

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Факультет електроніки

Факультет електроніки  
Кафедра радіофізики та  
інформаційних технологій

“Мікропроцесорна модель динамічної системи із  
затримкою”

Бакалаврська робота

Виконав  
студент 4-го курсу  
група ФЕІ - 41  
відділення інформаційних  
технологій  
факультет електроніки  
стаціонарної форми навчання  
Петришин Олег Ігорович

Науковий керівник  
\_\_\_\_\_доц. Благітко Б. Я.  
\_\_\_\_\_

Львів - 2014

## **Завдання**

В основі роботи є розгляд динамічної системи із затримкою, що є у мікропроцесорній системі квадрокоптера. Розгляд та оцінка затримки виконання команд квадрокоптера. Вивчення основних параметрів під час польоту квадрокоптера.

Мета роботи – дослідити динамічну систему на основі квадрокоптерів. Робота проводиться на основі прототипа квадрокоптера, на інтегральній схемі PSoC 5. Виконати моделювання квадрокоптера на ПЕОМ, а саме зобразити положення квадрокоптера відповідно до даних гіроскопа та акселерометра макетної плати. Дослідити вплив шуму показів датчиків гіроскопа та акселерометра. Застосувати фільтрацію даних відповідно до найбільш оптимального методу фільтрування даних.

Також метою роботи є оцінка даних датчиків висотоміра та барометра. Визначення відносної висоти відповідно до положення макету. Дослідження швидкості руху та зміни висоти макетної плати.

## **Анотація**

бакалаврської роботи

“Мікропроцесорна модель динамічної системи із затримкою”

У роботі розглянута мікропроцесорна модель із затримкою, в основі якої є квадрокоптер. Розглянуто основні параметри квадрокоптера, а також проведена оцінка датчиків положення квадрокоптера. Оцінено затримку виконання команд квадрокоптера. Проведено огляд основних проблем для розробки квадрокоптерів.

Стор. 50, Рис. 14, Табл. 3, Бібл. 9, Додат. 1

ключові слова: квадрокоптер, мікропроцесорна система, мікроелектромеханічна система.

## **Summary**

bachelor thesis

“The model of microprocessor of the dynamic system with delay”

In this work reviewing the model of the microprocessor of the dynamic system with delay in the base of quadcopter. Reviewed the main parameters of quadcopter and tested sensors quadcopter. Reviewed the delay for running commands quadcopter. Relesed the review fot main problems for quadcopter development.

Pgs. 50, Pict. 14, Tables. 3, Bibl. 9, Append. 1

key words: quadcopter microelectromechanical systems, microprocessor system

# Реферат

## дипломної роботи

### “Мікропроцесорна модель динамічної системи із затримкою”

Мікропроцесорна модель динамічної системи із затримкою, в основі якої розглядається квадрокоптер. Опрацювання команд мікропроцесором освоює певну затримку перед отриманою командою від ПЕОМ до мікропроцесора і одержання даних у зворотньому порядку.

Квадрокоптер керує чотирма двигунами постійного струму. За допомогою ланки зворотнього зв'язку, датчики положення та управління двигунами виконують роль корекції оборотів двигунів.

Робота містить інформацію давачів кутової швидкості, лінійного прискорення і альтиметра, що використовуються для реалізації навігаційної системи. Розроблена демонстраційна програма їх роботи.

Для реалізації функціоналу в роботі використовуються реконфігуровані мікроконтролери PSoC 5. Застосовані аналогові і цифрові блоки, процесорне ядро ARM Cortex M3, яке володіє високою обчислювальною швидкістю, підвищуючи точність вимірювань і продуктивність системи контролю.

## **Перелік умовних позначень та скорочень**

Квадрокоптер, квадроліт, мультикоптер, БПЛА.

Мікропроцесорна модель, PSoC, інтегральна схема.

Гіроскоп, акселерометр, просторові датчики (3D sensors).

Qt Framework (програмне середовище для розробки Qt).

ШІМ (PWM) — широтно-імпульсний модулятор.

ЕРХ – Електронний Регулятор Ходу

## Зміст

1. Вступ.....	9
2. Актуальність проблеми.....	10
3. Оглядова частина.....	11
3.1. Теорія динамічних систем. Динамічна система.....	11
3.2. Квадрокоптери.....	11
3.3. Напрямки використання квадрокоптерів.....	14
3.4. Керування польотом квадрокоптера.....	16
3.5. Моделювання ситуацій під час польоту квадрокоптера.....	17
3.6. Методи детектування перешкод.....	20
3.7. Принципи дії ультразвукового далекоміра.....	20
3.8. Моделювання положення квадрокоптера на основі даних датчиків висотоміра та барометра.....	22
3.9. Моделювання положення квадрокоптера на основі даних датчиків акселерометра та гіроскопа.....	28
3. 10. Дослідження затримки обробки інформації макетною платою....	30
3. 11. Фільтр Баттерворта. Фільтр Калмана.....	31
4. Програмна реалізація.....	37
5. Безпека праці.....	39
5.1. Техніка безпеки при роботі з ПК.....	39
5.2. Санітарні вимоги.....	40
5.3. Організація робочого місця.....	41
5.4. Безпека при травленні та нанесенні гальванічних покриттів.....	43
5.5. Безпека праці при паяльних роботах.....	46

5.6. Вимоги до вентиляції та опалення.....	47
Висновки.....	49
Список використаної літератури та інформаційних джерел.....	50
Додаток 1.....	51

## 1. Вступ

Новим напрямком у сучасній авіаінженерії та робототехніці є побудова мультикоптерів – безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з парною кількістю роторів, що обертаються діагонально в протилежних напрямках. У разі, коли двигунів чотири, такий БПЛА називається – квадрокоптер. На сьогодні головним трендом є створення невеликого безпілотного квадрокоптера. Основними властивостями БПЛА є можливість простого управління і маневрування у повітрі. Квадрокоптери мають великий попит серед інженерів чи дослідників у сфері робототехніки, а також знаходять своє застосування і в професійній сфері, наприклад, армії.

