

Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ЕКТ

_____ Анатолій ОПАНАСЮК

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «магістр»
зі спеціальності 171 «Електроніка»
освітньо-професійної програми «Електронні системи та компоненти»
на тему:

ЦИФРОВА СИСТЕМА СИНТЕЗУ ЗВУКОВИХ ЕФЕКТІВ

Здобувача групи ЕС.м – 21 Мороза Нікити Володимировича

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

Керівник, доцент, к.т.н., доцент Ольга БЕРЕЖНА

Консультант з техніко-економічної частини,
доцент, к.е.н., доцент Олександр МАЦЕНКО

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	Електроніки та Інформаційні Технології
Кафедра	електроніки
Напрямок підготовки	171 електроніка
Освітня програма	електронні системи та компоненти
Освітній ступень	магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Опанасюк А.С.

підпис ініціали та прізвище

« _____ » _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ**

Мороз Нікіта Володимирович

- 1. Тема роботи** ЦИФРОВА СИСТЕМА СИНТЕЗУ ЗВУКОВИХ ЕФЕКТИВ
затверджено наказом ЗВО від « 15 » 11. 2023 р. № _____
- 2. Термін подання студентом закінченої роботи** 15.12.2023
- 3. Вихідні дані проекту:** «ЦИФРОВА СИСТЕМА СИНТЕЗУ ЗВУКОВИХ ЕФЕКТИВ», що використовує вхідний аналоговий сигнал для його модифікації на шляху від джерела звуку до вихідної акустичної системи чи гучномовця, напруга живлення системи 4.2-19В, напруга живлення мікросхем системи 3.7-5В допустима температура роботи -5+80*С.
- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:** Огляд літератури та постановка задачі проектування; розроблення, обґрунтування алгоритму функціонування та структурної схеми пристрою, що проектується; Розроблення принципів електричних схем вузлів і блоків пристрою; вибір елементної бази, синтез та розрахунки основних електричних вузлів пристрою; вибір та розроблення алгоритму; Література.
- 5. Перелік графічного матеріалу:** схема алгоритму, схема електрична функціональна, схема електрична принципова.

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділ	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічна частина	Маценко О.М.		

7. Дата видачі завдання _____

8. Керівник роботи _____

9. Завдання прийняв до виконання _____

Календарний план

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання	Примітки
1	Огляд літератури	10.11.23	
2	Науково-дослідна частина	24.11.23	
3	Розроблення алгоритму роботи пристрою	25.11.23	
4	Розроблення структурної схеми пристрою	26.11.23	
5	Розроблення функціональної схеми пристрою	01.12.23	
6	Розроблення принципової схеми пристрою	04.12.23	
7	Техніко-економічна частина	12.12.23	
8	Оформлення пояснювальної записки	13.12.23	
9	Розроблення та оформлення графічної частини	14.12.23	
10	Представлення роботи керівнику і отримання відгуку	15.12.23	
11	Представлення роботи кафедрі для отримання рецензії	19.12.23	

Студент-дипломник _____

Керівник проекту _____

« ____ » _____ 20__ р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка/ містить: 83 аркушів, 48 рисунків, 11 таблиць, 38 джерел літератури.

Графічна частина роботи містить: схему алгоритму роботи пристрою, структурну функціональну та принципову електричні схеми, вибір та розроблення алгоритмів.

Пояснювальна записка містить чотири розділи: огляд літератури і постановку завдання проектування, розробку структурної схеми пристрою та алгоритму його функціонування, розробку функціональної та принципової схем пристрою.

Перший розділ містить загальну інформацію про цифрові процесори сигналу, їх призначення, основні функції та види, а також постановку завдання на проектування.

Другий розділ присвячений розробці алгоритму функціонування та структурної схеми проєктованого пристрою.

Третій розділ присвячений розробці функціональної та принципової схем пристрою.

Четвертий розділ присвячено програмному забезпеченню пристрою, що емулюватиме мікроконтролер та техніко-економічному обґрунтуванню пристрою

Зміст

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ.....	8
1.1 Обґрунтування алгоритму функціонування пристрою, що проектується.....	11
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	17
3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ І СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ..	27
3.1 Розробка функціональної схеми	30
4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ВУЗЛІВ І БЛОКІВ ПРИСТРОЮ.....	40
4.1 Вибір елементної бази, синтез та розрахунки основних електронних вузлів пристрою	43
5 Розроблення програмного забезпечення пристрою, що проектується.	50
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	56
6.1 Оцінка ефективності в інформаційних системах	56
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	78
Додаток А	81

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ</i>	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ОП – операційний підсилювач

R_n / C_n - найменування елемента за номером

МК – мікроконтролер

АС – аналоговий сигнал

ЦС – цифровий сигнал

ПКЕ – пристрій керування ефектами

Прошивка – програмний код, що записується у пам'ять мікроконтролера та емулює ефект гітарної педалі

АКБ – акумуляторна батарея для живлення приладу

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

БТ – біполярний транзистор

ССЕ – схема зі спільним емітером

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ</i>	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасний ринок напівпровідникової аудіоелектроніки налічує безліч представників різних як цінкових, так і якісних ніш. З розрахунком того, що навіть найсучасніші контролери ефектів не завжди використовують свій повний потенціал через очевидну фінансову вигоду, з'являється питання стосовно необхідності використання універсальної чи здатної до перепрограмування педалі ефектів.

У результаті науково-технічного прогресу зросли потреби на використання багатофункціонального апаратного забезпечення в музичній індустрії. В основі технології ПЛІС-звукотворення лежить звична нам звукова карта, тобто АЦП-ЦАП, що ми маємо в кожному персональному комп'ютері, смартфоні чи іншому електронному пристрої. Її задача – оцифрування та опрацювання сигналу з подальшим його відтворенням. В акустиці використовують дуже простий патерн роботи, що втілюють вже достатньо давно, а саме розбиття вхідного аналогового сигналу завдяки широтно-імпульсній модуляції(робота підсилювачів Д-класу) чи ШІМ для спрощення, а після опрацювання сигналу на підсилюючих каскадах і мікросхемах його перетворюють назад у синусоїдальні коливання, але з певним ступенем дискретизації. Чим він вищий, тим чіткіше передається підсилений початковий сигнал.

Зважаючи на дефіцит напівпровідникових, а саме кремнієвих виробів в сучасному світі, питання пошуку альтернатив за звукотворенням стає все більш важливим. Потрібні виробы, що мають високу надійність, відносну простоту виконання, доступність та простоту у використанні.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.509.ІІЗ</i>	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ

В сучасному світі існує багате різноманіття гітарних музичних ефектів та процесорів, що використовуються музикантами у повсякденному житті. Вони різняться за принципами роботи, складністю створення, необхідністю додаткової фільтрації сигналу як на вході пристрою, так і на виході, та багатьма іншими особливостями. В основі роботи таких пристроїв лежать прості схеми, з яких починалось сучасне створення модифікованого звуку.

Ми можемо точно виділити такі ефекти, як ехо (Реверберація), модуляція (Хорус), перевантаження (Дісторшн), підсилювач частот (Бустер), послідовний дублікатор сигналу (Тремоло) та багато інших. Зазвичай, деякі з них комбінують для кріса досягнення певного звучання, тому існує нескінченна кількість комплексних педалей ефектів, що користуються значною популярністю. Так, наприклад, є ефект Фузз – комбінація Дісторшну та Бусту(використовують саме ті частоти, що утворюють спектр басових звуків (16 – 120 Гц)[1].

Для створення ефектів використовують спеціалізовані мікросхеми, лампові або транзисторні структури на біполярних транзисторах (далі БТ). У будь-якому випадку, під час збірки схем використовують усім відомі базові компоненти, такі як звичайні малопотужні постійні резистори, підстроювальні та змінні резистори, полярні та неполярні конденсатори, рідше змінні конденсатори, діоди та ін.

Історично одним з перших був створений так званий «ефект перевантаження», також відомий як Дісторшн чи Фузз.

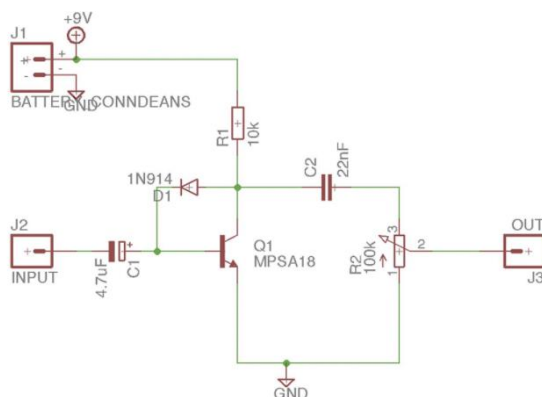


Рисунок 1.1 – Функціональна схема простого аудіоефекту
Дісторшн(Фуза)

Прикладом такого пристрою служить Mooger GemBox – один з найбільш популярних представників серед бюджетних педаль-мультиефектів.

Всередині нього ми маємо:

- Робоча частота перемикання транзисторів – 16 МГц;
- Оперативна пам'ять – 2 Кб;
- АЦП на 8 біт;
- Вихідний каскад(розрядів) 8 біт;
- Енергонезалежна пам'ять – 32 Кб;
- Додаткові перемикачі параметрів, такі як енкодер для підстроювання кожного окремого параметра звучання, педаль експресіє, що працює за принципом резистора(повністю активована – $R \rightarrow 0$, інакше $R \rightarrow 1$ МОм чи більше);
- Вхідний імпеданс $Z_{вх} = 0.3$ Мом, $Z_{вих} = 0.1$ Ом;
- Живлення 9В(однополярне)[3].

Незважаючи на достатню багатий перелік доступних ефектів для використання, можливість додаткової частотної фільтрації в межах чутності вуха, дешевизну та доступність, даний представник має певні недоліки. Головний з них – неможливість повноцінно перепрограмувати контролер без втрати функціонування частини його елементів, оскільки запрограмовані ефекти все ж таки обмежені за функціональністю, а деякі мають звучання, що не влаштовує користувача. З приводу цього і було створено проект перепрограмовувального процесору гітарних ефектів[4].

									Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ				

1.1 Обґрунтування алгоритму функціонування пристрою, що проектується.

В цьому проекті використовуватиметься так званий підсилювач Д-класу на базі АЦП. Цей клас підсилювачів з'явився відносно нещодавно у порівнянні з іншими. У пристроях подібного типу використовується цифрова обробка аудіо сигналу й спеціальні імпульсні блоки живлення. Удосконалена конструкція й найсучасніші технології обробки звуку дозволили отримати потужний підсилювач звуку в компактному розмірі та малій вазі.

В класичному підсилювачі транзистори на виході подають безперервний сигнал. При цьому в них на лінійних виходах відзначається досить велике розсіювання потужності. А ось в пристроях класу D потужність майже не розсіюється, а значить і не втрачається. Ця властивість розширює можливості використання підсилювачів цього типу. Пояснюється це тим, що мале розсіювання потужності сприяє тому, що схема майже не нагрівається, а також дає можливість економити місце на платі. Все це не тільки знижує кінцеву вартість продукту, але збільшує час автономної роботи[4][5].

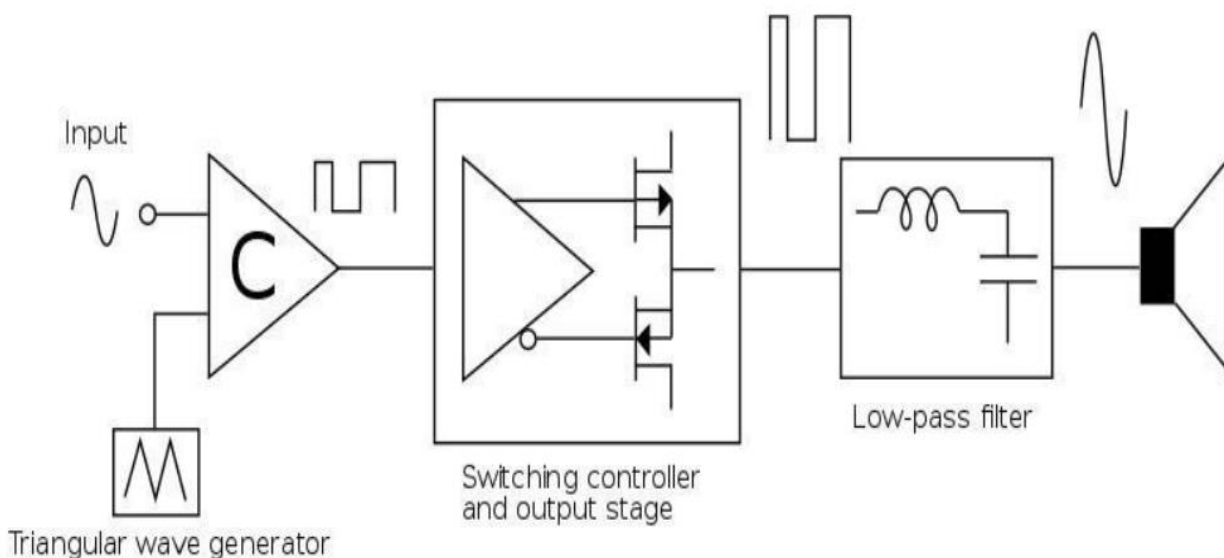


Рисунок 1.2 – Функціональна схема роботи підсилювача Д-класу

В основі схемотехніки класу D лежить генератор НВЧ-імпульсів (обчислюваних сотнями МГц) несучої частоти і компаратор - пристрій, що модулюють ці імпульси, відповідно до форми вхідного аналогового сигналу.

									Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

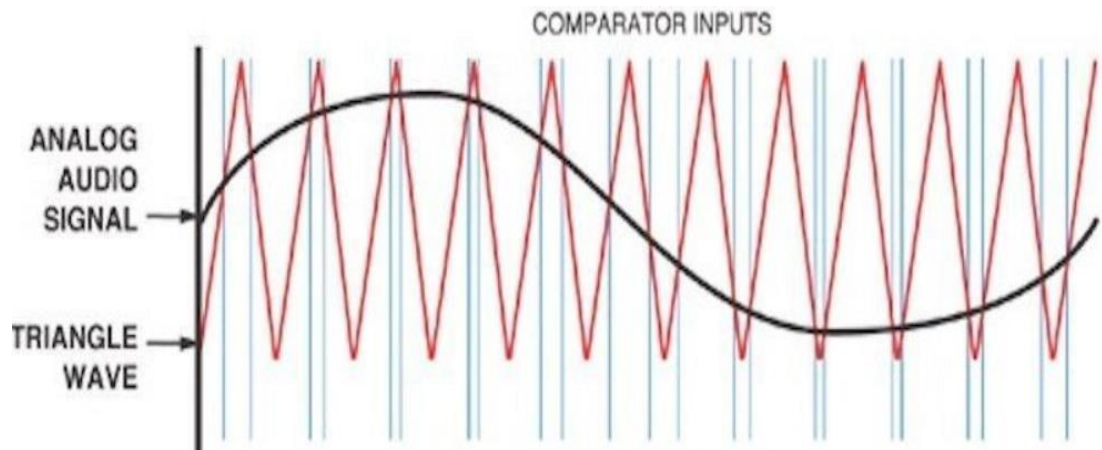


Рисунок 1.3 – Перетворення вхідного аналогового сигналу у цифровий за допомогою ОП у режимі компаратору за підключення одного з входів компаратору до генератора трикутного синусоподібного сигналу, Рисажене у вигляді часової діаграми[6][7]

Далі все просто. Модульований сигнал має форму імпульсів рівної амплітуди, але різної тривалості, що посилюються за допомогою пари симетрично включених швидкодіючих транзисторів типу MOSFET.

