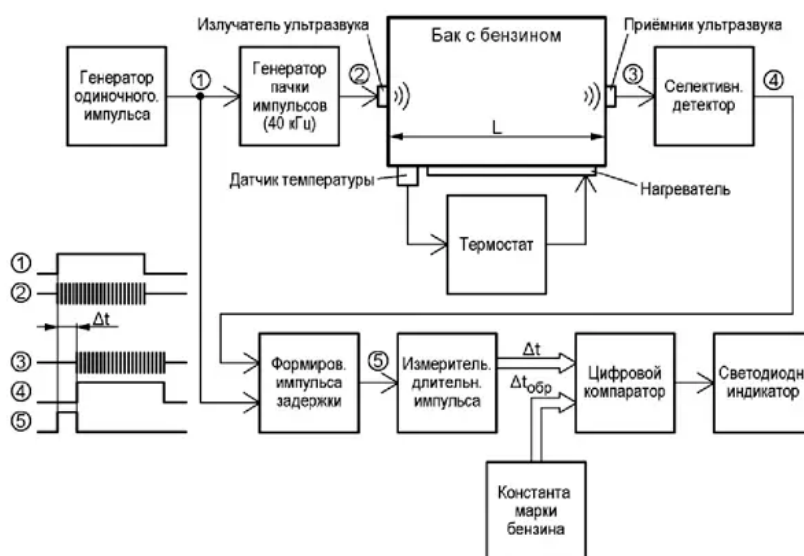


Рисунок 1.2 - Блок-схема ультразвукового октаномера

						ЕЛІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
							10
		№ докум.	Підпис	БР			

Блок-схема ультразвукового октаноміра показана на рис. 1.2. На виході генератора одиночного імпульсу формується імпульс (1), який передавач переносить на резонансну частоту ультразвукового випромінювача (2). У найпоширеніших ультразвукових випромінювачів, що нині випускаються, ця частота дорівнює 40, 200 або 400 кГц [5]. Імпульс випромінюється у бензобак автомобіля. На протилежному боці бензобака ультразвуковий приймач приймає цей імпульс (3), а селективний детектор перетворює його на імпульс постійного струму (4), затриманий щодо імпульсу (1) на час поширення ультразвуку в бензині. Цей час дорівнює

$$\Delta t = L / V,$$

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 .

Вимірявши її і знаючи відстань між випромінювачем і приймачем, можна обчислити швидкість V і оцінити октанове число бензину. Для вимірювання тривалості імпульс заповнюють наступними з відомим періодом лічильними імпульсами і підраховують їх число. Потім це число порівнюють з еталонними константами для різних марок бензину, і за результатами порівняння, що виводяться на світлодіодний індикатор, роблять висновок про марку та якість бензину.

Значення швидкості поширення ультразвуку за різної температури в бензинах, що використовуються в даний час в автомобільних двигунах і в повітрі, наведені в табл. 1.1.

Так як швидкість поширення ультразвуку в бензині істотно залежить від температури, вимірювальну установку оснащують термостатом, вбудувавши в бак

					<i>ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
						<i>11</i>
		<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>БР</i>		

з бензином датчик температури та нагрівач. Це значно підвищує точність виміру, особливо у зимовий час.

Таблиця 1.1

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

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:

$$F = 1/(1,1 \cdot C6 \cdot (R9 + R10)).$$

Оскільки в приладі використовуються ультразвукові перетворювачі МА40S4R (BM1) та МА40S4S (BA1) з резонансною частотою 40 кГц [5], то частота генератора повинна бути такою ж. За рахунок використання одного і того ж генератора для формування випромінюваного імпульсу та детектування прийнятого забезпечується стійке налаштування приймача на сигнал передавача.