Сфери застосування БПЛА дуже тісно пов'язані із автоматизованим управлінням без втручання або часткового втручання людини. Такі автоматизовані системи розширюють можливості використання роботизованої праці, замінивши працю людини. БПЛА можуть виконувати різні завдання, що недоцільно для виконання пілотованими літальними паратами. Розглянемо деякі з них: спостереження повітряного простору земної чи водної поверхні; виконання бойових чи тактичних завдань; спостереження місцевостей із високих чи важкодоступних точок; екологічний контроль місцевості.



## 2. Актуальність проблеми

Під час роботи будь-якої системи можуть виникнути нештатні ситуації у зв'язку із втручанням різноманітних перешкод в область нормального режиму. Якщо розглядати систему на основі квадрокоптера, то такі перешкоди залишаються гострою проблемою під час польоту квадрокоптера. Інколи перешкоди можуть значно зашкодити системі, а також система при нештатній ситуації може нанести зовнішній вплив на середовище. Дуже важливою є забезпечення безпеки оточуючим людям, запобігти нанесенню шкоди.

Саме комп'ютерне моделювання польоту квадрокоптера може забезпечити розгляд основних проблем у роботі квадрокоптера, якісно оцінити можливий вплив на середовище під час польоту БПЛА. Комп'ютерне моделювання дозволяє отримати параметричну оцінку характеристик у проектуванні різноманітних ситуацій, наприклад, сильний порив вітру змінює вертикальної осі системи на землю, при цьому необхідно забезпечити вирівнювання польоту, стабілізацію положення, оцінка нового положення і введення подальших дій для виконання. Також важливим етапом моделювання є оцінка відносної висоти польоту. Абсолютна висота — це віддаль по вертикалі від будь-якої точки на поверхні Землі до середнього рівня поверхні океану. Якщо дана точка на деякій площині є меншою від середнього рівня поверхні океану, то знак такої величини є від'ємний, в іншому випадку додатній. Визначення абсолютної величини у часі дозволить отримувати швидкість зміни висоти польоту, а визначення відносної висоти (висота від площини системи до деякої поверхні) надасть інформацію про висоту польоту системи. Необхідність такої інформації для БПЛА є важливою, оскільки необхідно регулювати стабільний політ системи, уникаючи можливість виникнення непередбачуваної ситуації.

### **3.Оглядова частина**

#### **3. 1. Теорія динамічних систем. Динамічна система**

Теорія динамічних систем — розділ математики, що вивчає дію груп дифеоморфізмів на многовидах та їх підмножинах. Тісно пов'язаний з теорією диференціальних рівнянь, оскільки звичайне диференціальне рівняння задає однопараметричну групу дифеоморфізмів свого фазового простору. Динамічні системи розвиваються з часом. Теорія динамічних систем пов'язана з дисципліною математичне моделювання. Все в природі динамічне: економіка, екологія, соціологія, життя людини, життя країни, життя планети. Теорія динамічних систем може використовувати різні математичні методи в залежності від моделювання.

Динамічна система — математична абстракція, призначена для опису і вивчення систем, що еволюціонують з часом. Прикладом можуть служити механічні системи (рухомі групи тіл) або фізичні процеси.

Динамічна система - це будь-який об'єкт, чи процес (фізичний, хімічний, біологічний, обчислювальний, інформаційний, тощо), для якого у кожний момент часу визначено поняття стану як сукупності певної кількості параметрів та задано закон зміни цих параметрів у часі.

У роботі проведено розгляд динамічної системи на основі дослідження роботи квадрокоптера.

#### **3. 2. Квадрокоптери**

Квадрокоптер (він же квадрокоптер, англ. Quadrocopter, чотирироторний вертоліт) - літальний апарат з чотирма роторами (Рис. 1), що обертаються діагонально в протилежних напрямках (Рис. 2). Узагальнена назва апаратів подібного типу, з довільною кількістю роторів - мультикоптер. Багатороторні вертольоти розроблялися ще в перші роки вертольотобудування. Недоліком

цих апаратів була складна трансмісія (сукупність елементів чи агрегатів, призначених для передавання обертового моменту від двигуна до ведучої частини приладу або механізму), що передавала обертання одного мотора на кілька гвинтів. Винахід хвостового гвинта і автомата перекошу поклато край цим спробам. Нові розробки почалися в 1950-ті роки, але далі прототипів справа не просунулася. Нове народження мультикоптери отримали в XXI столітті, вже як безпілотні апарати. Завдяки простоті конструкції квадрокоптери часто використовуються в любительському моделюванні. Мультикоптери найчастіше використовують для кіно чи фото зйомки, камера винесена із робочої зони гвинтів.



Рис. 1. Прототип квадрокоптера Parrot Ar.Drone.

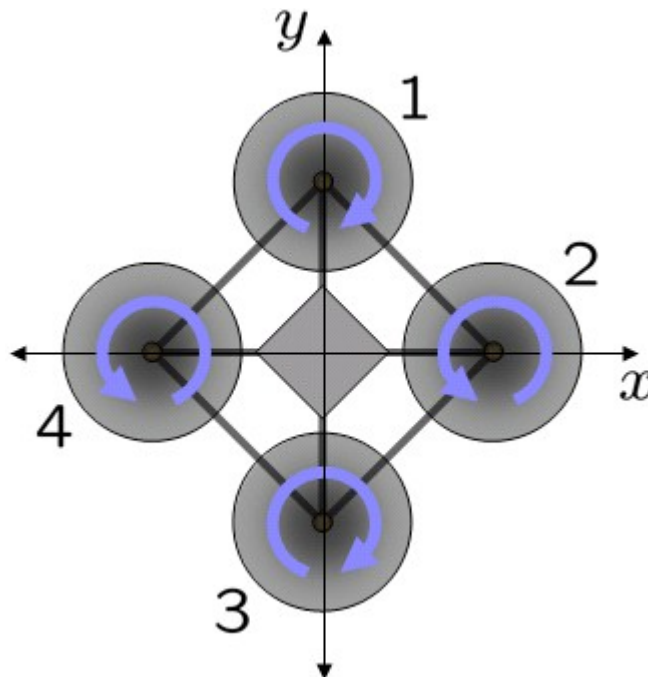


Рис. 2. Схематичне представлення роторів квадрокоптера.

