

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему ЧАСТОТНО-ЄМНІСТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ
ВИМІРЮВАННЯ ЗАЗОРІВ ЛОПАТОК В ТУРБОРЕАКТИВНИХ
ДВИГУНАХ

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи РТ-210м

Спеціальності _____
172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Радіотехніка»

Новітченко Вадим Сергійович
(прізвище та ініціали)

Керівник Кабак В.С.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Фарафонов О.Ю.
(прізвище та ініціали)

2021 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

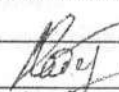
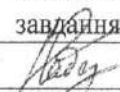
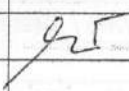
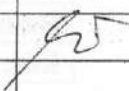
Інститут, факультет Інститут інформатички та радіоелектроніки, ФРЕТ
 Кафедра Радіотехніка та телекомунікації
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) "Радіотехніка"
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ
Морщавка С.В.
 « 20 » 12 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

- Новітченко Вадима Сергійовича
 (прізвище, ім'я, по батькові)
- Тема проекту (роботи) Частотно-емісійний перетворювач для вимірювання зазорів лопаток у турбореактивних двигунах
 - керівник проекту (роботи) Кабак Владислав Семенович
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 - затверджені наказом закладу вищої освіти від « 04 » листопада 20 21 року № 411
 - Строк подання студентом проекту (роботи) 14 грудня 2021 року
 - Вихідні дані до проекту (роботи) вимірювальне обладнання "Carasense 5", датчик від вимірювального обладнання "Carasense 5". Зведена емність датчиків (дві емності по 530пФ), методика розрахунку власної частоти коливань роторних лопаток.
 - Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз області дослідження і постановка завдання. Електричний розрахунок. Моделювання схеми у програмі МікроСар. Математична обробка сигналу у MATLAB. Практична частка. Економічний розрахунок. Вихідна праця.
 - Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація роботи в Microsoft Power Point з поясненням принципу роботи схеми. Емори сигналів з програми МікроСар. Схема електрична принципова.
 - Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	Кабак В.С.		
7	Себаст'янов Р.В.		
8	Якимов Ю.В., доцент		

7. Дата видачі завдання « 01 » вересня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Срок виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз області дослідження і постановка завдання	3-й тиждень	виконано
2	Аналіз можливих варіантів схем та їх реалізація	4-й тиждень	виконано
3	Електричний розрахунок	6-й тиждень	виконано
4	Моделювання схеми у програмі MicroCap12	7-й тиждень	виконано
5	Математична обробка сигналу	9-й тиждень	виконано
6	Практична застінка	12-й тиждень	виконано
7	Робота над економічною застінкою	13-й тиждень	виконано
8	Робота на розділом з охорони праці	14-й тиждень	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	15-й тиждень	виконано
10	Проходження нормоконтролю, рецензування, акті-плагіату	15-й тиждень	виконано

Студент(ка)


(підпис)

Навітченко В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Кабак В.С.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 92 сторінки, 18 таблиць, 66 рисунків, 16 джерел

Об'єкт дослідження: технологічне обладнання для вимірювання зазорів роторних лопаток турбокомпресора на турбореактивних двигунах.

Мета роботи: моделювання роботи частотно-ємнісного перетворювача у програмі MicroCap 12, та його розробка для вимірювального комплексу MIC-300, з метою подальшого впровадження на підприємстві для вимірювання резонансної частоти роторних лопаток.

Методи дослідження: дослідження роботи прототипу схеми виконувалося за допомогою симулятора MicroCap 12, оцифровування сигналу готового макету проводилося за допомогою вимірювального комплексу MIC-300.

Запровадження даного пристрою дозволяє отримати сигнал, який після математичного опрацювання, дозволяє отримати власну частоту коливань роторних лопаток турбокомпресора турбореактивного двигуна.

АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ПІДСИЛЕННЯ, АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ВІД'ЄМНИЙ ЗВОРОТНІЙ ЗВ'ЯЗОК, КОЕФІЦІЄНТ НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ, «МІСТ ВІНА», ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ, ПІКОВИЙ ДЕТЕКТОР, ФІЛЬТР ВИСОКИХ ЧАСТОТ, ФІЛЬТР НИЗЬКИХ ЧАСТОТ, MATLAB, MICROCAP12

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ та ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.....	9
1.1 Аналіз проблеми.....	9
1.2 Постановка завдання.....	10
2 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ВАРІАНТІВ СХЕМ ТА ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ.....	15
2.1 Аналіз варіантів схем.....	15
2.2 Загальний огляд схеми «моста Віна».....	16
3 ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК	19
3.1 Загальний огляд структурної схеми пристрою	19
3.2 Розрахунок елементів «моста Віна».....	23
3.3 Розрахунок контуру АРП	29
3.4 Аналіз температурної стабільності	35
4 МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ У ПРОГРАМІ MICROCAP 12.....	37
4.1 Аналіз схеми за постійним струмом	37
4.2 Аналіз перехідних процесів в основних вузлах схеми	38
4.3 Аналіз впливу технологічного розкиду елементів на роботу схеми	40
4.4 Аналіз схеми при зміні ємності датчика.....	42
5 МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА СИГНАЛУ	43
5.1 Алгоритм дослідження сигналу.....	43
5.2 Алгоритм обробки сигналу	44
6 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	50
6.1 Попередні варіанти схем	50
6.2 Реалізація макету частотно-ємнісного перетворювача.....	52
7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	61
7.1 Аналіз ринкової ситуації	61
7.2 Проектування плану розробки проекту	65
7.3 Побудова мережного графіку	67

7.4 Розрахунок витрат.....	68
7.5 Аналіз економічної ефективності розробки.....	73
8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	75
8.1 Аналіз потенційних небезпек	75
8.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	77
8.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	83
8.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....	83
8.4.2 Заходи з цивільного захисту	85
ВИСНОВКИ.....	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	91

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АРП – автоматичне регулювання підсилення

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ВЗЗ – від'ємний зворотній зв'язок

КНС – коефіцієнт нелінійних спотворень

ОП – операційний підсилювач

ФВЧ – фільтр високих частот

ФНЧ – фільтр низьких частот

K_{Γ} – коефіцієнт нелінійних спотворень

$K_{\text{зз}}$ – коефіцієнт передачі кола зворотнього зв'язку

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт підсилення

ВСТУП

Розробка якісної сучасної техніки, незалежно від призначення (будь-то на військові потреби, чи для цивільного призначення), вимагає від розробників якомога найліпшого поєднання компонентів, використання найякісніших деталей та компонентів, з метою забезпечення найкращих характеристик виробу.

Так наприклад, при проектуванні, створенні чи модернізації двигунів літаків, важко обійтись без дороговартісного обладнання, яке дозволяє більш точно визначити певні характеристики, провести аналіз з більшою точністю тощо, що в свою чергу, позитивно відображається на якості готової продукції (авіаційні двигуни).

Варто відзначити, що зазвичай розробники використовують класичні схеми, які модернізують, за рахунок додавання нових компонентів, використання більш якісних компонентів, та використання різних схем стабілізації та регулювання, поліпшуючи параметри електронних схем.

Як правило, розробки починаються з аналізу предметної області та вимірювання відповідних параметрів джерел сигналів. Так наприклад, при проведенні акустичних вимірювань шумів лопаток ротора турбокомпресора чи вимірюванні зазорів між статорними та роторними лопатками турбореактивних двигунів, застосовують спеціальні реєструючі комплекси від виробника НВП «Мера», разом з відповідним вимірювальним обладнанням і датчиками вимірювального комплексу «CapaciSense 5».

В ході роботи, саме з таким обладнанням, і постала задача використання наявних датчиків, які призначені для вимірювання зазорів лопаток турбокомпресора, для вимірювання власної частоти роторних лопаток.

1 АНАЛІЗ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз проблеми

Компресор турбореактивного двигуна призначений для стиснення повітря, та його нагнітання до камери згоряння турбореактивного двигуна (рис. 1.1).

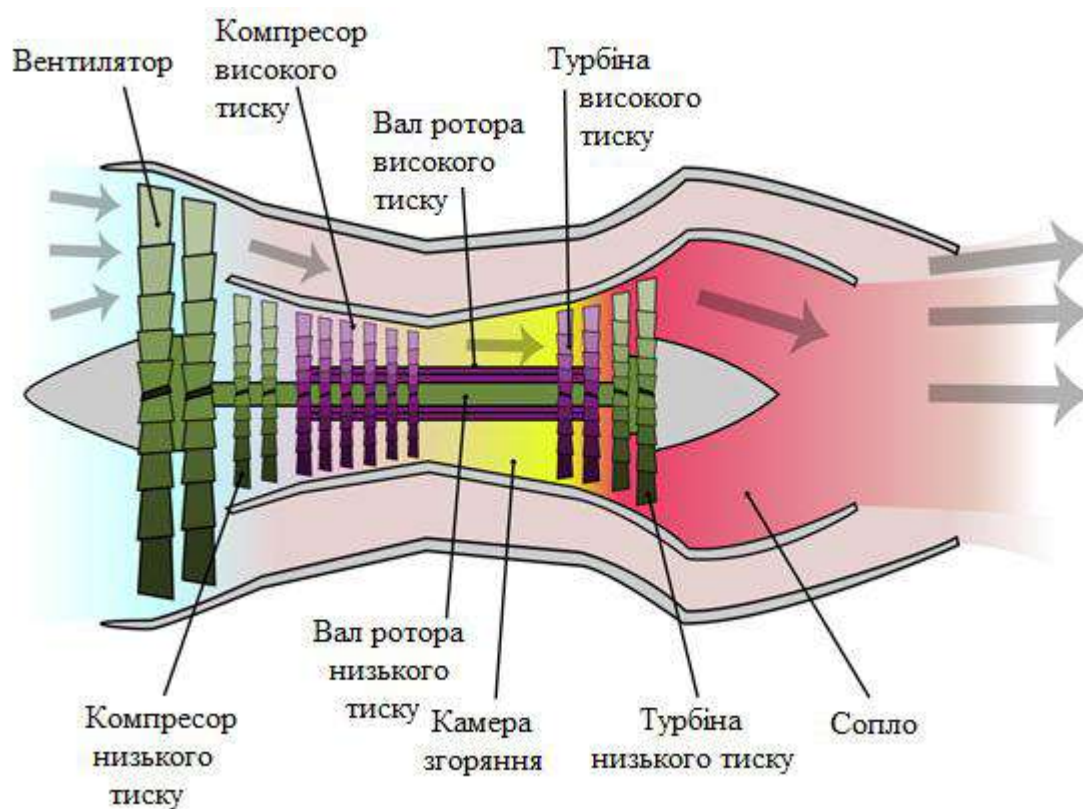


Рисунок 1.1 – Конструкція ТРД

В процесі експлуатації, усі деталі (лопатки, вали, стінки тощо), отримують значних механічних навантажень, і працюють в умовах високого тиску та температур, що призводить до зміни характеристик деталей і вузлів, а у крайньому випадку – до поломки мехнізму.

Так розглянемо роботу турбореактивного двигуна загалом. Повітря надходячи ззовні, за допомогою нагнітання вентилятором, починає стискатися. Відповідно стискаючись, повітря з високим тиском надходить до камери згоряння, де й відбувається згоряння паливо-повітряної суміші. Стрімке викидання відпрацьованих газів, надає літаку певну силу, тобто «штовхає» його уперед, а також, ще більше розкручує вал турбореактивного двигуна, і тим самим збільшує робочі обороти, тиск у компресорі тощо.

Одним із основних завдань, при розробці авіаційних двигунів, є мінімізація усіх можливих шумів. Так наприклад, при випробовуваннях двигунів, значну увагу приділяють акустичним вимірюванням, і завжди порівнюють отримані результати із нормативними вимогами, які надаються міжнародними стандартами (наприклад міжнародною організацією цивільної авіації «ICAO»).

1.2 Постановка завдання

Одним із джерел акустичного шуму є роторні лопатки. Як було зазначено вище, в процесі експлуатації роторні лопатки зазнають значних навантажень, та працюють у жорстких умовах. Іноді, навіть трапляється облом лопатки ротора. Зміна умов експлуатації, чи значне навантаження, може призвести до певного підвищення рівня шуму, яке не буде відповідати міжнародним стандартам. Тому, з метою аналізу роботи лопаток було придбано обладнання, яке дозволяє вимірювати зазор між лопатками.

Зовнішній вигляд датчика такого обладнання наведено на рисунку 1.2 та рисунку 1.3.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд датчика (вигляд зі сторони робочої області)



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд датчика (вигляд з бічної сторони)

Датчик має три контакти, один з яких є загальним, а два інших «сигнальними». Як було виявлено в ході аналізу, конструкція датчика являє собою здвоєну ємність. На рисунку 1.2 видно, що датчик має три області, розділені між собою концентричними кільцями. Ці концентричні кільця, відіграють роль діелектриків, а кола, що обмежені цима кільцями, є «пластинами» конденсаторів.

Загалом еквівалентну електричну схему датчика можна представити схемою на рисунку 1.4.

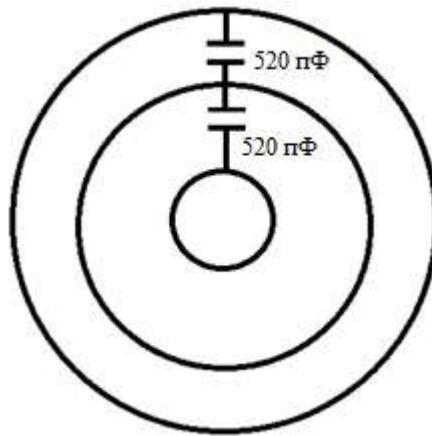


Рисунок 1.4 – Електрична схема ємнісного датчика

Між центральним колом і середнім – заміряна ємність склала 530 пФ (надалі, при проектуванні пристрою, та при створенні власного розніма ємність склала 520 пФ), так само, як і між середнім та крайнім колом – 530 пФ (надалі 520 пФ). Ці дві послідовно ввімкнені ємності, можна вважати однією ємністю – 270 пФ (260 пФ).

Спочатку датчик монтується над місцем обератння лопаток, у корпусі компресора. Далі, при проходженні над чутливою областю датчика, металевої кромки (торця роторної лопатки тощо) зі швидкістю V , ємність датчика змінюється внаслідок зміни діелектричного середовища, яке розділяє

обкладинки двох ємностей. Загалом сигнал який можливо отримати з датчика може виглядати таким чином, як на рисунку 1.5.

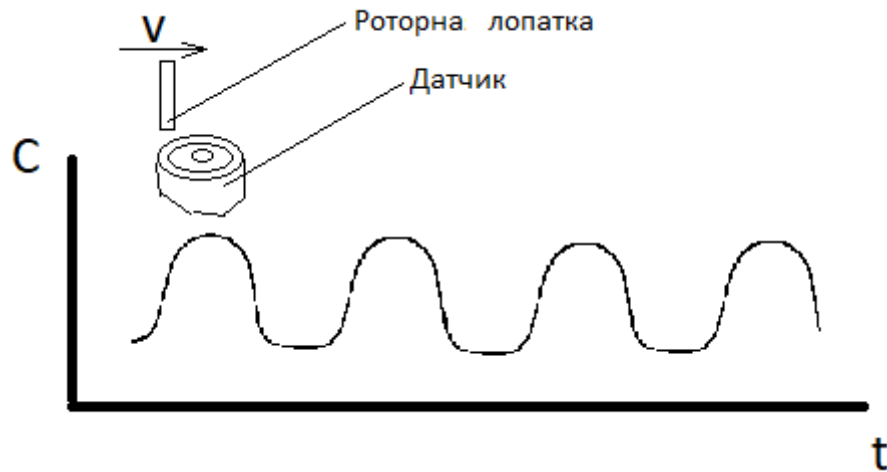


Рисунок 1.5 – «Модуляція» ємності датчика при проходженні роторної лопатки над чутливою областю датчика

Надалі сигнал поступає до цифрового модуля обробки, який на екрані монітора, у спеціальній програмі, дозволяє отримати певні характеристики процесу, та зазор між лопатками.

Наявним недоліком, при використанні цього комплексу (CapaciSense 5), що дозволяє оцінити зазор, між лопатками, наведеним вище способом, є те, що придбання обладнання, не дозволяє оцінити власну частоту коливань роторних лопаток.

Загалом, роторна лопатка рухається обертально, навколо роторного валу, з частотою турбіни помноженою на кількість лопаток, і наближуючись до чутливої області датчика, починає збільшувати його ємність, після чого покидає чутливу область датчика, що призводить до зменшення ємності (відповідний під'йом та спад характеристики зображено на рис. 1.5). Але в той самий час, коли лопатка виконує свій обертальний рух, вона додатково

коливається зі своєю резонансною частотою (зі швидкістю v_2). Тобто графічно це можна відобразити, як показано на рисунку 1.6.

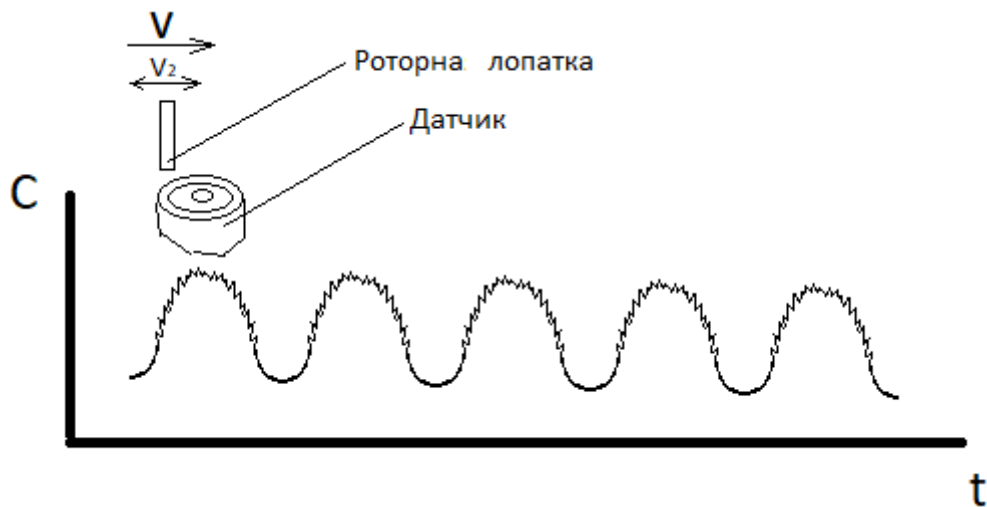


Рисунок 1.6 – Повний сигнал «модуляції» ємності датчика з урахуванням власних коливань роторних лопаток

Отже, як бачимо, якщо зможемо виділити такий сигнал, то за допомогою подальшої математичної обробки, зможемо порахувати частоти власних коливань лопаток.

Тому в ході даного дипломного проекту розглянуто можливий варіант частотно-ємнісного перетворювача, який дозволяє отримати необхідний сигнал, з можливістю подальшої оцифровки за допомогою наявного вимірювального комплексу МІС-300 (частота дискретизації 216 кГц), та математичної обробки у середовищі MATLAB.

2 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ВАРІАНТІВ СХЕМ ТА ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ

2.1 Аналіз варіантів схем

В ході пошуку розв'язку даного завдання було проаналізовано декілька можливих варіантів реалізації. Розглянемо їх детальніше.

Варіант 1 – виготовлення відповідного розніма, який дозволить під'єднатися паралельно до наявного обладнання та зняти сигнал, який надалі обробимо за певним алгоритмом. Цей варіант було реалізовано.

Паралельно до схеми, через додатковий рознім, під'єднувався операційний підсилювач КР544УД1Б, з високим входним опором, ввімкненим за схемою повторювача, тобто в ролі буферного каскаду. Відповідно було реалізовано двополярне живлення, з віртуальною загальною точкою, та мінімізовано габаритні розміри готового макету з метою найменшого впливу на ємність датчика. Як виявилось в ході подальшого дослідження, схема не дала результатів, що найскоріш за все означає, що вона має «цифровий» вихід.

Варіант 2 – виготовлення власної схеми АЦП. Цей варіант, можливий до виконання, але був відкинутий внаслідок дороговизни АЦП і необхідності виготовлення схеми, яка буде створювати необхідний сигнал.

Варіант 3 – створення двох генераторів, частота одного з яких буде змінюватися відповідно із зміною ємності датчика. Після двох генераторів, необхідно поставити або перемножувач, і надалі фільтр низьких частот, що дозволить виділити різницеву частоту опорного та модулюємого генераторів. Різницеву частоту слід якось інтерпретувати, і поставити у відповідність до власної частоти роторних лопаток. Є й інший варіант, це використання суматора після двох генераторів, але в такому разі, після суматора слід поставити детектор та ФНЧ, які дозволять отримати низькочастотну обвідну, яку також слід поставити у відповідність до власної частоти роторних лопаток. Цей варіант було розроблено та перевірено, але нажалі внаслідок

малої чутливості схеми (автогенератори виконувалися на кварцевих резонаторах 1.024 МГц, і звісно занадто змінювати частоту не вдається внаслідок високої добротності, а при створенні звичайного LC-автогенератора стабільність частоти була замалою) від цього варіанту також відмовилися. Розрахунки проведені за джерелом [1].