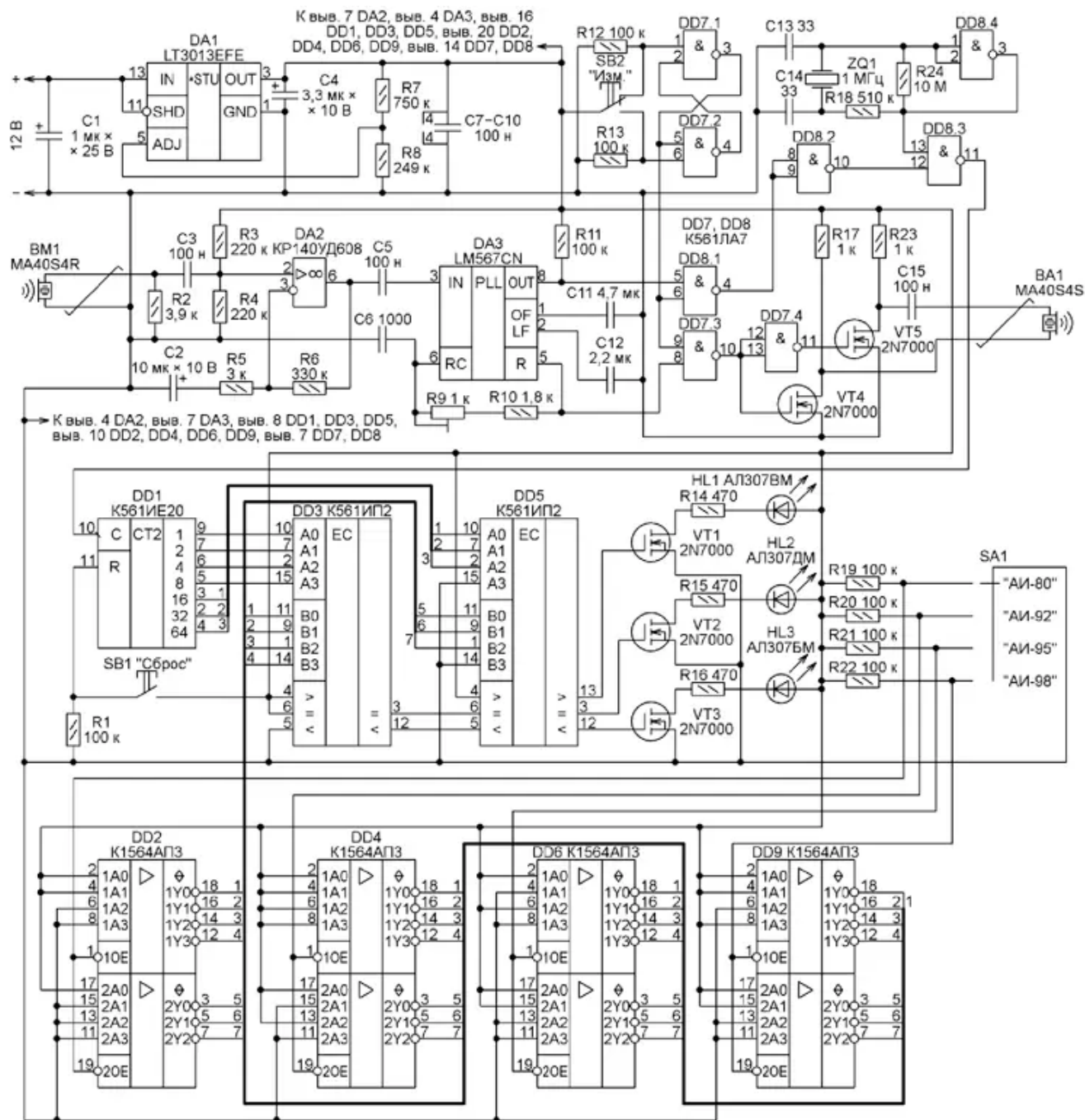


Рисунок 1.3 – Принципова схема октаномера

Кварцовий генератор на логічному елементі DD8.4 формує лічильні імпульси частотою 1 МГц, що заповнюють за допомогою елемента DD8.3 імпульс різниці випромінюваного та прийнятого сигналів, що утворюється на виході елемента DD8. 1. Таким чином, число імпульсів, що пройшли через елемент DD8.3, дорівнює

				Арк
				13
		№ докум.	Підпис	БП
ЕЛІТ 6.171.00.10.324 ПЗ				

тривалості проходження ультразвуком мірного відрізка бензину, вираженої в мікросекундах. Для бензину різних марок при температурі 20 °С та довжині мірного відрізка 1 м це число (N) зазначено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

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

Імпульси підраховує лічильник DD1. Оскільки використовуються лише сім його розрядів, у яких може міститися число трохи більше 127, у процесі рахунки вони багаторазово переповнюються і його завершенні у яких перебуває залишок від розподілу числа підрахованих імпульсів на 128 ($N \bmod 128$). Ці залишки також зазначені у табл. 2. Оскільки різниця між максимально та мінімально можливими значеннями залишків числа імпульсів не перевищує 127, неоднозначності відліку при аналізі стану лише семи розрядів лічильника не виникає.

Число з виходів лічильника надходить однією з входів цифрового компаратора на мікросхемах DD3 і DD5. На другий вхід компаратора за допомогою перемикача SA1 по черзі подають числа, що відповідають еталонній тривалості затримки для чотирьох марок бензину. Ці числа встановлюються на входах буферних елементів DD2, DD4, DD6 та DD9 в інверсному двійковому коді, оскільки ці елементи - інвертують. Оскільки виходи цих елементів мають три стани, їх можна поєднати в загальну шину, що й зроблено в октанометрі.

При іншій довжині мірного відрізка (довжині бензобака) зразкові числа N змінюються пропорційно, потім беруться залишки від поділу на 128. Приступаючи

до вимірювання октанового числа бензину, слід встановити перемикач SA1 у положення "AI-80". Потім обнулити лічильник натисканням на кнопку SB1 і, натиснувши на кнопку SB2, виміряти. Якщо октанове число бензину менше еталонного для бензину цієї марки, то увімкнеться червоний світлодіод HL3. Якщо воно дорівнює еталонному, увімкнеться жовтий світлодіод HL2. Якщо більше, то буде увімкнено зелений світлодіод HL1. В останньому випадку слід послідовно переводити перемикач SA1 на положення, що відповідають великим октановим числам, продовжуючи спостерігати за світлодіодами.

Налагодження приладу зводиться до встановлення частоти 40 кГц на виведенні мікросхеми 5 DA3 за допомогою підстроювального резистора R9. Якщо використовувати більш високочастотні ультразвукові перетворювачі на 100 або 200 кГц, частоту генератора необхідно відповідно збільшити. Однак слід мати на увазі, що з підвищенням частоти ультразвуку його згасання в бензині зростає. Тому розміри бака, в якому виробляються виміри, доведеться зменшити, а це збільшить похибку приладу.

Цифрові мікросхеми, які використовуються в октанометрі, можна замінити їх імпорними аналогами серій 4000 та 74НС. Замість стабілізатора напруги LT3013EFE підійде будь-який лінійний стабілізатор з регульованою або фіксованою вихідною напругою 5 В та максимальним струмом навантаження не менше 100 мА. Оскільки на стабілізаторі розсіюється потужність близько 0,7 Вт, його потрібно забезпечити тепловідведення. Схема термостата показано на рис. 1.4. Він побудований на спеціалізованій мікросхемі термостата LM56BIM (DA1), яка має вбудований датчик температури та джерело зразкової напруги 1,25 В (висновок 1). Температуру включення та вимикання нагрівача задають значеннями напруги відповідно на входах U_{TL} (висновок 3) та U_{TH} (висновок 2), які повинні дорівнювати [6]:

					<i>ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ</i>	Арк
						15
		№ докум.	Підпис	БР		

$$U_{TL} = 0,0062 \cdot T_L + 0,395,$$

$$U_{TH} = 0,0062 \cdot T_H + 0,395,$$

де T_L і T_H - задані значення температури відповідно до включення та вимикання нагрівача, °С.