Мультикоптери мають як парне (2, 4, 6, 8, 10 або навіть 12), так і непарне (3, 5) число гвинтів постійного кроку (автомата перекоосу, на відміну від одно і двох гвинтових апаратів, немає). Кожен гвинт приводиться в рух власним двигуном. Як правило, половина гвинтів обертається за годинниковою стрілкою, половина - проти, тому хвостовий гвинт мультикоптеру не потрібен. У деякому роді виняток становить трикоптер: один з моторів там розташовується на нанизаній на вісь рухомій платформі, кут повороту якої змінюється серво-приводом - так і здійснюється політ в сторони. І тим не менше, для всіх апаратів характерно маневрування, шляхом зміни швидкості обертання гвинтів. Наприклад: прискорити всі гвинти - підйом. Прискорити гвинти з одного боку і уповільнити з іншого - рух в сторону. Прискорити гвинти, що обертаються за годинниковою стрілкою, і сповільнити обертові проти - поворот. Мікропроцесорна система переводить команди радіоуправління в команди двигунам. Щоб забезпечити стабільне висіння, мультикоптери в обов'язковому постачають трьома гіроскопами, фіксує крен апарату. Як допоміжний інструмент, іноді, також використовується акселерометр, дані від якого дозволяють процесору встановлювати абсолютно горизонтальне положення, і бародатчик, який

дозволяє фіксувати апарат на потрібній висоті. Також, застосовують сонар для автоматичної посадки і утримання невеликої висоти, а також для обльоту перешкод. І найголовніше - GPS-приймач, що дозволяє записувати маршрут польоту заздалегідь, з комп'ютера, а також, повертати апарат в точку зльоту, в разі втрати керуючого радіосигналу, або знімати параметри польоту оперативно або потім.

### **3. 3. Напрямки використання квадрокоптерів**

#### **Університетське та розробницьке використання.**

Квадрокоптери є об'єктом для університетських досліджень для перевірки та оцінки нових ідей в ряді різних областей, в тому числі теорії управління польотом, навігації, систем реального часу і робототехніки. За останні роки багато університетів розробили квадрокоптери для виконання більш складних повітряних маневрів. Групи квадрокоптерів можуть не тільки зависати в повітрі, проте й автономно виконувати складні процедури, такі польоти, як сальто, проникати крізь тунелі чи вузькі щілини та виконати політ, групуючись у чергу.

Є багато переваг використання універсальних квадрокоптерних тестових платформ. Вони відносно дешеві, доступні за різних параметрів і їх проста механічна конструкція залишається доступною для усіх. У зв'язку з використанням квадрокоптерів у багатьох галузях, вчені з ряду областей повинні працювати разом, щоб зробити значні поліпшення у розробці квадрокоптерів. Квадрокоптерні проекти, як правило, це результат співпраці між інформатиків, електротехніків та інженерів механіки.

Завдяки гарній маневреності, квадрокоптери можуть бути корисні в найрізноманітніших ситуаціях і умовах. Квадрокоптери, що здатні до автономного польоту, можуть усунути необхідність людини на будь-якому небезпечному середовищі. Саме тому виникає великий інтерес розробників

для удосконалення квадрокоптерної платформи.

Існують деякі світового класу інженерно-дослідницькі лабораторії, що на даний час, ведуть розробки усе досконаліших методів та програм для квадрокоптерів. До них відносяться головним чином аерокосмічного управління Массачусетського технологічного інституту, гелікоптерів ЕТН Арена, та головний робототехнічний університет штату Пенсільванія, автоматизації, зондування і сприйняття (Грасп).

### **Військове та урядове використання.**

Квадрокоптерні БПЛА (безпілотні літальні апарати) використовуються для спостереження та розвідки військових і правоохоронних органів, а також пошуково-рятувальних робіт у міських умовах. Одним з таких прикладів є Aeryon Scout, створений канадською компанією Aeryon Labs, який слабкий БПЛА, які можуть спокійно зависати на місці і використовувати камеру, щоб спостерігати за людьми та об'єктами на землі. Компанія стверджує, що машина грає ключову роль у виявленні поширення наркотиків по Центральній Америці, надаючи візуальне спостереження за торговцем наркотиками, навіть у глибині джунглів (компанія Aeryon не розкриватиме назви країни та інших оБПЛАстей у засоби масової інформації).

### **Комерційне використання.**

Найбільше використання квадрокоптери набули в оБПЛАсті аерофотозйомки. Квадрокоптерні БПЛА підходять для цієї роботи, тому що в їх основі є автономний характер і економія значних затрат. Одержання аерофотознімки з квадрокоптерів так само просто, як програмування GPS координат, натиснувши кнопку “перейти у місце призначення”. Із використанням бортових камер, користувачі мають можливість транслявати відео у прямому ефірі. Багато компаній використовували це для реальної

фотографії нерухомості у системах виробничого контролю. Різні організації використовують квадрокоптери у своїх інтересах для забезпечення телевізійної зйомки із висоти.

### **3. 4. Керування польотом квадрокоптера.**

Кожен ротор виробляє як тягу, так і обертовий момент щодо центру обертання, а також силу опору протилежно до напрямку польоту. Якщо всі ротори обертаються з тією ж кутовою швидкістю, перший та третій ротори за годинниковою стрілкою і другий та четвертий (див. рис 2) - проти годинникової стрілки, досягається нульовий аеродинамічний момент і кутове прискорення навколо осі обертання дорівнює нулю. Це означає, що стабілізуючий ротор, як у звичайних вертольотів, не потрібен. Обертання індуковане за невідповідності балансу в аеродинамічному моменті (наприклад, шляхом виконання команд тяги ротора, що обертається в протилежних напрямках до пар гвинтів).