Варіант 4 – створення генератора за схемою «моста Віна». Сама здвоєна ємність з самого початку мала підказати, що слід розглядати дуже чутливі мостові схеми, в яких у одну діагональ моста вмикається елемент, що змінює свої параметри, а інша діагональ містить елементи, які вибираються таким чином, щоб при відсутності зовнішнього впливу, сигнал на виході схеми був або відсутній, або не змінювався. Забігаючи наперед, зазначимо, що в результаті використання саме такого підходу, вдалося отримати тестовий макет, який дозволяє отримати необхідний сигнал, та математично його обробити.

2.2 Загальний огляд схеми «моста Віна»

Можливий варіант схеми генератора моста Віна наведено на рисунку 2.1.

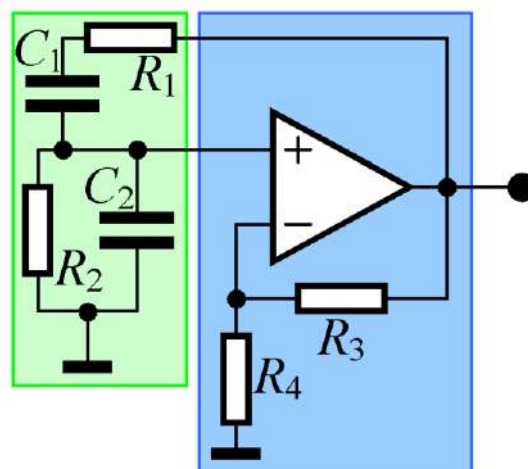


Рисунок 2.1 – Схема генератора «міст Віна»

Генератор являє собою ОП, з двома гілками. Одна з них – це контур зворотнього зв'язку – R_3, R_4 , параметрами якого ми регулюємо коефіцієнт підсилення. Інша, це – «міст Віна», або частотно-задаючий контур, параметри якого задають частоту генерації синусоїдального сигналу.

Якщо елементи C_1, C_2 та R_1, R_2 – відрізняються несуттєво (приймаємо відомий технологічний розкид радіокомпонентів, так для металоплівкових резисторів допуск складає 5%, до того ж, можливо підібрати більш менш близькі значення номіналів для одиничного чи малосерійного виготовлення), то такий контур матиме «квазірезонанс» на деякій частоті, і відповідно на цій частоті коефіцієнт передачі з виходу операційного підсилювача на неінвертуючий вхід ОП, буде максимальний. Фазовий набіг контура «моста Віна» на частоті резонансу складає 0 градусів (для ФНЧ -45° , а для ФВЧ $+45^\circ$ на частоті зрізу!), а коефіцієнт передачі прямує до $1/3$.

А як відомо, для виникнення незатухаючих коливань у автогенераторах необхідно виконати умови балансу фаз та балансу амплітуд :

$$K_{\Pi} * K_{\Sigma} = 1, \quad (2.1)$$

$$\varphi_{\Pi} + \varphi_{\Sigma} = 0. \quad (2.2)$$

Отже, як бачимо, баланс фаз виконується, а для виконання балансу амплітуд, щоб коливання не загасали і були стабільні по амплітуді, необхідно контуром зворотнього зв'язку встановити $K_{\Pi} = 3$.

Але «чистий» синусоїдальний сигнал, тобто з малими нелінійними спотвореннями можливий лише за умови ідеально підібраних компонентів, і за іншого випадку будуть або значні нелінійні спотворення, або схема не загенерує. Таким чином, до схеми вводять такі елементи, які можливо підлаштовувати. Окрім того, в процесі роботи та експлуатації, параметри елементів можуть змінюватися (наприклад при зміні температури), а отже

необхідно ввести контур автоматичного регулювання підсилення, який дозволить створити високостабільний генератор.

Схема АРП необхідна ще й тому, що міст Віна буде змінювати свої параметри внаслідок впливу роторної лопатки на датчик. І отже, щоб не збільшувати коефіцієнт гармонік, схема АРП буде автоматично «підбирати» необхідний рівень підсилення при «модуляції» ємності датчика.

Підсумовуючи загальні відомості, створюємо загальну структурну схему частотно-ємнісного перетворювача, яка приведена на рисунку 2.2.

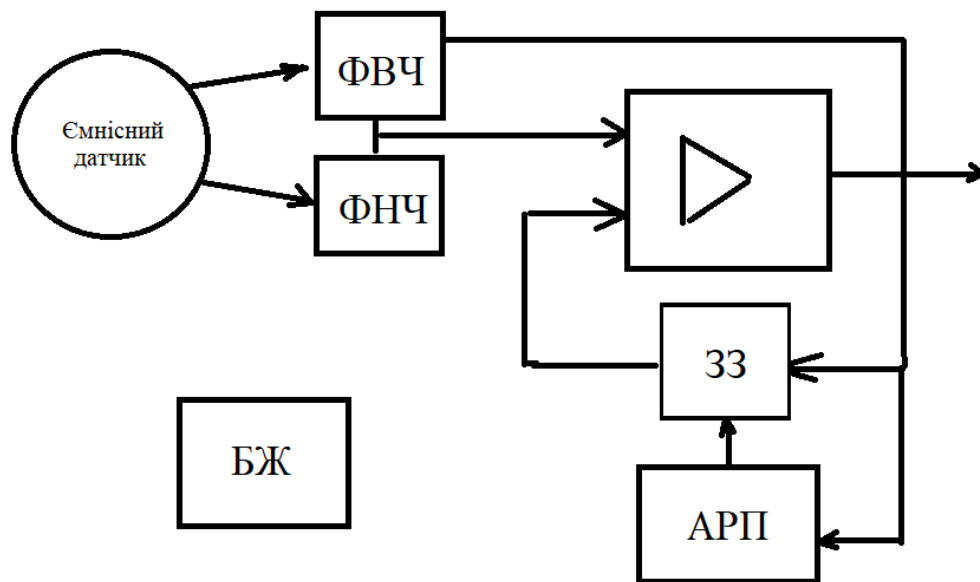


Рисунок 2.2 – Структурна схема частотно-ємнісного перетворювача

Для живлення операційного підсилювача необхідний двополярний блок живлення, для чого розробимо необхідну схему, допрацювавши наявний однополярний блок живлення. Маючи загальні відомості щодо задачі, та виходячи з наявної структурної схеми, можемо переходити до проектування принципової схеми і переходити до розрахунків.

3 ЕЛЕКТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК

3.1 Загальний огляд структурної схеми пристрою

Структурна схема частотно-ємнісного перетворювача наведена на попередньому рисунку 2.2.

На схемі показано генератор незатухаючих синусоїдальних коливань, який складається з декількох блоків, а саме:

- власне підсилювач;
- частотно-задаючий RC-контур, представлений вузькосмуговим фільтром (ФНЧ та ФВЧ);
- контур від'ємного зворотнього зв'язку;
- схема АРП;
- схема живлення;
- ємнісний датчик (входить до складу частотно-задаючого контуру, але в той же час є окремою одиницею).

Частотно-задаючий контур представлено на рисунку 3.1.

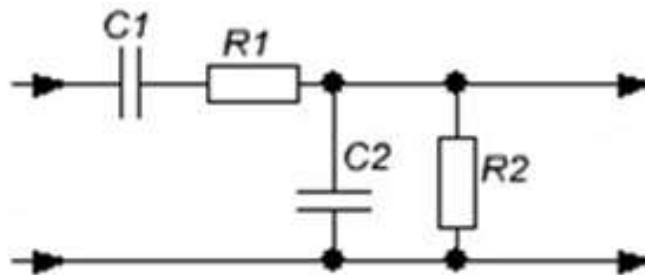


Рисунок 3.1 – Частотно-задаючий контур або «міст Віна»

Ємності $C1$ та $C2$ – це здвоєна ємність датчика, а $R1$ і $R2$ – додаткові елементи фільтрів, які разом з ємностями формують контур.

При піднесенні металевих предметів до чутливої області датчика, його ємність дещо змінюється. Загалом, у нормальному режимі, АЧХ ФНЧ та ФВЧ показано на рисунку 3.2.

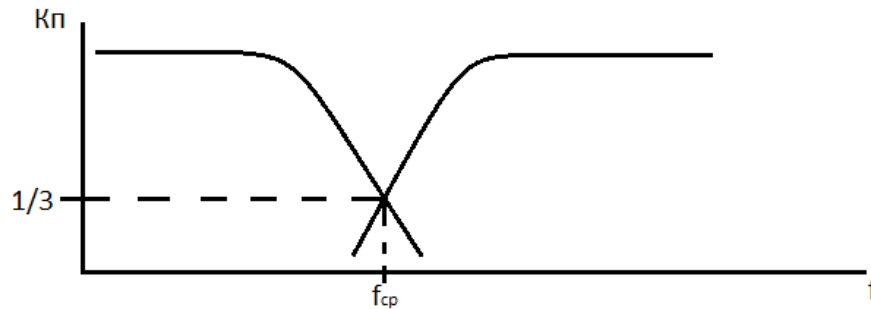


Рисунок 3.2 – АЧХ ФВЧ та ФНЧ при повній рівності номіналів елементів

Як відомо, при збільшенні ємності, частота зрізу фільтрів знижується (в такому випадку характеристика на рисунку 3.2, буде дрейфувати ліворуч, зберігаючи свою форму). Якщо зміна ємностей ФНЧ і ФВЧ, буде значно відрізняться, то це призведе до дрейфування АЧХ кожного з фільтрів з різною «швидкістю», що призведе, або до появи провалу між двома АЧХ (тобто K_p буде зменшуватися), і як наслідок – призведе до зриву генерції, внаслідок зменшення коефіцієнта передачі частото-задаючого контура, або до взаємного перекриття двох АЧХ, що призведе до збільшення рівня нелінійних спотворень, внаслідок того, що K_p на «псевдорезонансній частоті» збільшиться (буде більшим за $1/3$), а на сусідніх частотах, K_p буде або рівним $1/3$, або трохи більшим, що означає, що при $K_y = 3$, буде підсилюватися не лише необхідна нам частота, але й сусідні частоти.

Підсилювач будуватимемо за класичною схемою неінвертуючого підсилювача на ОП. Коефіцієнт підсилення ОП задається зовнішніми резисторами, які ввімкнено в коло від'ємного зворотнього зв'язку (ВЗЗ).

Необхідною умовою роботи ОП є створення двополярної схеми живлення для ОП. В даному проекті застосовувався 19-вольтовий блок живлення, який допрацьовано з метою створення віртуальної середньої точки (імітації двополярного живлення).

Останньою ланкою перетворювача є схема автоматичного регулювання підсилення, адже схема має працювати в певному діапазоні температур, бути стабільною впродовж тривалого часу роботи, мати найменшу залежність від технологічного розкиду використовуваних радіокомпонентів тощо.

Для побудови схеми АРП будемо виходити із міркувань, що підсилення задається схемою ВЗЗ. Таким чином необхідно розробити схему, яка в залежності від амплітуди вихідного сигналу буде змінювати параметри ланки ВЗЗ.

Підсумовуючи все вище сказане, за основу було взято наступну схему (рис. 3.3).

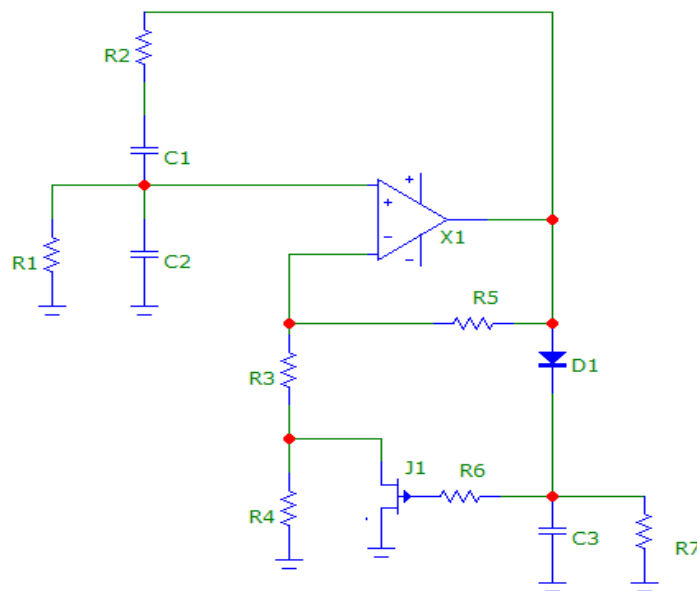


Рисунок 3.3 – Принципова схема частотно-ємнісного перетворювача

Розглядаючи більш детально схему, бачимо, що операційний підсилювач ввімкнений посеред діагоналей моста, тобто якщо ввести деякі припущення і трохи спростити схему для кращого розуміння отримаємо наступну схему (рис. 3.4).

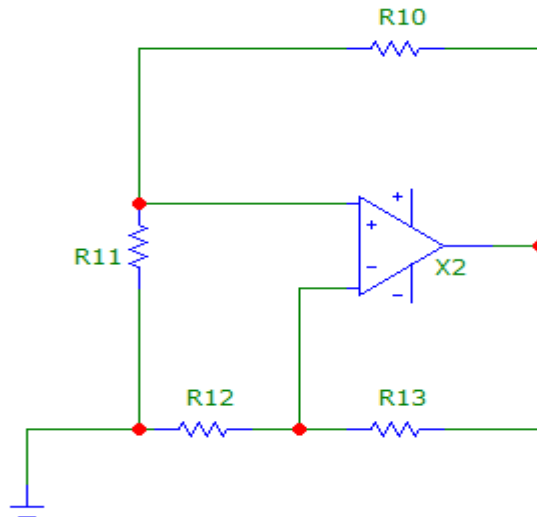


Рисунок 3.4 – Спрощений варіант схеми «моста Віна»

Резистори R10, R11 – еквівалентний опір ФВЧ, та ФНЧ відповідно. Внаслідок різних схем включення елементів (для ФВЧ – послідовне з'єднання ємності та опору, а для ФНЧ – паралельне), отримуємо різний опір, за однакових номіналів елементів, що скасується на коефіцієнті передачі контура загалом і при 100-відсотковій збалансованості елементів, отримуємо сигнал на рівні $1/3 U_{\text{вих}}$.

Друга частина моста – R12, R13 – являє собою схему зворотного зв'язку, і задає коефіцієнт підсилення. Згідно ф.2.1 та ф.2.2, для виникнення незатухаючих коливань, необхідно виконання двох умов – балансу фаз, та балансу амплітуд.

Отже, як було згадано вище, коефіцієнт передачі схеми ЗЗ має бути рівним $K_{\text{ЗЗ}} = 1 / 3$, тоді $K_{\text{П}}$:

$$K_{зз} * K_{п} = 1,$$

$$K_{п} = 1 / 1 / 3 = 3.$$

Але в процесі роботи, можуть змінюватися умови експлуатації, що призведе до зміни параметрів елементів, і як наслідок – до розбалансу моста. Зміна параметрів елементів може призвести або до підвищення нелінійних спотворень, або до зриву генерації. Обидва варіанти неприпустимі, і для недопущення цього нам необхідно змінювати коефіцієнт підсилення відповідно до зміни параметрів елементів. Можливий варіант реалізації такої схеми наведено на рисунку 3.3.

Так вихідний сигнал, проходячи крізь пік-детектор, прикладається до «регульованого опору» – польового транзистора, який відповідно відкривається та закривається, змінюючи свій опір – витік-стік. Внаслідок паралельного увімкнення з резистором R4 (рис. 3.3, або R12 для рис. 3.4), отримали можливість автоматичного підстроювання коефіцієнту підсилення.

Якщо з будь-яких причин, генерація почне перериватися (амплітуда почне затухати), це відразу «почує» пік-детектор. Амплітуда сигналу зменшиться на виході пік-детектора, транзистор, почне відкриватися, опір його каналу зменшиться, і опір R12 на рисунку 3.4 зменшиться, адже паралельно до нього вмикається опір витік-стік. Далі ці зміни відчує схема зворотнього зв'язку, коефіцієнт підсилення збільшиться, бо коефіцієнт передачі схеми ЗЗ зменшився, генерація перестане затухати і стабілізується на певному рівні.

3.2 Розрахунок елементів «моста Віна»

Розрахунок схеми моста Віна, слід почати з вибору необхідного ОП, та розрахункої частоти генератора. Високі частоти не потрібні, і тому задамося

частотою генератора 3 кГц. ОП був вибраний виходячи із наявних, повністю задовольняє умовам даної задачі, і має характеристики наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики ОП – КР574УД1Б

Параметр	Значення
Напруга живлення	$\pm 13.5 \dots \pm 16.5$ В
Струм споживання	< 11 мА
Максимальна вихідна напруга, ($R_n > 2$ кОм, $U_{вх} = 100 \dots 150$ мВ)	10 В
Коефіцієнт підсилення за напругою	> 20000
Швидкість зростання вихідної напруги	> 50 В/мкс
Частота одиничного підсилення	> 10 МГц
Діапазон температур	$-45 \dots +75$ °С

Розрахуємо частоту зрізу ФНЧ для моста Віна:

$$f_{\text{фнч}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}, \quad (3.1)$$

де C – одна з ємностей датчика, Ф;

R – опір резистора ФНЧ, Ом.

З ф.3.1 визначимо необхідний опір резистора ФНЧ:

$$R_{\text{фнч}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}, \quad (3.2)$$

$$R_{\text{фнч}} = 1 / (2 \cdot 3.14 \cdot 3000 \cdot 520 \cdot 10^{-12}) = 102074 \text{ Ом (Приймаємо } 100 \text{ кОм)}.$$

За умовами початкової генерації, необхідно щоб, ємності (окремо) та резистори (окремо), мали найменший технологічний розкид та однакові номінали.

Отже, номінали резисторів фільтрів:

$$R_{\text{фнч}} = R_{\text{фвч}} = 100 \text{ кОм}.$$

Скорегуємо частоту генератора, для подальшого розрахунку:

$$f_{\text{фнч}} = 1 / (2 * 3,14 * 10^5 * 520 * 10^{-12}) = 3062 \text{ Гц.}$$

Перевіряємо коефіцієнт передачі контуру, наведеного на рисунку 3.5.

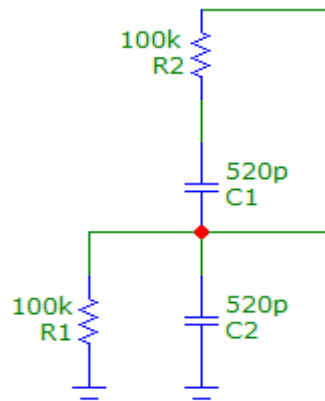


Рисунок 3.5 – Фрагмент схеми генератора

Опір ФНЧ – це еквівалентний опір R11 (рис. 3.4).

$$Z_{\text{фнч}} = \frac{1}{R_{\text{фнч}}} + \frac{1}{\frac{1}{\omega * C}}, \quad (3.3)$$

де ω – циклічна частота, 1/рад.

Модуль опору ФНЧ розрахуємо за наступним виразом:

$$|Z_{\text{фнч}}| = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_{\text{фнч}}}\right)^2 + (\omega * C)^2}}, \quad (3.4)$$

$$|Z_{\text{фнч}}| = 1 / [(1 / 10^5)^2 + (2 * \pi * 3062 * 520 * 10^{-12})^2]^{0.5} = 70713 \text{ Ом.}$$

Опір ФВЧ – це еквівалентний опір R10 (рис. 3.4).

$$Z_{\text{ФВЧ}} = R_{\text{ФВЧ}} + \frac{1}{\omega * C} . \quad (3.5)$$

Модуль опору ФВЧ розрахуємо за наступним виразом:

$$| Z_{\text{ФВЧ}} | = \sqrt{R_{\text{ФВЧ}}^2 + \frac{1}{(\omega * C)^2}} , \quad (3.6)$$

$$| Z_{\text{ФВЧ}} | = [(10^5)^2 + (1 / (2 * \pi * 3062 * 520 * 10^{-12}))^2]^{0.5} = 141426 \text{ Ом}.$$

Співвідношення опорів ФВЧ та ФНЧ :

$$| Z_{\text{ФВЧ}} | / | Z_{\text{ФНЧ}} | = 2.$$

Отже отримали контур, який складається з ФВЧ, та ФНЧ, і має коефіцієнт передачі 1/3, що показано на рисунку 3.6.

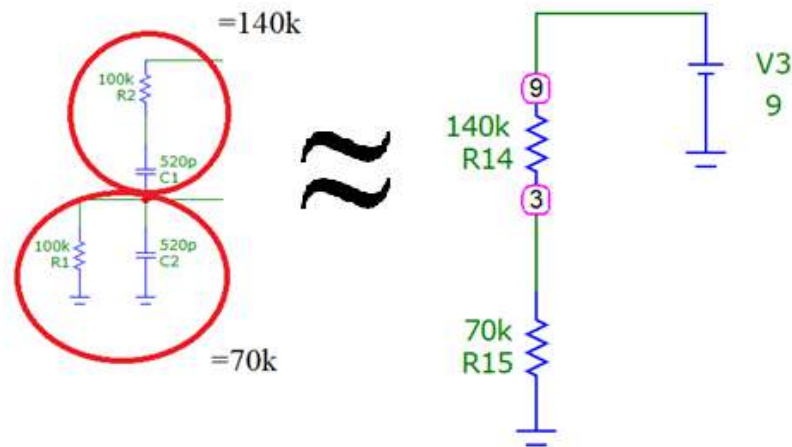


Рисунок 3.6 – Умовне спрощення частотно-задаючого контур

Тепер, використовуючи схеми на рисунку 2.1, або рисунок 3.3, чи рисунок 3.4, розрахуємо контур зворотнього зв'язку. Так як, саме цим контуром, у схемі неінвертуючого підсилювача на ОП, задається коефіцієнт

підсилення, то спочатку запишемо відому формулу коефіцієнта підсилення схеми неінвертуючого ОП [2].

$$K_{\pi} = \frac{R_2}{R_1} + 1, \quad (3.7)$$

де R_2, R_1 – резистори зворотнього зв'язку, або R_{13}, R_{12} (згідно рис. 3.4), Ом.