Далі у схемі використовується найпростіший LC-фільтр, що демодулює посилений сигнал, а також відсікає несучу частоту і супутній високочастотний шум.

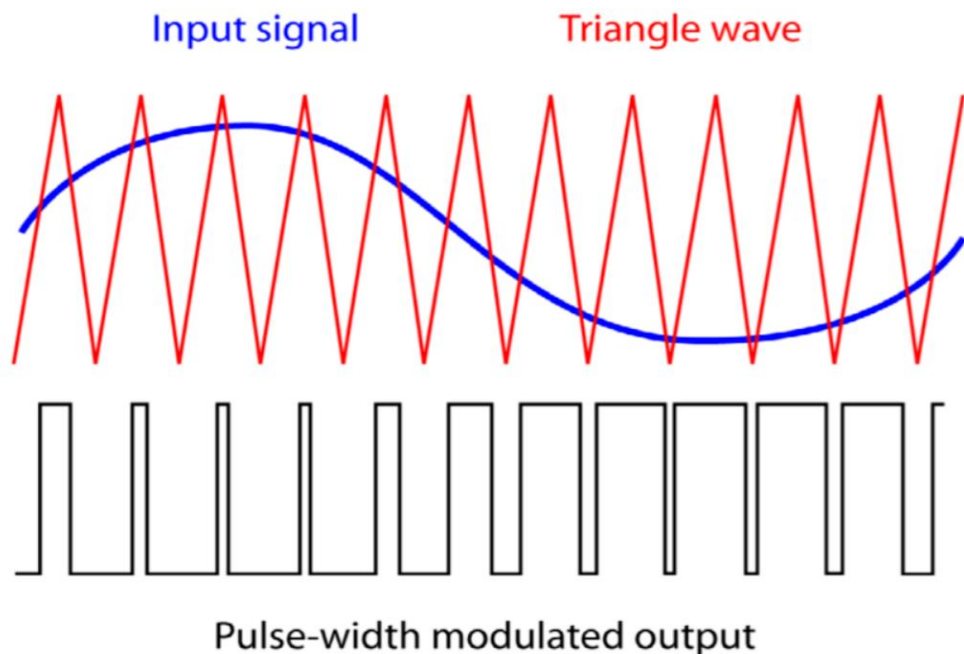


Рисунок 1.4 – Принцип роботи ШІМ у підсилювачі Д-класу (Загальний вид перетворення аналогового сигналу у цифровий синусоїда - ШІМ)

Однак, беручі до уваги існуючі методи побудови підсилювальних каскадів та підсилювачів з транзисторів, породжує резонне питання: «а чи не простіше було б відразу посилити аналоговий сигнал без будь-яких модуляцій?». І саме це питання розкриває суть підсилювачів класу D.

У звичайних підсилювачах класів А, В, С та інших похідних транзистор працює з широкополосним сигналом, що постійно змінюється і по амплітуді, і по частоті. Поведінка навіть найкращого транзистора на різних амплітудах і частотах не 100% однакова, що неминуче призводить до спотворень, які ми знаємо як забарвлення або характер підсилювача. Модульований сигнал у підсилювачах класу D змінюється дискретно та на повну амплітуду.

Таким чином, режим роботи транзисторів істотно спрощується і стає набагато прогнозованішим. По суті, вони виступають у ролі ключа, перебуваючи або у закритому, або у відкритому стані без проміжних значень.

Також варто відзначити, що вони можуть посилювати цифровий сигнал без його перетворення в аналоговий. Ця технологія застосовується, якщо аудіо-сигнал вже подається на пристрій в цифровому вигляді.

Одною з головних переваг підсилювачів звуку класу D є високий ККД — від 85 до 95% без втрати якості. Цей показник досягається завдяки тому, що амплітуда імпульсів майже дорівнює показнику напруги живлення, тому на вихідних транзисторах втрати потужності дуже незначні. При цьому перешкоди і спотворення при передачі звуку також відносно невеликі.

Як бачимо, клас підсилювача звуку багато в чому визначає його робочі характеристики та якість звуковідтворення. І його обов'язково треба враховувати при виборі пристрою, щоб отримати оптимальний результат в підсумку, після підключення всього звукового обладнання.

Однак, у таких систем підсилення є певні, хоча і не завжди важливі недоліки. Так, наприклад, наявність кварцевого резонатора як генератора коливань для роботи ШІМ-модулятора призводить до можливих електромагнітних шумів, що негативно впливає не тільки на звучання, а й на працездатність та надійність усього пристрою в цілому. Такі параметри зазвичай враховуються під час виробництва і нівелюються різноманітними фільтрами та стабілізаторами, що не може не ускладнити процес виготовлення та цінник для потенційних користувачей[8].

Високий ККД підсилювачів класу D став причиною однієї специфічної

					ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

особливості: високої залежності якості та характеру звучання від блоку живлення. Якщо виробник вирішить використовувати імпульсне джерело живлення і не перейметься достатньою кількістю фільтруючих схем, частина шумів обов'язково проникне в динамік і зіпсує враження від звучання. Поганий блок живлення, звичайно, і класу АВ на користь не піде, але саме в класі D ця проблема проявляється найгостріше.[9]

Отже, ми маємо відправну точку – підсилювач D-класу, побудований на базі мікроконтролера. Він прийматиме аналоговий сигнал, що проходитиме через простий фільтр пульсації, лишаячи нам тільки змінну складову аналогового(гітарного) сигналу. Після цього отриманий сигнал опрацьовуватиметься програмним кодом, що перетворить його з амплітуди змінної напруги на ШІМ-модульований сигнал з високою ступінню дискретизації, після чого на нього буде «накладено» звуковий емульований ефект, повернено до аналогового виду шляхом оберненої ШІМ-одуляції, а вже після того відправлено на вихід підсилювача до подальшихх фільтрів відповідно до виходу на

Потрібно також врахувати те, що вхідний та вихідний сигнал схилен до затухання через розповсюдження по довгим з'єднувальним кабелям від гітари до пристрою, а після – від пристрою до відтворювального підсилювача, що є кінечною точкою на шляху сигналу. Враховуючи це потрібно розглянути максимальні(або критичні) можливості обраного мікроконтролера Atmega328.

Ми маємо наступні максимальні характеристики:

По току та напрузі споживаний струм за 1 МГц, 1.8 – 5В, 25 °С на один вхід-вихід:

- Активний режим: 0.2 мА
- Режим відключення: 0.1 мкА
- Режим енергозбереження: 0.75 мкА (включаючи 32 кГц RTC)

За підвищеної температури роботи максимальний струм збільшується до 0.4 мА

Можемо зробити висновок, що приблизна максимальна потужність на один вхід-вихід буде:

$$P_{max} = U_{max} \cdot I_{max}$$

де максимальна вихідна напруга = 5В, а максимальний вихідний струм = 0.4 мА

$$P_{max} = 5 \cdot 0.4 \cdot 0.001 = 0.002 \text{ Вт} = 2 \text{ мВт}$$

										Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Цього недостатньо для подальшого розповсюдження сигналу по з'єднуючих проводах, тому доцільно буде вбудувати у схему підсилювач сигналу. Нема гострої потреби у тому, щоб підсилювати обидва вхідний і вихідний сигнали з мікроконтролера, достатньо лише вихідний, але для підвищення якості початкової дискретизації сигналу ми можемо використати ОП[2][10].

Таким чином, потрібно додати на вхід та вихід пристрою мікросхему – здвоєний ОП.

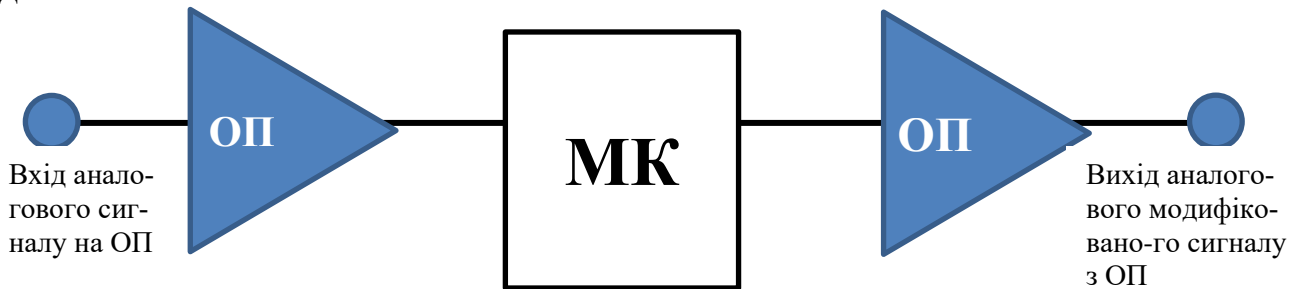


Рисунок 1.5 – Спрощена структурна схема роботи пристрою, що розробляється.

Ми повинні обрати такі параметри підсилення, щоб коефіцієнт підсилення був від $K=500$ на вході і від $K=1000$ на виході. Таким чином ми отримуємо $P_{\text{max}} = K \cdot P_{\text{max}} = (\text{за } K=1000) 1000 \cdot 2 \text{ мВт} = 2 \text{ Вт}$.

Такого результату достатньо для того, щоб задовольнити потреби в потужності для подачі достатнього рівня сигналу по з'єднуючим проводам.

Отже, на даний момент структурна схема пристрою гітарного ефекту виглядає наступним чином[11]:

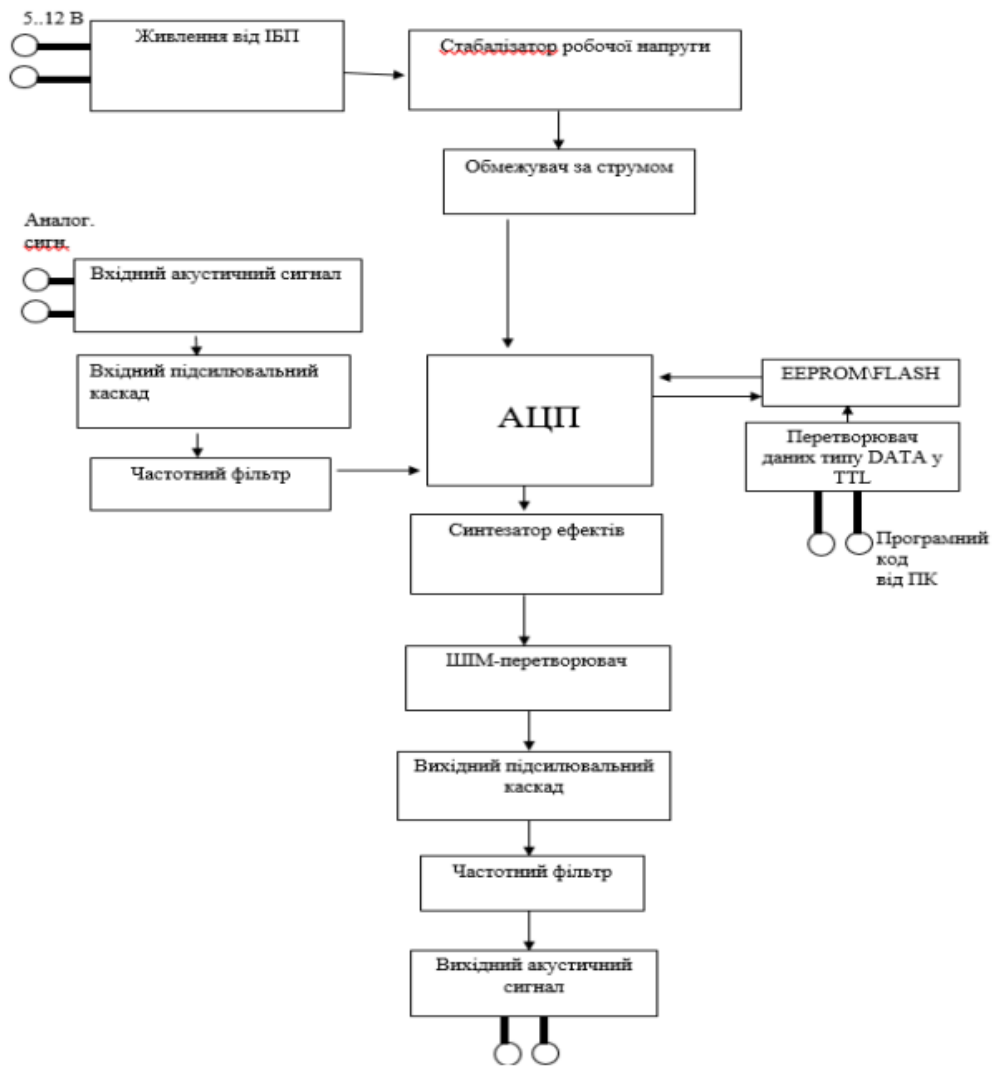


Рисунок 1.6 – Структурна схема.

Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Брус — явище, що виникає в електричних та електронних перемикачах, при якому вони замість деякого стабільного сигналу видають на виході випадкові високочастотні коливання. Іншими словами, під час перемикання стану входів мікроконтролера він переходить у потрібний стан не відразу. Якийсь час контакти кнопки змикаються-розмикаються між собою, що буде сприйнято мікроконтролером як багаторазові імпульси. Кількість цих імпульсів може перевищувати тисячі, тобто кілогерцовий сигнал. Наочно брязкіт можна побачити на осцилограмі, на якій показаний момент відпускання кнопки:

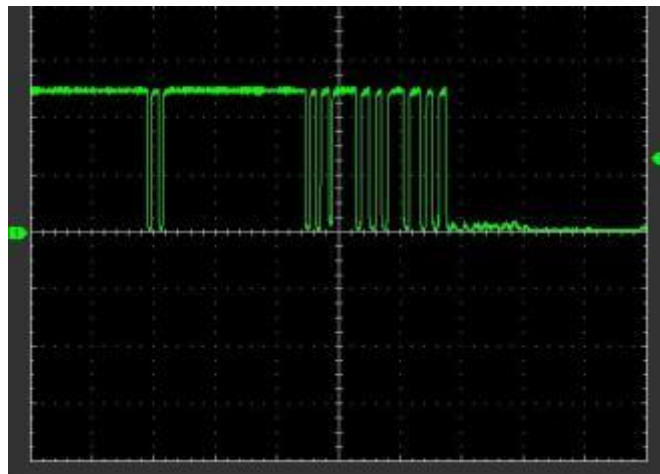


Рисунок 2 – Брус контакту

Результатом багаторазового проведення експерименту з визначення часового проміжку на утворення цього бусу, отримали результат у 3-200 мкс, тобто 0,003-0,2 мс, що показано на наступних Рисунках :



Рисунок 2.1 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі



Рисунок 2.2 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі

Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

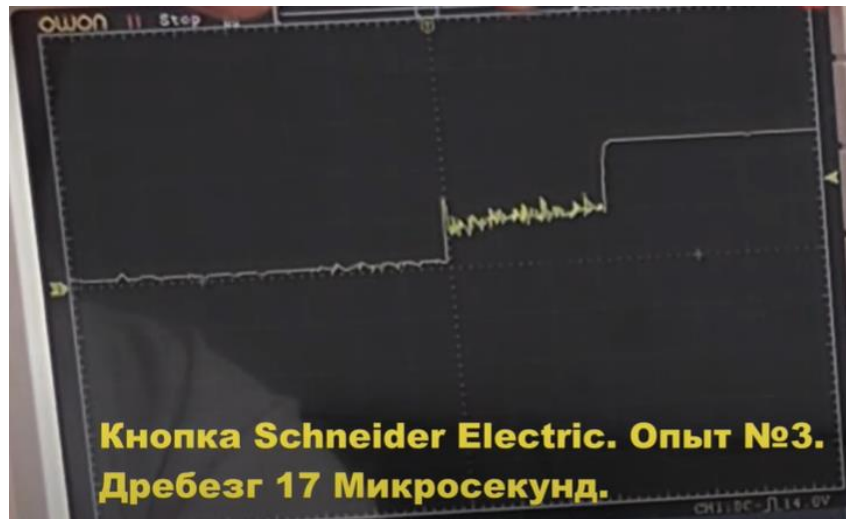


Рисунок 2.3 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі

Такі фізичні особливості можуть бути зумовлені деформацією матеріалу підкладки плати, особливостями конструкції перемикача сигналу, вологістю приміщення та якістю ізоляції перемикального елемента. Дані більш детальних вимірів приведено на таблиці нижче (Таблиця 4):

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ</i>	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані брусу до зміни перемикача

№ вимір.	Три-валість брусу (ідеальні умови), мкс	з використанням матеріалів, що легко деформуються (контакти), мкс	з використанням матеріалів, що мають супротив до до деформування (контакти), мкс	з використанням різкого механізму перемикача, мкс	з використанням плавного механізму перемикача, мкс	в умовах високої вологості приміщення, мкс	в умовах помірної вологості приміщення, мкс	в умовах низької вологості приміщення, мкс
1	10	10,00000	10,75269	15,00000	60,00000	12,00000	9,00000	7,70000
2	5	2,50000	1,34409	16,66667	37,50000	3,00000	2,25000	1,92500
3	50	16,66667	5,97372	180,00000	500,00000	20,00000	15,00000	12,83333
4	0,13	0,02600	0,00559	0,10833	0,15600	0,03120	0,02340	0,02002
5	0,6	0,10000	0,01792	7,20000	0,20000	0,12000	0,09000	0,07700
6	200	200,00000	215,05376	300,00000	1200,00000	240,00000	180,00000	154,00000
7	1	0,50000	0,26882	4,66667	10,50000	0,60000	0,45000	0,38500
8	9	3,00000	1,07527	23,14286	126,00000	3,60000	2,70000	2,31000
9	19	2,71429	0,41694	177,33333	130,28571	3,25714	2,44286	2,09000
10	0,11	0,01833	0,00329	0,16500	0,29333	0,02200	0,01650	0,01412
11	17	2,12500	0,28562	68,00000	4,25000	2,55000	1,91250	1,63625
12	0,03	0,01500	0,00806	0,06000	0,01500	0,01800	0,01350	0,01155
13	0,02	0,02000	0,02151	0,06000	0,06000	0,02400	0,01800	0,01540
14	7	7,00000	7,52688	21,00000	189,00000	8,40000	6,30000	5,39000
15	0,21	0,07000	0,02509	0,42000	3,78000	0,08400	0,06300	0,05390
16	13	1,44444	0,17257	156,00000	69,33333	1,73333	1,30000	1,11222
17	5	0,83333	0,14934	11,25000	20,00000	1,00000	0,75000	0,64167
18	0,06	0,00750	0,00101	0,32000	0,04500	0,00900	0,00675	0,00578
19	13	4,33333	1,55317	19,50000	11,55556	5,20000	3,90000	3,33667
20	0,07	0,03500	0,01882	0,23333	0,01000	0,04200	0,03150	0,02695



Рисунок 2.4 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі



Рисунок 2.5 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі



Рисунок 2.6 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі

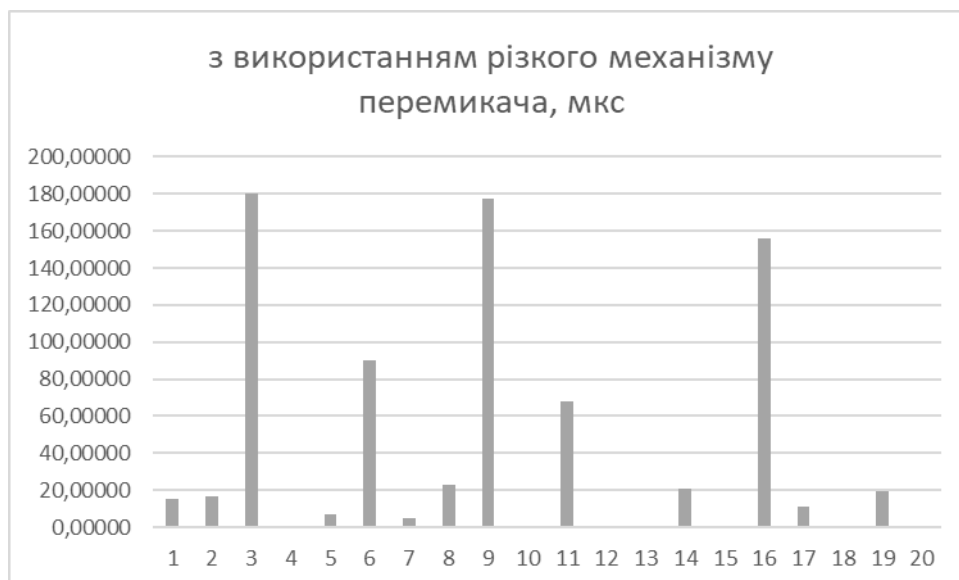


Рисунок 2.7 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі



Рисунок 2.8 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі



Рисунок 2.9 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі



Рисунок 2.10 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі



Рисунок 2.11 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі

Для реалізації пристрою, що не матиме подібного дефекту, пропонується використання напівпровідникових ключів в стані симетричного мультівібратору низької частоти генерації. Схему наведено нижче:

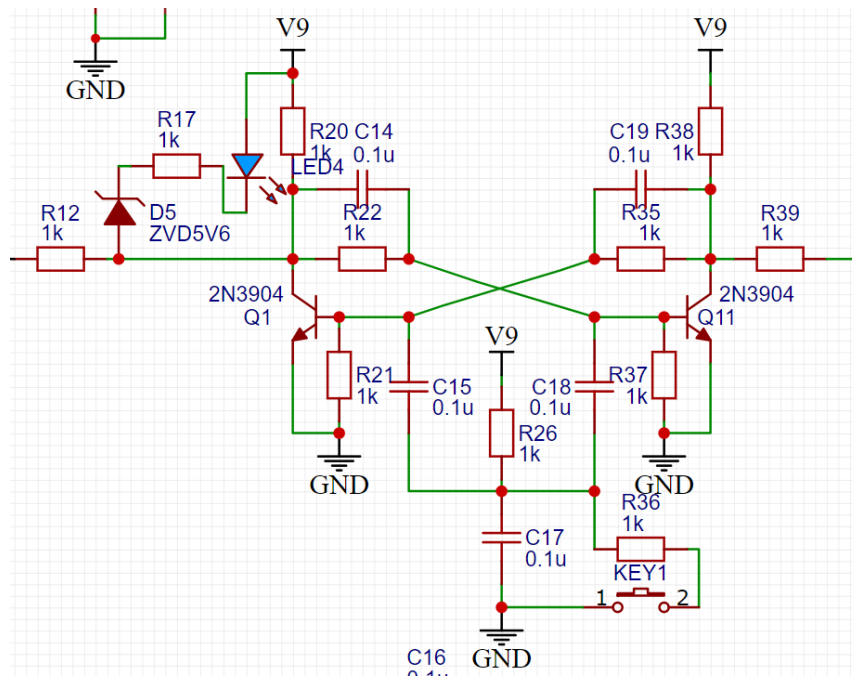
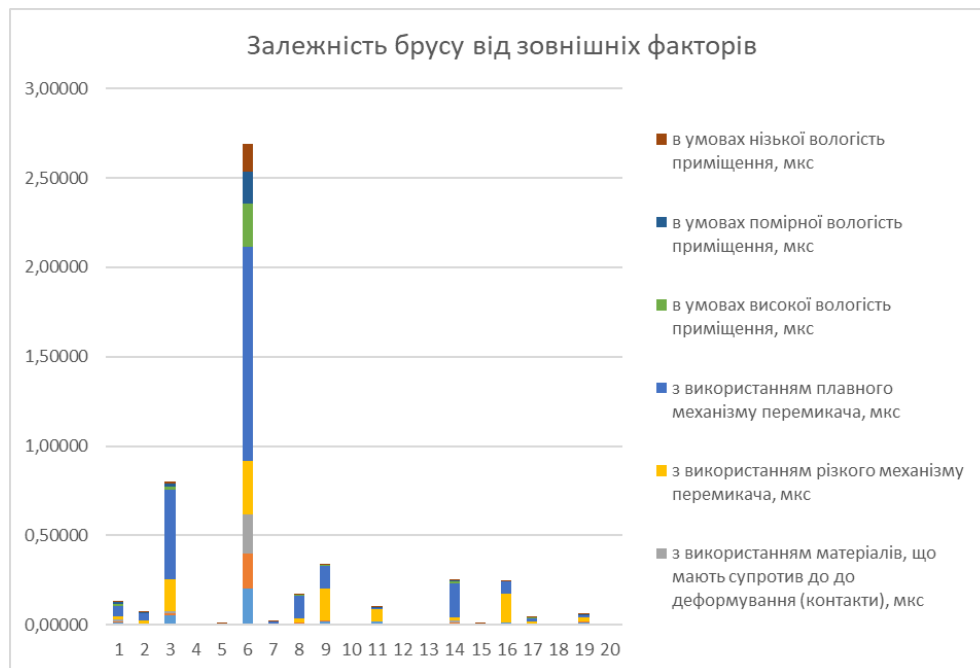


Рисунок 2.12 – Принципова схема заміщення тактувального перемикача стану приладу

За використання наведеної схеми елемента приладу було досягнуто наступних результатів(залежність затримки в мкс від умов для кожної спроби):



Рисунко 2.13 – Брус контакту(експериментальний) на осцилографі

Таблиця 2.2 - Експериментальні дані бруса до зміни перемикача

№ вимір.	Тривалість бруса (ідеальні умови), мкс	з використанням матеріалів, що легко деформуються (контакти), мкс	з використанням матеріалів, що мають супротив до деформування (контакти), мкс	з використанням різкого механізму перемикача, мкс	з використанням плавного механізму перемикача, мкс	в умовах високої вологості приміщення, мкс	в умовах помірної вологості приміщення, мкс	в умовах низької вологості приміщення, мкс
1	0,01000	0,01000	0,01075	0,01500	0,06000	0,01200	0,00900	0,00770
2	0,00500	0,00250	0,00134	0,01667	0,03750	0,00300	0,00225	0,00193
3	0,05000	0,01667	0,00597	0,18000	0,50000	0,02000	0,01500	0,01283
4	0,00013	0,00003	0,00001	0,00011	0,00016	0,00003	0,00002	0,00002
5	0,00060	0,00010	0,00002	0,00720	0,00020	0,00012	0,00009	0,00008
6	0,20000	0,20000	0,21505	0,30000	1,20000	0,24000	0,18000	0,15400
7	0,00100	0,00050	0,00027	0,00467	0,01050	0,00060	0,00045	0,00039
8	0,00900	0,00300	0,00108	0,02314	0,12600	0,00360	0,00270	0,00231
9	0,01900	0,00271	0,00042	0,17733	0,13029	0,00326	0,00244	0,00209
10	0,00011	0,00002	0,00000	0,00017	0,00029	0,00002	0,00002	0,00001
11	0,01700	0,00213	0,00029	0,06800	0,00425	0,00255	0,00191	0,00164
12	0,00003	0,00002	0,00001	0,00006	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001
13	0,00002	0,00002	0,00002	0,00006	0,00006	0,00002	0,00002	0,00002
14	0,00700	0,00700	0,00753	0,02100	0,18900	0,00840	0,00630	0,00539
15	0,00021	0,00007	0,00003	0,00042	0,00378	0,00008	0,00006	0,00005
16	0,01300	0,00144	0,00017	0,15600	0,06933	0,00173	0,00130	0,00111
17	0,00500	0,00083	0,00015	0,01125	0,02000	0,00100	0,00075	0,00064
18	0,00006	0,00001	0,00000	0,00032	0,00005	0,00001	0,00001	0,00001
19	0,01300	0,00433	0,00155	0,01950	0,01156	0,00520	0,00390	0,00334
20	0,00007	0,00004	0,00002	0,00023	0,00001	0,00004	0,00003	0,00003

Результати показують високу надійність використання методу. Також варто зазначити, що брус в цьому випадку замінюватиметься на час нарощення відпираючої напруги. Вона створює значно менший час стану невизначеності МК, що підвищує надійність. Таким чином, можна зробити висновок про те, що практична доцільність використання запропонованого перемикача стану є раціональною.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ І СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

В техніці апаратна архітектура відноситься до ідентифікації фізичних компонентів системи та їх взаємозв'язків. Цей опис, який часто називають моделлю апаратного проектування, дозволяє розробникам апаратних засобів зрозуміти, як їх компоненти вписуються в архітектуру системи, і надає розробникам програмних компонентів важливу інформацію, необхідну для розробки та інтеграції програмного забезпечення. Чітке визначення апаратної архітектури дозволяє різним традиційним інженерним дисциплінам (наприклад, електротехніці та машинобудуванню) ефективніше співпрацювати над розробкою та виробництвом нових машин, пристроїв та компонентів.[12]

Перш за все система запитує сигнал живлення, що надходить до усіх відповідних блоків, де необхідно. Саме це повинно слугувати початковою точкою в роботі, тому що без стабільного живлення жодний з контурів не працюватиме.