Кутове прискорення по обертанню вздовж горизонтальної осі і по горизонтальній можуть бути викликані окремо, не впливаючи на вертикальній осі. Кожна пара гвинтів, обертаючись в тому ж напрямку, керує однією віссю, або коченням або нахилом, і збільшення тяги для одного ротора при зниженні тяги для інших буде підтримувати обертовий момент для зміни кута повороту по горизонталі (рискання). Таким чином фіксовані лопаті можуть бути зроблені для маневру. Поступальне прискорення досягається за рахунок підтримки ненульового крену.

Використання чотирьох роторів необхідне, оскільки вони діють симетрично до парних осей. З чотирьох роторів легко отримати баланс тяги. Оскільки пара бічних роторів обертаються в протилежних напрямках, а один збільшується у той час як протилежний по осі зменшується, загальний реактивний момент рискання і сили тяги залишається рівним нулю. Аналогічний підхід відноситься до контролю тангажу з використанням

поздовжніх пар роторів. У пілотуванні вертольота, контроль повороту, врівноважуючи з реактивного моменту від несучого гвинта є складним процесом і вимагає значної практики.. На практиці, новітні квадрокоптери сьогодні використовують спеціальні прилади, що реагують на зміну орієнтації системи — гіроскоп, вони використовуються для стабілізації повороту.

Квадрокоптери можуть використовувати основу у вигляді або ромба або квадрата, для роторів. Ромбоподібну основу трохи легше зрозуміти, так як кожна вісь управління спирається на одну пару роторів і для інших вона не змінюються. З додаванням простого регулятора змішувача ходу, квадратний візерунок працює так само легко. Як хвіст V деяких літаків, рухи є чистими у напрямку нахилу до горизонтальної осі та оберту по ній, потім виконуватимуться, як комбінований вхід двох діагональних осей.

### **3. 5. Моделювання ситуацій під час польоту квадрокоптера.**

Як відомо, нештатну ситуацію можна поділити по характеру на статичну та динамічну. Тобто під час польоту у заданому напрямі можуть перебувати перешкоди, які необхідно оминати і продовжити політ у заданому напрямку. Якщо система перебуває у режимі очікування і виникає динамічна перешкода (наприклад, людина рухається у напрямку квадрокоптера), то необхідно змінити місце очікування, вибравши безпечну точку.

Для того, щоб досягти в результаті проекту стабільних польотних характеристик квадролета, потрібно запрограмувати механізми керування двигунами. Під керуванням двигунами мається на увазі регулювання їх кутових швидкостей. Вони ж є кутовими швидкостями повітряних гвинтів. А гвинти в системі закріплені таким чином, що їх вісь обертання статична відносно фюзеляжу судна. Тому їх індивідуальна швидкість — єдина регульована величина. А вплив на систему в цілому несуть не лише регульовані величини, але й сторонні паразитні. Також необхідно зазначити,



що квадроліт не володіє авіаційною стабільністю. Тобто при зупинці двигунів квадроліт миттєво втратить задану орієнтацію і напрямок руху і зазнає краху від падіння. Для того, щоб як найкраще запрограмувати механізми автоматичного контролю швидкістю гвинтів, треба знати яка залежність між зміною форми керуючого сигналу і фізичним результатом. Тобто потрібно знати реакцію системи. Така реакція складається в найпростішому розгляді із двох компонент: зміна кутових швидкостей гвинтів (зміна частот обертання роторів двигунів) зміна сили тяги повітряного гвинта. Також потрібно знати, на скільки відрізняються двигуни з однієї серії між собою, тобто, з яким можливим розкидом значень прийдеться працювати при реалізації механізму стабілізації положення судна.

Для квадролету справедливо буде вважати, що умовою відривання від землі є переважання результуючої піднімальної сили тяги гвинтів над силою тяжіння:

$$F > mg$$

Щоб забезпечити функцію автоматичного підтримування заданої висоти польоту квадролета, потрібно врахувати два можливі випадки. У першому випадку квадроліт летить у певному напрямку із певною швидкістю поступального руху. При цьому модуль піднімальної сили є проекцією сумарної сили тяги гвинтів на нормаль до землі. А отже, піднімальна сила є змінна за рахунок регулювання кута проекції, а також при зміні сумарної сили тяги гвинтів. В другому випадку квадроліт не здійснює поступального руху, а перебуває в стані спокою. Для цього повинна виконуватись рівність:

$$F = mg.$$

Очевидно, що в цьому випадку піднімальна сила  $F$  залежить лише від сумарної сили тяги гвинтів, а кут проекції її до нормалі є нульовим. Отже, у другому випадку плавність керування позиціонуванням квадролетом буде залежати лише від дискретності регулювання піднімальної сили. На рис.2.4.1

зображено найпростіший варіант реалізації стабілізатора висоти квадролету згідно розглянутого другого випадку. Для реалізації пропорційно-інтегрально-диференційного регулювання значимість дискретності керування швидкістю двигуна, як і силою тяги гвинта, не зменшується. Силова частина квадролета складається із двигунів і електронних регуляторів ходу (ЕРХ).

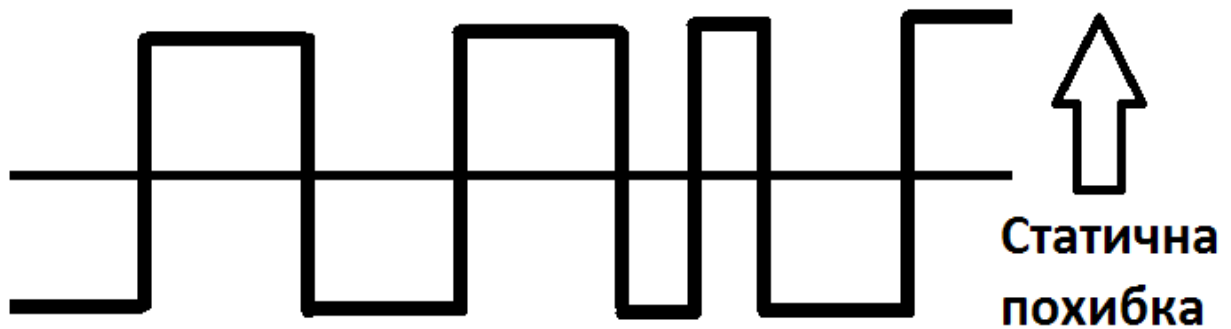


Рис. 3. Найпростіший варіант регулювання двигуном для утримування квадролетом заданої висоти при відсутності поступальних рухів в горизонтальній площині.