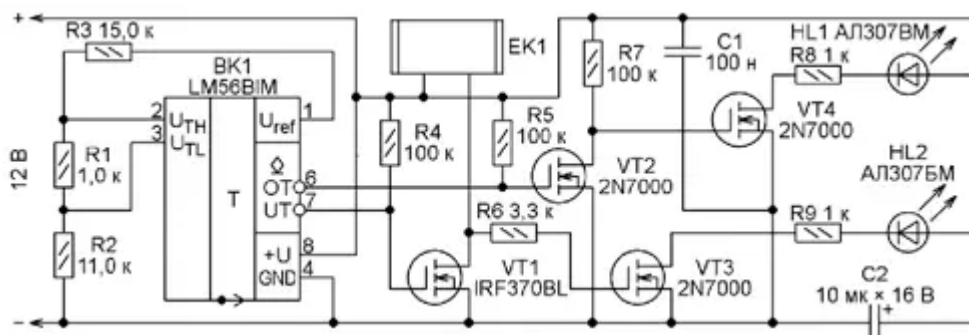


Рисунок 1.4 – Схема термостату

Ці напруги отримують із зразкової напруги U_{ref} (висновок 1) за допомогою резистивного діляка напруги R1-R3. Задавшись значенням $R_{\Sigma}=R1+R2+R3$, опори цих резисторів можна розрахувати за формулами:

$$R2 = U_{TL} \cdot R_{\Sigma} / 1,25, \quad R1 = (U_{TH} \cdot R_{\Sigma} / 1,25) - R2, \quad R3 = R_{\Sigma} - R1 - R2.$$

Вказані на схемі номінали резисторів R1-R3 забезпечують температуру включення нагрівача близько 18 °С, а температуру його вимикання близько 26 °С. Якщо температура бензину менше 18 °С, світиться світлодіод HL2 і включається нагрівальний елемент EK1. Якщо температура вище 26 °С, нагрівач вимикається, але включається світлодіод HL1. Отже, коли включений будь-який із світлодіодів, вимірювати октанове число бензину не варто.

Для правильного вимірювання температури бензину корпус мікросхеми LM56BIM повинен мати добрий тепловий контакт із бензобаком. Для підігріву бензобака використані самоклеючі нагрівальні фолії [7].