Наступним кроком йде опитування наявності аудіо(аналогового) сигналу від джерела. Якщо сигнал є, то переходимо до наступного кроку, якщо ні – вмикається режим очікування системи[12][13].

На етапі наявності напруги живлення та аналогового сигналу спрацьовує алгоритм, за яким першочергово відбувається підсилення аналогового сигналу, його фільтрація від зайвих шумів.

Далі маємо дискретизацію сигналу для перетворення його на зрозумілий МК сигнал даних, тобто бінарний шифрований код у вигляді ШІМ.

В пам'яті МК записана програма, що форматує сигнал та передає його на наступний блок, де має місце зворотня ШІМ-модуляція.

Останні кроки – це додаткове підсилення та фільтрація отриманого сигналу з його подальшою передачею на гучномовці чи інші підсилювальні системи.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.509.ІЗ</i>	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

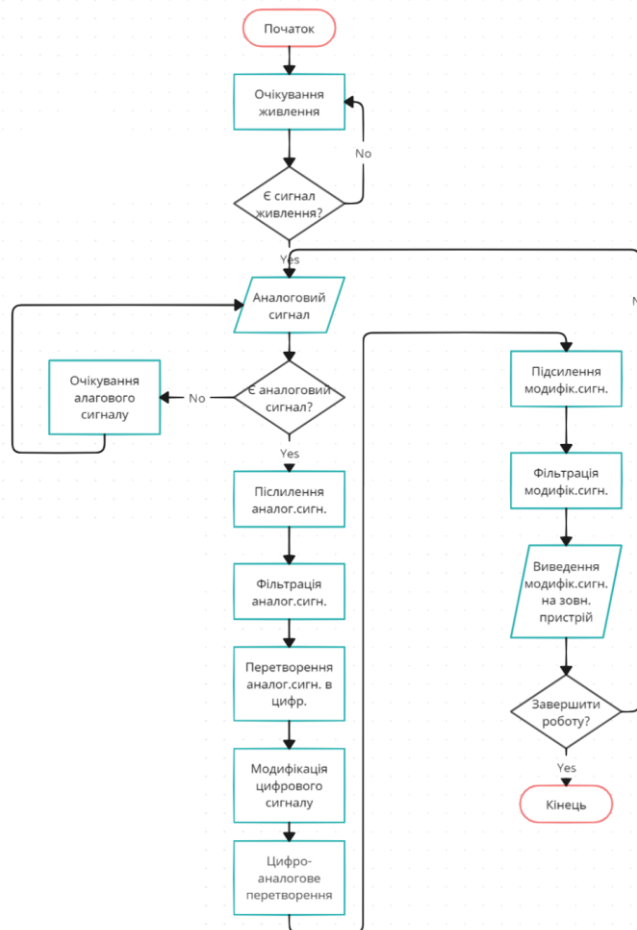


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму роботи пристрою, що описується

Таким чином ми можемо отримати структурну схему пристрою, що проектується. Живлення в залежності від зовнішнього джерела подаватиметься від 5 до 12 В. Далі ця напруга подається на блок стабілізації робочої напруги, яким слідує обмежувач за струмом, щоб піковий струм в імпульсі або під час наявності підвищеної його величини. Це дозволить викреслити перенавантаження з переліку небезпечних станів основного мікроконтролера.

Паралельно з цим подаватиметься сигнал через підсилювач та фільтр до аналогового приймача мікроконтролера, що перетворюватиме його завдяки ШІМ, а далі в залежності від прошивки, що записується перед цим в пам'ять МК через USB-порт та проходить конвертацію у зрозумілі команди TTL-логіки, модифікує вхідний сигнал.

Наступним кроком буде зворотня ШІМ, що утворює синусоподібний сигнал, який далі проходить через вихідний підсилювальний фільтр.

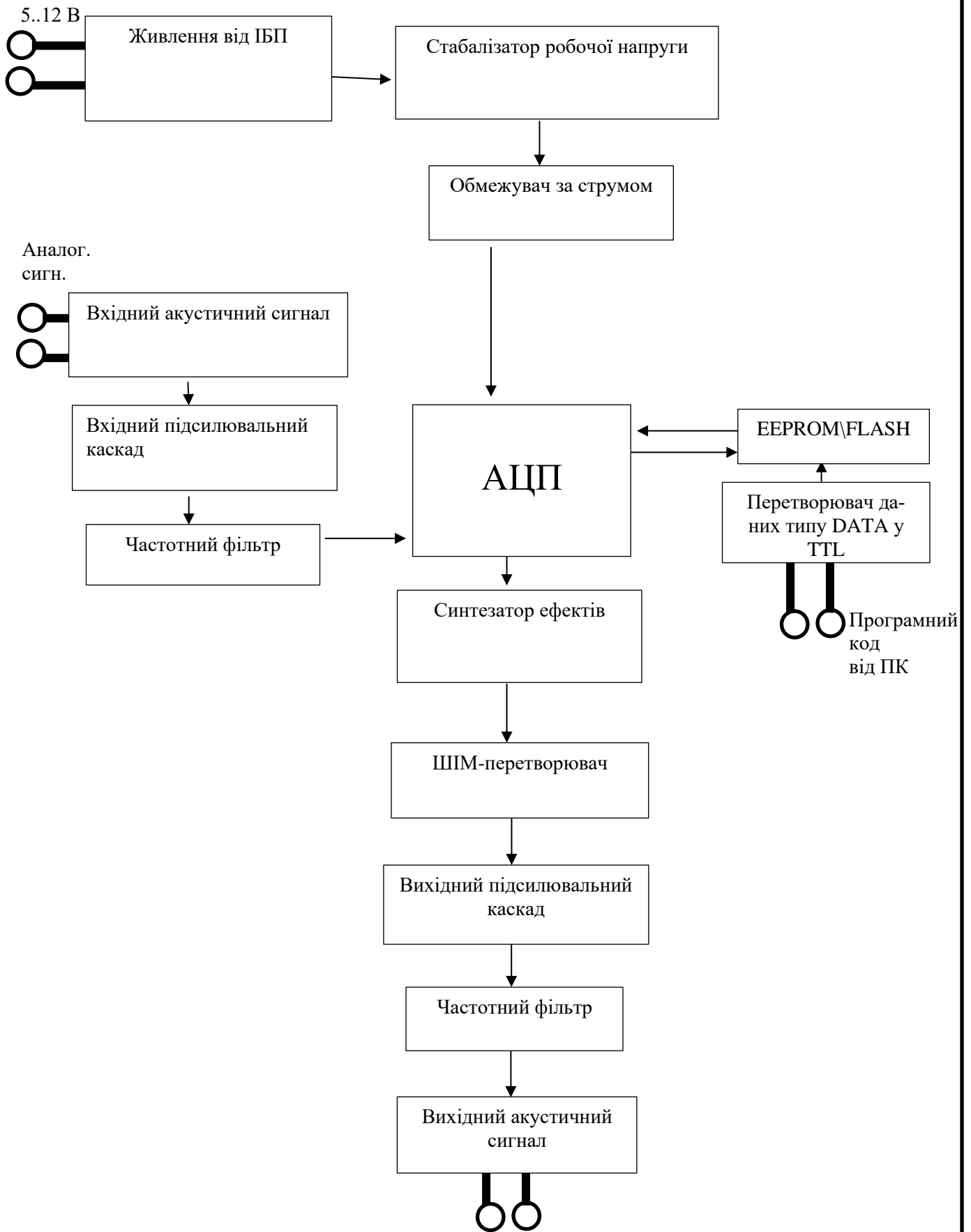


Рисунок 3.2 – Структурна схема пристрою

Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ЕліТ 8.171.00.10.509.Е1

Лист

3.1 Розробка функціональної схеми

Структуру функціональної схеми варто почати розробляти з блоків, що відповідатимуть за живлення пристрою.

Блок зовнішнього живлення відповідає за отримання енергії від блоку живлення, що з'єднаний з побутовою мережею, в якій 220 В \pm 3В(за низького загального використання мережі населенням)/ \pm 7В(за середнього загального використання мережі населенням)/ \pm 15В(за високого загального використання мережі населенням). Блок зовнішнього живлення повинен конвертувати 220В змінної напруги з мережі у 9В постійної напруги відповідної полярності контактів під'єднання до пристрою.

Далі йде розгалуження на можливі джерела живлення пристрою в робочому стані. В даному випадку пристрій матиме два можливих джерела постійної напруги: від вбудованого АКБ та від зовнішнього джерела постійної напруги. За використання АКБ-живлення нівелюється така проблема, як зовнішні завади від мережі змінної напруги 220 та від інших джерел змінної, таких як радіоелектроніка.

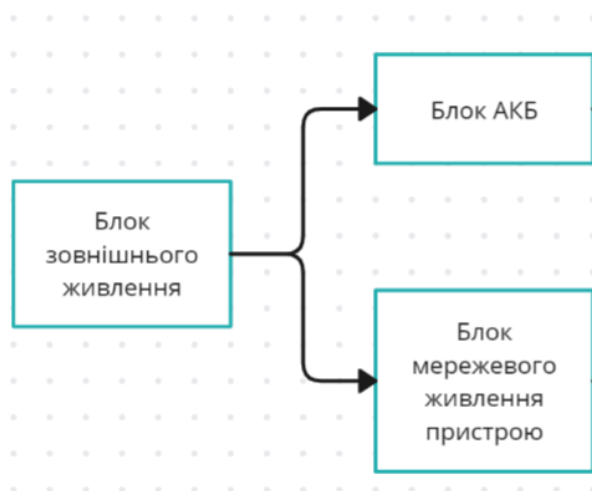


Рисунок 3.1 – Конструкція функціональної схеми пристрою на 2 етапі розробки функціональної схеми

										Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕліТ 8.171.00.10.509.Е1					

Недоліком такого типу внутрішнього живлення є те, що в залежності від ступеню заряду акумуляторної батареї залежить як рівень сигналу, що оброблюється, так і якість цієї обробки. Цей показник не є суттєво важливим, оскільки впливає на звук не більше ніж на 5% від нормального режиму роботи.

Блок контролю джерел живлення відповідає за те, яке саме джерело використовувати під час запуску пристрою. Потрібно зробити так, щоб було конструктивно неможливо отримати ситуацію, за якої джерело напруги від АКБ та блок мережевого живлення постійною напругою будуть в стані використання одночасно. Якщо пристрій живитиметься від мережі 220В через зовнішній блок живлення постійної напруги 9В, то в цей час акумуляторна батарея повинна мати змогу заряджатись. В іншому випадку, працюватиме тільки АКБ.

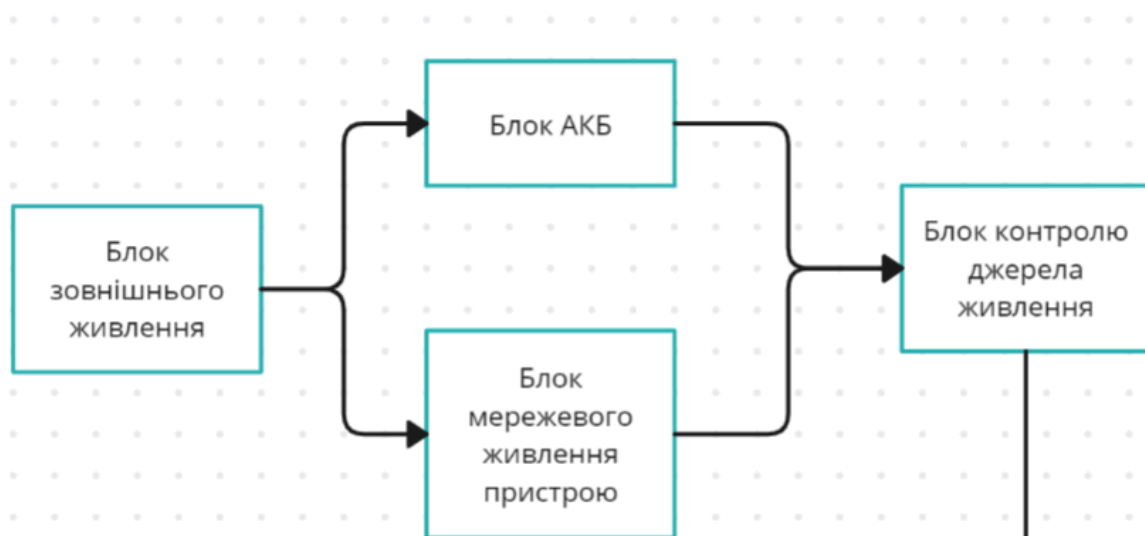


Рисунок 3.2 – Конструкція функціональної схеми пристрою на 3 етапі розробки функціональної схеми

Блок внутрішнього живлення являє собою стабілізатор напруги до необхідної для живлення як операційних підсилювачів блоків підсилення аналогового сигналу, так і мікросхем, що відповідають за різні функції в пристрої, наприклад модифікація сигналу, аналогово-цифрове перетворення, цифро-аналогове перетворення, буферизація та додаткове підсилення в проміжних етапах.