Як було сказано вище, коефіцієнт підсилення має бути рівним 3, для забезпечення генерації незатухаючих коливань, а отже:

$$K_{\pi} = 3 = (R_{13} / R_{12}) + 1,$$

що означає, що відношення резисторів зворотнього зв'язку $R_{13} / R_{12} = 2$.

Резистори для схеми зворотнього зв'язку рекомендовано обирати у діапазоні 2-100 кОм. Вибір в сторону великих значень опору слід робити у разі великих значень K_{π} , і вони не будуть значно паралелити навантаження. Але в той же час, слід пам'ятати, що збільшення опорів, призводить до збільшення чутливості до різного роду наводок, і за певних значень, вхідній струм зміщення може суттєво вплинути на вихідний сигнал. Вибір замалих значень опорів, може призвести до шунтування навантаження, що знову таки вплине на вихідний сигнал [2]. Так як в даній схемі коефіцієнт підсилення невеликий і складає $K_{\pi} = 3$, то задамося номіналами елементів резисторів порядку 10 кОм. Нехай $R_{13} = 14\text{кОм}$ (зі стандартного ряду E48), тоді R_{12} :

$$R_{12} = R_{13} / 2 = 7\text{ кОм (6.81кОм ряд E48)}.$$

Готова схема генератора, з розрахованими номіналами елементів, наведена на рисунку 3.7.

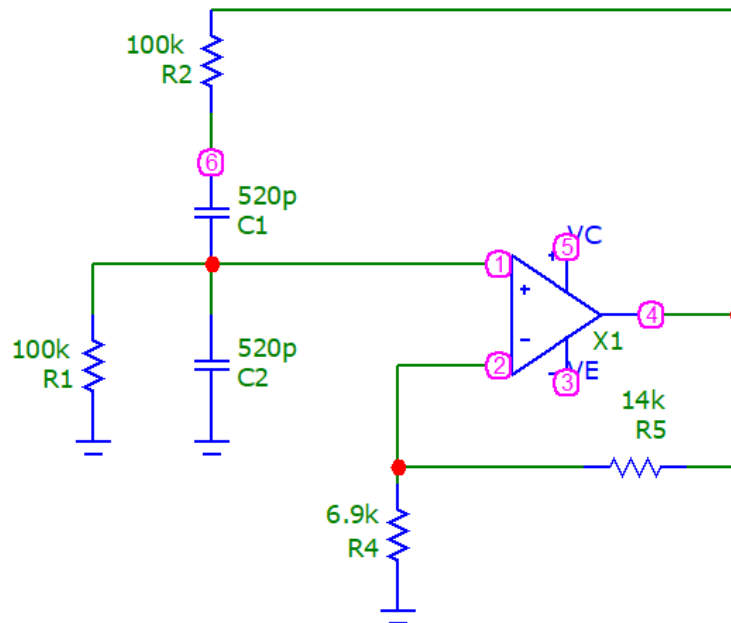


Рисунок 3.7 – Генератор з мостом Віна на чітко налаштовану частоту

Аналіз сигналу у часовій області (у програмі MicroCap), наведено на рисунку 3.8, а на рисунку 3.9 – збільшене зображення верхівки сигналу, для зорової оцінки K_T .

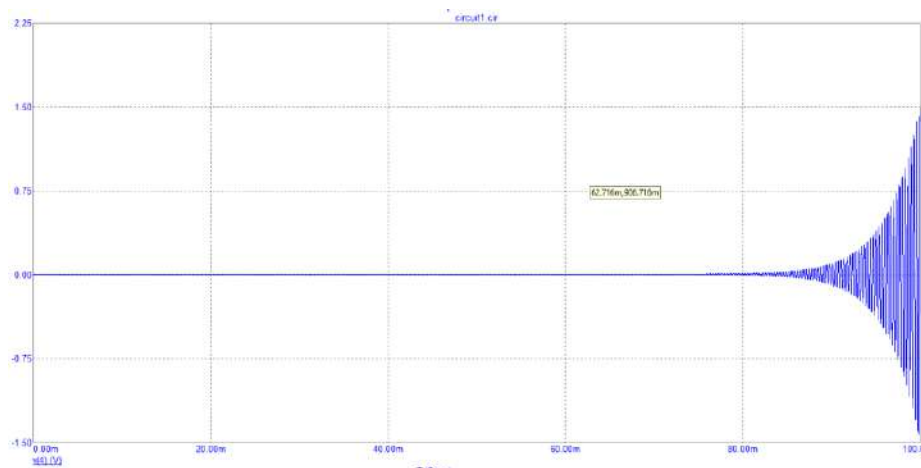


Рисунок 3.8 – Вихідний сигнал збалансованого генератора

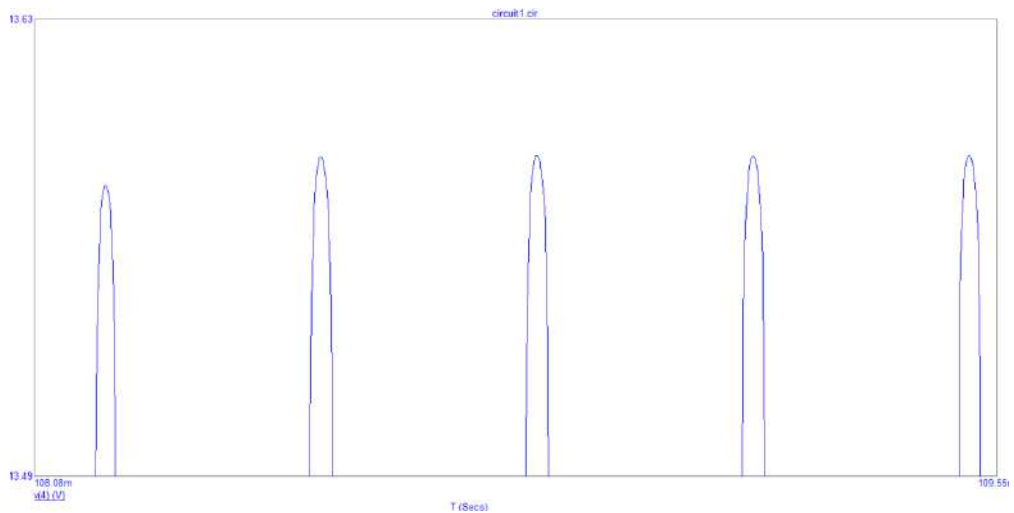


Рисунок 3.9 – Верхівка сигналу, що приблизно дозволяє оцінити рівень K_r

3.3 Розрахунок контуру АРП

Як показано на рисунку 3.3, контур АРП частково шунтує частину ланцюга ВЗЗ, а якщо точніше, то – вихідний сигнал з пікового детектора керує роботою польового транзистора, який в свою чергу шунтує частину ланцюга ВЗЗ. Для цього опір R12 (рис. 3.4) розділено на 2 частини, постійну (R3 на рис. 3.3) та змінну (R4 на рис. 3.3).

Польовий транзистор обрали – КП103К. Його основні характеристики наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики КП103К

Параметр	Значення
Структура	р-канал, з р-п переходом
Максимальна потужність, мВт	38
Напруга відсікання, В	1.4...4
Максимальна напруга витік-стік, В	10
Вхідна ємність, пФ	< 20 пФ

Задамося діапазоном коефіцієнтів підсилення, в якому буде працювати схема АРП, і відповідно це впливатиме на діапазон зміни номіналів елементів частотно-задаючого ланцюга:

$$K_{\pi} = 3 \dots 4.5.$$

Відповідно розрахуємо номінали R3, R4 (рис. 3.3). Максимальний коефіцієнт підсилення отримуємо у разі повного шунтування R4 (приймаємо його опір – 0 Ом), тоді з формули:

$$K_{\pi} = R5 / (R3 + R4) + 1,$$

$$K_{\pi} = (R5 / R3) + 1,$$

$$R3 = 1 / [(K_{\pi} - 1) / R5] = 4 \text{ кОм}.$$

Якщо загальний опір R4 (рис. 3.7) складає 6.9 кОм, тоді номінали R3, та R4 (на рис. 3.3) розподіляться наступним чином:

$$R3 = 4 \text{ кОм (приймаємо 3.9 кОм з ряду E24),}$$

$$R4 = 6.9 - 3.9 = 3 \text{ кОм (стандартне значення з ряду E24).}$$

Для обраного діапазону коефіцієнтів підсилення схеми АРП, задовольняємий технологічний розкид номіналів резисторів складає $\approx 1.5\text{-}2\%$ (або можна використати 5% резистори, але попередньо підібрати найближчі номінали). Якщо ж, обрати більшим діапазон коефіцієнтів підсилення, то можливо отримати менш чутливу, до технологічного розкиду елементів, схему.

В затвор польового транзистора ввімкнуто резистор «малого» номіналу (470 Ом). Він необхідний для мінімізації ефекту виникнення високочастотних коливань, при перемикання польового транзистору (зазвичай використовується в ключовому увімкненні, та його номінал не перевищує кількох кОм).

Для аналізу контуру АРП, необхідно дослідити властивості польового транзистора, що наведено на рисунках 3.10 та 3.11.

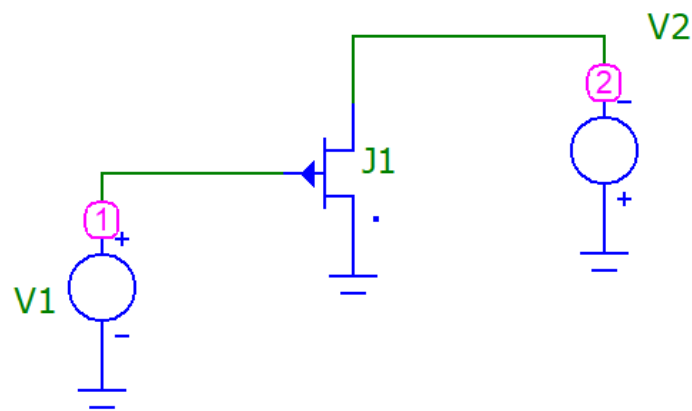


Рисунок 3.10 – Схема дослідження характеристик польового транзистора

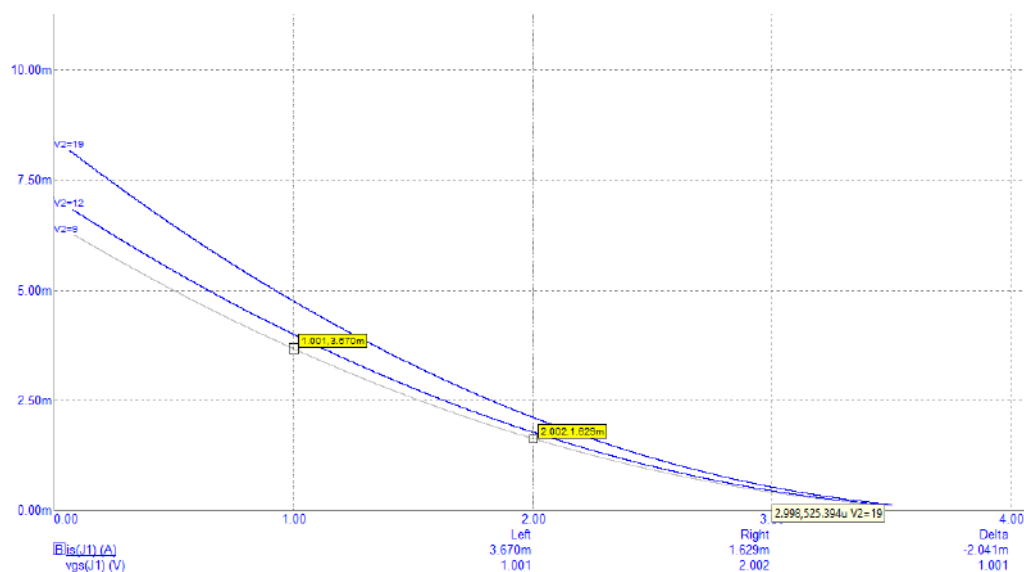


Рисунок 3.11 – Витоко-затворна характеристика польового транзистора

Як бачимо, моделювання показує дуже близькі значення напруги відсікання транзистора, відповідно до характеристик КП103К (транзистор повністю закривається при потенціалі затвору $U_{зв} > 3.5 \text{ В}$).

За основу схеми пікового детектора взята найпростіша класична схема (рис. 3.12), з додатковим резистором, для розряду ємності пік-детектора.

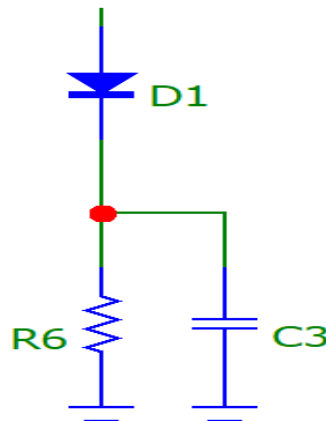


Рисунок 3.12 – Схема пікового детектора

Постійна часу ФНЧ, в колі пікового детектора має бути значною, аби на частоті генерації не було «помітно» нелінійність польового транзистора. Так якщо постійна часу пікового детектора буде меншою за період коливання генератора, то отримаємо нелінійні спотворення (рис. 3.13).

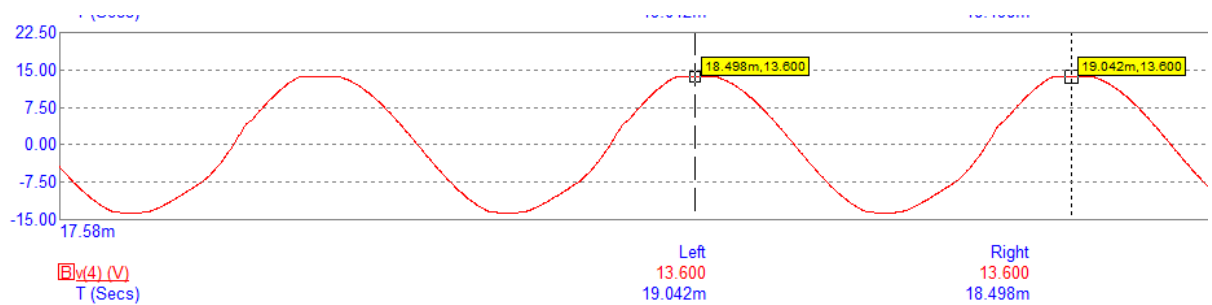


Рисунок 3.13 – Нелінійні спотворення внаслідок малого значення сталої часу елементів пікового детектора

В даному випадку, аналіз проводився при номіналах $R = 1\text{МОм}$, $C = 300\text{пФ}$. Відповідно, як бачимо з графіка, період коливання генератора складає – 1838 Гц, а постійна часу пік детектора – 0.3мс (що інтерпретуємо як частоту – 3333 Гц). Отже, як бачимо, ємність пікового детектора, а точніше, постійна часу пікового детектора має бути на порядок вище за період коливання генератора, але занадто висока ємність не дає ніяких переваг, і навіть більш того, за значного збільшення ємності було отримано збільшення рівень нелінійних спотворень внаслідок значної сталої часу, що не дозволяє вчасно зарядити конденсатор до необхідного потенціала, і транзистор певний час може працювати у частині «визначиної для нього області» (а не у всій області), що підвищить рівень нелінійних спотворень, поки конденсатор не зарядиться. Тому вибір елементів пікового детектора проведемо з наступних міркувань:

- обмежимося діапазоном перестроювання частоти генератора у межах 2кГц...4кГц, що відповідно задається певними значеннями зміни ємностей датчика;
- відповідна ємність пікового детектора має бути в діапазоні 500пФ...10мкФ;
- відповідно до цього постійну часу обираємо за найменшою частотою так, щоб вона відповідала умові:

$$\tau_{\text{п.д.}} \gg T_{\text{ген.}} \quad (3.1)$$

Отже, обираємо сталу часу $\tau_{\text{п.д.}} = 1\text{ с}$. Ємність обрали з наявних – $C_{\text{п.д.}} = 1\text{ мкФ}$. Тоді номінал резистора пікового детектора можна визначити:

$$R_{\text{п.д.}} = \tau_{\text{п.д.}} / C_{\text{п.д.}} \quad (3.2)$$

$$R_{\text{п.д.}} = 1 / 0.000001 = 1\text{ МОм.}$$

Діод підбирається відповідно до вибраного польового транзистора (виходячи із характеристик напруги відсікання), а також амплітуди вихідного сигналу. Так, якщо амплітуда вихідного сигналу мала, а напруга відсікання польового транзистору менша ніж у КП103К, тоді краще спробувати використати діод Шоттки, бо на такому діоді спадає менше напруги, і відповідно діапазон роботи польового транзистора (рис. 3.11) буде захоплено у більшій мірі (у тому випадку, якщо необхідний саме такий діапазон!). В нашому випадку кращим варіантом виявився звичайний випрямний діод загального призначення – 1N4007.

Повністю закінчений варіант схеми наведено на рисунку 3.14.

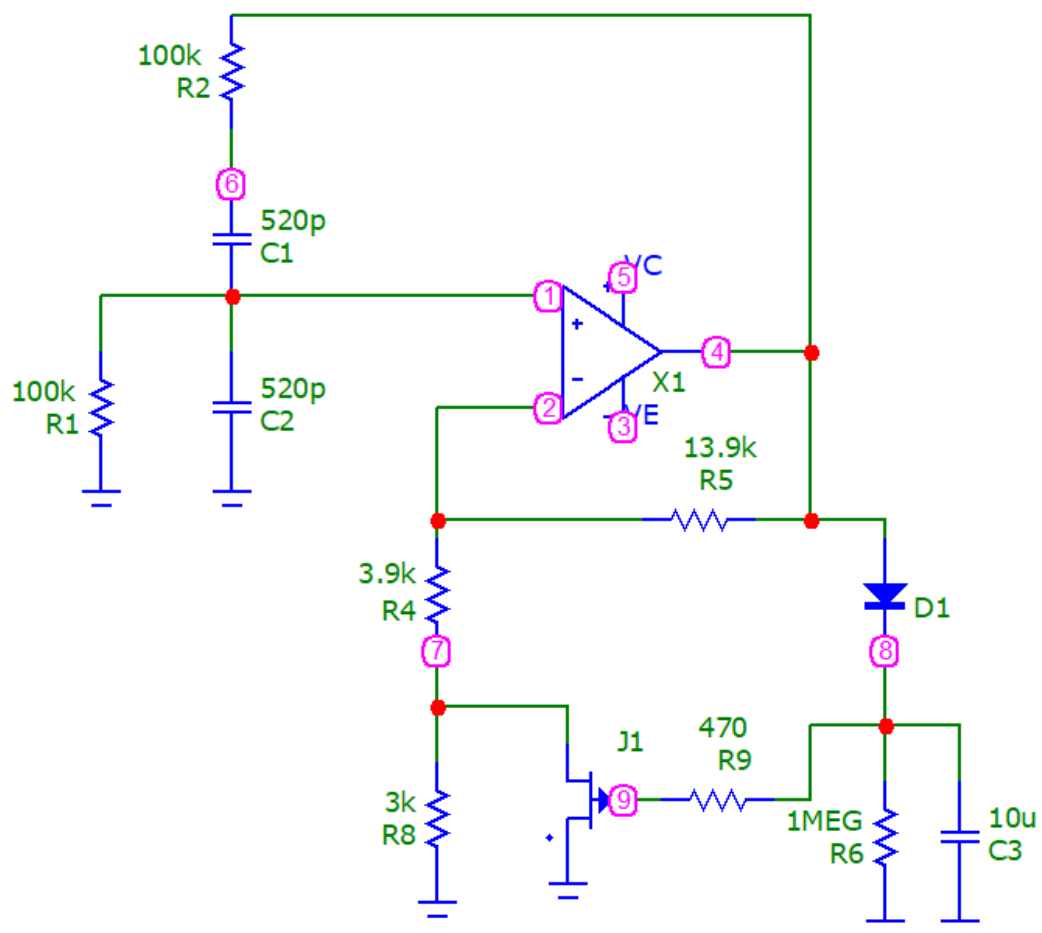


Рисунок 3.14 – Остаточний варіант схеми пристрою

3.4 Аналіз температурної стабільності

В ході перших експериментів виявилося, що схема в деяких випадках втрачала стабільність та починала генерацію на частотах, які вказували на RC-контур пікового детектора (конденсатор не встигав заряджатися (бо «повний» заряд він отримує за час $t \approx 3 \cdot \tau$), і тому частота генерації була дещо вища за значення $1 / \tau_{п.д.}$). Було проведено декілька дослідів, та експериментально встановлено, що схема працює стабільно при збільшенні T до $\approx 50^\circ\text{C}$ (елементи точково, по одному, нагрівалися за допомогою паяльника, а також схема загалом – за допомогою паяльного фену).

Експеримент на охолодження дав певні результати, але лише за певних значень номіналів пікового детектора. Так наприклад при $R_{п.д.} = 100 \text{ кОм} \dots 500 \text{ кОм}$ (при $C = 1 \text{ мкФ}$) отримували подібні сигнали, як на рисунку 3.15. Така робота пояснюється зміною режиму роботи польового транзистора, внаслідок його охолодження менше певних температур (охолодження проводилося за допомогою льоду, який через теплопровідний матеріал торкався елементів). Тому для вирішення цієї проблеми збільшили сталу часу, що дозволяє хоча й не зовсім, але частково нівелювати температурну нестабільність (рис. 3.16).