2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ

2.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

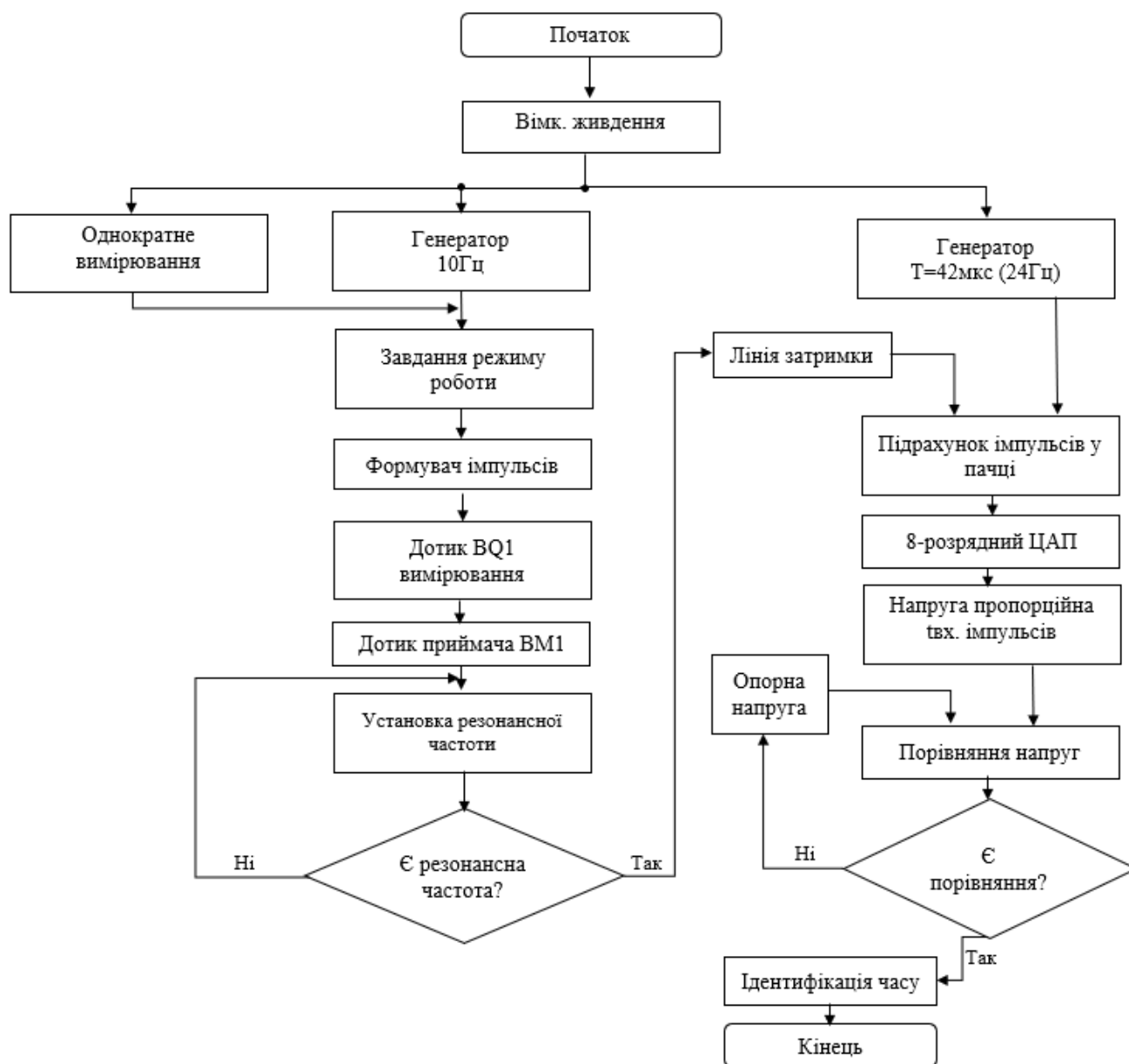


Рисунок 2.1 – Алгоритм функціонування пристрою

2.2 Розробка структурної схеми пристрою

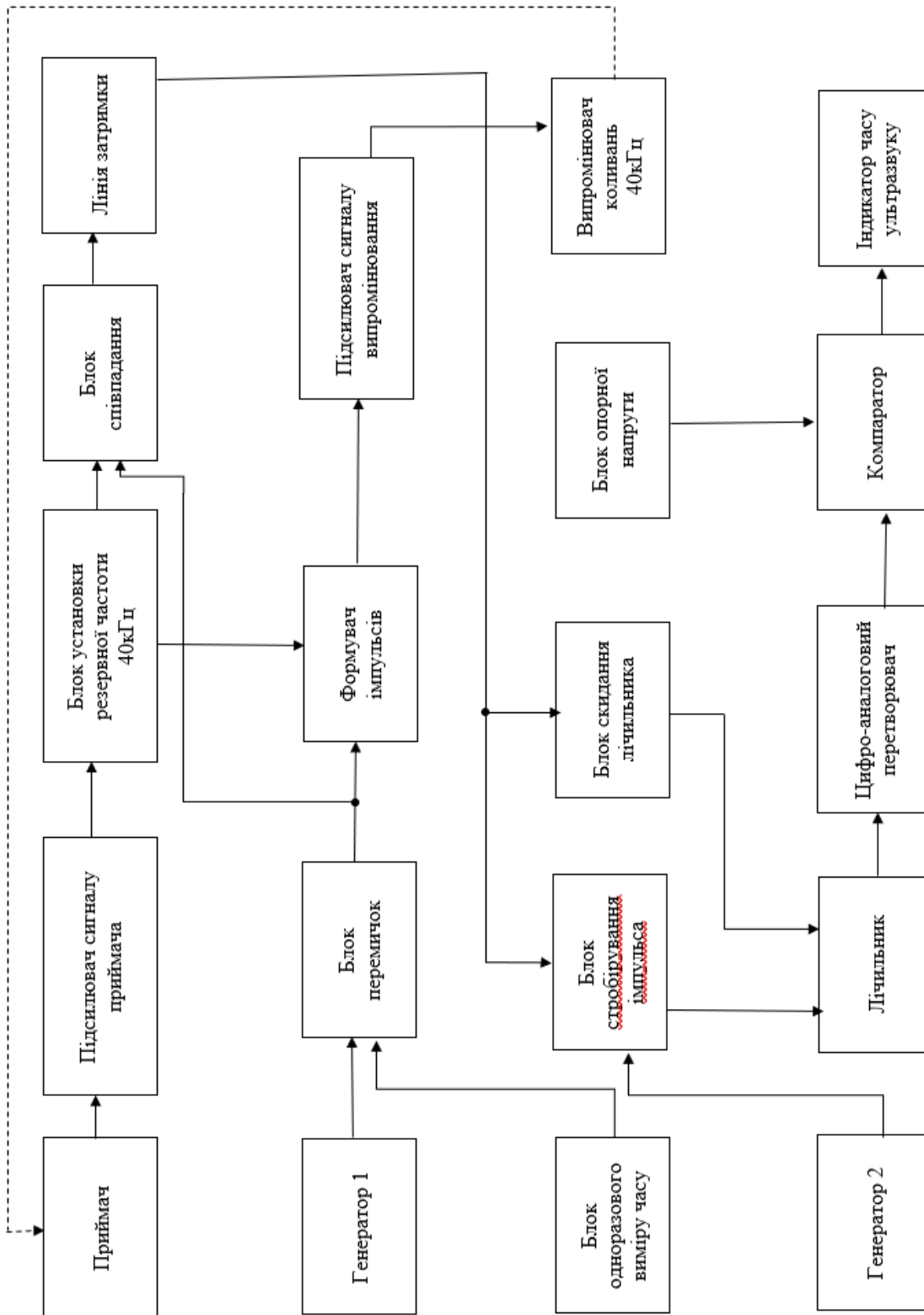


Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою

№ докум.	Підпис	БР	

На основі алгоритму, розроблена структурна схема пристрою (рис. 2.2). Основними елементами схеми є датчики (випромінювач та приймач), генератори, лічильник, блок резонансної частоти, компаратор та цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП).

Принцип її роботи полягає у наступному. За допомогою блока перемичок задається один з трьох режимів роботи пристрою.

Перший режим забезпечує налагодження пристрою та пошуку оптимального розташування вимірювача та приймача.

За другим режимом можна виконувати однократне вимірювання часу розповсюдження ультразвуку від випромінювача до приймача.

За третім (робочим режимом) імпульси з генератора 1 з частотою 10 Гц, через блок перемичок поступають на формувач імпульсів і на блок співпадіння.

На блок формувача імпульсів також поступають імпульси частотою 40 кГц, яка є резонансною частотою вимірювача ультразвуку та приймача. Через підсилювач імпульсів, вони поступають на вимірювач коливань.

Блок стробірування виконує стробірування вхідних імпульсів з лінії затримки, імпульсами генератора 2, які мають період слідування 42 мкс (24 Гц).

Імпульсом з блоку стробірування запускається лічильник, який підраховує кількість імпульсів у пачці, яка пропорційна тривалості вхідного імпульсу, а значить, вимірюваному часу розповсюдження ультразвуку.