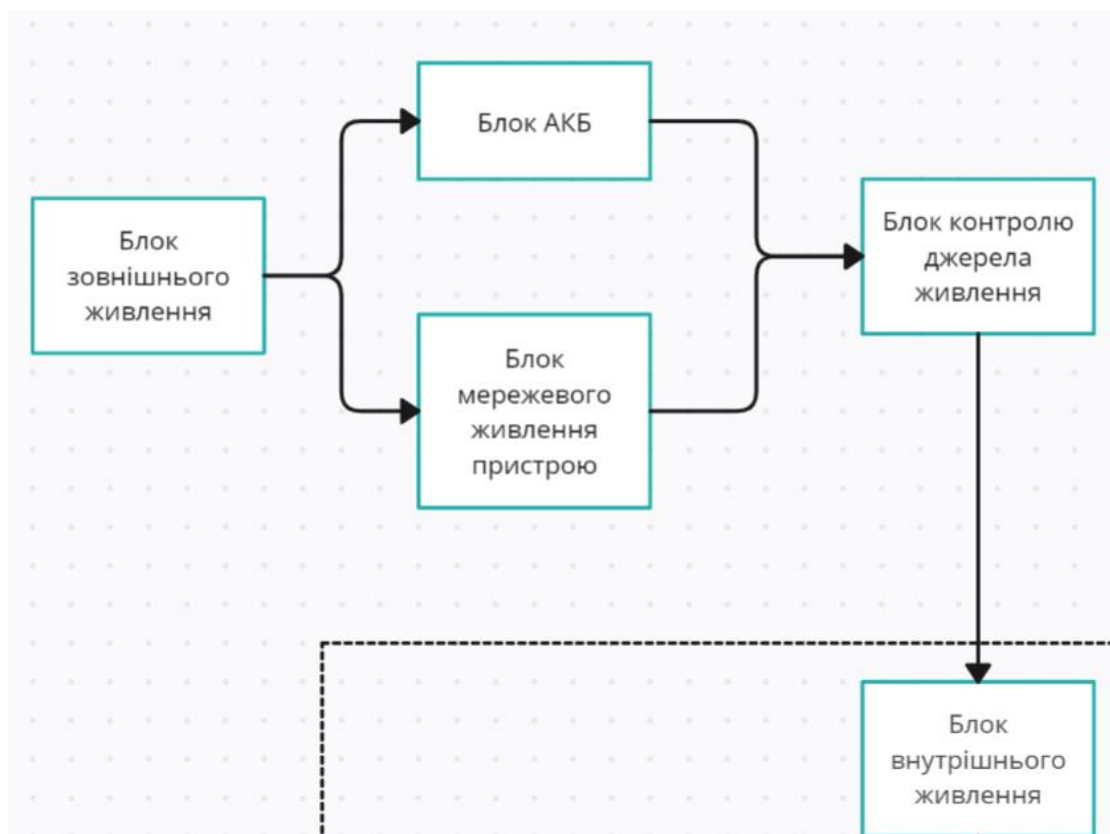


Рисунок 3.3 – Конструкція функціональної схеми пристрою на 4 етапі розробки функціональної схеми(повний етап живлення)

Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Джерело аналогового сигналу в даному проекті не має обмежень, окрім максимального вихідного супротиву та амплітуди. Він повинен бути мінімально узгодженим із приладом, що розробляється, тобто не перевищувати вхідний опір цього пристрою(до 200кОм за вхідних 1МОм на пристрої). Амплітуда сигналу не повинна перевищувати 9 В.

Блок підсилення аналогового сигналу матиме живлення від блоку внутрішнього живлення у вигляді 9В постійної напруги. Це оптимальний показник вольтажу для подібних блоків. Він дозволяє отримати незатухаючий сигнал значної амплітуди для подальших маніпуляцій із ним. Сам блок дозволить ефективно виконувати функцію підсилення сигналу до статичного рівня(налаштовується користувачем).

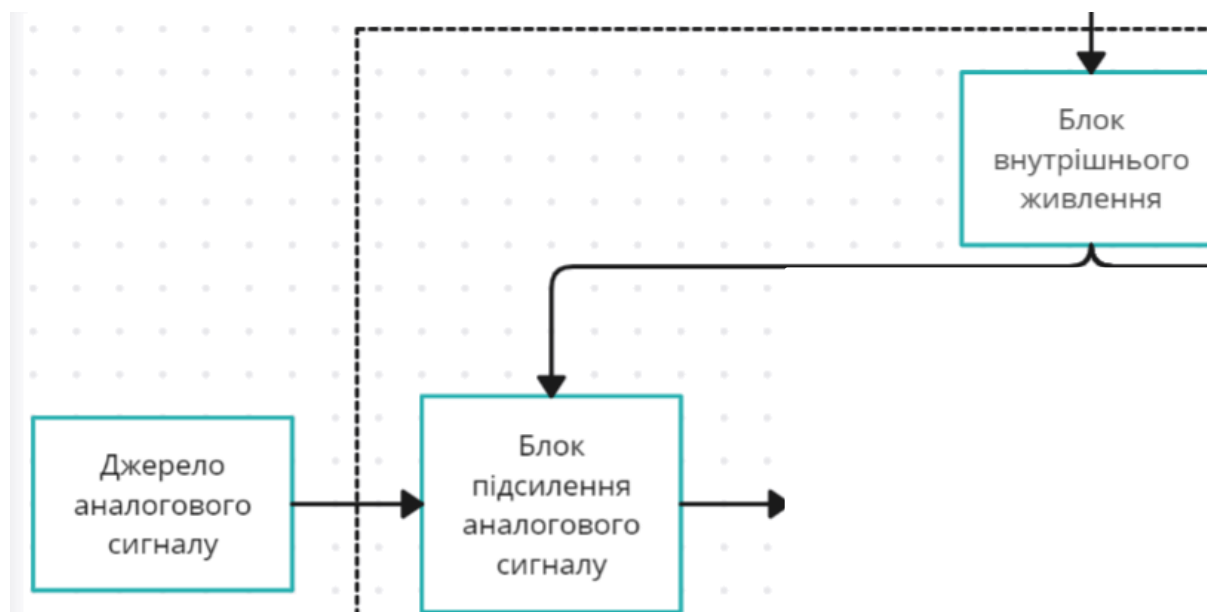


Рисунок 3.4 – Конструкція функціональної схеми пристрою на 4 етапі розробки функціональної схеми(повний етап живлення; опрацювання сигналу)

Блок фільтрації аналогового сигналу матиме живлення від блоку внутрішнього живлення у вигляді 9В постійної напруги. Це оптимальний показник вольтажу для подібних блоків. Сам блок дозволить ефективно виконувати функцію фільтрації зайвих частот та підсилення бажаних частот сигналу (налаштовується користувачем).

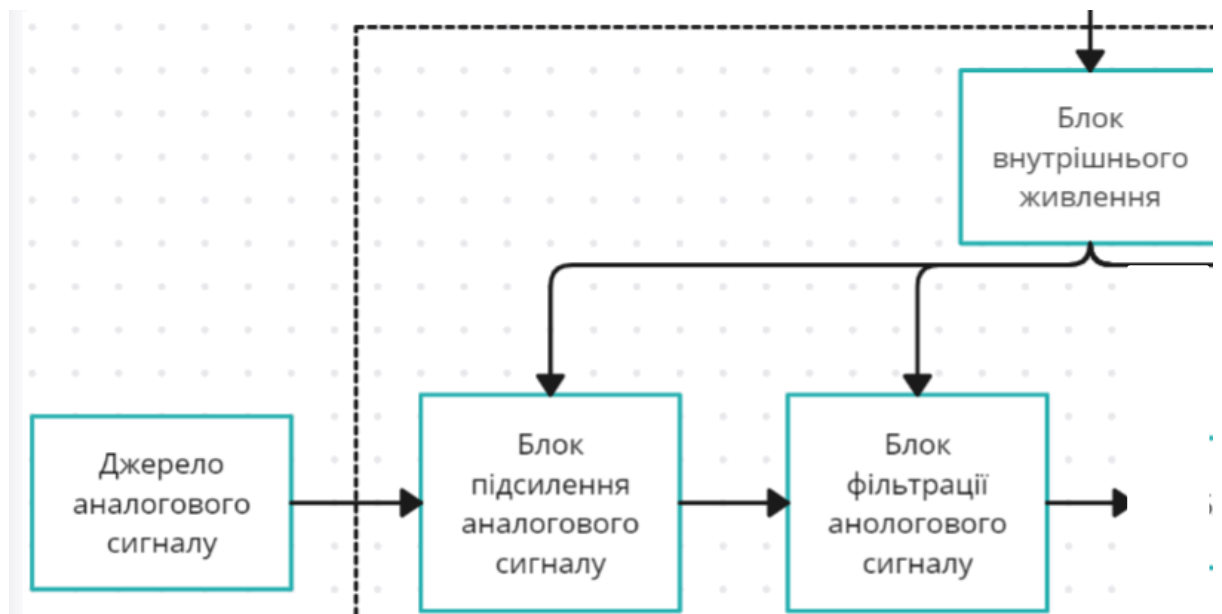


Рисунок 3.5 – Конструкція функціональної схеми пристрою на 5 етапі розробки функціональної схеми(повний етап живлення; опрацювання сигналу)

Блок АЦП матиме живлення від блоку внутрішнього живлення у вигляді 5В постійної напруги. Це оптимальний показник вольтажу для подібних блоків. Сам блок дозволить ефективно виконувати функцію аналогово-цифрове перетворення сигналу, що надійшов з попереднього блоку. Саме цей формат необхідний мікроконтролеру, у склад якого і входить блок АЦП для подальшої модифікації сигналу.

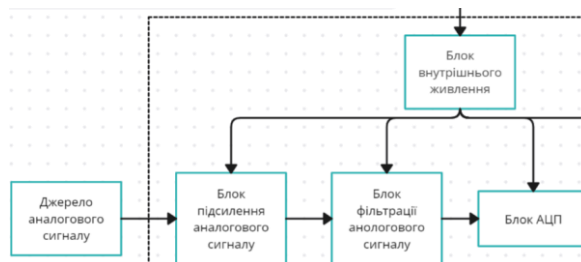


Рисунок 3.6– Конструкція функціональної схеми пристрою на 6 етапі розробки функціональної схеми(повний етап живлення; опрацювання сигналу)

Блок введення пам'яті та блок програм матимуть живлення від блоку внутрішнього живлення у вигляді 5В постійної напруги. Це оптимальний показник вольтажу для подібних блоків. Сам блок дозволить записувати через зовнішнє підключення необхідний програмний код, від якого залежатиме те, як саме виконуватиметься модифікація сигналу(налаштовується користувачем).

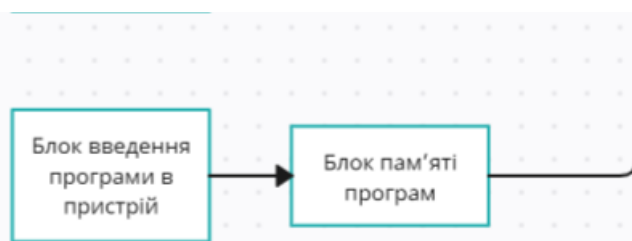


Рисунок 3.7 – Конструкція функціональної схеми пристрою на 7 етапі розробки функціональної схеми(повний етап живлення; опрацювання сигналу)

Блок модифікації сигналу матиме живлення від блоку внутрішнього живлення у вигляді 5В постійної напруги. Це оптимальний показник вольтажу для подібних блоків. Сам блок дозволить ефективно виконувати функцію фільтрації зайвих частот та підсилення бажаних частот сигналу (налаштовується користувачем).

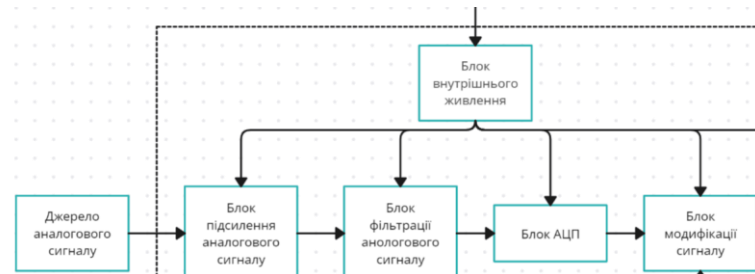


Рисунок 3.8 – Конструкція функціональної схеми пристрою на 8 етапі розробки функціональної схеми(повний етап живлення; опрацювання сигналу)

Блок ЦАП матиме живлення від блоку внутрішнього живлення у вигляді 5В постійної напруги. Це оптимальний показник вольтажу для подібних блоків. Сам блок дозволить ефективно виконувати функцію цифро-аналогового перетворення сигналу, що надійшов з попереднього блоку. Відтворений модифікований сигнал надалі опрацьовуватиметься наступними блоками.

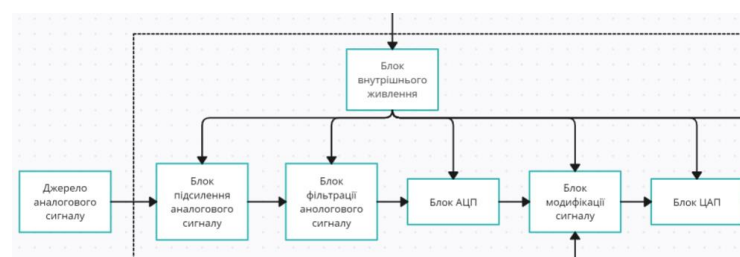


Рисунок 3.9 – Конструкція функціональної схеми пристрою на 9 етапі розробки функціональної схеми(повний етап живлення; опрацювання сигналу)

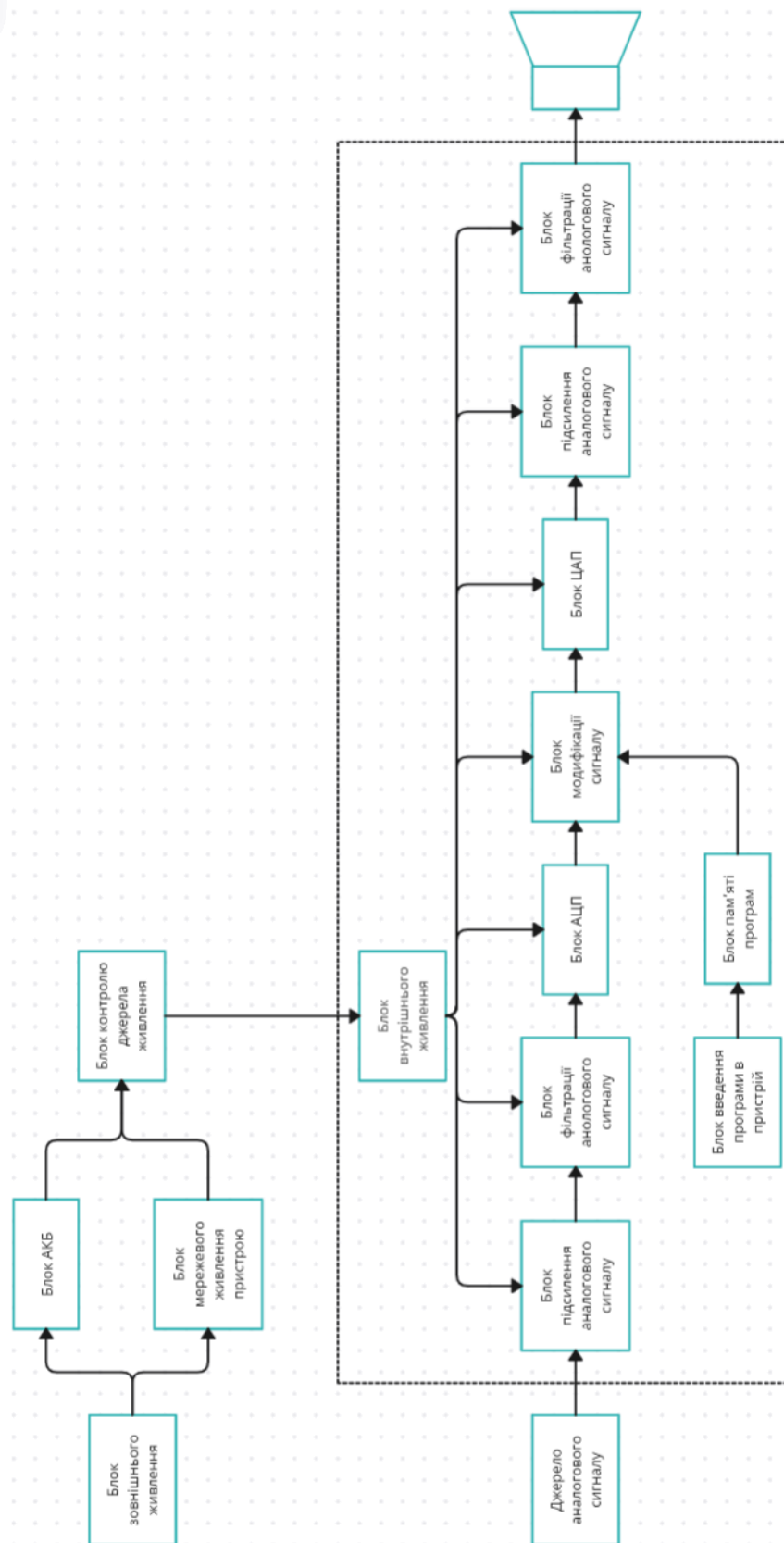


Рисунок 3.12 – Повна функціональна схема пристрою.

Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИНЦИПОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ ВУЗЛІВ І БЛОКІВ ПРИСТРОЮ

П'ятивольтове живлення подається на стабілізатор напруги, побудований на компараторі, після чого напруга йде на «плюс» мікроконтролера. Відповідно до законів електрики та електроніки, струм – це направлений рух заряджених часток, що рухаються від області з їх високою концентрацією у область з низкою концентрацією. Тобто від мінуса живлення на мінус МК, потім від мінуса МК до плюса МК, а після – до плюса живлення, однак для простоти спеціалісти умовно використовують шлях проходження струму від плюса живлення до мінуса живлення. Блок стабілізації входної напруги відповідає за створення нормованого постійного сигналу 5В, що живить весь пристрій. Для конструкційного спрощення доцільніше використовувати стабілізатор напруги на мікросхемах, аніж на транзисторних каскадах завдяки високому ККД та добротності.

Також, постійна напруга подається на генератор робочої частоти МК, перетворюючи частину постійної напруги у змінну завдяки інвертору напруги. Існує кілька принципів створення такого генератора. Найпростішим є паралельне з'єднання конденсатора та котушки індуктивності з періодичним зарядом контуру. [14] Розглянемо ідеальний коливальний контур(енергія в контурі = const):

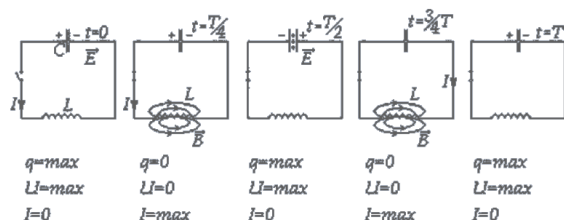


Рисунок 4.1 – Принцип роботи електричного резонатору(інвертору напруги/струму)

В початковий момент часу ми замикаємо «ключ» контуру, конденсатор заряджений, а котушка індуктивності (КІ) розряджена. Перша чверть періоду – конденсатор працює як джерело струму(напруги), що починає спадати на КІ, утворюючи в ньому магнітне поле. Половина періоду – ЕРС на котушці, що тепер є джерелом струму(напруги), створює струм в колі, що заряджає конденсатор. Це половина циклу роботи контуру, друга повністю повторює першу.

Чому саме кварцевий резонатор (КР)?

Кварц – це один із найпоширеніших мінералів у земній корі. Його частка становить близько 60%! Якщо напівпровідникові радіокомпоненти переважно роблять із кремнію, то кварц теж складається з кремнію але у зв'язці з киснем. Його хімічна формула є SiO_2 . Їх використання достатньо вигідно з фінансової точки зору[3][15][16].

В 19 столітті два брати Кюрі виявили цікаву властивість деяких твердих кристалів генерувати ЕРС, деформуючи ці кристали. Деформація - це зміна форми будь-якого тіла за допомогою кручення, удару, розтягу тощо. Так ось, ударяючи по таких кристалах, вони виявили, що ті можуть видавати якесь короткочасне напруження. Але вони також виявили ще зворотний ефект. При подачі напруги на такі кристали ці кристали деформувалися самі. Неозброєним оком це було майже непомітно. Такий ефект назвали п'єзоефектом, а речовини – п'єзоелектриками.

Кварцовий резонатор в електроніці — це радіоелемент, який здатний резонувати, якщо на нього подати змінний струм певної частоти та форми.

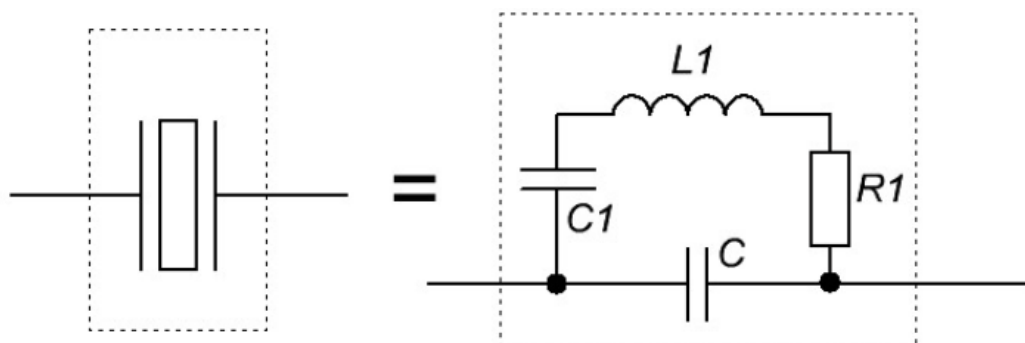


Рисунок 4.4 – Еквівалентна схема КР

КР має переваги перед «громіздкими» схемами резонаторів завдяки досягненню набагато більших значень добротності (10^4 - 10^6) еквівалентного коливального контуру, ніж будь-яким іншим способом, мінімальних розмірів пристрою (аж до часток міліметра) та високою температурною стабільністю.

Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

4.1 Вибір елементної бази, синтез та розрахунки основних електронних вузлів пристрою

Стосовно самого МК, то, беручі до уваги параметри, зазначені у першому розділі, а саме:

- Стабільність живлення з можливістю автоматичної стабілізації та мінімальною пульсацією в самому пристрої;
- Надійність в роботі;
- Захист від пробою напруги під час використання не в домашніх умовах;
- Якщо йдеться про процесор ефектів, а не про один ефект на пристрій, то необхідно виділити достатньо пам'яті;
- Визначити та забезпечити максимальну можливу вихідну потужність сигналу у випадку, якщо не передбачено подальшого підсилення;
- Запобігти перегріву основної робочої мікросхеми;
- Значний вхідний та малий вихідний імпеданс,
- Робоча частота перемикачів транзисторів у елементах ПЛІС – 16+ МГц;
- Оперативна пам'ять для ефектів з потребою в запам'ятовуванні коротких проміжків сигналу – 2+ Кб RAM;
- АЦП на 8+ біт(вхід та вихід);
- Енергонезалежна пам'ять – 16+ Кб [18],

можемо обрати мікроконтролер з сімейства Atmega чи STM через їх простоту у використанні та доступність з надійністю.

Atmega328	STM32
<ul style="list-style-type: none"> • Архітектура AVR • Напруга живлення плати 3,35 – 12 В (бажано 5 В) • Тактова частота 8 МГц або 16 МГц • Об'єм оперативної пам'яті (SRAM) 2 кбайт • Об'єм пам'яті програм (FLASH) 32 кбайт • Об'єм енергонезалежної пам'яті (EEPROM) 1 кбайт • Аналогові входи: 6 входів • Максимально-допустимий струм цифрового виходу 40 мА (сумарний струм виводів не більше 200 мА) 	<ul style="list-style-type: none"> • Архітектура ARM Cortex M3 • Напруга живлення плати 3,35 – 12 В (бажано 5 В) • Розрядність 32 Біт • Тактова частота 8/16 МГц • Об'єм пам'яті програм (FLASH) 128 кБайт • Об'єм пам'яті даних (RAM): 20 кБайт • Максимально-допустимий струм цифрового виходу 50 мА (сумарний струм виводів не більше 200 мА)

В складі мікроконтролерного модуля	В складі мікроконтролерного модуля
<ul style="list-style-type: none"> • Виводи: 20 • UART: 2 • SPI: 4 • I2C: 2 • Опорна напруга 5В та 3.3В • Дискретні входи/виходи: 14 (6 можуть бути використані для генерації ШІМ сигналів) 	<ul style="list-style-type: none"> • Виводи: 37 • UART: 3 • SPI: 2 • I2C: 2 • CAN: 1 • USB: 1 • Опорна напруга 5В та 3.3В • 8 дискретних виходів можуть бути використані для генерації ШІМ сигналів)

Як можна побачити, обидва варіанти мають свої певні переваги та задовольняють параметри використання, тому можна вибрати будь-який МК. В даній роботі вибираю Atmega328(TQFP-32). Для повноцінної роботи мікроконтролера потрібно використати кварцевий резонатор на 8/16 МГц.

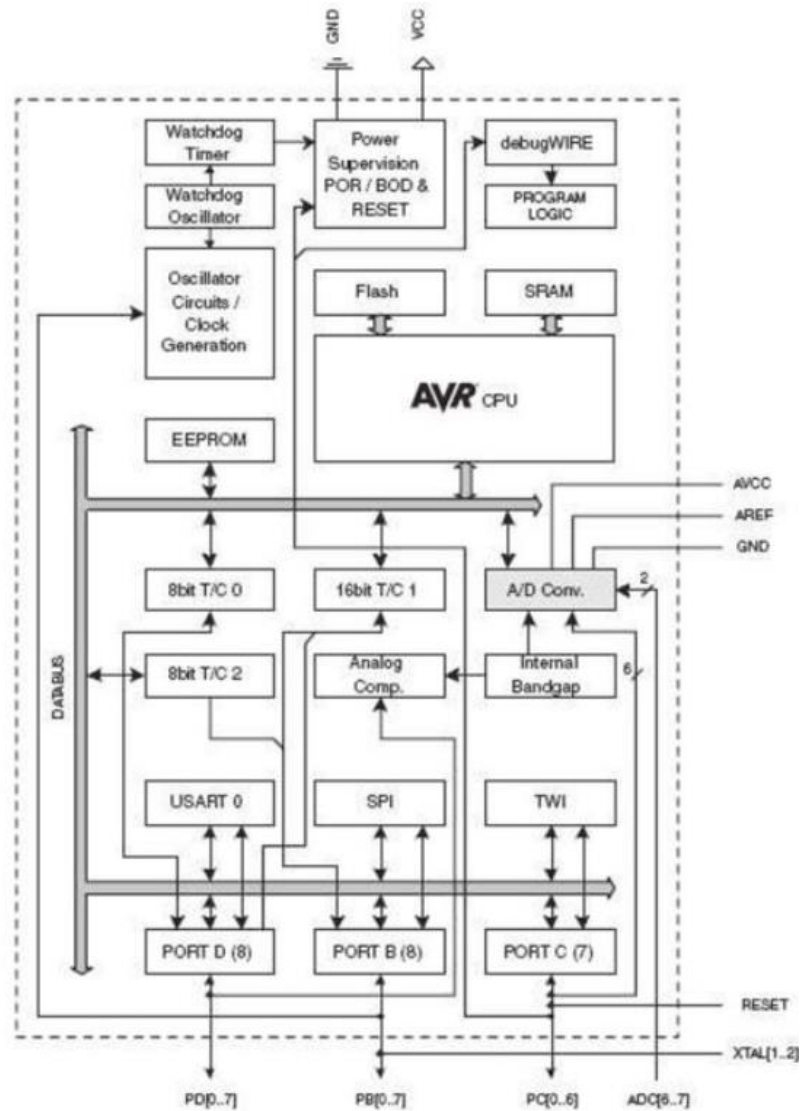


Рисунок 4.5 – Структурна схема Atmega328

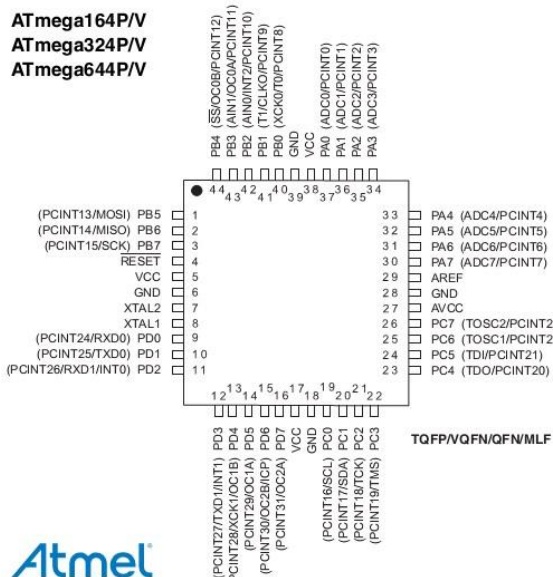


Рисунок 13 – Піни МК Atmega328 TQFP-32
(монтажна схема МК)

Стосовно отримання/передавання та фільтрації сигналу, пропонується наступне рішення:

1. В якості підсилюючого елементу із спрощеним зворотнім зв'язком ми використаємо мікросхему зі здвоєним ОП JRC4558(аналог ОРА2134), що часто використовують серед музикантів під час конструювання музичного обладнання[20][22].
2. Вхідний фільтр в даному випадку – це фільтр верхніх частот та верхніх частот. Резистор на 1 Мом впроваджено для «підтяжки» напруги з вхідного контакту. Таким чином, стабілізується спад напруги вхідного сигналу на шляху до неінверсивного входу ОП.
3. Конденсатор С1 позбавляє сигнал постійної складової.
4. Через резистор R2 ми подаємо опорну напругу 2.5В на ОП. Вихідна напруга зсуву - це напруга на виході ОУ щодо "землі" або загальної точки схеми за умови, що диференціальна вхідна напруга дорівнює нулю. Операційні підсилювачі конструюються так, щоб ця напруга дорівнювала нулю, однак точно виконати цю умову неможливо, тому впроваджують додаткове підключення напруги до неінвертувального входу ОП через одномегаомний резистор.
5. Далі маємо RC-фільтр низьких частот: за формулою $f = 1/(2\pi \tau)$, де $\tau=RC$, маємо частоту зрізу в 5кГц, що знизить небажані «верхні» частоти.
6. Резистор R4, R5, RV1, конденсатори С3 та С4 утворюють фільтр нижніх та

верхніх частот, зі змінним резистором, що відповідає за «гучність»(тобто коефіцієнт підсилення) каскаду. Однак така структура дуже схильний до зайвих шумів, через що потрібно використовувати додатковий фільтр, описаний у п.2-5.