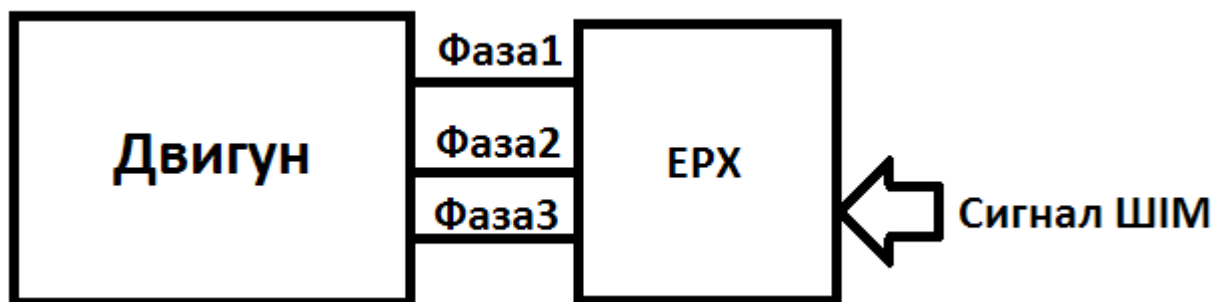


Рис. 4. Блок-схема силової частини квадролета. У квадролета таких частин чотири.

Також відрізняються між собою ЕРХ в світлі не ідеальності реального фізичного світу. Постає задача раціонального отримання характеристичних значень. Раціональність полягає у спрощенні процесу, короткому часі виконання і автоматизмі. Автоматика має покращити повторюваність отримуваних результатів і їх безпомилковість.

### **3. 6. Методи детектування перешкод.**

Один із найпоширеніших методів детектування перешкод — використання далекоміра, для визначення поточної відстані до найближчого об'єкта.

Далекомір — прилад, для вимірювання відстані безконтактним способом. Далекоміри, що побудовані на основі надсилання ультразвуку надзвичайно ефективні та прості у користуванні у аналогових електронних системах. Завдяки точному калібруванню дальнометра, можна якнайточніше визначити на якій відстані знаходиться перешкода. А якщо використовувати порівняння попередньо отриманих значень далекоміра, можна приблизно спрогнозувати можливий час до зіткнення із перешкодою. Завдяки математичному моделюванню, можна визначити траєкторію руху перешкоди, надати відповідний рівень “небезпеки” їй і виконати відповідне рішення після аналізу даних.

### **3. 7. Принципи дії ультразвукового далекоміра.**

Далекомір складається з двох частин - приймальної і передавальної - обидві частини у роботі керуються схемою управління.

Відстань міряється наступним чином: приймальна частина випромінює через резонуючий елемент пачку звукових імпульсів з частотою  $>20\text{кГц}$ . Довжина пучка вибирається за потребою. Пучок потрібен для того що б "розгойдати" елемент зі стоячого положення. Далі коливання резонуючого елемента передаються повітрям і поширюються вперед (і вбік - залежить від елемента) як звичайний звук. Якщо попадається більш-менш перпендикулярна перешкода, то частина коливань відбивається назад і поширюються точно так само в бік далекоміра. Хвилі потрапляють на елемент приймальної частини (по суті мікрофон) і фіксуються схемою.

Звук в повітрі поширюється досить повільно, час його польоту

пропорційно відстані, який він пролетів. Цей метод називають метод ехолокації (Рис. 3).

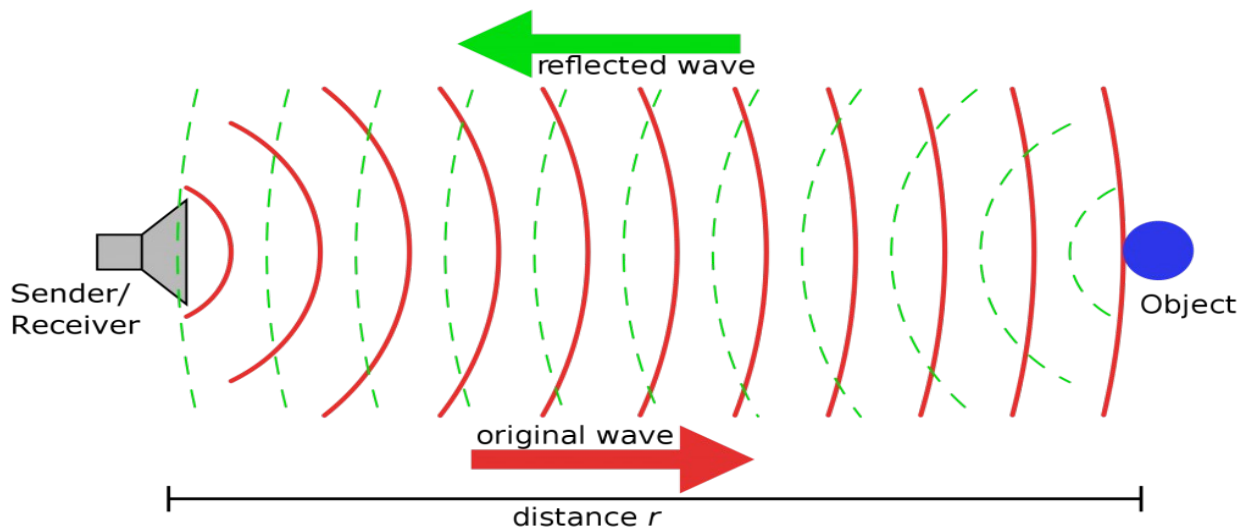


Рис. 5. Схематичне представлення проходження хвиль ехолокації.

Для детектування перешкод квадрокоптером у просторі необхідно використовувати декілька датчиків далекомірів, для більш об'єктивної оцінки перешкод. У даній роботі буде розглянуто 2 датчики далекомірів, встановлених по вертикальній (Рис. 4а) та горизонтальній (Рис. 4б) осях квадрокоптера.