Після підрахунку імпульсів відбувається скидання лічильника у початковий стан.

Код з виходу лічильника поступає на входи восьми розрядного цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). По закінченню вхідного імпульсу, напруга на виході ЦАП пропорційна тривалості вхідного імпульсу.

Вказаний період слідування імпульсів (4 мкс), відповідає максимальному часу розповсюдження біля 10,7 мс.

					<i>ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ</i>	<i>Арк</i>
						19
		<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>БР</i>		

За цей час при кімнатній температурі ультразвук проходить у повітрі 3,5 м.

Напруга з виходу ЦАП поступає на вихід компаратора. На інверсний вхід компаратора подається порогова напруга з блоку опорної напруги.

За порівняння цих напруг, на виході компаратора загорається індикатор часу ультразвуку.

Змінний резистор блоку опорної напруги забезпечений шкалою, проградуєваною в одиницях часу, або іншої величини, яка вимірюється за допомогою ультразвуку.

					ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
						20
		№ докум.	Підпис	БР		

3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

3.1 Вибір елементної бази

КР140УД608

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 3.1.

Таблиця 3.1

Напруга живлення (ном.)	±15В
Напруга живлення (дод.)	±5..±18В
Струм споживання, не більше	±2,8мА
Максимальна вихідна напруга	±11В
Максимальна синфазна вхідна напруга	11В
Максимальна вхідна диференціальна напруга	30В
Напруга усунення нуля	±5мВ
Вхідний струм, не більше	30нА
Різниця вхідних струмів, не більше	10нА
Коефіцієнт посилення напруги	>70000
Коефіцієнт ослаблення синфазної вхідної напруги	> 80дБ
Вхідний опір	> 1Мом

Продовження таблиці 3.1

Швидкість наростання (макс.)	>2,5В/мкс
Частота одиничного посилення	1МГц
Максимальний вихідний струм	25мА
Температурний діапазон	-20..+70°C
Корпус	2101.8-1 (DIP-8)
Аналоги	МС1456G

Призначення висновків КР140УД608 наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

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

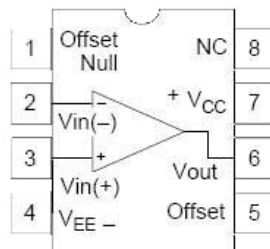


Рисунок 3.1 – Розташування виводів

МІКРОСХЕМА ДЕКОДЕРА ТОНАЛЬНОГО СИГНАЛУ (функціональний аналог LM567CN ф. National Semiconductor)

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;

					ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
						23
		№ докум.	Підпис	БР		

- для мікросхем IL567CN тепловий опір «кристал-довкілля» не більше 110 °C/Вт, для мікросхем IL567CD - не більше 160 °C/Вт.

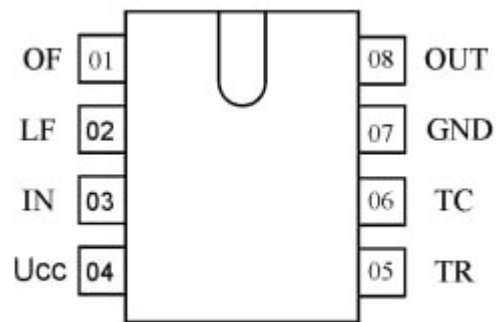


Рисунок 3.2 – Розташування виводів

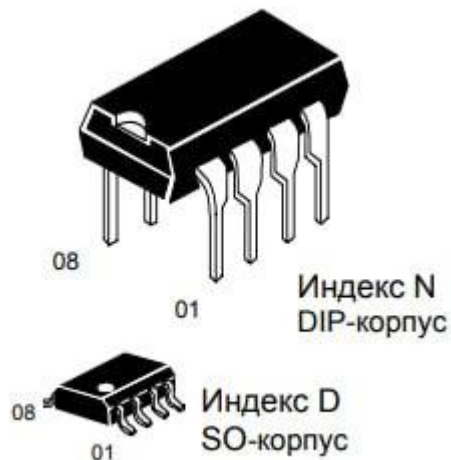


Рисунок 3.3 – Мікросхеми в DIP-корпусі та SO-корпус

КП501А/КП501Б - 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.

Таблиця 3.3

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 витoku затвору	<0,02µA	
Порогова напруга на затворі	1,0...3,0V	
Опір сток-витік (відкр.)	10 om	
Аналог	ZVN2120	
Діапазон робочих температур	-55...+150°C	

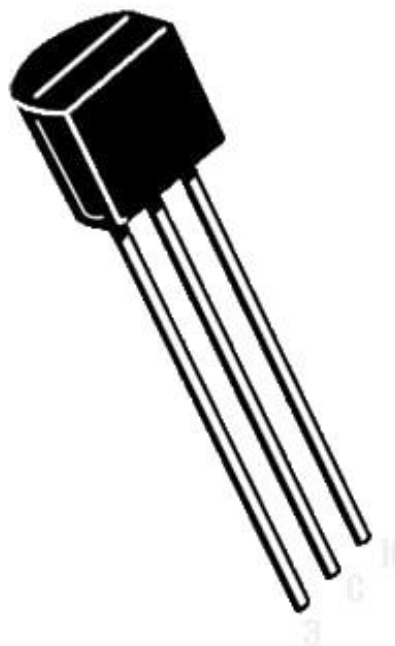


Рисунок 3.4 – Транзистор КП501А/КП501Б

					ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
		№ докум.	Підпис	БР		25

MA40S4R

Характеристики наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

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%



Рисунок 3.5 – Датчик

AD557JN

Особливості:

- 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.