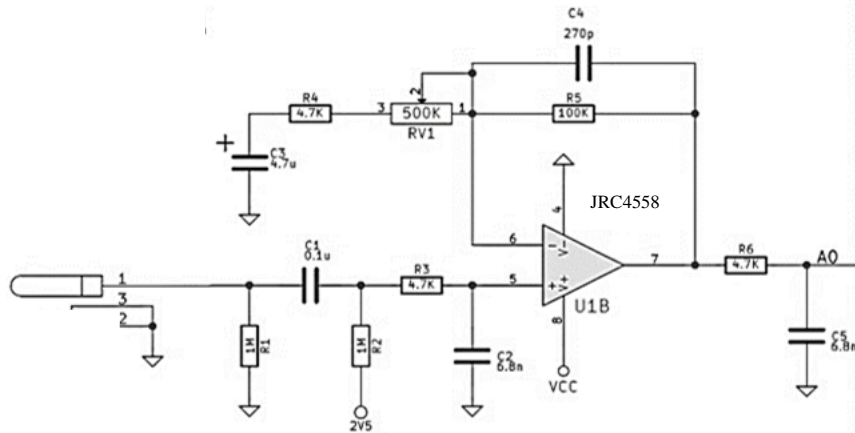


Рисунок 4.6– Принципова схема вхідного підсилюючого каскаду на ОП з частотним фільтром.

Аналогічним шляхом утворюється вихідний каскад [19]:

1. Через те, що вихідні контакти після додавання ефекту до сигналу повинні бути підключені один до самого джерела сигналу, а інший відіграє роль GND, тому на МК потрібно використати 2 піни. Вони підключені через відповідні резистори R10 та R11, а з конденсатором C7 утворюють фільтр
2. Конденсатор C11 прибирає випадкову пульсацію живлення ОП.
3. Перед поданням сигналу до ОП сигнал проходить через ділянку напруги на R12 та R13, а також проходить через два фільтри: ФНЧ та ФВЧ(R13 і C8; C9 і R12).
4. На виході маємо польовий конденсатор, що прибирає зайву пульсацію, тобто грає роль останнього фільтру.

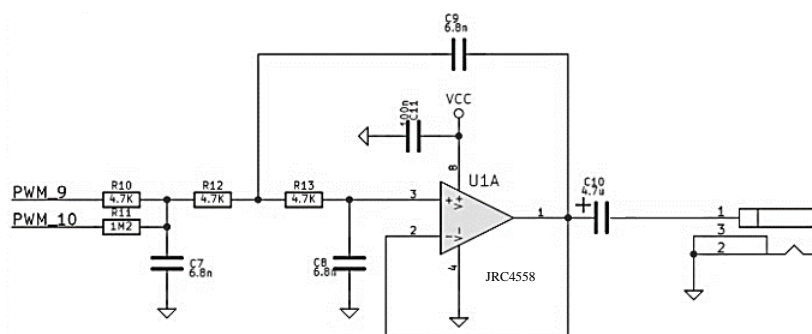


Рисунок 4.7 – Принципова схема вихідного підсилюючого каскаду на ОП з частотним фільтром.

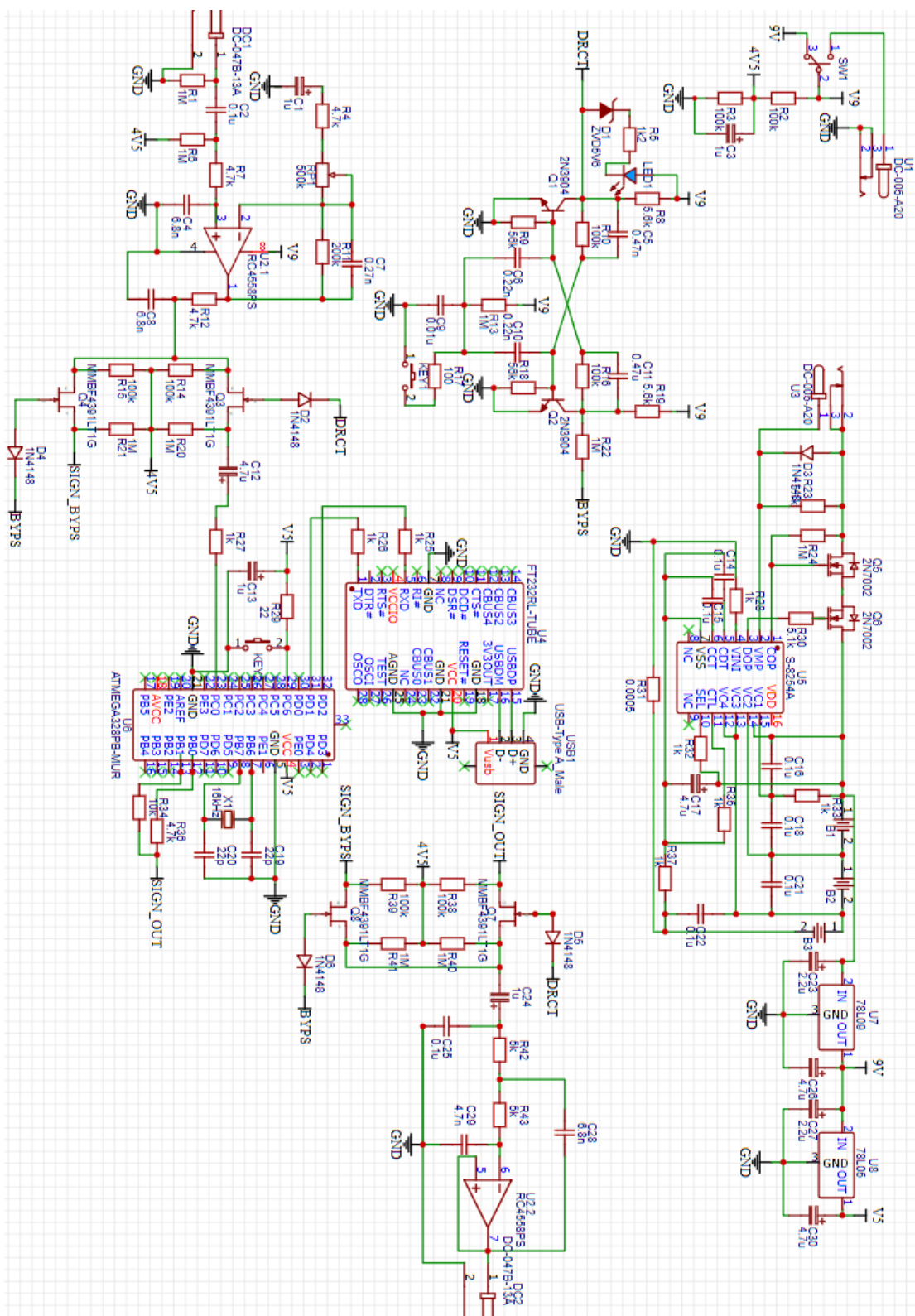


Рисунок 4.10 – Принципова схема МК модуля та вхідних і вихідних фільтрівна підсилювачах

Таблиця 6.1 – Розрахунок витрат на комплектуючі

ID	Name	Designator	Footprint	Quantity	COST/1	COST
1	CR1220-2	B1,B2,B3	BAT-SMD_CR1220-2	3	7,73	23,19
2	1u	C1,C3,C13,C24	CASE-A_3216	4	2,3	9,2
3	0.1u	C2,C14,C15,C16	C1206	8	2,3	18,4
4	6.8n	C4,C8,C28	C1206	3	2,3	6,9
5	0.47n	C5	C1206	1	2,3	2,3
6	0.22n	C6,C10	C1206	2	2,3	4,6
7	0.27n	C7	C1206	1	2,3	2,3
8	0.01u	C9	C1206	1	2,3	2,3
9	0.47u	C11	C1206	1	2,3	2,3
10	4.7u	C12,C17,C26,C3	CASE-A_3216	4	2,3	9,2
11	22p	C19,C20	C1206	2	2,3	4,6
12	2.2u	C23,C27	CASE-A_3216	2	2,3	4,6
13	4.7n	C29	C1206	1	2,3	2,3
14	ZVD5V6	D1	SOD-323_L1.8-W1.3-LS2.5-RD	1	4,2	4,2
15	1N4148	D2,D3,D4,D5,D6	DO-35_BD2.0-L4.2-P8.20-D0.5-RD	5	5	25
16	DC-047B-13A	DC1,DC2	DC-IN-TH_DC-047B-13A	2	2,9	5,8
17	K2-3.6x6.1_SMD	KEY1,KEY2	KEY-SMD_2P-L6.2-W3.6-LS8.0	2	67,3	134,6
18	LED-0805_B	LED1	LED0805_BLUE	1	0,3	0,3
19	2N3904	Q1,Q2	TO-92-3_L5.1-W4.1-P1.27-L	2	7,3	14,6
20	MMBF4391LT1C	Q3,Q4,Q7,Q8	SOT-23-3_L2.9-W1.3-P1.90-LS2.4-BR	4	4,6	18,4
21	2N7002	Q5,Q6	SOT-23_L2.9-W1.3-P0.95-LS2.4-BR	2	3,3	6,6
22	1M	R1,R6,R13,R20,F	R0603	9	0,02	0,18
23	100k	R2,R3,R10,R14,F	R0603	8	0,02	0,16
24	4.7k	R4,R7,R12,R36	R0603	4	0,02	0,08
25	1k2	R5	R0603	1	0,02	0,02
26	5.6k	R8,R19	R0603	2	0,02	0,04
27	56k	R9,R18	R0603	2	0,02	0,04
28	200k	R11	R0603	1	0,02	0,02
29	100	R17	R0603	1	0,02	0,02
30	5.1k	R23,R30	R0603	2	0,02	0,04
31	1k	R25,R26,R27,R2	R0603	8	0,02	0,16
32	22	R29	R0603	1	0,02	0,02
33	0.0005	R31	R0603	1	0,02	0,02
34	10k	R34	R0603	1	0,02	0,02
35	5k	R42,R43	R0603	2	0,02	0,04
36	500k	RP1	RES-ADJ-TH_3386P	1	0,02	0,02
37	MT-0-103-A101	SW1	SW-TH_MT-0-103-A101-M200-RS	1	8,7	8,7
38	DC-005-A20	U1,U3	DC-IN-TH_DC-005-A20	2	10,9	21,8
39	FT232RL-TUBE	U4	SSOP-28_L10.2-W5.3-P0.65-LS7.8-BL	1	15	15
40	S-8254A	U5	TSSOP-16_L5.0-W4.4-P0.65-LS6.4-BL-1	1	13,9	13,9
41	ATMEGA328PB-	U6	VFQFN-32_L5.0-W5.0-P0.50-BL-EP3.6	1	87,3	87,3
42	78L09	U7	SOT-23-3_L2.9-W1.4-P1.90-LS2.6-BR	1	5,2	5,2
43	78L05	U8	SOT-23-3_L2.9-W1.4-P1.90-LS2.6-BR	1	5,2	5,2
44	USB-Type A_Ma	USB1	USB-A-TH_48037-0001	1	8,6	8,6
45	16kHz	X1	OSC-SMD_2P-L3.2-W1.5	1	14,4	14,4
46	RC4558PS	U2	SOP-8_L5.7-W5.3-P1.27-LS8.1-BL	1	8,8	8,8
					Всього	491,47

Таблиця 6.2 – Приклад розрахунку витрат на сировину і матеріали

Матеріал, сировина	Одиниця виміру	Норма витрат	Ціна за од., Грн	Вартість, грн
Склотекстоліт	м ²	0,2	78	15,6
Каніфоль	кг	0,15	20	3
Флюс	кг	0,03	587	17,61
Припій	кг	0,1	207,5	20,75
Лак	кг	0,04	225	9
Сумарні витрати				78,93

З урахуванням транспортно-заготівельних витрат ($k_{m-z} = 5 \div 15 \%$) вартість комплектуючих і матеріалів складе:

$$KM=627,44 \text{ грн}$$

2 Витрати на основну заробітну плату (ЗПо) :

$$ЗПо = Зо = \sum_{i=1}^n T_{Г_i} \cdot Нч_i = 400 \text{ грн,}$$

де $T_{Г_i}$ - годинна тарифна ставка окремого спеціаліста (інженера- електронщика, лаборанта тощо), який задіяний у виробництві пристрої (установки), грн / рік;

$Нч_i$ - витрачений час робочим на виробництво і наладку пристрою(установки), рік;

n - кількість працівників, задіяних у виробництві пристрої (установки).

Годинна тарифна ставка розраховується, виходячи з величини місячного окладу фахівця:

$$T_{Г_i} = \frac{T_{М_i}}{Вф_i \cdot 8} = 100 \text{ грн,}$$

де $T_{М_i}$ - місячний оклад (ставка) фахівця, грн;

										Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ

V_{fi} - фактично відпрацьований час за розрахунковий період (місяць), днів;

8 - кількість відпрацьованих годин за зміну.

3 Додаткова заробітна плата (10 ÷ 30% від ЗПо):

$$\text{ЗПд} = 480 \text{ грн,}$$

4 Відрахування на соціальні заходи містять відрахування від суми основної та додаткової зарплати за встановленими ставками:

- на обов'язкове державне пенсійне страхування;
- на державне страхування від нещасних випадків;
- на обов'язкове державне соціальне страхування на випадок безробіття;
- у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності та витратами, зумовленими народженням дитини і похованням

$$V_{\text{соц}} = (\text{ЗПо} + \text{ЗПд}) \cdot 0,18 = 158,4 \text{ грн}$$

5 Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

Якщо обладнання знаходиться на балансі підприємства витрати на утримання та експлуатацію обладнання дорівнює

$$V_{\text{УЕО}} = \text{ЗПо} \cdot 1,35 = 540 \text{ грн}$$

6. Загальновиробничі витрати.