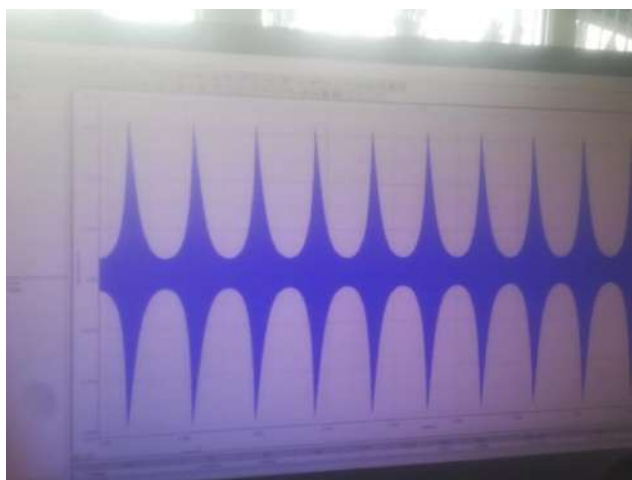


Рисунок 3.15 – Прояв нетермостабільності схеми

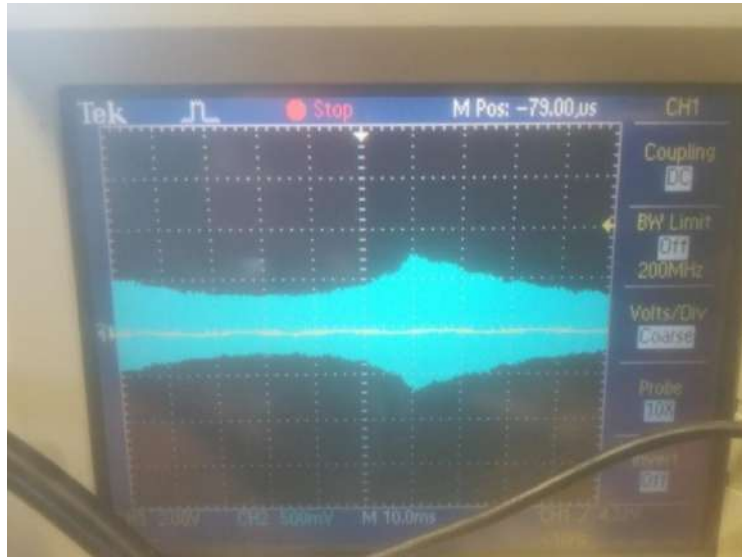


Рисунок 3.16 – Змінна амплітуда обвідної внаслідок зміни режиму роботи польового транзистору (температурна нестабільність)

4 МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ У ПРОГРАМІ MICROCAP 12

4.1 Аналіз схеми за постійним струмом

Моделювання схеми проводили у програмі MicroCap 12. На рисунку 4.1 наведено результат моделювання роботи схеми за постійни струмом, з позначенням потенціалів вузлів, а на рисунку 4.2 – наведено струми гілок.

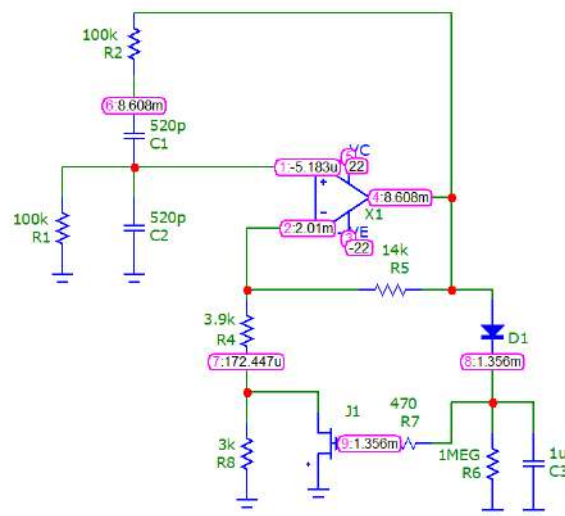


Рисунок 4.1 – Режим роботи за постійним струмом (потенціали вузлів)

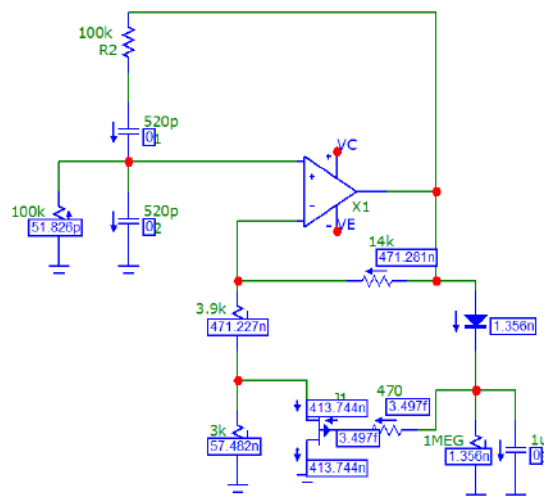


Рисунок 4.2 – Режим роботи за постійним струмом (струми гілок)

4.2 Аналіз перехідних процесів в основних вузлах схеми

На рисунку 4.3, на верхньому графіку, наведено сигнал у вузлі «1» (неінвертуючий вхід ОП, та місце його з'єднання з загальною точкою ФНЧ та ФВЧ). Як бачимо, за 10 мс, сигнал схеми виходить у стабільний режим роботи, і ми отримали незатухаючі коливання амплітудою 4.67 В. Частота «синусу» складає приблизно 3 кГц. Більш детально сигнал показано на рисунку 4.4. Як бачимо отримали досить «чистий» сигнал.

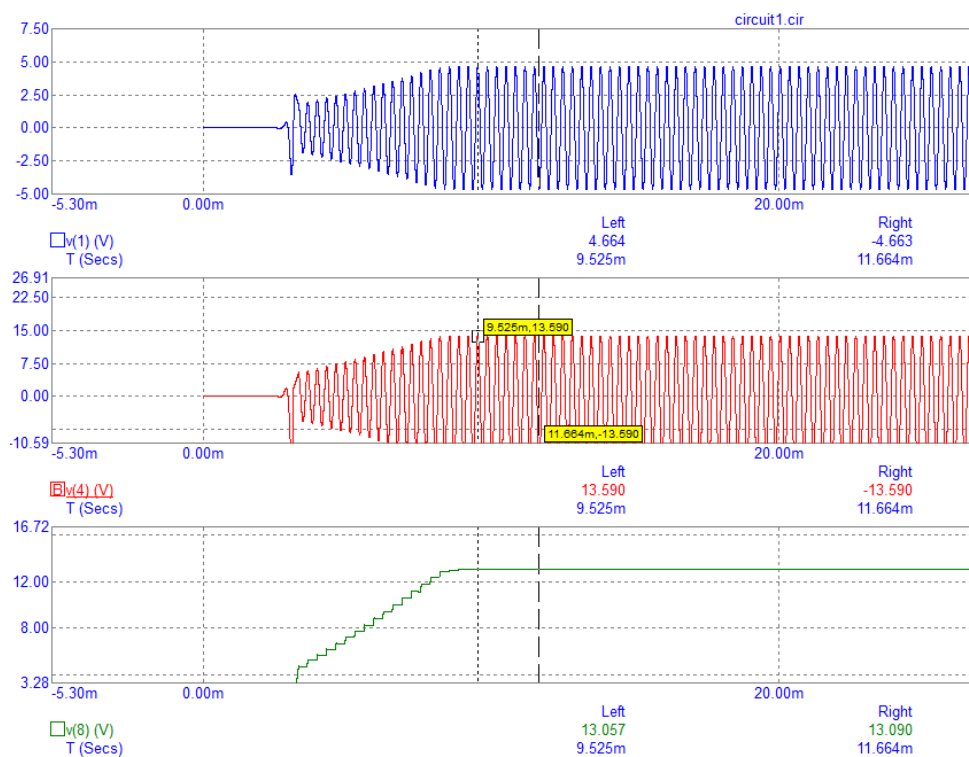


Рисунок 4.3 – Аналіз схеми у часовій області

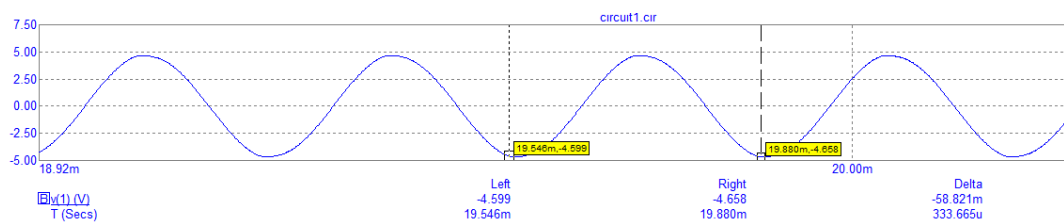


Рисунок 4.4 – Сигнал на неінвертуючому вході ОП

На другому графіку (на рис. 4.3) – показано вихідний сигнал схеми. Амплітуда сигналу становить – 13.59 В. Частота сигналу – приблизно 3.03 кГц. Більш детально сигнал показано на рисунку 4.5. Як видно з графіку, у сигналу трохи «сплющено» верхівку та нижню частину, що каже про наявність нелінійних спотворень. Але це усувається більш точним підбором елементів, а на макеті регулюється підстроюваними елементами.

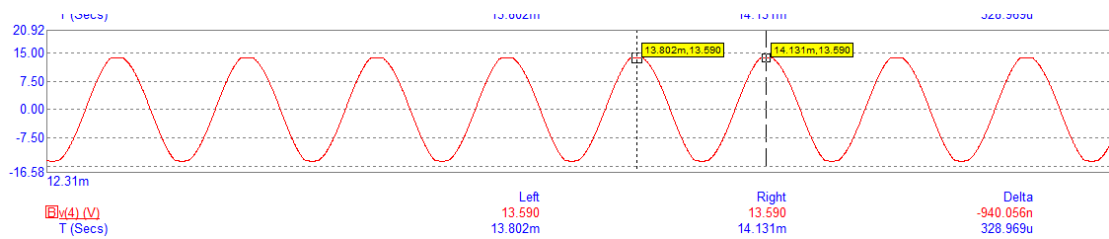


Рисунок 4.5 – Сигнал на виході схеми ($R_{331} = 14\text{к}$)

На рисунку 4.6 показано сигнал з дещо меншим рівнем нелінійних спотворень, що досягли зміною одного з резисторів ВЗЗ з 14к на 13.9к.

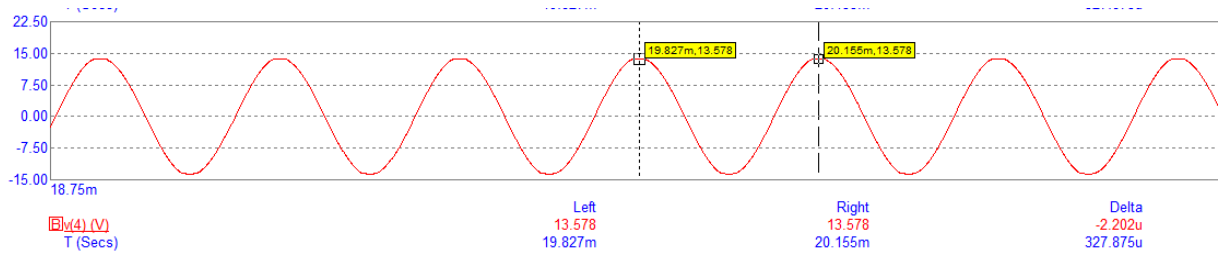


Рисунок 4.6 – Сигнал на виході схеми ($R_{331} = 13.9\text{к}$)

На останньому графіку (на рис. 4.3) – показано сигнал на виході пікового детектора. Сигнал потрохи зростає, і приблизно в час 10 мс (коли коливання виходять на певний рівень і стабілізуються), сигнал досягає рівня повного закриття польового транзистора, і надалі збільшення підсилення не відбувається.

4.3 Аналіз впливу технологічного розкиду елементів на роботу схеми

Як показано на рисунку 4.7 – зміна першого, другого, чи водночас обох резисторів ВЗЗ, призводить до виникнення затухаючих коливань. Схема АРП відпрацьовує, але вона налаштована на інший режим роботи, і тому не може забезпечити необхідне регулювання.

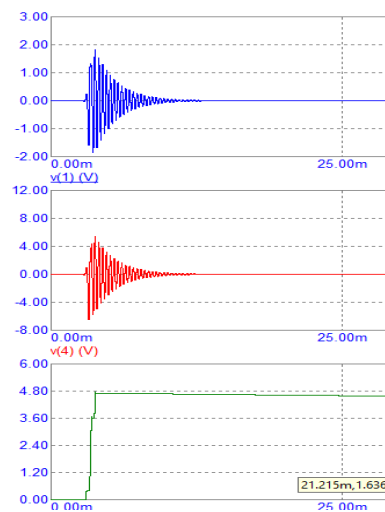


Рисунок 4.7 – Сигнали у вузлах схеми при суттєвій зміні номіналів елементів зворотнього зв'язку

При зміні номіналів елементів ФНЧ на 3% (випадок зменшення опору), або ФВЧ (випадок збільшення опору), отримуємо затухаючі коливання, що каже про те, що такий технологічний розкид занадто великий, і АЧХ фільтрів значно «зсунулися» до критичних значень, при яких схема АРП не може забезпечити необхідний рівень підсилення. Такий сигнал показано на рисунку 4.8.

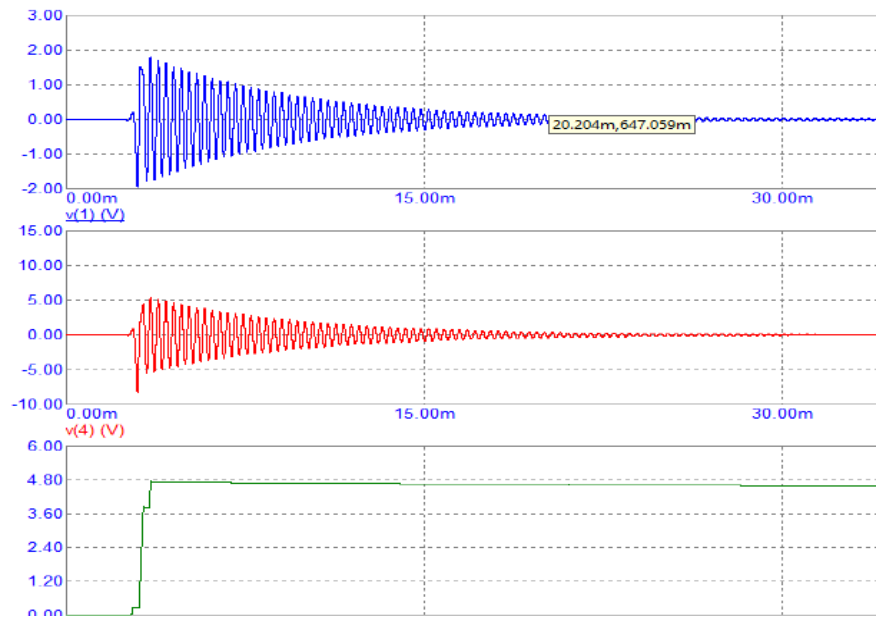


Рисунок 4.8 – Сигнал при зміні номінала резисторів ФНЧ та ФВЧ на 3%

Якщо будемо змінювати номінали резисторів фільтрів навпаки (ФНЧ – збільшувати опір, а у ФВЧ – зменшувати), то отримаємо незатухаючі коливання, але зі значним рівнем нелінійних спотворень, як показано на рисунку 4.9, що зазвичай – погано. А отже, слід якомога точніше підібрати номінали елементів, з найкращим температурним коефіцієнтом опору, що зробить схему стабільнішою.

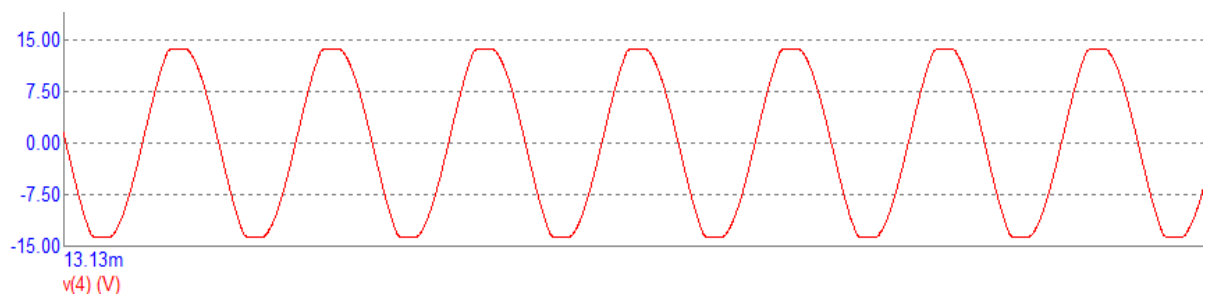


Рисунок 4.9 – Сигнал при зміні номіналів резисторів ФНЧ та ФВЧ на 3% («зворотня» зміна)

4.4 Аналіз схеми при зміні ємності датчика

Ємність яку вносить роторна лопатка, обертаючись – невідома. Одночасна зміна (синхронна зміна обох ємностей на однакову величину) ємності датчика в діапазоні від 460 пФ до 600 пФ (проти номінальних 520 пФ), показала, що сигнал в усіх цих випадках має низький рівень нелінійних спотворень, що показано на рисунку 4.10. При 460 пФ, частота генератора складає – 3448 Гц, при 520 пФ – 3048 Гц (що дуже близько відповідає розрахунковим – 3063 Гц), а при 600 пФ – частота склала – 2638 Гц.

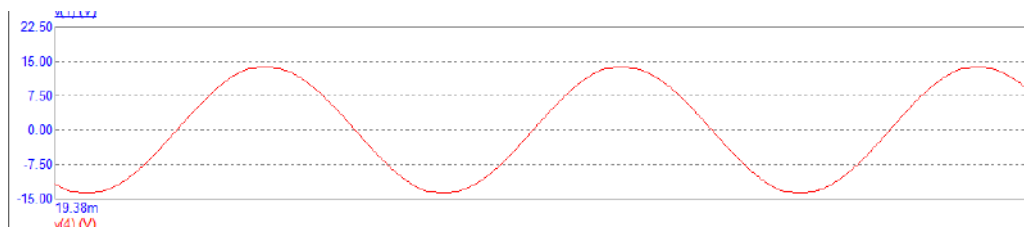


Рисунок 4.10 – Сигнал при синхронній зміні ємностей чутливого елементу

Якщо ємності змінюються несинхронно, тоді при зменшенні ємності ФВЧ, або збільшенні ємності ФНЧ – отримуємо затухаючі коливання. Якщо ж ємності змінюються «зворотньо» – то отримуємо незатухаючі коливання, але з «видимими» оком нелінійними спотвореннями (рис. 4.11).

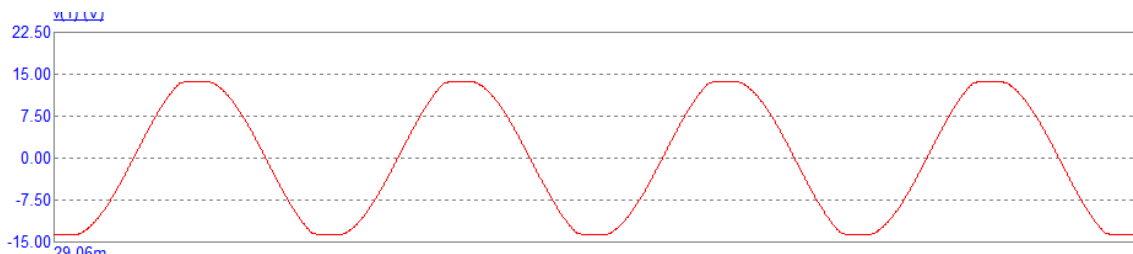


Рисунок 4.11 – Нелінійні спотворення внаслідок неодноразової, несинхронної зміни ємності

5 МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА СИГНАЛУ

5.1 Алгоритм дослідження сигналу

Отриманий пристрій, дозволяє отримати коливання, частота яких залежить від миттєвої ємності датчика. Змінюючи ємність – змінюємо частоту генерації частотно-ємнісного перетворювача. Отриманий модульований сигнал необхідно записати для подальшого аналізу і обробки. Для цього використовується іноземне обладнання НВП «Мера» МІС-300.

МІС-300 це вимірювальний комплекс, який дозволяє оцифровувати сигнали з 20 каналів, з частотою дискретизації до 216 кГц. Частота створеного генератора приблизно складає 3 кГц.

Тобто, навіть якщо власна частота коливань роторних лопаток виявиться високою (більшою за 10 кГц), то всеодно за період одного коливання генератора, отримаємо послідовність миттєвих змін фаз, що можна буде інтерпретувати як власну частоту коливань роторних лопаток.

Якщо лопатка проходить повз чутливий елемент (ємнісний датчик), тоді вона починає змінювати ємність (сигнал на рис. 1.5), і відповідно частоту генерації. В той самий час, лопатка «коливається» з власною частотою, і ці коливання накладаються на основний сигнал, як показано на рисунку 1.6.