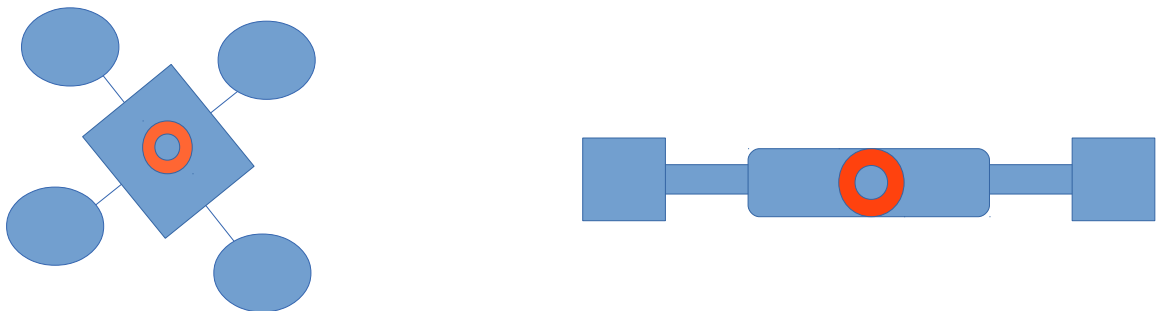


Рис. 6. а) Вертикальний вид квадрокоптера.

б) Горизонтальний вид квадрокоптера  
(кільце вказує на розміщення далекоміра).

Завдяки вертикальному розміщені далекоміра, можна регулювати мінімальну висоту польоту, або мінімальну віддадь максимальної висоти у приміщенні. А завдяки горизонтальному розміщенні далекоміра можна

встановлювати максимальне наближення до об'єкта.

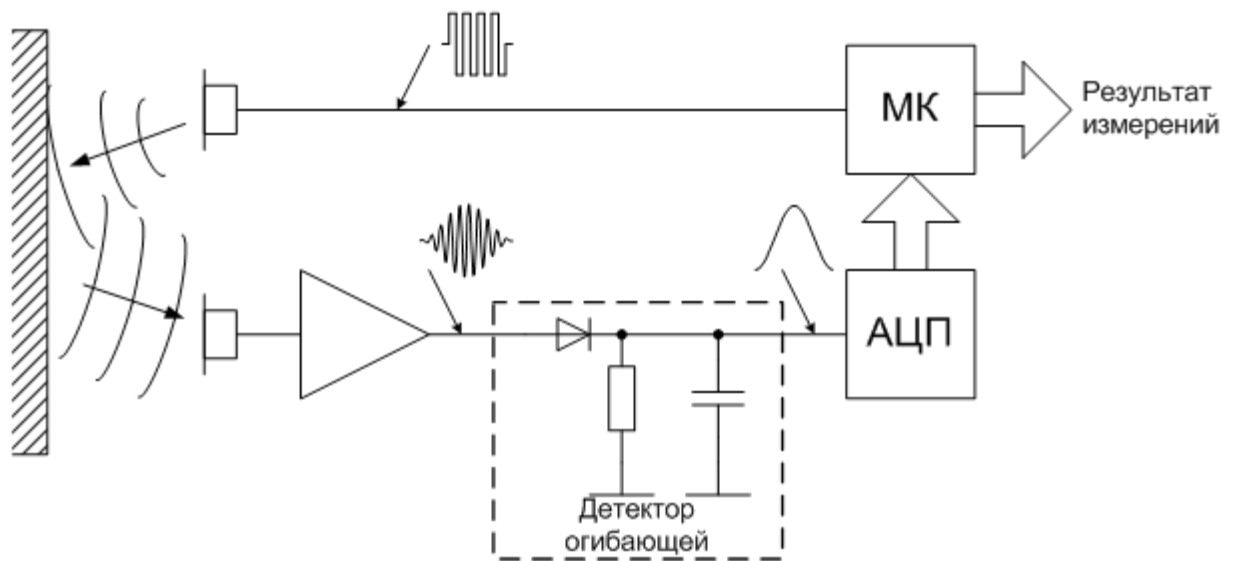


Рис.7. Функціональна схема далекоміра

### 3. 8. Моделювання положення квадрокоптера на основі даних датчиків акселерометра та гіроскопа

Акселерометр — прилад, яким вимірюють прискорення або перевантаження, що виникають під час випробування різних машин та їхніх систем.

Акселерометр — прилад для вимірювання сили реакції індукованої прискоренням або гравітацією. Одно- та багато-вісні моделі можуть визначати величину та напрям прискорення у вигляді векторної величини і тому можуть бути використані для визначення орієнтації, вібрації й ударів.

Акселерометр вимірює проекцію повного прискорення. Повне прискорення є рівнодіючою сил негравітаційної природи, що діє на масу, віднесеної до величини цієї маси. Акселерометр можна застосовувати як для того, щоб вимірювати проекції абсолютного лінійного прискорення, так і посередні проекції гравітаційного прискорення. Остання властивість

використовується щоб створювати інклінометри. Акселерометр входить до складу інерційних навігаційних систем, де отримані за їх допомогою виміри інтегрують, отримуючи інерційну швидкість і координати носія.

Моделювання положення макетної плати можна виконувати використовуючи два сенсори акселерометр та гіроскоп. Завдяки акселерометру можна одержати діюче прискорення по трьох осях. Покази акселерометра можна проінтегрувати і одержати дійсні значення кутів, опираючись на початкові значення.

#### Технічні параметри акселерометра LSM303DLH

Динамічний діапазон для прискорень:  $\pm 2g$

Роздільна здатність:  $1mg$  / біт

Активних осей: 3(x,y,z)

Інтерфейс: послідовний, I2C з частотою роботи 400 КГц

Акселерометр міряє не тільки проекції прискорення руху на його осі, але й проекції прискорення вільного падіння. Таким чином є змога визначити кут положення квадролаета щодо нормалі до землі.