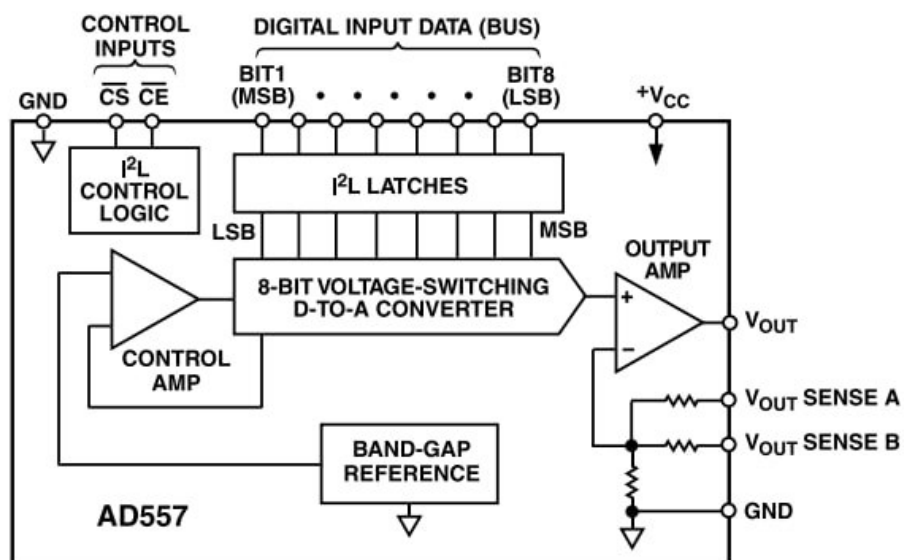


Рисунок 3.6 – Функціональна блок-схема

L-314LRC

Характеристики:

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

КС133Г

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.

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;

					<i>ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ</i>	Арк
						28
		<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>БР</i>		

- Максимально-допустима потужність, що розсіюється, на стабілітроні: 0,125 Вт;
- Робочий інтервал температури навколишнього середовища: -60...+125 °С.



Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд КС133Г

3.2 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 рис. 3.8. Пристрій додано низькочастотний генератор імпульсів та перемичка 51, за допомогою якої можна змінювати режим роботи.

					ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
						29
		№ докум.	Підпис	БР		

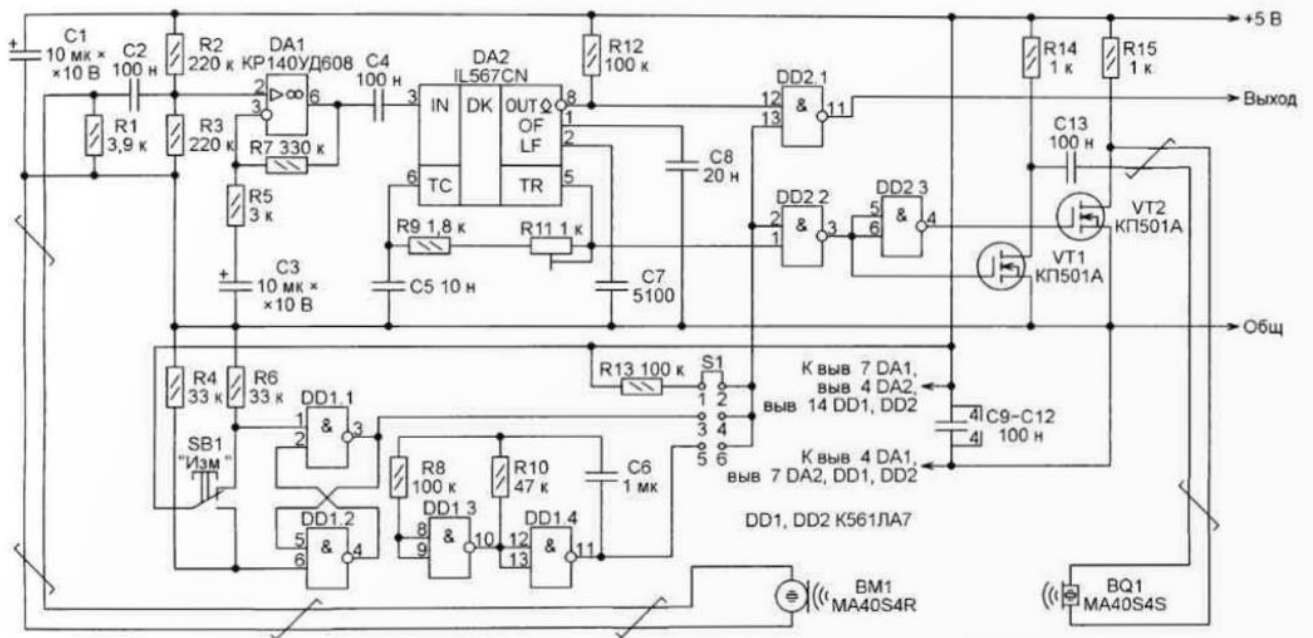


Рисунок 3.8 – Схема вимірювача часу розповсюдження ультразвуку

Коли перемичка встановлена в положення 1-2, випромінювач BQ1 безперервно створює в контрольованому середовищі ультразвукові коливання частотою 40 кГц, а приймач ультразвуку BM1 приймає їх. Прийом сигналу підтверджується високим логічним рівнем на виході елемента DD2.1, відсутність сигналу цей рівень - низький. Такий режим зручний для налагодження пристрою та пошуку оптимального розташування випромінювача та приймача. Може він використовуватись і в охоронній сигналізації - при перетині порушником ультразвукового променя високий рівень на виході приладу зміниться низьким.

Встановивши перемичку в положення 3-4, можна проводити одноразові вимірювання часу розповсюдження ультразвуку від випромінювача до приймача. Поки кнопка SB1 не натиснута, тригер на елементах DD1.1 і DD1.2 залишається у стані з низьким рівнем на виході елемента DD1.1, цим випромінювання ультразвуку заборонено, а на виході елемента DD2.1 встановлено низький рівень. Натискання на кнопку та її утримання дозволяє випромінювання. Низький рівень

на виході в момент натискання змінюється високим, оскільки випромінювання ще не досягло приймача, і знову стає низьким, коли це станеться. Так формується імпульс високого логічного рівня тривалістю, що дорівнює часу поширення.