Дослідження проводилося з імітацією коливань роторних лопаток. Замість лопаток використовували металевий паралелепіпед з розмірами 4мм х 10мм х 60 мм, який проводили повз ємнісний датчик. За допомогою вимірювального комплексу МІС-300 оцифрували сигнал. Формат файлу «.mera» спеціальний для програмного забезпечення WinПОС, яке також використовується при аналізі і дослідженні сигналів (але MATLAB дозволяє самостійно вибрати, і редагувати алгоритм обробки, на відміну від реалізованих у програмному забезпеченні WinПОС). Відкривши сигнал у WinПОС, є можливість Perezберегти сигнал у текстовий файл, який

складається з відліків сигналу, що й було зроблено. Тепер сигнал можливо завантажити для обробки у MATLAB.

5.2 Алгоритм обробки сигналу

Програма складається з основних функцій, які використовують для обробки сигналу. Це перетворення Фур'є, автокореляційна функція (АКФ), фільтрація сигналу тощо. Докладніше про обробку сигналів, та алгоритми обробки наведено у [3, 4]. Лістинг програми не наводиться! Загальний алгоритм наведено на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 – Загальний алгоритм обробки сигналу

Перші строки програми підготовчі. Очищуємо пам'ять робочого простору MATLAB (набір усіх створених змінних та їх значень за час активного сеансу роботи) та завантажуюмо текстовий файл відліків сигналу за допомогою функції **load** рисунок 5.2.

```

1 - clear all;
2 - load Uvyh_30_09.txt
3 - wsl=Uvyh_30_09;
4 - file1='Uvyh_30_09';
5 - t01=num2str(file1);

```

Рисунок 5.2 – Початковий фрагмент програми обробки сигналу

Надалі задають частоту дискретизації, з якою оцифровувався сигнал, отримуємо кількість відліків сигналу за допомогою функції **length**. Задаємо час відліку сигналу, а також повний дискретний інтервал часу, на якому існує наш сигнал **T2**.

Розрахунок АКФ. Додавши до основного коду наступний код:

```

figure;
plot([-T2(end:-1:1) T2(1:end-1)],Rxx(1:end));

```

Отримаємо графік АКФ, який наведено на рисунку 5.3.

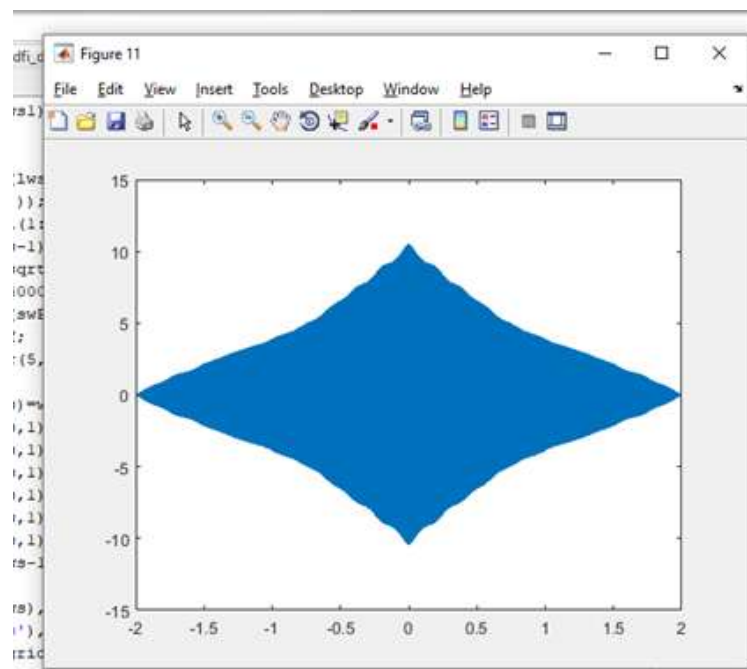


Рисунок 5.3 – АКФ досліджуваного сигналу

Додавши наступний код:

```
figure;  
plot(T2,swP(1:lws));
```

Отримаємо спектр сигналу, який наведено на рисунку 5.4.

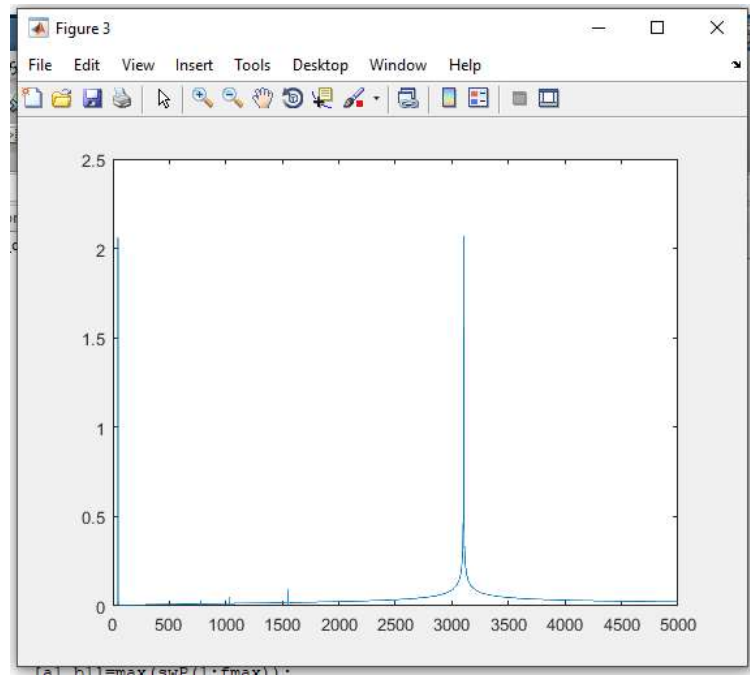
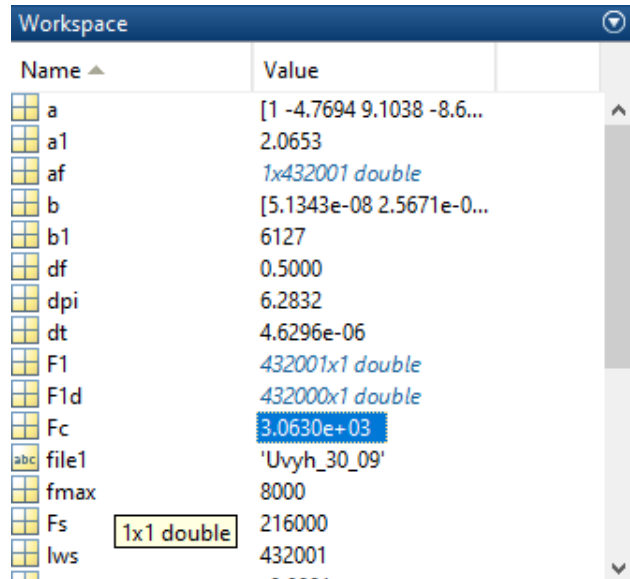


Рисунок 5.4 – Спектр сигналу

Спектр сигналу використовується для пошуку найбільшої частоти (рис. 5.5), яка в подальших розрахунках необхідна для розрахунку коефіцієнтів поліному для ФНЧ.

Наступним кроком є розрахунок ФНЧ, наприклад 5-го порядку, та фільтрація сигналу.



Name	Value
a	[1 -4.7694 9.1038 -8.6...
a1	2.0653
af	1x432001 double
b	[5.1343e-08 2.5671e-0...
b1	6127
df	0.5000
dpi	6.2832
dt	4.6296e-06
F1	432001x1 double
F1d	432000x1 double
Fc	3.0630e+03
file1	'Uvyh_30_09'
fmax	8000
Fs	216000
lws	432001

Рисунок 5.5 – Область робочого простору ($F_c = 3063$ Гц)

Отримуємо два квадратурні масиви з нашого сигналу (рис. 5.6).

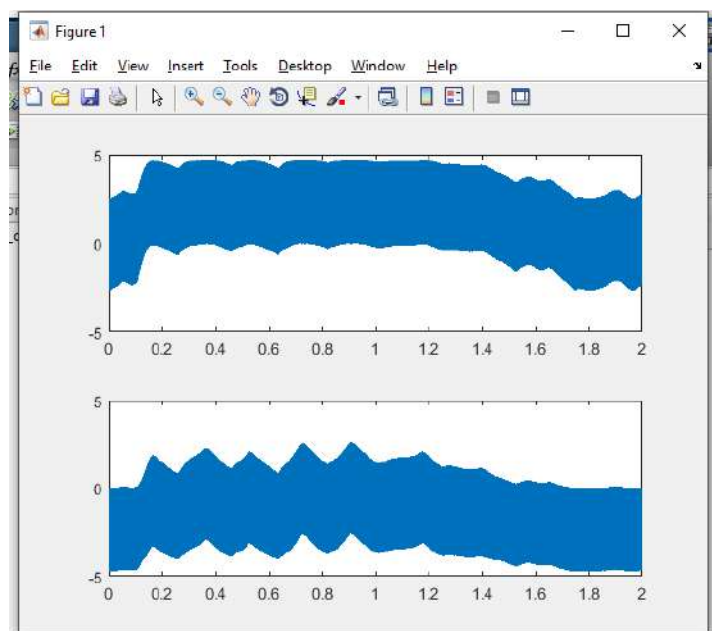


Рисунок 5.6 – Квадратурний сигнал

Фільтруємо сигнали (синтезуючи передавальну функцію за допомогою отриманих раніше коефіцієнтів полінома), та отримуємо сигнали (рис. 5.7).

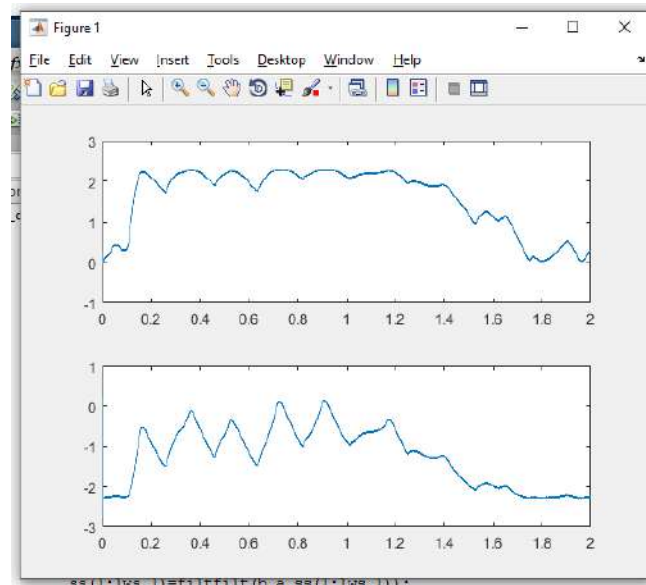


Рисунок 5.7 – Операція фільтрування попередніх сигналів

За допомогою функцій MATLAB поєднали вище наведені сигнали і отримали результуючий сигнал. Остаточно для оформлення виводу результуючого сигналу (рис. 5.8), використали функції налаштування зовнішнього вигляду графіку тощо.

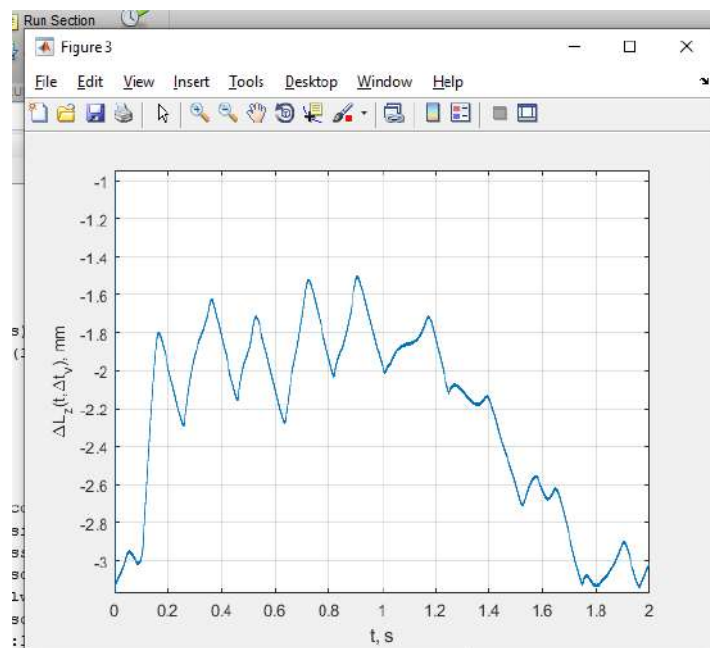


Рисунок 5.8 – Результуючий сигнал після обробки

На отриманому сигналі (рис. 5.9), бачимо декілька областей (1, 2, 3), які відповідають фізичному впливу металевого паралелепіпеда на чутливий елемент ємнісного датчика. Повз чутливий елемент проводили металевий паралелепіпед, з частотою декілька Гц (імітація коливань роторних лопаток, але з дуже малою частотою). Як бачимо, отримали трохи нерівномірні та нерівносторонні «трикутні сплески», внаслідок «ручного» проведення експерименту. Теоретично, при встановленні пристрою на тестувальний стенд, отриманий результат має бути ліпшим, адже двигун вийде на певний режим, і частота роторних лопаток стабілізується (а от підтримувати коливання з однаковою частотою, коливаючи бруском повз датчик дуже важко). Підрахувавши кількість цих «трикутних сплесків» (миттєві зміни фази), можна говорити про власну частоту роторних лопаток. Так, для сигналу на рисунку 5.9, частота «ручних» коливань склала приблизно 2 Гц.

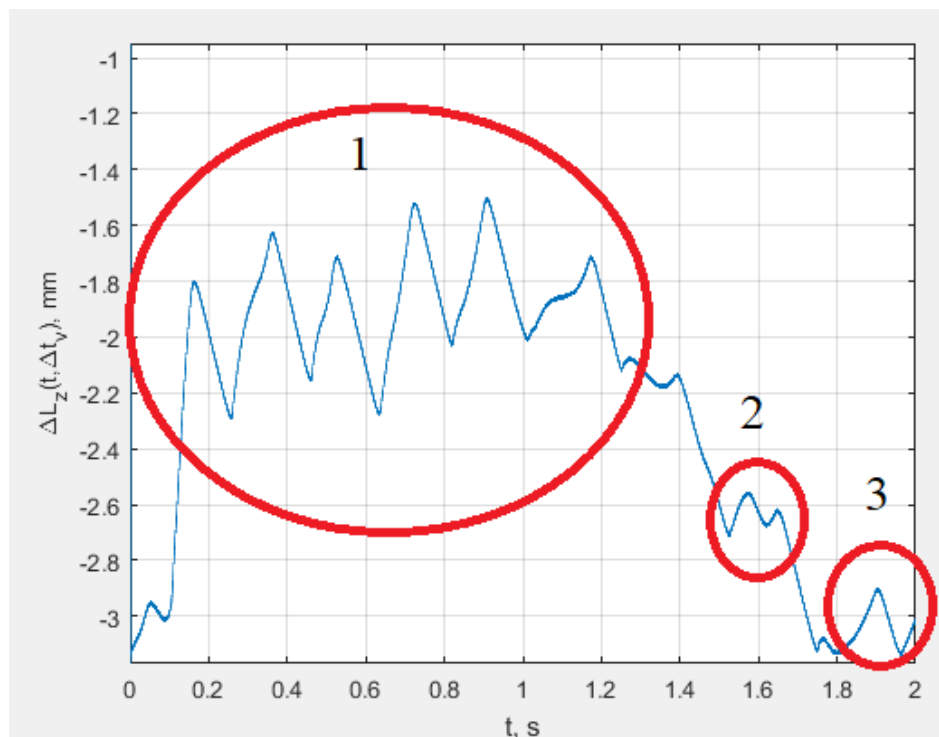


Рисунок 5.9 – Оброблений сигнал з областями впливу на чутливий елемент

6 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

6.1 Попередні варіанти схем

В даному підрозділі наведено результати створення макету двох автогенераторів разом з детектором обвідної. Результати макетування наведено на рисунках 6.1, 6.2, 6.3, 6.4.



Рисунок 6.1 – Макет одного з варіантів рішення задачі (вигляд зверху)



Рисунок 6.2 – Макет одного з варіантів рішення задачі (вигляд збоку)



Рисунок 6.3 – Виготовлений «рознім» для ємнісного датчика

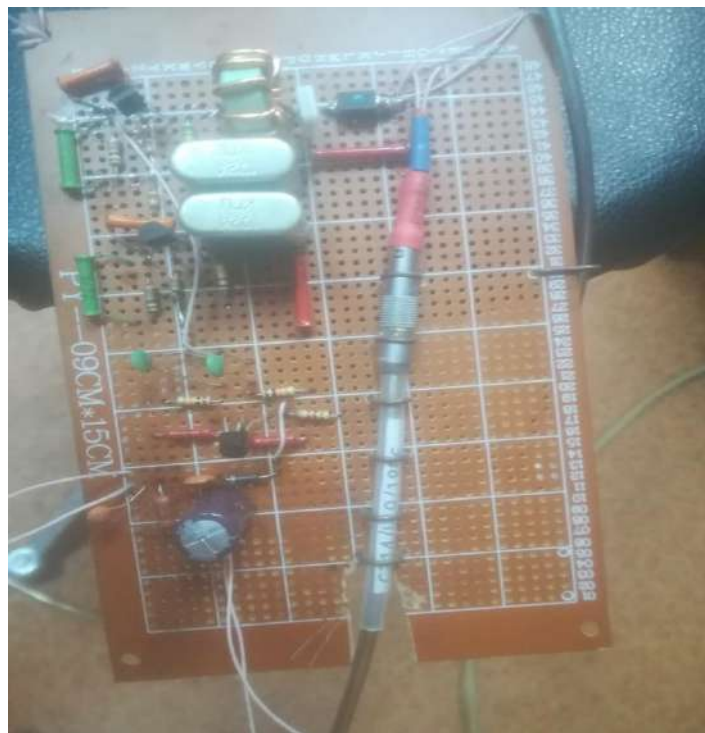


Рисунок 6.4 – Готовий макет пристрою у зборі

На рисунку 6.5 наведено сигнал після детектора обвідної.

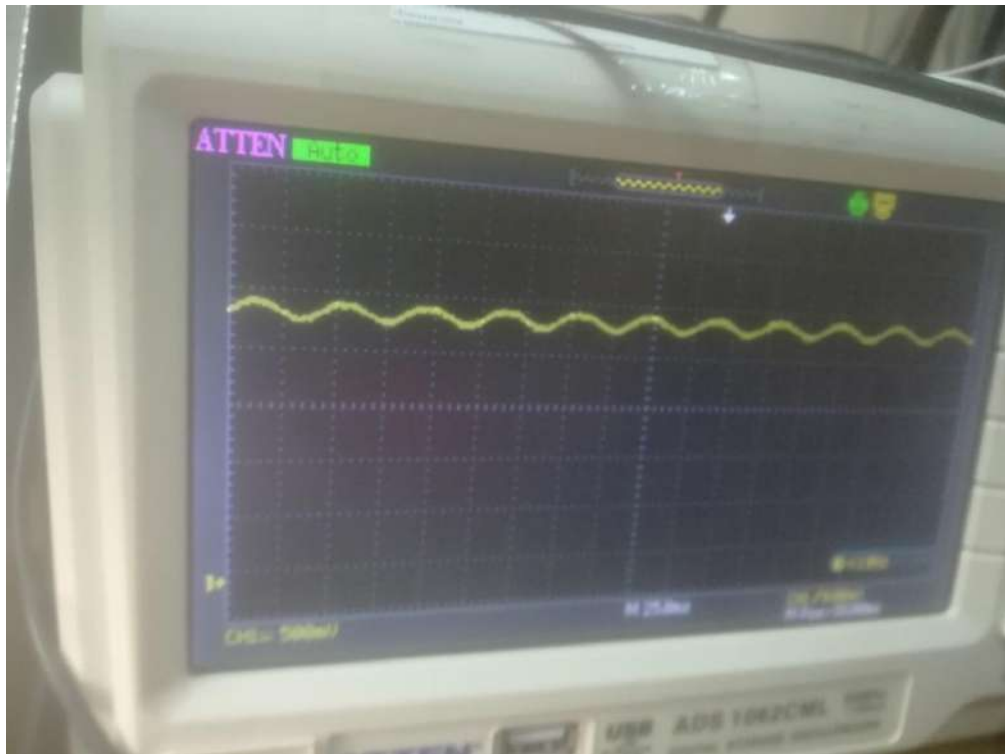


Рисунок 6.5 – Вихідний сигнал схеми («синусоїда» ≈ 20 Гц)

6.2 Реалізація макету частотно-ємнісного перетворювача

В даному підрозділі наведено результати макетування генератора за схемою «моста Віна». Перша зборка зображена на рисунку 6.6.