Акселерометр додатково надає сигнальну лінію, за допомогою якої здійснює оповіщення про виникнення стану вільного падіння. Це дає змогу запрограмувати за допомогою переривання аварійну зупинку двигунів у разі нештатної ситуації – початок вільного падіння. Така ситуація може виникнути при перевищенні кута нахилу квадролаета при недостатній тязі гвинтів.

В корпусі акселерометра міститься магнетометр, що міряє проекції магнітного поля на свої осі.

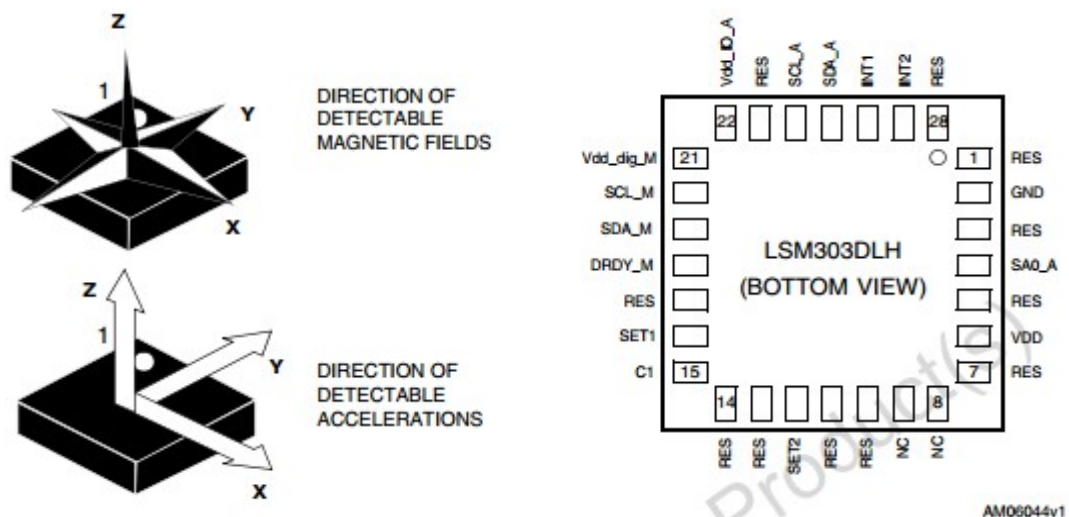


Рис. 8. Акселерометр та магнетометр

Гіроскоп - пристрій, здатний реагувати на зміну орієнтації основи, на якій його встановлено, відносно інерціального простору. Гіроскоп містить швидкообертове тверде тіло, яке має три обертальні ступені вільності, тобто можливість обертання навколо трьох взаємно-перпендикулярних осей.

Вісь у тілі (роторі) гіроскопа, навколо якої гіроскопу надано швидкого обертання, називають головною віссю гіроскопа або віссю власного обертання.

Гіроскоп має три характерні властивості:

- стійкість напрямку головної осі в інерціальному просторі, тобто здатність гіроскопа ефективно опиратися зовнішнім діям, які прагнуть змінити напрямок його головної осі у просторі (інерціальному);
- прецесії: якщо на гіроскоп діє постійний момент сил, який прагне змінити напрямок головної осі, то головна вісь набуває обертання з постійною кутовою швидкістю у площині, яка проходить через головну вісь і вісь прикладеного моменту сил; швидкість цього обертання (прецесії) обернено пропорційна кутовій швидкості власного обертання гіроскопа;

- нутації: якщо на гіроскоп подіяв ударний імпульс сил, який прагне змістити напрямок його головної осі, то головна вісь починає здійснювати коливання (з великою частотою і вельми малою амплітудою), описуючи у просторі конічну поверхню з вершиною у точці підвісу; частота нутації прямо, а амплітуда нутації обернено пропорційні величині власної кутової швидкості гіроскопа.

Усі ці властивості суттєво визначаються величиною кутової швидкості власного обертання гіроскопа та його моментом інерції.

Сучасні гіроскопи ґрунтуються на вимірюванні вібраційних та хвильових параметрів резонаторів різних типів (механічних, оптичних тощо). Принципи їхньої дії ґрунтуються на ефектах Саньяка, Фермі, Брайана (інерції стоячих хвиль у пружному кільці та у вісесиметричних оболонках), ефекті інерції поляризації пружних хвиль зсуву тощо.

Прилади, що використовують властивості гіроскопа, застосовуються в ряді галузей науки і техніки, зокрема в системах навігації і системах керування рухомих транспортних засобів (суден, літальних і космічних апаратів, ракет, торпед тощо).

Технічні параметри гіроскопа L3G4200D:

Динамічний діапазон для кутових швидкостей:  $\pm 250$  град/с

Роздільна здатність: 8,75 мград / біт

Активних осей: 3 (x, y, z)

Інтерфейс: послідовний, I2C з частотою роботи 400 кГц

Для реалізації альтиметра застосовано інтегрований барометр і термометр HDPМ01 з наступними характеристиками:



Значення абсолютних тисків: 300-1100 гПа

Інтерфейс: послідовний, I2C з частотою роботи 400 кГц

Містить калібрувальні коефіцієнти у пам'яті типу 24C02

Мінімальна роздільна здатність вимірювання тиску: 10 Па

Відносна похибка вимірювання тиску:  $\pm 2$  гПа

Мінімальна роздільна здатність вимірювання температури:  $1^{\circ}\text{C}$

Відносна похибка вимірювання температури:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

В корпусі акселерометра міститься магнетометр, що міряє проєкції магнітного поля на свої осі.