При перемичці у положенні 5-6 ультразвукові коливання модулює послідовність імпульсів, що йдуть з частотою близько 10 Гц. В результаті на виході приладу імпульси, тривалість яких дорівнює часу поширення, повторюються тією ж частотою. Це дозволяє стежити за змінами часу розповсюдження ультразвукового сигналу.

Налагодження пристрою зводиться до встановлення підстроювальним резистором R11 частоти проходження імпульсів на виведенні 5 мікросхеми DA2 рівної 40 кГц - резонансної частоти випромінювача ультразвуку BQ1 та його приймача BM1. У разі застосування цих елементів з іншою частотою резонансної частота імпульсів генератора повинна бути відповідним чином змінена.

Період проходження імпульсів генератора на елементах DD1.3 і DD1.4 повинен бути не менше ніж у два рази більше максимального часу розповсюдження. Його точна установка не потрібна.

Для перетворення тривалості вихідних імпульсів на напругу пропонують перетворювач, схема якого зображена на рис. 3.10. За наростаючим перепадом імпульсу, що надійшов на його вхід, вузол, що складається з ланцюга затримки (з'єднаних послідовно елементів DD1.2, DD1.3 і DD 1.5), елемента 2I-HE DD2.1 і службовця інвертором елемента DD2.2, формує короткий , що встановлює лічильник 004 у вихідний (нульовий) стан. Вузол з елемента DD1.6, D-тригера DD3.1 та елементів DD2.3 та DD2.4 стробує вхідний імпульс імпульсами генератора, зібраного на елементах DD1.1 та DD1.4, які при зазначених на схемі номіналах конденсатора C8 та резисторів R1 і R2 впливають з періодом приблизно 42 мкс.

					<i>ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ</i>	Арк
						31
		№ докум.	Підпис	БР		

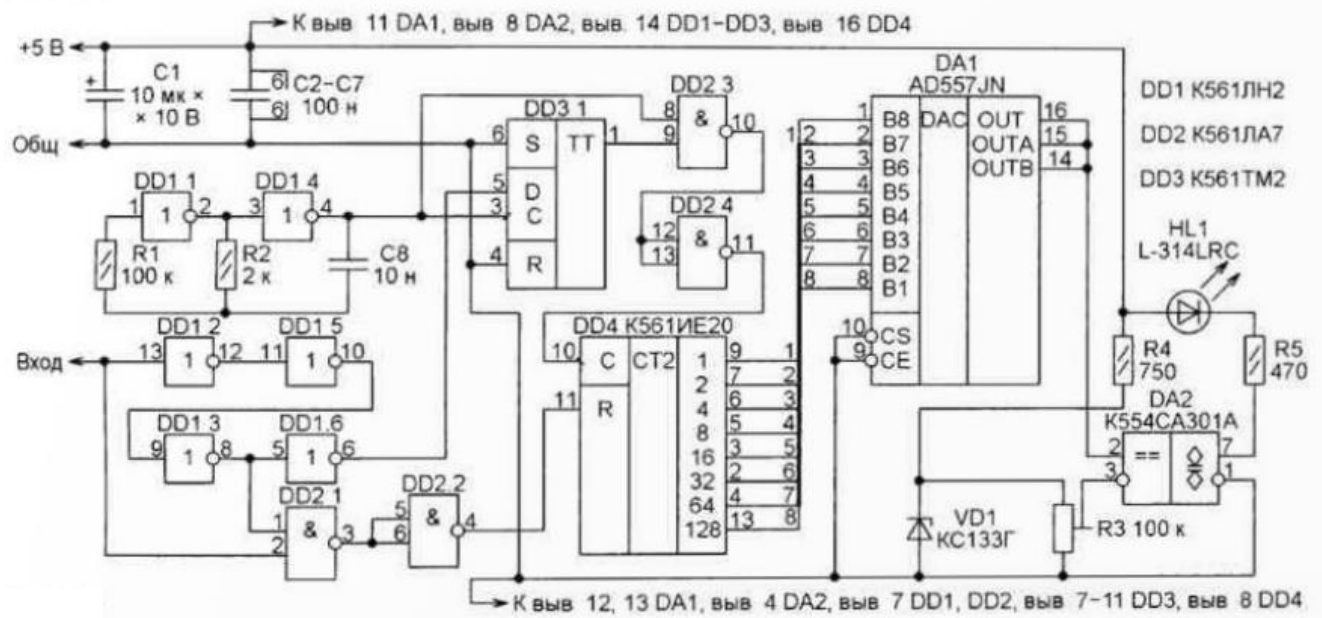


Рисунок 3.10 – Перетворювач

Число імпульсів в отриманій пачці пропорційно тривалості вхідного імпульсу, а отже, час поширення вимірювання ультразвуку. Їх підраховує лічильник DD4, код з виходів якого надходить на входи восьмирозрядного цифроаналогового перетворювача (ЦАП) DA1. Після закінчення вхідного імпульсу напруга на виході ЦАП пропорційна тривалості вхідного імпульсу. Оскільки лічильник і ЦАП восьмирозрядні, число імпульсів в пачці не повинно перевищувати 255, що при зазначеному вище періоді слідування лічильних імпульсів відповідає максимальному часу поширення, що вимірюється, близько 10,7 мс. За цей час при кімнатній температурі ультразвук проходить у повітрі приблизно 3,5 м-коду.

Напруга з виходу ЦАП надходить на неінвертуючий вхід компаратора DA2, інший вхід компаратора з движка змінного резистора R3 подано граничну напругу. При перетині цього порога напругою з виходу ЦАП рівень напруги на виході компаратора змінюється протилежним і залежно від напрямку перетину вмикається або вимикається світлодіод HL1. При необхідності змінний резистор R3

може бути забезпечений шкалою, проградуєваною в одиницях часу або іншої величини, що вимірюється за допомогою ультразвуку.