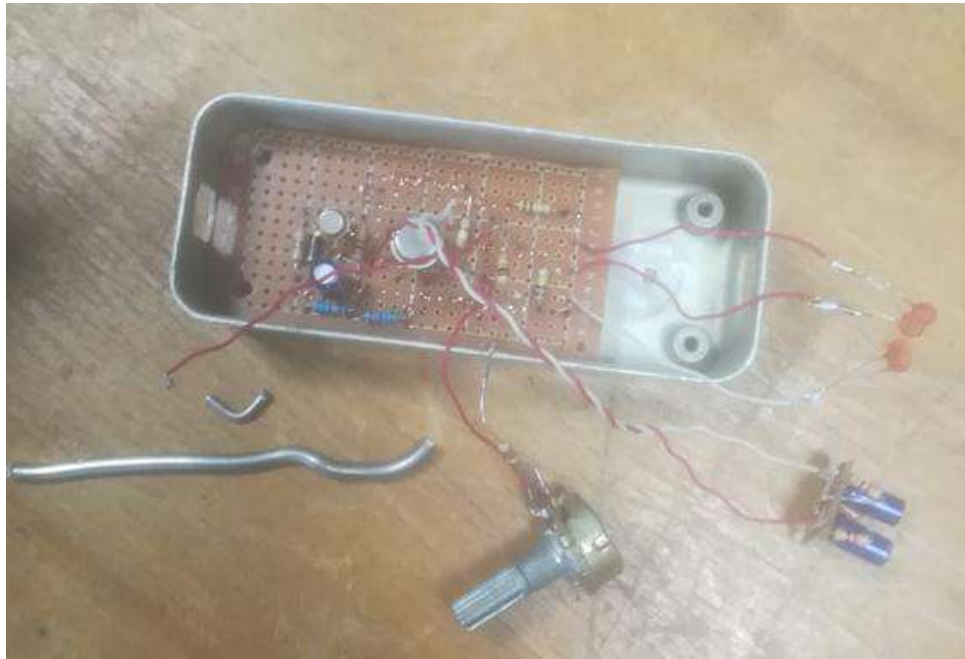


Рисунок 6.6 – Макет генератора за схемою «міст Віна»

Аналіз створеного прототипу за допомогою осцилографа наведено на рисунках 6.7-6.9.



Рисунок 6.7 – Розбалансування моста Віна
(підвищений рівень нелінійних спотворень внаслідок неточного
встановлення коефіцієнту підсилення)

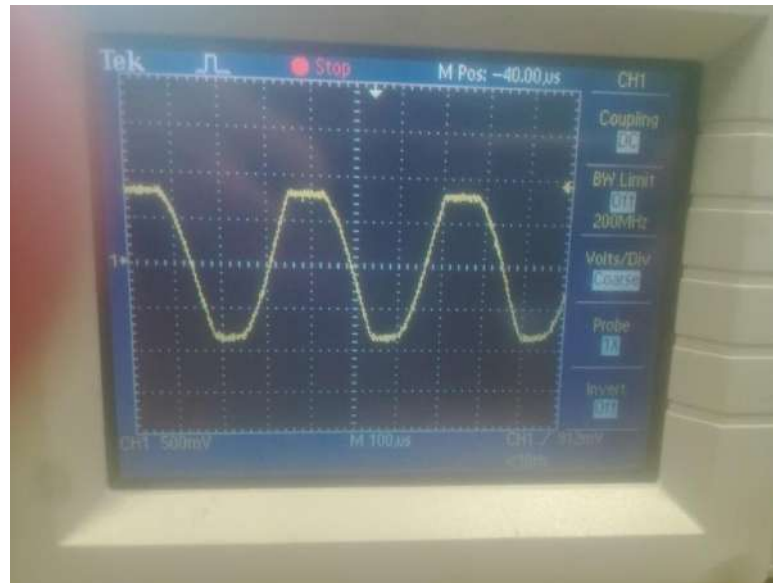


Рисунок 6.8 – Розбалансування моста Віна
(підвищений рівень нелінійних спотворень внаслідок неточного встановлення коефіцієнту підсилення, та зміни ємностей елементів моста)

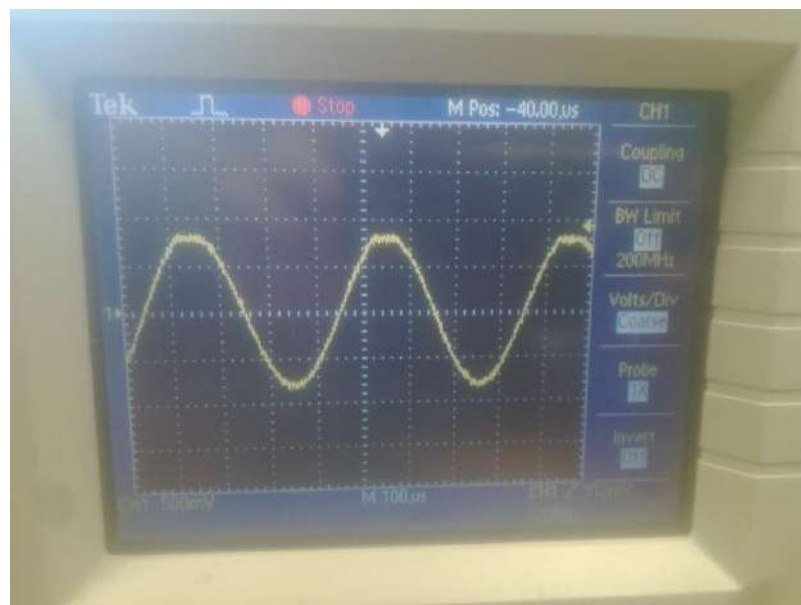


Рисунок 6.9 – Більш-менш збалансований режим роботи генератора

На рисунках 6.10, 6.11 та 6.12 показано результати макетування синфазного фільтру, та схеми для створення віртуальної землі.



Рисунок 6.10 – Макет синфазного фільтру для блоку живлення

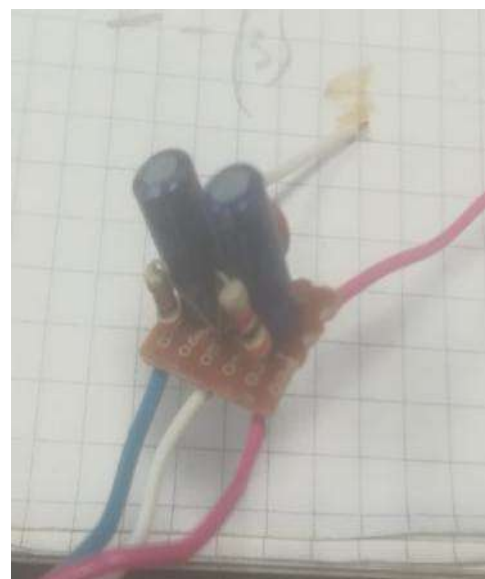


Рисунок 6.11 – Макет схеми двополярного живлення

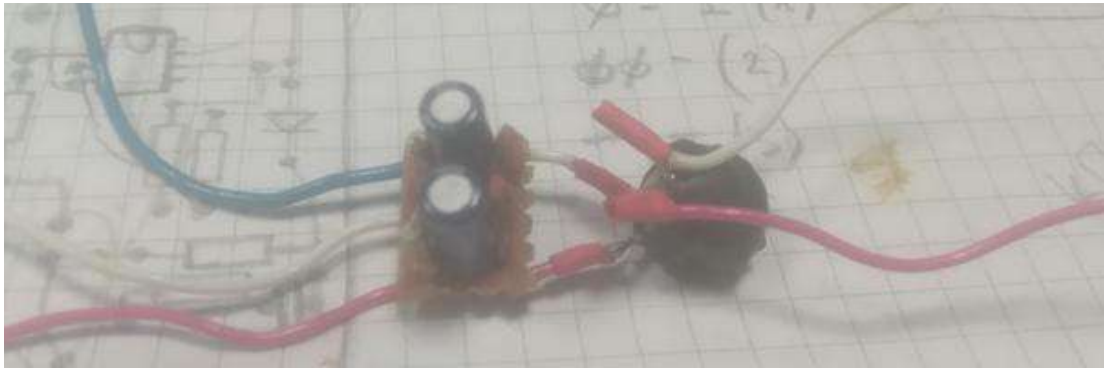


Рисунок 6.12 – Макет синфазного фільтра та схеми двополярного живлення

На рисунку 6.13 наведено фотографії використаного блока живлення, та допрацьований варіант блоку (рис. 6.14).



Рисунок 6.13 – Блок живлення для пристрою (19В / 1А)



Рисунок 6.14 – Блок з двополярним живленням

Остаточний готовий прототип наведено на рисунку 6.15.

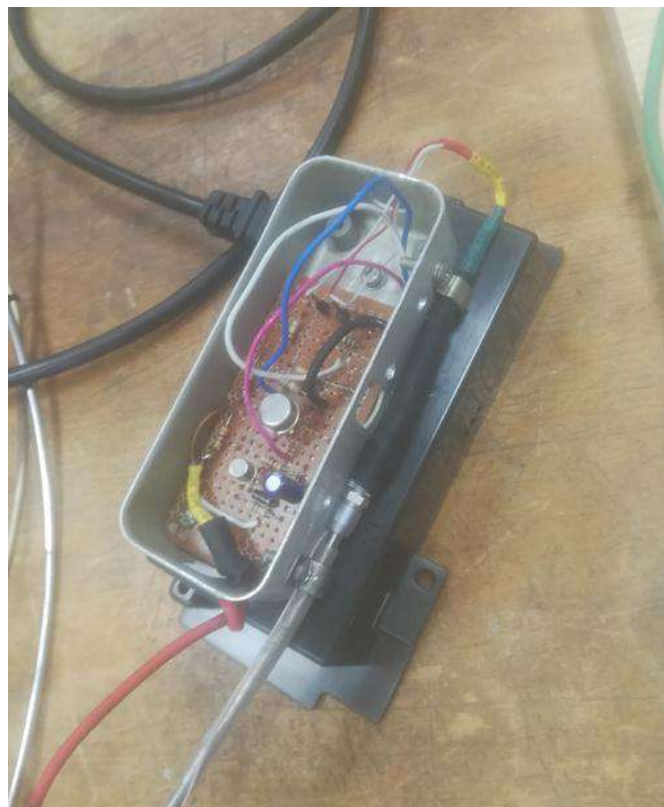


Рисунок 6.15 – Готовий вигляд спроектованого пристрою

На рисунках 6.16-6.18 наведено вихідний сигнал готового генератора, за різних масштабів.

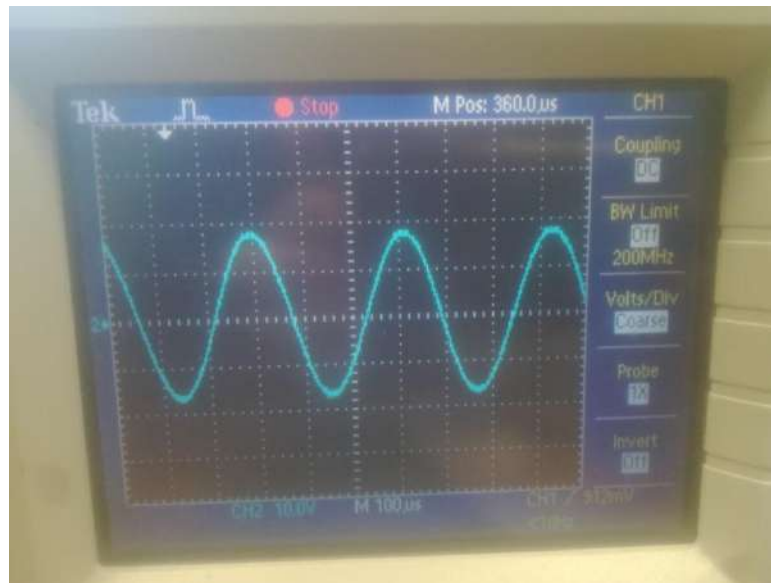


Рисунок 6.16 – Тестування вихідного сигналу пристрою на осцилографі (сигнал подається через вбудований у щуп подільник)

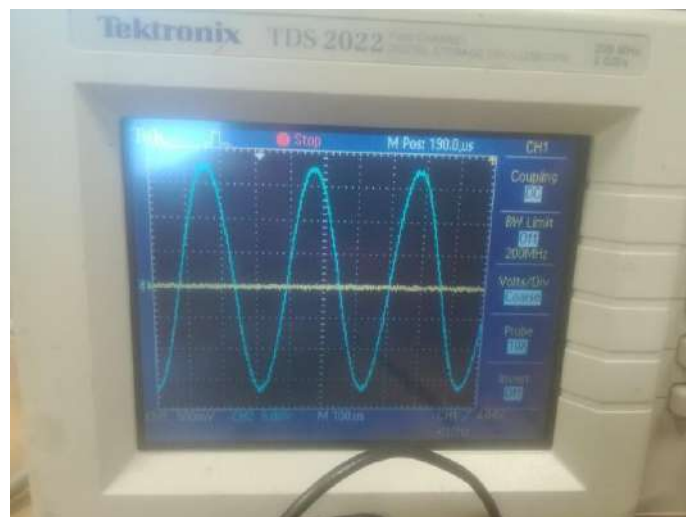


Рисунок 6.17 – Тестування вихідного сигналу пристрою на осцилографі

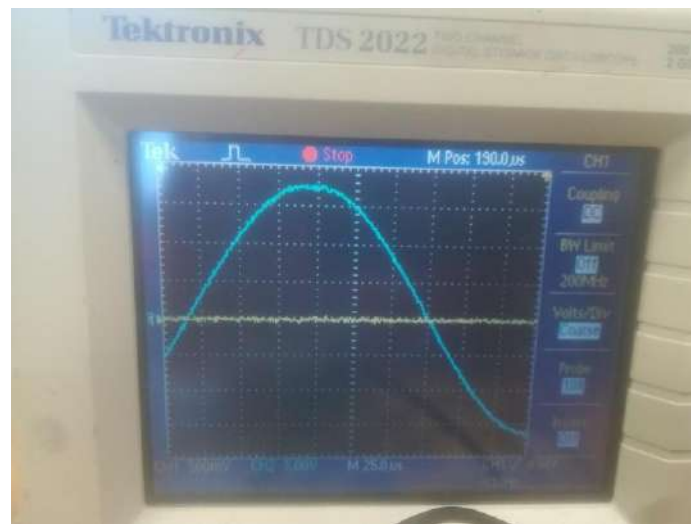


Рисунок 6.18 – Тестування вихідного сигналу пристрою на осцилографі

На рисунку 6.19 – показано дисплей пристрою МІС-300, під час запису сигналу з макетного генератора.

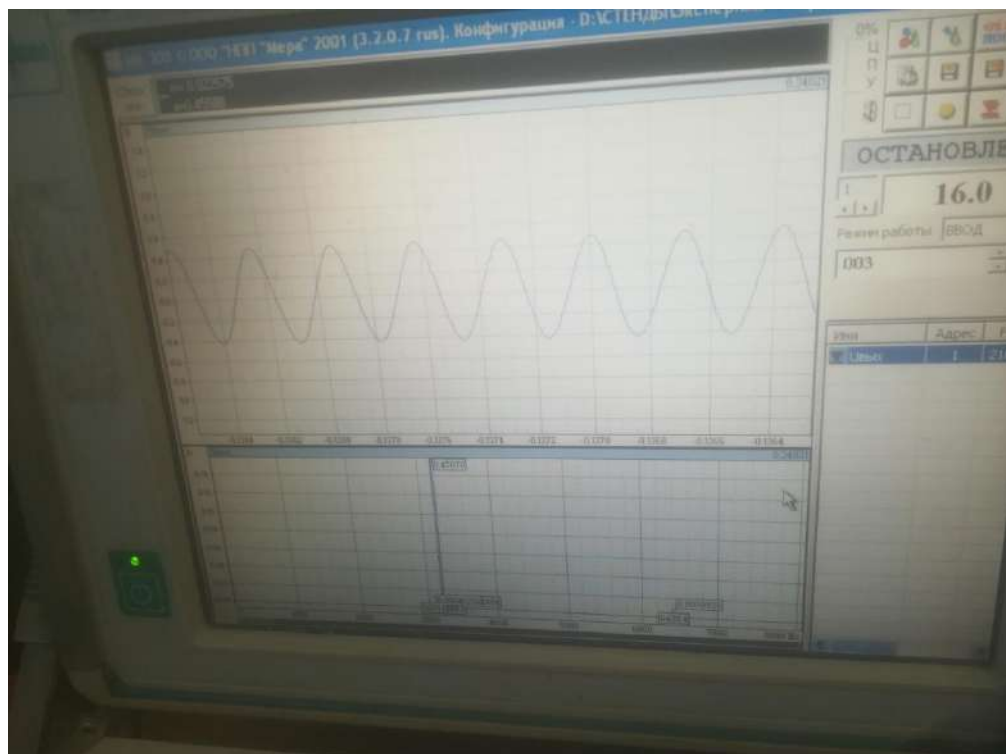


Рисунок 6.19 – Запис сигналу на вимірвальний комплекс МІС-300

Зовнішній вигляд вимірювального комплексу MIC-355M, наведено на рисунку 6.20.

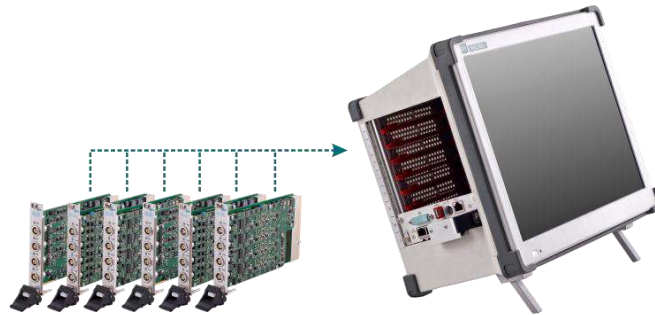


Рисунок 6.20 – Фото MIC-355M з офіційної веб-сторінки [6]

MIC-300 має меншу кількість каналів, у порівнянні з MIC-355M, та мінімально змінений дизайн. За усіма іншими характеристиками вони відповідають один одному.

Остаточна перевірка сигналу генератора, після допрацювання схеми, наведена на рисунку 6.21.

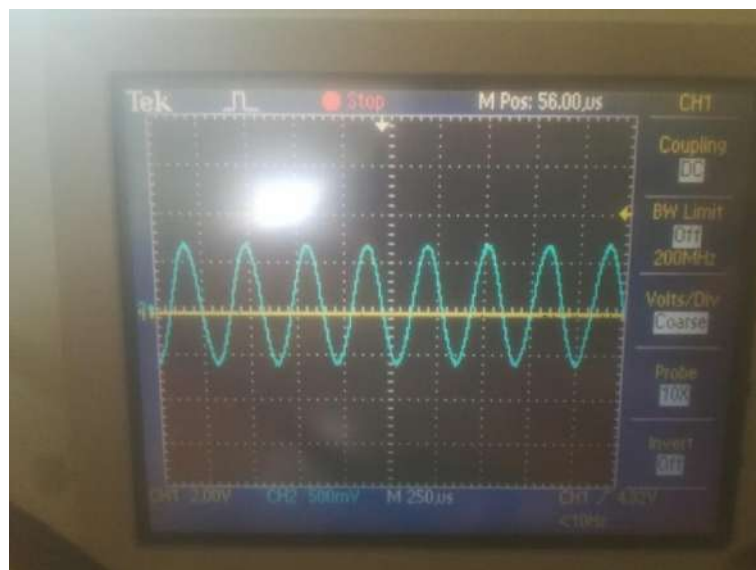


Рисунок 6.21 – Результуючий сигнал після допрацювання схеми (щуп-подільник осцилографа у режимі 1:10)

7 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

7.1 Аналіз ринкової ситуації

Для отримання найбільш ефективного результату будь-якої роботи, а також з метою раціонального зменшення витрат (матеріальних, технічних, трудових тощо), при збереженні якості продукції, необхідний ретельний аналіз існуючої проблеми, ринку, чи ситуації, для подальшого раціонального та чіткого планування дій, щодо реалізації певного проекту.

Так наприклад, в даній роботі будемо проводити розрахунок собівартості виготовлення частотно-ємнісного перетворювача власного виготовлення, та порівняємо отриманий результат з наявними аналогами. Опис ідеї у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Створення нового пристрою, який дозволить додати функціонал до існуючого технологічного обладнання, при використанні одних і тих самих датчиків.	Удосконалення технології тестування авіаційних двигунів, внаслідок отримання більшої кількості інформації використовуючи один і той самий датчик для створеного пристрою, та для заводського обладнання	Отримання більш точної картини процесів акустичних шумів у авіаційних двигунах. Застосування власної розробки, ціна якої у порівнянні з можливими аналогами буде нижчою.

Проаналізувавши становище конкурентів та сучасну ситуацію на ринку, зведемо дані до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	НВП «Мера» (Росія)
		GADCAP (Велика Британія)
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренти мають визнання клієнтів, що утруднює вихід на ринок
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Випускаєме обладнання має бути сертифікованим та відповідати міжнародним стандартам

Загалом в світі, на сьогоднішній день, всього декілька країн займається розробкою та модернізацією авіаційних двигунів (збиранням та випуском значно більше!). До країн-розробників можна віднести Україну, Росію, Китай, Америку, Велику Британію та деякі інші держави. Але в свою чергу ці держави мають розробки двигунів, як для цивільної авіації, так і на військові потреби. Виходячи з цього, різні цільові групи (наприклад країни), можуть мати різні вимоги до необхідного обладнання. Або, в одній і тій самій цільовій групі (наприклад Китай), може бути цікавим як обладнання для аналізу цивільних розробок, так і більш якісне – для військових потреб як показано у таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	Потреба у якісному технологічному обладнанні для тестування ТРД	Світові держави-лідери, які займаються проектуванням авіаційних двигунів	Можливе розподілення продукції з нахилом у цивільний бік, а також для військових цілей	Якість виконання обладнання з відповідністю до міжнародних стандартів та вимог. Найкращі характеристики готової продукції. Підтримка продукції.