Являють собою витрати, пов'язані з управлінням підрозділом, витрати на службові відрядження співробітників підрозділу (цеху), амортизаційні відрахування від вартості основних фондів загальцехового призначення і так далі.

									Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ

8. Витрати на збут.

Включають витрати на рекламу і предрезалиационная підготовку пристрою (установки). Орієнтовно ці витрати визначаються в розмірі 5-10% від виробничої собівартості.

$$ВЗб = 43,92 \text{ грн}$$

Сума статей 1-8 представляє повну собівартість пристрою (установки).

Калькуляцію собівартості пристрою (установки) представимо у вигляді таблиці

Таблиця 6.3 – Калькуляція собівартості пристрою (установки)

Найменування статей калькуляції	Проектний варіант
1 Матеріали і комплектуючі	627,44
2 Витрати на основну заробітну плату	400
3 Додаткова заробітна плата	100
4 Соціальні відрахування	480
5 Витрати на утримання і експлуатацію	158,4
6 Загальновиробничі витрати	540
Виробнича собівартість	740
7 Адміністративні витрати	740
8 Витрати на збут	43,92
Повна собівартість пристрою	3829,76

6.3 Визначення ціни пристрою та витрат на корисування

6.3.1 Визначення ціни пристрою

У ринковій економіці існують різні методи ціноутворення: с / в плюс прибуток, забезпечення фіксованого обсягу прибутку, в залежності від рівня попиту та ін.

1 Розрахунок оптової ціни пристрою (установки) проведемо за схемою "собівартість плюс прибуток".

$$Ц_{\text{опт}} = C + П,$$

де С - повна собівартість пристрою (установки) П - величина прибутку.

Прибуток визначається виходячи з нормативу (показника) рентабельності виробництва продукції встановлюється підприємством:

$$R = \frac{П}{C} \cdot 100\%,$$

де R - рентабельність пристрої (установки), приймається в розмірі до 35% від його собівартості.

Тоді оптова ціна пристрою (установки) визначається як:

$$Ц_{\text{опт}} = C + \frac{RC}{100} = 1430,84$$

C_e - вартість одного кВт · год, грн / кВт · год (див. тариф для промислових користувачів);

t - час роботи пристрою за рік, годину.

2 Розрахунок витрат на заробітну плату персоналу, який обслуговує пристрій проводиться в разі необхідності (в залежності від паспортаспеціальності робітників) за формулою:

$$ЗПп = \sum_{j=1}^m T_{mj} \cdot k_{зj} \cdot k_{дж} \cdot k_c \cdot Ч_j \cdot 1,$$

де T_{mj} - місячний оклад (ставка) фахівця j -ї професії;

$k_{зj}$ - коефіцієнт зайнятості (залежить від часу обслуговування пристрою фахівцем j -ї професії);

$k_{дж}$ - коефіцієнт, який враховує додаткову зарплату (приймається $k_{дж} = 1,1-1,3$);

k_c - коефіцієнт, який враховує нарахування на заробітну плату (береться $k_c = 1,363$)

$Ч_j$ - кількість фахівців j -ї професії;

m - кількість професій.

$$ЗПп = 97,61 \text{ грн.}$$

Результати розрахунку заробітної плати обслуговуючого персоналу представимо в таблиці:

										Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ

Таблиця 6.4 – Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Вид робіт	Оклад, грн	коефіцієнт зайнятості	Кількість персоналу		Місячна заробітна плата, грн	
			аналог	проект. прилад	аналог	проект. прилад
обслуговування	16000	0,001	6	4	20000	16000

3 Річна сума амортизаційних відрахувань визначається за відповідними нормами амортизації від первісної вартості пристрою, який включає: ціну пристрою; витрати на транспортування і монтаж, які приймаються в розмірі 5-15% від ціни.

Амортизацію електронних пристроїв (установок) доцільно нараховувати прямолінійним методом:

$$A = F \cdot a = 429,25 \text{ грн,}$$

де F - первісна вартість пристрою;

a - річна норма амортизації.

$$F = C_{\text{розд}} + B_{\text{тм}} = 1717 \text{ грн,}$$

де $C_{\text{розд}}$ - роздрібна (договірна) ціна пристрою;

$B_{\text{тм}}$ - витрати на транспортування і монтаж пристрою.

Річна норма амортизації обчислюється прямолінійним методом відповідно до терміну корисного використання пристрою:

$$a = 1 / T_{\text{вік}},$$

									Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ

6.3.3 Оцінка конкурентноспроможності проектного пристрою

Для оцінки конкурентноспроможності застосовується комплексний показник конкурентноспроможності $Q_{кон}$, який визначається за інтегральними показниками конкурентноспроможності пристроїв:

$$Q_{кон} = Q_{нп} \cdot Q_m / Q_e, = 1 \cdot 1,2 / 1,52 = 0,84$$

де $Q_{нп}$ - інтегральний показник за нормативними параметрами (може приймати виключно два значення: нуль, якщо пристрій не задовольняє обов'язковим для даного ринку нормам і стандартам (частота і напруга живлення, точність вимірювання, конструктивні розміри), і одиницю, якщо відповідає. За проектним пристроєм $Q_{нп} = 1$);

Q_m - порівняльна конкурентноспроможність пристрою за його технічним рівнем (наприклад, якщо швидкість передачі, або пропускна здатність пристрою збільшена в 2,5 рази, то $q_T = 2,5$);

Q_e - інтегральний економічний показник.

Конкурентноспроможність за економічними показниками Q_E визначаємо за ціною користувача виробів:

$$Q_e = \Pi_{кор_пр} / \Pi_{кор_ан} = 1,51$$

де $\Pi_{кор_пр}$ - ціна використання проектного пристрою; $\Pi_{кор_ан}$ - ціна використання пристрою-аналогу.

Так як коефіцієнт конкурентноспроможності $Q_{кон}$ менше одиниці, відповідно, проектована система є неконкурентноспроможною.

									Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 6.5 – Порівняння техніко-економічних показників приладу-аналогу і проєктованого приладу

Параметр	Одиниця виміру	Значення	
		Пристрій-аналог	Проєктований пристрій
Технічні:			
Потужність пристрою	Вт	10	8
Габаритні розміри	м ²	0,03	0,022
Маса	кг	0,3	0,25
Економічні:			
Відпускна ціна	грн	7850	5430,60
Річні експлуатаційні витрати користувача	грн	50	50
Повна ціна користувача	грн	7850	5430,60
Показник якості за технічним рівнем	–	x	1,2
Інтегральний економічний показник конкурентноспроможності	–	x	1,37
Комплексний показник конкурентноспроможності	–	x	0,87

В умовах ринкової економіки конкурентноспроможність товару це головний фактор успіху. Конкурентноспроможність товару передбачає оптимальне поєднання якості, ціни, дизайну і можливості післяпродажного обслуговування. У зв'язку з чим, одним з найважливіших показників конкурентноспроможності підприємства, особливо для виробника, є конкурентноспроможність його продукції.

Розроблений пристрій по конкурентноздатності поступається приладу- аналогу, так як має ціну набагато вище аналога, і недостатні технічні характеристики. Це пов'язано з тим що розрахунок вартості пристрою проводився з розрахунку одиничного випуску товару. Притому що аналог випускається масово. У зв'язку з цим для підвищення конкурентноздатності необхідно підвищувати параметри самого пристрою, а також спробувати знизити ціну проектованого пристрою.

6.4 Конкурентноспроможність сучасних компаній, які спеціалізуються на електронній техніці

6.4.1 Поняття і види конкурентноспроможності

Поняття конкурентноспроможності аналізується і інтерпретується залежно від економічного об'єкта, що розглядається. Звісно, фактори динаміки, критерії і характеристики конкурентноспроможності на різних рівнях: товар, фірма, корпорація, галузь, національне господарства, чи нація є специфічними. Аналіз конкурентноспроможності можна провести для кожного з цих рівнів, відповідно до цілі досліджень.

На макрорівні поняття конкурентноспроможності відображає позиції національної економіки в системі міжнародних відносин, головним чином в сфері міжнародної торгівлі, і одночасно її здатність зміцнювати позиції. Це найбільш важливий, але не єдиний аспект поняття конкурентноспроможності. Слід враховувати здатність зберігати і нарощувати темпи економічного зростання, зайнятості, реальні доходи громадян.

Конкурентноспроможність – це ступінь, з якою нація при справедливих умовах вільного ринку виробляє товари і послуги, які задовольняють світовим вимогам і при цьому збільшує доходи своїх громадян.

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Вим.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

повинно бути створення професійного персоналу, оскільки саме люди є центральною, конкурентноспроможною силою підприємства.

Лише в такому випадку як персонал так і підприємство матимуть змогу гнучко та ефективно відповідати на запити різних споживачів, щоб задовольнити їх високі вимоги до певного типу продукції.

З наведеного робимо висновок, що у всебічній практичній діяльності для досягнення конкурентноспроможності порядок акцентів повинен бути розставлений наступним чином:

- 1) конкурентноспроможність персоналу;
- 2) конкурентноспроможність підприємства;
- 3) конкурентноспроможність продукції (як результат успіху перших двох).

Звісно, цю всю роботу повинні проводити паралельно, відповідально, енергійно, сплановано, відповідними службами, а пріоритетним завданням повинно бути створення персоналу.

У всебічній роботі щодо досягнення конкурентноспроможності важливе місце займають показники, які характеризують та тим самим дають змогу оцінити конкурентноспроможність будь якого об'єкта.

6.4.2 Умови та параметри, що забезпечують конкурентно-спроможність

Умови та параметри є ключовими складовими категоріями конкурентноспроможності.

Параметри конкурентноспроможності розкривають її зміст й характеризують одну з сторін конкурентноспроможності, як об'єкта: продукції, підприємства, персоналу. Вони надають змогу оцінити ступінь відповідності досліджуваного об'єкта певним, визначеним вимогам споживача.

21. https://books.google.com.ua/books/about/Electronic_Circuit_Design_and_Application.html?id=x3RREAAAQBAJ&source=kp_cover&redir_esc=y
22. https://books.google.com.ua/books/about/Electronic_Circuit_Design.html?id=nkxE_Bxh_vAC&source=kp_cover&redir_esc=y
23. <https://www.rulit.me/books/iskusstvo-shemotehniki-tom-1-izd-4-e-read-451196-1.html>
24. https://books.google.com.ua/books/about/Electronic_Circuits.html?id=rwWWvtQYEO0C&source=kp_cover&redir_esc=y
25. https://www.researchgate.net/figure/Electrical-scheme-of-the-read-out-circuit-along-with-the-nanotransducer-electrical-model_fig4_3329830
26. <https://onlyfonlyfans.com/riamorharlotans.com/riamorharlot>
27. <https://ultimateelectronicsbook.com/maximum-power-transfer-and-impedance-matching/>
28. https://www.hopeinelectronics.com.uk/m=isch&ved=2ahUKEwj3dzLXdpei1pbWfAAQE&scIent=img&ei=1FuaYsvHEcSzrgS8sJDwBw&bih=723&biw=1495&client=opera-gx&hs=aCb#imgrc=z_DP0F7VVe8KGM
29. <https://electrochip.mk.ua/product/ponizhayushhij-dc-dc-preobrazovatel-lm2596/>
30. <https://fresh.co.ua/product-8083570707>
31. <https://micro-pi.ru/tp4056-%BE%D0%B4%D1%83%D0%BB%D1%8C-%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BA%D0%B8-li-ion/>
32. <https://habr.com/ru/post/444076/>
33. <https://tsibrov.blogspot.com/2019/02/atmega328p.html>
34. https://3v3.com.ua/product_5443.html
35. https://www.researchgate.net/figure/Datasheet-ATMega328-Les-principales-caracteristiques-dATMega328-sont-FLASH_fig13_339999966
36. <https://radiostorage.net/1519-skhemy-ehlektronnyh-viklyuchatelej-pitaniya-dlya-skhem-na-mikrokontrollerah.html>
37. <https://bestengineeringprojects.com/diy-arduino-controlled-guitar-pedal/>
38. https://3v3.com.ua/product_5443.html
39. https://www.researchgate.net/figure/Electrical-scheme-of-the-read-out-circuit-along-with-the-nanotransducer-electrical-model_fig4_3329830
40. <https://onlyfonlyfans.com/riamorharlotans.com/riamorharlot>
41. <https://xanimu.com/28848-furry-tentacle>
42. <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/lcd-i2c-arduino-displey-ekran/>

					<i>ЕліТ 8.171.00.10.509.ІІЗ</i>	Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

Рівноважні коди в адаптивних завадостійких системах передачі інформації

Борисенко О.А., *професор*; Бережна О.В., *доцент*; Сердюк В.В., *аспірант*; Мороз Н.В., *студент гр. ЕС.м-21*

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним із актуальних завдань при побудові завадостійких систем передачі інформації є пошук методів завадостійкого кодування інформації, які б забезпечували свою ефективність в умовах зміни параметрів нестационарних каналів зв'язку.

Необхідна достовірність передачі повідомлень у таких системах досягається засобами завадостійкого кодування. Однак підвищення рівня завадостійкості кодування зменшує швидкість передачі інформації, яку можна підвищити шляхом зменшення надлишковості кодових комбінацій при їх передачі по каналу зв'язку з незначним рівнем завад. При значному рівні завад надлишковість завадостійких комбінацій треба збільшувати. Ефективний метод завадостійкого кодування дозволяє адаптувати свої алгоритми відповідно до рівня завад, що змінюється. Одним з таких кодів є рівноважний код, який дозволяє адаптувати довжину кодових повідомлень та свою завадостійкість в залежності від стану каналу зв'язку. При змінах внутрішньодобового та сезонного навантаження каналів зв'язку адаптивні алгоритми кодування дозволяють отримувати необхідну швидкість передачі інформації при забезпеченні достатнього рівня її завадостійкості. Так, зростання навантаження і відповідне збільшення рівня завад потребує збільшення довжини кодових комбінацій, а при зменшенні навантаження їх довжина може бути зменшена.

Отримати рівноважні коди можна на основі біноміальних кодів. Схожа структура цих кодів та такі їх спільні параметри, як довжина n і контрольне число k , спрощують формування рівноважних комбінацій. Змінюючи довжину рівноважних кодових комбінацій в залежності від рівня завад можна отримати оптимальне співвідношення між швидкістю передачі та завадостійкістю.

Таким чином, запропонований метод адаптивного рівноважного кодування є достатньо ефективним для створення завадостійких систем передачі інформації зі змінним рівнем завад у каналах зв'язку.

									Лист
Вим.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ЕліТ 8.171.00.10.509.ПЕ