3.3 Розрахунок основних вузлів принципової схеми

1. Розрахунок індикатора швидкості ультразвуку.

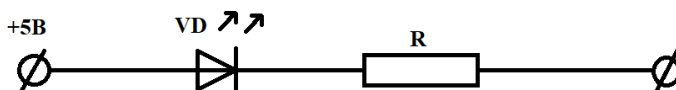


Рисунок 3.11 – Схема індикатора швидкості ультразвуку

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:

- 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.

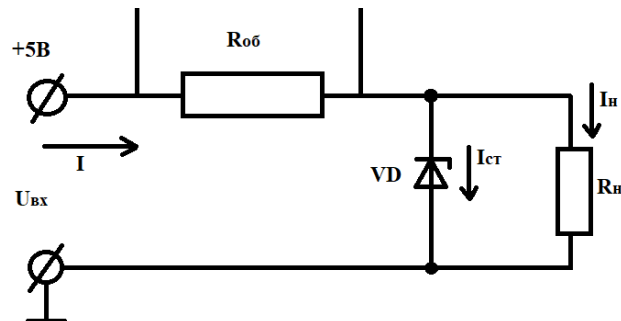


Рисунок 3.12 – Схема блоку опорної напруги

Згідно першого закону Кіргофа

$$I = I_{ст} + I_H$$

Згідно другого закону Кіргофа

$U_{вх} = U_{R_{об}} + U_H$, де $U_{R_{об}} = I * R_{об}$, підставимо $U_{вх} = I * R_{об} + U_H$, звідси $R_{об} =$

$$\frac{U_{вх} - U_H}{I} = \frac{U_{вх} - U_H}{I_{стн} + I_H}, \text{ де } I_{стн} = \frac{I_{ст.min} + I_{ст.max}}{2} = \frac{1+37}{2} = 19 \text{ мА}$$

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

Потужність резистору:

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

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

$$P_{R_{06}} = (3 * 10^{-3})^2 * 89,5 = 26,85 \text{ Вт}$$

3. Розрахунок генераторів тонових імпульсів.

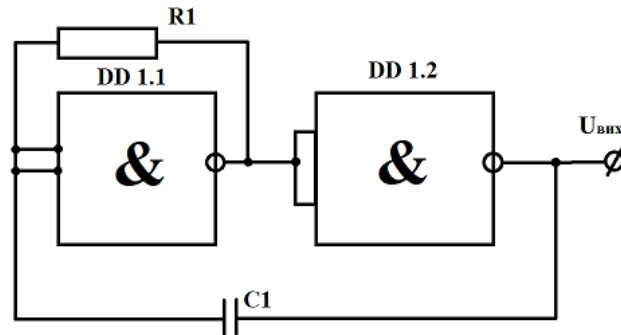


Рисунок 3.13 – Схема генераторів тонових імпульсів

Частота генератора 40 кГц.

Частота генератора задається номіналом резистора R1 і конденсатора C1.

Вона визначається виразом:

$$f_{\text{ген}} = \frac{0,8}{RC}$$

де C – ємність конденсатора в ..., R – опір резистора в Ом.

Із ряду E24 стандартних номіналів вибираємо резистор опором 100 кОм.

Тоді ємність конденсатора буде дорівнювати

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

ВИСНОВКИ

Отже, під час виконання бакалаврської роботи було розроблено пристрій для виміру часу розповсюдження ультразвуку.

Для досягнення мети було проведено огляд літератури, а саме таких приборів як ультразвуковий далекомір та ультразвуковий вимірювач октанового числа бензину.

Також було розроблено алгоритм функціонування та структурну схему пристрою для виміру часу розповсюдження ультразвуку. У даному розділі наведено відповідні схеми та опис структурної схеми пристрою.

Під час розробки та розрахунку принципової схеми розроблюваного пристрою було обрано елементну базу, розроблено принципову схему пристрою та розраховано основні вузли цієї схеми.

У результаті проведеної роботи було створено пристрій для виміру часу розповсюдження ультразвуку.

					ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
						36
		№ докум.	Підпис	БР		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нечаев І. Ультразвуковий далекомір HC-SR04 без мікроконтролеру. Частина 1. Сигналізатори присутності. 4-те вид. Одеса : Радіо, 2018. с. 59-62. (дата звернення: 01.06.2023).
2. Нечаев І. Ультразвуковий далекомір HC-SR04 без мікроконтролеру. Частина 2. Аналогова "лінійка". 5-те вид. Одеса : Радіо, 2018. с. 55, 56. (дата звернення: 01.06.2023).
3. Нечаев І. Ультразвуковий далекомір HC-SR04 без мікроконтролеру. Частина 3. Вимикач освітлення. 6-те вид. Одеса : Радіо, 2018. с. 57, 58. (дата звернення: 01.06.2023).
4. Спосіб визначення октанового числа автомобільних бензинів / В. Пашенко та ін. [Електронний ресурс]: <http://bd.patent.su/2189000-2189999/pat/servlet/servletf315.html> (дата звернення: 01.06.2023).
5. Ultrasonic Sensor. Application Manual. [Електронний ресурс]: <http://www.symmetron.ru/suppliers/murata/files/pdf/murata/ultrasonic-sensors.pdf> (дата звернення: 01.06.2023).
6. LM56 Dual Output Low Power Thermostat. [Електронний ресурс]: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm56.pdf> (дата звернення: 01.06.2023).
7. Самоклеючі нагрівальні фолії 12 VDC. [Електронний ресурс]: <http://dip8.ru/files/pdf/fg12v.pdf> (дата звернення: 01.06.2023).

					ЕлІТ 6.171.00.10.324 ПЗ	Арк
		№ докум.	Підпис	БР		37