Увесь зведений аналіз можемо представити у вигляді SWOT-таблиці. Заносимо дані до таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – SWOT-аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
– Підприємство отримує державну підтримку, інвестиції тощо.	– Розвиток та модернізація виготовляемого обладнання напряду залежить від досвідченості кадрів; – необхідність долучення значних інвестицій для запуску проекту.
Можливості:	Загрози:
– Кооперація з іншими державами з метою реалізації спільних розробок; – обмін досвідом з компаніями-партнерами; – подальший розвиток та модернізація обладнання для власних потреб та для продажу за кордон.	– наявність відомих та досвідчених конкурентів; – виток технічної інформації до конкурентів.

Проаналізувавши тенденції та загальні міжнародні зв'язки можливих країн-клієнтів, занесли дані до таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Росія	Низька	—	Середня	Важка
2	Туреччина	Висока	12	Середня	Середня
3	Китай	Висока	10	Середня	Середня
4	Німеччина	Середня	3	Середня	Важка
Які цільові групи обрано: Китай, Туреччина					

Для отримання коштів на реалізацію проекту, слід систематизувати перелік усіх зацікавлених стейкхолдерів, та вибрати найприоритетніші напрямки взаємодії з ними. Проаналізуємо можливих стейкхолдерів та їх

інтереси, що дозволить знайти спільні точки нашого підприємства та стейкхолдерів.

Зацікавленими, в розвитку даного проекту, сторонами будуть:

- держава (саме вона виступає головним ініціатором розвитку даного підприємства, та підтримує ініціативні ідеї, які обіцяють бути ефективними та підвищать якість продукції, що в свою чергу впливає на міжнародну торгівлю авіаційними двигунами та на статус держави загалом, а також дозволяє отримати прибуток, збільшити військовий потенціал та налагодити авіаційну логістику);

- іноземні інвестори (будування авіадвигунів є перспективним напрямком розвитку, адже дозволяє отримати високі прибутки, та зростити військовий потенціал. Внаслідок цього, завжди можна знайти інвесторів охочих до взаємодії (за умови, що випускається конкурентно-спроможня продукція. Іноді такі підприємства навіть намагаються викупити);

- Міністерство оборони України (продукція зазвичай йде на експорт, але частину держава залишає на власні потреби. Міноборони зацікавлено в отриманні високоякісної авіації, і відповідно – авіаційних двигунів (а для цього слід підвищувати якість));

- Міністерство економіки (попит на авіаперевезення за останнє десятиріччя значно підвищився, а отже прогнозуючі подальший темп, можемо очікувати збільшення авіаційних перевезень. Якщо ми отримаємо найліпшу якість та параметри ТРД, то зможемо значно збільшити експорт двигунів у країни-партнери і отримати прибуток);

- споживачі (конструкторські бюро та організації, що займаються розробкою авіаційних двигунів, зацікавлені в отриманні якісного приладдя, для більш точного аналізу роботи двигунів та для його використання при стендових іспитах).

7.2 Проектування плану розробки проекту

План проекту розіб'ємо на кілька етапів, які зведені у таблицю 7.6.

Таблиця 7.6 – Тривалість виконання етапів НДР

Етапи НДР	Тимчасові оцінки			Дисперсія	Виконавці	
	t_{min} днів	t_{max} днів	$t_{ож}$ днів		Спеціальність	Кількість, чол
Проектування	12	19	14.8	1.96	інженер-радіотехнік	1
Реалізація	9	13	10.6	0.64	інженер-радіотехнік	1
Дослідження роботи пристрою	2	4	2.8	0.16	інженер-радіотехнік, інженер-програміст	2
Допрацьовування і усунення недоліків	5	7	5.8	0.16	інженер-радіотехнік	1
Оформлення документації	3	5	3.8	0.16	інженер-програміст	1
Разом	31	48	37.8	—	—	—

Етап проектування займає значну частину часу, адже необхідно проаналізувати існуючу проблему, знайти можливі варіанти рішення проблеми, визначити оптимальні шляхи вирішення, та підготуватися до реалізації обраного варіанту.

Реалізація (або виготовлення) пристрою, зазвичай, не менш відповідальна задача, адже виконання робіт слід виконувати згідно планів, та технології розробки, що дозволить отримати задану точність очікуваних параметрів готового виробу. Також трапляються випадки, коли в процесі виготовлення може бути виявлено певні непередбачені фактори (технологічні та технічні проблеми), які можуть затягнути процес виготовлення.

Після того, як було отримано готовий продукт, його необхідно перевірити на відповідність параметрам, та на норми якості.

У разі якщо виріб не пройшов випробовування, або частково виявився непридатним, або з невідповідними параметрами або режимом (наприклад температурна нестабільність електронної схеми), то такий виріб відправляють на допрацювання або налаштування.

Після виготовлення взірцевого виробу, який не має недоліків, та повністю відповідає проектному, виріб вважається готовим.

Завершальною операцією розробки є оформлення усіх необхідних звітностей та конструкторської документації.

Для розрахунку очікуваного часу виконання етапу, використаємо формулу:

$$t_{ож} = (3*t_{min} + 2*t_{max}) / 5, \quad (7.1)$$

$$t_{ож1} = (3*12 + 2*19) / 5 = 14.8/.$$

Для розрахунку розкиду між мінімальною і максимальною оцінкою часу, розрахуємо дисперсію:

$$\sigma^2 = [(t_{max} - t_{min}) / 5]^2, \quad (7.2)$$

$$\sigma^2_1 = [(19 - 12) / 5]^2 = 1.96.$$

Повторимо розрахунки для кожного з етапів:

$$t_{ож2} = (3*9 + 2*13) / 5 = 10.6,$$

$$\sigma^2_2 = [(13 - 9) / 5]^2 = 0.64,$$

$$t_{ож\ 3} = (3*2 + 2*4) / 5 = 2.8,$$

$$\sigma^2_3 = [(4 - 2) / 5]^2 = 0.16,$$

$$t_{ож\ 4} = (3*5 + 2*7) / 5 = 5.8,$$

$$\sigma^2_4 = [(7 - 5) / 5]^2 = 0.16,$$

$$t_{ож\ 5} = (3*3 + 2*5) / 5 = 3.8,$$

$$\sigma^2_5 = [(3 - 5) / 5]^2 = 0.16.$$

7.3 Побудова мережного графіку

Мережний графік є необхідною частиною проекту, адже дозволяє отримати необхідну для керівної ланки підприємства, модель процесу, яка за необхідності дає змогу ефективно корегувати та вносити зміни до виконуваних робіт, і стежити за ходом виконання. Мережевий графік зведено у таблицю 7.7, а його схема зображена на рисунку 7.1.

Таблиця 7.7 – Перелік робіт мережевого графіка

№	Код робіт	Найменування роботи	Тривалість, днів
1	0-1	Аналіз технічного завдання	2
2	1-2	Узгодження і затвердження ТЗ	1
3	2-3	Вибір оптимального напрямку рішення завдання	7
4	3-4	Аналіз наявного обладнання	2
5	4-5	Розробка принципової схеми пристрою	2
6	5-6	Виготовлення власних компонентів (спеціальний рознім для датчика)	2
7	6-7	Створення макетного варіанту пристрою, та тестування у лабораторних умовах	7

Продовження таблиці 7.7

№	Код робіт	Найменування роботи	Тривалість, днів
8	7-8	Тестування і перевірка роботи приладу	2
9	8-9	Допрацьовування схеми, поліпшення її параметрів	3
10	9-10	Повторне тестування роботи приладу	2
11	8-10	Оформлення документації	2
12	10-11	Здача в експлуатацію	1
	Всього	—	31

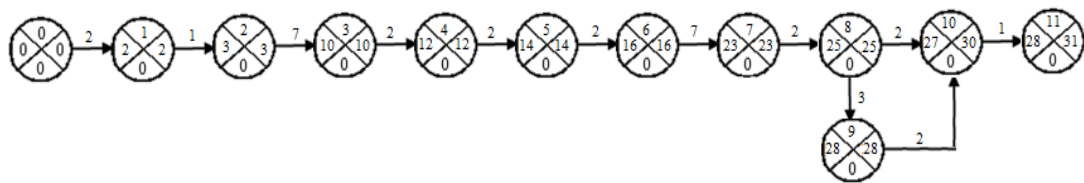


Рисунок 7.1 – Мережевий графік створення частотно-ємнісного перетворювача

7.4 Розрахунок витрат

Загальна кількість витрат на виготовлення взірця необхідного виробу, включає витрати матеріалів, витрати людського часу тощо. Їх кількість визначається на підставі програми дослідження, норм витрат, кількості годин випробувань та інших даних. Ціна матеріалу визначається договірними цінами на 01.09.2021 р.

Витрати на основні матеріали знаходяться з розрахунку їх вартості та кількості. Транспортно-заготівельні витрати складають 5% від вартості матеріалів [7].

Складаємо загальну калькуляцію витрат усіх необхідних матеріалів та заносимо її в таблицю 7.8.

Таблиця 7.8 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна	Сума грн
1	2	3	4	5	6
Резистори	50	1	50	0.3	15
Конденсатори електролітичні	5	1	5	4	20
Конденсатори керамічні	10	1	10	0.5	5
Діоди	10	1	10	0.5	5
Польові транзистори	1	1	1	5	5
Операційний підсилювач	1	1	1	80	80
Макетна плата	3	1	3	10	30
Котушки індуктивості	1	1	1	10	10
Монтажний дріт	1 м	1	1 м	15	15
Припій	16 г	1	16 г	75	75
Флюс	30 мл	1	30 мл	25	25
Термоусадкова трубка	2 м	1	2 м	10	20
Разом	—	—	—	—	305
Транспортно-заготівельні витрати (5%)	—	—	—	—	15

Витрати на електричну енергію E_c визначаються за формулою:

$$E_c = \frac{M_y \Phi_{\text{еф}} K_n C_e}{\text{КПД}}, \quad (7.3)$$

де M_y – потужність, споживана електроприладом, кВт;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, г;

K_n – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу, що дорівнює 0.8;

C_e – ціна 1 кВт*год електроенергії;

ККД – коефіцієнт корисної дії, приймається рівним 0.9.

Калькуляцію витрат на електроенергію обладнання заносимо до таблиці 7.9.

Таблиця 7.9 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Обладнання	Вид енергоресурсів	Потужність обладнання, кВт	Φ_{ef} , год.	Тариф, грн.	Вартість, грн.
Паяльна станція YiHua 852D+	Електроенергія	0.2	12	3,2	7.68
Осцилограф Hantek DSO2C15	Електроенергія	0.1	12	3,2	3.84
Принтер HP LaserJet1020	Електроенергія	0.01	1	3.2	0.03
ПК Intel Core-I3, RAM 8Gb, HDD 120Gb	Електроенергія	0.1	12	3.2	3.84
Всього	—	—	—	—	15.39

Окрім використання електричної енергії для технологічних потреб та виробничого процесу, необхідно включити у розрахунок витрати на опалення площі приміщенні (36м²) та витрати на водопостачання (таблиця 7.10).

Таблиця 7.10 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	4.81кВт	1	4.81кВт	3.2грн/кВт	15.39
Водопостачання	0.1 м ³	1	0.1 м ³	66грн/м ³	6.6
Теплопостачання	1.26 Гкал	1	1.26Гкал	3616грн/Гкал	4556
Разом	—	—	—	—	4578

В наступну статтю включається заробітна плата всіх категорій працівників, які безпосередньо зайняті у процесі проведення всіх етапів розробки. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт. Розрахунок основної заробітної плати зведений в таблицю 7.11.

Таблиця 7.11 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		Тарифна ставка за розрядом виконуваних робіт, грн / годину	Ефективний фонд робочого часу, годин	Тарифний заробіток, грн.	Преміальний відсоток до тарифного заробітку	Розмір премії, грн.	ЄСВ, грн.
	за зміну	на добу						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Виробничі працівники, в тому числі:	1	1	85	216	18360	50	9180	6058
1.Основні працівники	1	1	40.65	32	1301	50	650	429
2.Допоміжні працівники	—	—	—	—	—	—	—	—
3.Черговий та ремонтний персонал	—	—	—	—	—	—	—	—
Разом виробничих працівників	2	2	—	248	19661	—	9830.5	6488

Сумарна заробітна плата, таким чином, складає:

$$C_{\text{заг}} = 18360 + 1301 = 19661 \text{ грн.}$$

До підсумкової суми основної зарплати робітників необхідно додати премію за становищем, і всі доплати до річного фонду в розмірах, встановлених на місці проведення розробки.

Відрахування до Фонду соціального страхування визначаються у відсотковому співвідношенні від повної суми виплат працівникам (з урахуванням додаткової заробітної плати, усіх премій та надбавок).

Відрахування на ЄСВ дорівнюють 22%, що при 50%-премії складатиме:

$$C_{\text{пр}} = 0.5 * C_{\text{осн}} = 0.5 * 19661 = 9830.5 \text{ грн,}$$

$$C_{\text{фсс}} = (C_{\text{заг}} + C_{\text{пр}}) * 0.22 = (19661 + 0.5 * 19661) * 0.22 = 6488 \text{ грн.}$$

Також до списку витрат, слід додати накладні, або адміністративні витрати, які пов'язані з організацією, керуванням та обслуговуванням підприємства.

Зазвичай, накладні витрати приймають від 60 до 100 % від основної заробітної плати виконавців:

$$C_{\text{накл}} = 0.8 * C_{\text{осн}} = 0.8 * 19661 = 15728 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування на відновлення обладнання, зведені до таблиці 7.12.

Таблиця 7.12 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Норма амортизації, (на місяць)	Первісна вартість ОЗ на 01.09	Надійшло ОЗ		Вибуло ОЗ		Сума, грн
			дата	пер. вар.	дата	пер. вар.	
1	2	3	4	5	6	7	8
Паяльна станція YiHua 852D+	7%	2450	01.09	–	–	–	514
Осцилограф Hantek DSO2C15	7%	7200	01.09	–	–	–	1512
ПК Intel Core-I3, RAM 8Gb, HDD 120Gb	5%	10600	01.09	–	–	–	1590
Додатковий технологічний інструмент	10%	2500	01.09	–	–	–	750
Разом	–	22750	–	–	–	–	4366

Витрати на поточний ремонт становлять 2% від вартості осн.засобів:

$$C_{\text{п.р.}} = 0.02 * 22750 = 455 \text{ грн.}$$

Загальні фінансові витрати на реалізацію пристрою становитимуть суму усіх прорахованих вище витрат. Заносимо витрати до таблиці 7.13.

Таблиця 7.13 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати	
	у розрахунку на одиницю продукції, грн.	у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали	320	320
Електропостачання	15.4	15.4
Водопостачання	6.6	6.6
Теплопостачання	4556	4556
Разом	4898	4898
Заробітна плата основних виробничих працівників	29491	29491
ЄСВ	6488	6488
Амортизація	4366	4366
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів і поточний ремонт	455	455
Виробнича собівартість	40800	40800
Адміністративні витрати	15728	15728
Повна собівартість	61426	61426

7.5 Аналіз економічної ефективності розробки

Оцінку економічного ефекту проведемо на основі даних моніторингу цін технологічного обладнання, яке застосовується для проведення технічних вимірювань рівня акустичного шуму авіаційних двигунів, вимірювання зазорів лопаток турбокомпресорів, спеціальних вимірювальних комплексів тощо.

В ході досліджень використовувалося спеціальне, високовартісне обладнання. По-перше, це вимірювальний комплекс CapaciSense 5, від Британської фірми GADCAP, для заміру зазорів лопаток турбокомпресорів ТРД, складається з основного логічного блоку, який виконує усі необхідні розрахунки, з блоків підсилення та оцифровування інформації та ємнісних датчиків. По-друге, це вимірювальний комплекс «Мера» – MIC-300, який має основний блок, котрий проводить необхідні розрахунки, блоки підсилення.

Порівняємо наявне технологічне обладнання з обладнанням власного виготовлення. Порівняльна характеристика занесена до таблиці 7.14.

Таблиця 7.14 – Порівняльна таблиця технологічного обладнання

Обладнання	Виробник	Ціна
СарасіSense 5	GAPCAP (Велика Британія)	4 500 000 грн.
MIC-300	НВП «Мера» (Росія)	1 600 000 грн.
Власний пристрій	ЗМКБ «Прогрес»(Україна)	200 000 грн.

Як бачимо, коли мова йде про найкращий та найточніший результат, то варієтсь такого технологічного обладнання складає мільйони гривень, і без нього обійтися ніяк не можна, адже це безпосередньо вплине на якість.

Розрахунок фінальних фінансових показників занесли у таблицю 7.15.

Таблиця 7.15 – Розрахунок фінансового результату

№ періоду	Обсяги виробництва (послуг)	Обсяги реалізації	Залишок нереалізованої продукції	Ціна, грн	Дохід	Витрати	Фінансовий результат
IV квартал 2021	1	1	0	200000	200000	61426	138574
Разом	1	1	0	200000	200000	61246	138574

Ціна запропонованого пристрою значно менша за альтернативні варіанти іноземного обладнання. Відповідно до усіх вищенаведених прорахунків, розробка даного пристрою має не тільки важливе практичне значення для аналізу сигналів, при дослідженні роботи авіаційних двигунів, але й дозволяє отримати значного економічного ефекту, внаслідок скорочення витрат на закупівлю певного іноземного обладнання у разі власного використання, а також отримати прибуток, у разі продажу даного пристрою.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

8.1 Аналіз потенційних небезпек

Існуюче трудове законодавство вимагає від підприємств виконання певних норм та правил щодо стану виробничих ділянок та робочих місць. Так наприклад, у приміщеннях повинні підтримуватися відповідні температура, вологість, тиск тощо, які є сприятливими для людини, та знаходяться у межах відповідних норм. Для того, щоб уникнути дії шкідливих та небезпечних факторів, спершу потрібно провести аналіз робочого місця, та визначити усі потенційно можливі та наявні небезпечні та шкідливі фактори, які надалі слід мінімізувати застосовуючи певні заходи.

За вихідні дані вважитимемо робочим приміщенням – кімнату з розмірами 6м x 6м x 3м, яка обладнана спеціальним інструментом та вимірювальними приладами, а також обладнана кількома ПК. Саме таке робоче місце використовувалося під час проектування та створення працюючого виробу, який описаний у дипломному проекті.

Тепер безпосередньо можемо розглянути наявні та можливі небезпечні і шкідливі фактори. Розглядатимемо фактори за наступною схемою «фактор – причина – наслідок». По-перше, розглянемо перелік фізичних небезпечних та шкідливих факторів. До них слід віднести:

- падіння важкого обладнання на працівника (на даному робочому місці осцилографи, блоки живлення, та інше технологічне обладнання встановлено на поличках, для зручного користування), внаслідок недостатнього врахування вимог ергономіки, обладнання може впасти, що призведе до травмування робітника;

- підвищена, або знижена температура повітря робочої зони, внаслідок не виконання санітарно-гігієнічних вимог, відсутності, або недостатній системі опалення чи вентиляції, може призвести до захворювання робітника;

– перевищення ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони (внаслідок випаровування флюсів, та процесу паяння), внаслідок невиконання вимог, щодо вентиляції приміщень, або порушення правил роботи (пайка у необладнаному місцевою вентиляцією робочому місці тощо), може призвести до професійних захворювань;

– відсутність або недолік природного світла, внаслідок нераціонального планування приміщення або системи природного освітлення, може призвести до погіршення зору працівника;

– недостатня освітленість робочої зони чи приміщення, внаслідок неправильного планування системи штучного освітлення, може призвести до погіршення зору працівника, чи травмування (якщо освітлення відсутнє, наприклад на сходинках при вході);

– ураження електричним струмом, внаслідок відсутності силових заземлюючих провідників на електричному обладнанні, або некоректного використання працівником електричних приладів, може призвести до часткової втрати працездатності, як короткотривалої так і довготривалої, або навіть до повної втрати працездатності (при напругах > 1000 В);

– гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхнях інструменту, та деталей, внаслідок неправильної організації робочого місця, можуть призвести до травмування працівника, кровотечі тощо.

До хімічних факторів відносимо:

– наявність у області робочої зони продуктів паяння, та парів флюсів, внаслідок недостатньої аерації повітря робочої зони, або при повній відсутності місцевої вентиляції, може призвести до професійного захворювання працівника.

До психофізіологічних факторів можемо віднести:

– перенапруження аналізаторів (внаслідок роботи з малими електронними компонентами та деталями, що відноситься до відповідного зорового розряду роботи – V_a), що може призвести до перевтоми працівника та його подальшого захворювання.

Біологічних небезпечних та шкідливих факторів на даній ділянці немає.

Таким чином, бачимо, що в даному робочому приміщенні наявні небезпечні та шкідливі фактори (зазвичай вони наявні завжди, різніться лише їх кількість), а наша задача мінімізувати вірогідність травмування чи отримання професійних захворювань, вживши необхідних заходів з охорони праці.

8.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Для мінімізації ризиків травмування чи отримання профзахворювань, розробляємо певні заходи (розрізняють організаційні заходи та технічні), відповідно до переліку небезпечних та шкідливих факторів, наведених у п.8.1:

а) для запобігання падінню обладнання, яке може призвести до травмування, застосовуємо наступні заходи:

– організаційні:

1) робоче місце облаштовується відповідно до вимог ергономіки, тобто, таким чином, щоб працівник мав усе необхідне обладнання та інструмент у межах робочої зони, аби використання цього інструменту не потребувало зайвих зусиль (наприклад, працівник потягнувся до далеко розміщеного блоку живлення, і зачепив дроти іншого обладнання, внаслідок чого відбулося падіння обладнання);

– технічні:

1) на даному робочому місці, а точніше на «декілько-поверхових» полицях з необхідним технологічним обладнанням, встановлюють відповідні загородки, які будуть перешкоджати падінню;

б) для запобігання недостатній освітленості робочого приміщення та робочого місця працівника (відповідно до СНіП та ДБН В.2.5-28-2018 [12],

розряд зорової роботи – V_a [компоненти мають розміри 2-3 мм – 10-15 мм]), використовуємо наступні заходи;

– організаційні:

1) планування приміщення, та робочого місця відбувається відповідно до норм, які наведені у [15]. Планування загального природного освітлення, а також місцевого штучного освітлення (вибір необхідних типів світильників, їх кількості та ламп до них), відбувається відповідно до норм, які викладені у [12];

– технічні:

1) робоче місце працівника додатково обладнується джерелом світла з необхідними параметрами (наприклад настільна лампа), яке він може використовувати за потреби;

в) для запобігання від ураження електричним струмом застосовуємо наступних заходів;

– організаційні:

1) проведення необхідних навчань з правил електробезпеки, та перевірка знань, і атестація знань персоналу на II або III групи з електробезпеки згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»;

– технічні:

1) застосування силового захисного заземлення електрообладнання до 1000 В, з опором провідника, який не перевищує 4 Ом, за будь яких погодніх умов, та незалежно від сезону року;

г) для уникнення травматизму від гострих кромek інструментів, деталей, обладнання застосовуємо наступні заходи;

– організаційні:

1) робітникам мають видаватися за необхідності та можливості використання – засоби індивідуального захисту (наприклад, рукавички тощо);

2) своєчасне та регулярне проведення інструктажів з техніки безпеки на робочому місці;

– технічні:

1) обладнання робочого місця необхідними «органайзерами», які водночас слугують місцем зберігання інструментів, а також виключають ризики випадкового травмування (наприклад комірка для ножів, виктруток тощо);

д) для усунення впливу шкідливих речовин у повітрі робочої зони на робітників, застосовано наступні заходи;

– організаційні:

1) загальна система вентиляції приміщення проектується відповідно до вимог [16];

– технічні:

1) застосовано місцеву механічну вентиляцію, разом з фільтром-нейтралізатором;

е) для зменшення психофізичного навантаження робітників, застосовуємо наступних заходів;

– організаційні:

1) дотримання вимог чинного законодавства, щодо розпорядку робочого дня, та надання робітникам своєчасного та достатнього відпочинку (обідня перерва, короткотривалі відпочинки для працюючих за ПК тощо).

8.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Серед умов, які відносять до тих, що контролюються санітарно-епідемічними станціями відносять:

– мікрокліматичні умови (сюди можна віднести контроль загальних параметрів у робочій, а саме – тиск, вологість, температура, швидкість руху повітря тощо) [11];

– освітленість робочої зони[12];

- виробничі вібрації;
- рівень випромінюваних електромагнітних полів [13];
- вимоги до приміщень (лабораторій, офісів тощо) обладнаних ПК, та розміщення робочих місць з ПК [14];
- вимоги до режиму праці та відпочинку при роботі з ПК [14];
- забезпечення вимог до санітарно-побутових приміщень [15].

Згідно з ДБН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», ДСанНіП 3.3.6.096-2002 «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» розробляємо систему заходів, що відповідатиме усім вимогам санітарії та гігієни праці. За основу беремо приміщення, описане вище, з розмірами 6м x 6м x 3м, яке обладнане ПК.

Категорія робіт відповідно до СанПіН 2.2.4.548-96 – 1б (зазвичай робота виконується сидячи, іноді необхідно дістати обладнання масою до 1 кг, та невеликі переміщення до інших робочих місць).

Відповідно до ДБН 3.3.6.042-99 «Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень» оптимальні показники мікроклімату наведені у таблиці 8.1 згідно [11].

Таблиця – 8.1 – Норми мікроклімату відповідно до ДБН

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Теплий	1б	23-25	60-40	0.1
Холодний	1б	21-23	60-40	0.2

В даному приміщенні має бути наявна система водяного опалення, яка має забезпечувати необхідну температуру повітря робочої зони в холодний період року (відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція, та кондиціонування»).

У повітрі робочої зони наявні шкідливі речовини (продукти паяння, та флюсів), тому необхідно обладнати робоче місце системою місцевої вентиляції, а також системою загальної вентиляції відповідно до вимог ДСТУ Б А.3.2-12:2009 «ССБП Системи вентиляційні. Загальні вимоги». Так, система місцевої вентиляції завжди є механічною, а в даному випадку в системі вентиляції необхідно встановити фільтр-нейтралізатор, який нейтралізує шкідливі речовини, які є продуктами паяння та використання різних флюсів.

Освітленість робочого приміщення та робочої зони регламентується у нормах ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».

Відповідно до виконуваних робіт – праця з радіокомпонентами, розміри яких варіюються 1-15 мм, приймаємо розряд зорової роботи – Va.

Освітлення вибираємо комбіноване, адже наявні роботи зі збільшеним зоровим навантаженням. Відповідно до вимог [12, стор.10] обираємо сумарну освітленість – 400 лк, а загальна має бути не меншою 200 лк [12, табл. 8.1]. Отже, штучне освітлення додатково дає 200 лк.

Дане приміщення має бути з природним освітленням, тобто мати вікна через які буде надходити світло від сонця (відбите освітлення).

Згідно з [12, табл. 8.1] приймаємо КПО – 0.6 (при боковому суміщеному освітленні виробничих приміщень).

Розрахунок необхідної площі світлопрорізів (вікон) при боковому освітленні:

$$S = \frac{D}{100 \cdot m} * \frac{Kz \cdot \eta \cdot K_{буд}}{\tau \cdot r1} * S_{п}. \quad (8.1)$$

де D – нормоване значення КПО;

m – коефіцієнт світлового клімату;

K_z – коефіцієнт запасу;

η – коефіцієнт, що враховує світлову активність вікон;

$K_{\text{буд}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон протилежними будівлями;

τ_0 – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО, за рахунок відбивання світла від внутрішніх поверхонь;

$S_{\text{п}}$ – площа підлоги приміщення.

Приймаємо $m = 1.29$ (IV – кліматичний район, вікна розташовано на схід): $K_z = 1.2$, $\eta = 16$ (коефіцієнт вибирається відповідно з таблицею 8.2 [12]):

$$K_{\text{буд}} = 1,$$

$$r_1 = 1.2,$$

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 = 0.85 \cdot 0.75 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0.64, S_{\text{п}} = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

Усі коефіцієнти вибиралися та розраховувалися відповідно до [12, додаток I]:

$$S = 0.6 / 100 \cdot 1.29 \cdot (1.2 \cdot 16 \cdot 1 / 0.64 \cdot 1.2) \cdot 36 = 3.616 \text{ м}^2.$$

Коректуємо розраховану площу вікон, трохи збільшуючи її $S_{\text{скор}} = 3.8 \text{ м}^2$.

Щодо вимог для приміщень, які обладнано ПК, то і тут є перелік норм та вимог, а саме:

- заборонено облаштування таких приміщень у підвальних приміщеннях;
- забезпечення достатнього рівня освітленості;
- забезпечення необхідного рівня звукоізоляції;

- обов'язкове щоденне вологе прибирання;
- батареї, та інші конструкції, що виконують роль заземлювачів, мають бути приховані, або закриті спеціальними сітками;
- обов'язкове обладнання приміщення автоматичною пожежною сигналізацією, та вогнегасниками;
- в приміщеннях з кількістю ПК більше 5, слід встановлювати резервний вимикач, який знеструмить все приміщення, окрім освітлення;
- площа робочого місця – не менше 6м²;
- конструкція робочого місця з ПК має бути оптимальною для працівника.

На рисунку 8.1 наведено приклад неправильного та правильного обладнання робочого місця з ПК.



Рисунок 8.1 – Неправильне та правильне обладнання робочого місця

8.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

8.4.1 Заходи з пожежної безпеки

В даному підрозділі розроблено комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення, яке обладнане декількома ПК. Усі заходи розроблялися відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної

безпеки в Україні» та та НАПБ В.01.056-2013/111 «Правила будови електроустановок. Пожежна безпека електроустановок. Інструкція».

Відповідно до «НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будівель і зовнішніх установок по вибухо-пожежній та пожежній небезпеці (32350)», обираємо категорію приміщення – Д (адже на ділянці немає ані горючих газів, ані вибухових речовин). Відповідно до цього категорія пожеж – А (ГОСТ 27331-87, горіння столів, текстилю тощо, також можливі пожежі електроустановок, та електричного обладнання, категорія пожеж Е).

У разі виникнення пожежі у даному виробничому приміщенні обладнаному ПК, для евакуації персоналу, відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку через вікно – на пожежні сходи, а з іншого – вхідні двері.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж на даному виробничому приміщенні обладнаному ПК, передбачені наступні протипожежні заходи:

- на силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в даному виробничому приміщенні обладнаному ПК, встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6», яка дозволяє виявити теплові й димові ознаки пожежі та місце виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Площа приміщення за умовами – 36 м². Для встановлення пожежного щиту, площа приміщення замала, отже використовуємо вогнегасники. Вибір типу і кількості вогнегасників обирається згідно площі, та НАПБ Б.03001-2004 – «Типові норми належності вогнегасників». Так для площ приміщень категорій Д до 50м² – є декілька альтернатив по вогнегасникам, а саме:

- 4 водопінних вогнегасники масою 5 кг;
- 2 порошкових вогнегасники масою 5 кг;
- 2 вуглекислотних вогнегасника масою 5 кг.

Так як у нашому приміщенні можливі і електропожежі, то оптимальним варіантом буде вибір 2-ох порошкових вогнегасників типу ВП-5 або ВП-6 (водопінний не рекомендований для категорій пожежі Е).

Розміщувати вогнегасники слід у доступному місці, але таким чином, щоб відстань від можливого осередку спалахування не перевищувала 10 м. Використовувати вогнегасники дозволяється лише після евакуації людей з приміщення.

На випадок виникнення пожежної ситуації, необхідно швидко евакуювати людей з приміщення. Для цього розробляються плани евакуації, встановлюються пожежні аварійні сигналізації, а також регулярно проводяться інструктажі з пожежної безпеки. Алгоритм дії при пожежі :

- евакуювати усіх, не зайнятих ліквідацією пожеж, людей із приміщення та вивести на вулицю;
- за необхідності відключити живлення електромережі;
- застосувати засоби пожежотушіння, до прибуття пожежної служби, якщо це не загрожує життю.

8.4.2 Заходи з цивільного захисту

В процесі функціонування підприємств, фабрик, заводів тощо, ймовірні аварійні ситуації (надзвичайні ситуації), які можуть погіршити екологічний стан регіону загалом (радіаційне забруднення внаслідок аварії на атомній електростанції), змінити рельєф та зруйнувати прилеглу місцевість (потужна енергетична хвиля внаслідок взриву), привести до зменшення місцевої популяції (аварії у хімічних або біологічних лабораторіях та заводах, чи внаслідок військових дій) тощо.

Існування сучасної економіки неможливо без усіх цих об'єктів, адже без електроенергії не будуть працювати заводи, що виготовляють необхідні товари, також зупиняться розробки та дослідження, які проводяться на спеціальних об'єктах. Тому викреслити їх неможливо, і з метою забезпечення безпеки працюючих, і збереження навколишнього середовища прогноуються можливі аварії, та розробляються відповідні плани щодо мінімізації впливу аварії та її швидкої ліквідації.

Час від часу, у світі трапляються несподівані НС, і це не обов'язково результат поганого планування, адже деякі фактори залишаються ймовірними, і розрахувати всі можливі варіанти можна лише з певною долею вірогідності.

Усі надзвичайні ситуації розділяють на дві групи:

- природні;
- техногенні.

Так до природних відносять ті НС, які трапляються внаслідок стихійних лих, та природних сил (землетрус, цунамі, повінь, урагани тощо), а до техногенних відносять НС ситуації, що можливі внаслідок взаємодії об'єктів у техносфері (викид радіації, небезпечних хімічних речовин, поширення вірусів за межі лабораторій, вибухи і пожежі на підприємствах, транспортні аварії тощо).

Для захисту населення від небезпечної та шкідливої дії вражаючого фактору, при виникненні НС, використовують завчасно підготовлені захисні споруди цивільного захисту (ЦЗ).

Захисні споруди цивільного захисту – інженерні споруди, призначені для захисту населення від впливу небезпечних факторів, що виникають внаслідок надзвичайних ситуацій, воєнних дій або терористичних актів.

Серед захисних споруд ЦЗ розрізняють наступні:

- сховища;

- протирадіаційні укриття (ПРУ);
- швидкоспоруджувані захисні споруди ЦЗ.

Сховище – спеціальна герметична споруда, підготовлена та обладнана для захисту людей, у якій створено умови, що виключають вплив небезпечних факторів, які виникли внаслідок військових дій чи терористичних актів.

Протирадіаційне укриття – спеціальна негерметична споруда для захисту людей, в якій створюються умови, що виключають вплив іонізуючого випромінювання у разі радіоактивного забруднення місцевості.

Сховища та ПРУ проектується відповідно до максимально можливої кількості місць. Відповідно для сховищ це 150 та більше, а для ПРУ – 10 та більше, згідно з «ДБН В.2.2-5-97». Конструкція каркасу укриття чи сховища має виконуватися з посилених з/б конструкцій, а також має бути обладнана системами вентиляції, опалення, водопостачання та каналізації, для перебування осіб, що укриваються, протягом 48 годин. Такі споруди зазвичай мають бути обладнані спеціальними протиударними дверима, які виконано з негорючих матеріалів, з ущільненою дверною коробкою.

Для швидкого заповнення захисної споруди особи, що укриваються, повинні заздалегідь вивчити маршрути руху. Напрямок руху до захисних споруд, від місць масового перебування людей, слід указувати покажчиками маршруту руху, вивішеними чи намальованими на видимих місцях. У нічний час написи, покажчики і входи мають бути освітлені або дубльовані світловими покажчиками.

Особи, що укриваються, повинні прибувати у захисну споруду із засобами індивідуального захисту та дводобовим запасом продуктів у поліетиленовій упаковці (якщо вони не закладені у захисній споруді), та мати при собі найнеобхідніші речі. Забороняється приносити у захисну споруду легкозаймисті речовини або речовини, що мають сильний запах, а також громіздкі речі, приводити тварин. Заповнювати захисні споруди необхідно організовано, без паніки. Розміщує людей у відсіках особовий склад

формувань з обслуговування захисних споруд. Осіб, що прибули з дітьми, розміщують в окремому відсіку чи у місці, спеціально відведеному для них. Дітей, людей похилого віку і людей із поганим самопочуттям розміщують у медичній кімнаті, або біля огорожувальних конструкцій і ближче до повітроводів.

Розміщення здійснюється, як правило, за виробничим, або територіальним принципами (цех, бригада, будинок), місця розміщення таких груп позначають табличками відповідного змісту. Особи, що укриваються, під час перебування у захисній споруді повинні виконувати усі вказівки командира і особового складу формування, що стосуються перебування у споруді, надавати їм необхідну допомогу.

Прибирання приміщень захисної споруди проводиться двічі на добу. Особлива увага приділяється обробці санітарних вузлів 0.5% розчином двох третіх основної солі гіпохлорида кальцію. Після відвідання санвузлів, руки дезінфікують 0.3% розчином хлораміну. Взуття після виходу з санвузлів дезінфікують шляхом обтирання його об мати, просочені 0.5% розчином хлораміну. У мішки, заповнені сміттям та відходами, слід додати один із хімічних консервантів із розрахунку на один кілограм відходів: параформану – 8 г, сірчано-кислої міді – 55 г, бромистої міді – 28 г, паронітрофенолу – 13 г.

Під час перебування у захисній споруді, забороняється:

- палити, шуміти, запалювати без дозволу гасові лампи, свічки, не слід ходити по приміщеннях без особливої потреби, необхідно дотримуватись дисципліни, якнайменше рухатися.

Слід організувати позмінний відпочинок людей на місцях, обладнаних для лежання. Для повноцінного відпочинку можна тримати у захисній споруді або брати з собою легкі підстилки і невеликі подушки з поролону, губчатої гуми або іншого синтетичного матеріалу.

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи було спроектовано частотно-ємнісний перетворювач, змодельовано його роботу у симуляторі MicroCap 12 та виготовлено діючий екземпляр пристрою. Частотно-ємнісний перетворювач дозволяє розширити функціонал наявного обладнання (CapaciSense 5), від Британської фірми GADCAP. Окрім наявної функції виміру зазорів між лопатками турбокомпресора ТРД, з даним пристроєм (частотно-ємнісний перетворювач), можливо визначити власну частоту коливань роторних лопаток, що також є важливою акустичною задачею при проектуванні авіаційних двигунів, з метою подальшого зменшення загального рівня шуму.

За допомогою вимірювального комплексу від НВП «Мера» – МІС-300, було оцифровано сигнал з частотою дискретизації 216 кГц, та записано у пам'ять комп'ютера.

Окрім того, проведено математичну обробку записаного сигналу, алгоритм якої наведено у розділі «5 Математична обробка сигналу». В результаті оброблення сигналу за даним алгоритмом, було отримано частоту «власних коливань роторних лопаток» (імітація реальних умов в експерименті).

Виготовлений макет знаходиться на стадії допрацювання і поліпшення параметрів (тривалий час виготовлення спеціального розніма, або його закупка у Британії, з метою стабільного контакту, за наявності вібрації, при реальній роботі макету на ТРД).

Експеримент проводився з імітацією реальних умов, адже встановлення частотно-ємнісного перетворювача на працюючий двигун – не рекомендовано до заміни контактного розніма або покупного, оригінального, або власного заводського виготовлення за відповідними кресленнями (кожне стендове випробування коштує значних сум, і тому спершу слід мінімізувати усі можливі недосконалості виготовлення і тільки потім проводити реальні дослідження).

Замість роторної лопатки, на перших випробуваннях, виступав металевий паралелепіпед, з розмірами 60мм x 10мм x 4мм, що приблизно відповідає габаритним розмірам перерізу роторної лопатки (в залежності від двигуна). Під час запису сигналу, над чутливою областю датчика коливали металевим паралелепіпедом через повітряний зазор 1-3 мм. Надалі, після обробки сигналу у середовищі MATLAB, отримали сигнал, що наведений на рисунку 5.9. Червоним віділено область 1, яка відповідає коливанням «роторної лопатки». Математична обробка дозволила прорахувати частоту коливань, яка склала ≈ 2 Гц (саме з такою частотою і виконувалися «ручні» коливання паралелепіпедом).

Отже, в даній роботі отримали повністю діючий макет частотно-ємнісного перетворювача, який можливо запровадити на підприємстві та використовувати при дослідженнях турбореактивних двигунів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хоменко И.В. Х76 Кварцевые резонаторы и генераторы: учеб. пособие [Текст] / И.В. Хоменко, А.В. Косых. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. – 160 с.
2. Хоровиц П. Искусство схемотехники: монография, издание 6-е. [Текст] / П. Хоровиц, У. Хилл. – Москва: Из-во «Мир», 2003. – 708 с.
3. Жан Макс. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Том 1. Основные принципы и классические методы [Текст] / Жан Макс, Жан-Клод Карре, Филипп Пельтье. Пер. с фр., под ред. Н.Г.Волкова. – Москва: Изд-во «Мир», 1983. – 312 с.
4. Жак Макс. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Том 2. Техника обработки сигналов. Применения. Новые методы [Текст] / Жак Макс, Мишель Мартен, Мишель Тротто, Р. Микель, Ф. Пельтье, М.Р. Бигре, Ж.Л. Лакум, Б. Эскудые, Л. Одер. Пер. с фр., под ред. Н.Г. Волкова. – Москва: Изд-во «Мир», 1983. – 256 с.
5. Ефимов И.П. Операционные усилители: учеб. пособие [Текст] / И.П. Ефимов. – Ульяновский Государственный Технический Университет, 2000. – 68 с.
6. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] / И.С. Гоноровский. – М.: Радио и связь, 1986 – 512 с.
7. Методичні рекомендації щодо виконання економічного розділу дипломного проекту здобувачами вищої освіти технічних спеціальностей за освітнім ступенем «магістр» / – Запоріжжя: каф. ОПУВ, НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 12 с.
8. Офіційний сайт розробника науково-виробничого підприємства «Мера». [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://nppmera.ru>.
9. Посилання на комунальні тарифи України. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://index.minfin.com.ua/tariff/>.

10. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломних роботах студентів освітнього ступеню «Магістр» / Укл.: О.В. Коробко. – Запоріжжя: каф. ОПіНС, НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 28 с.

11. ДБН 3.3.6.042-99 Документація. «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». – К.: Держстандарт України. – 1999. – 10 с.

12. ДБН В.2.5-28-2018 Документація. «Природне і штучне освітлення». – К.: Держстандарт України. – 2018. – 157 с.

13. ДСанНіП 3.3.6.096-2002 Документація. «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів». – К.: Держстандарт України. – 2002. – 28 с.

14. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Документація. «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин». – К.: Держстандарт України. – 1998. – 14 с.

15. ДБН В.2.2-28:2010 Документація. «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення». – К.: Держстандарт України. – 2010. – 52 с.

16. ДСТУ Б А.3.2-12:2009 Документація. «ССБП Системи вентиляційні. Загальні вимоги». – К.: Держстандарт України. – 2009. – 11 с.