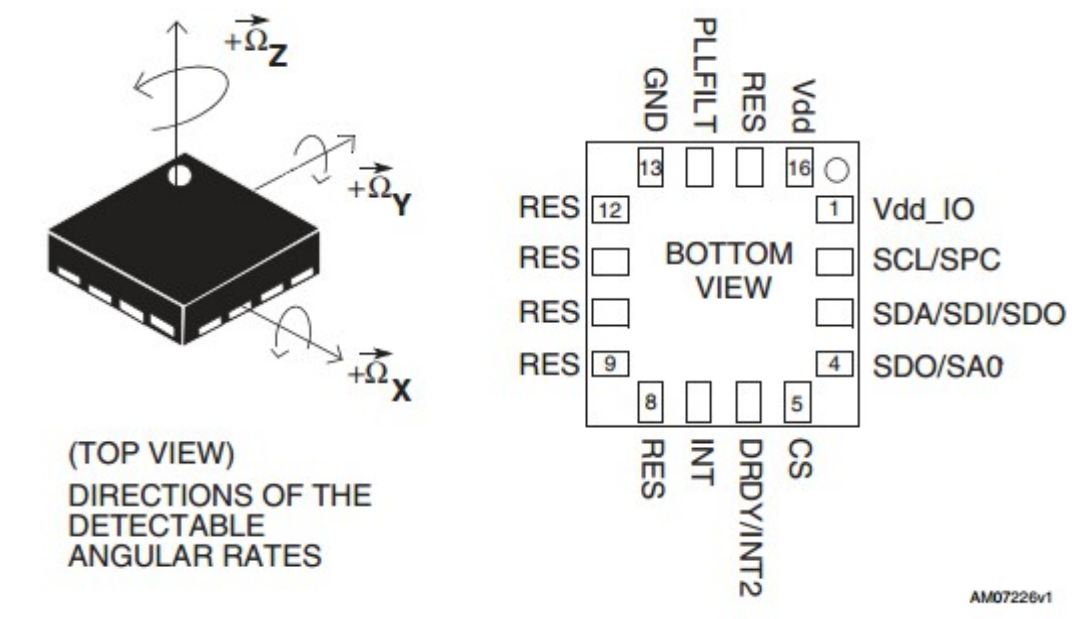


Рис. 9. Схематичне зображення інтегральної схеми гіроскопа

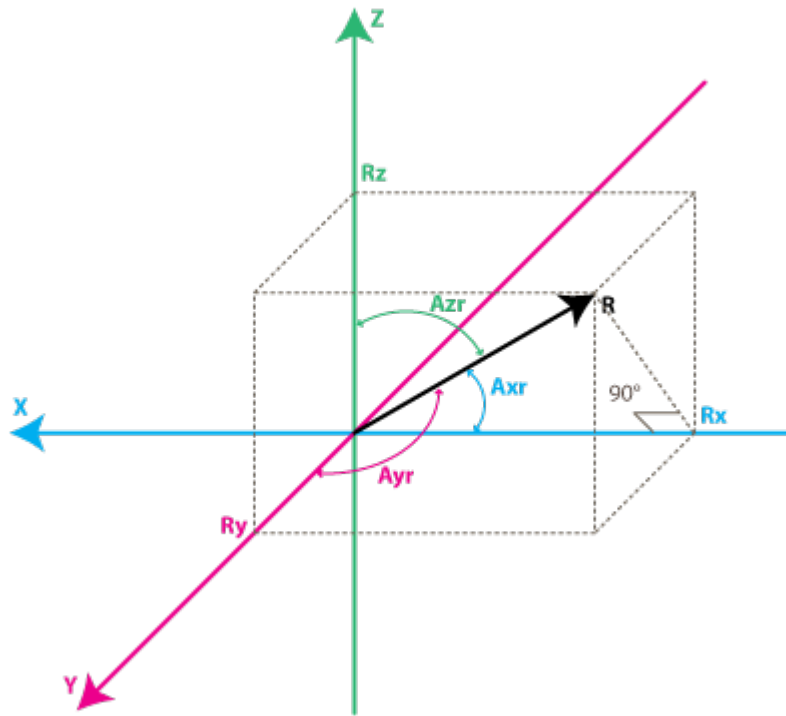


Рис. 10. Знаходження кутів положення від датчиків гіроскопа

Кожний канал даних гіроскопа вимірює поворот до однієї з осей. На рисунку зображено приклад позначення кутів для гіроскопа.

Від датчика гіроскопа ми отримуємо проекцію на одну з осей. Тому необхідно перетворити проекцію у значення кута для певної осі. У нашому випадку для трьох осьового гіроскопа - значення проекцій ( $R_x, R_y, R_z$ ).

Відповідно до положення системи, справедливі наступні обчислення:

$$\cos(A_{xr}) = R_x / R$$

$$\cos(A_{yr}) = R_y / R$$

$$\cos(A_{zr}) = R_z / R$$

$R$  — напрямний вектор, відповідно до кутів. Визначається він відповідно формули

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$$

Обраховуємо  $A_{xr}$ ,  $A_{yr}$  та  $A_{zr}$ :

$$A_{xr} = \arccos(R_x/R)$$

$$A_{yr} = \arccos(R_y/R)$$

$$A_{zr} = \arccos(R_z/R)$$

### **3. 9. Моделювання положення квадрокоптера на основі даних датчиків альтиметра та барометра**

Альтиметр (або висотомір) — інструмент, що використовується у літальних апаратах для вимірювання висоти підйому або висоти над рівнем моря. Поширена форма — барометр-анероїд, що працює за принципом визначення різниці тиску повітря на різній висоті.

Барометр — прилад для вимірювання атмосферного тиску. Також може застосовуватися як альтиметр, для вимірювання висоти над рівнем моря.

Зміна висоти положення обчислюється за допомогою відомої барометричної формули. При цьому значення тиску отримане від давача тиску підлягає поправкам відносно температури, оскільки давач тиску є температуро залежним. Формули розрахунку поправок приведені виробником у технічній документації. Коефіцієнти для введення поправок містяться у пам'яті давача і вчитуються по шині I2C. Ця пам'ять є аналогічною до eeprom типу 24C00. Коефіцієнти читаються при старті системи на етапі ініціалізації полів всіх службових структур.

Барометрична формула — формула, за якою визначають залежність тиску або густини газу від висоти. Ця залежність зумовлена дією поля тяжіння Землі і тепловим рухом молекул газу (повітря). Припускаючи, що газ є ідеальним газом сталої температури, і вважаючи поле тяжіння Землі однорідним, отримують барометричну формулу такого вигляду:

$$p = p_0 \exp \left( -\frac{mgh}{kT} \right)$$

де  $p_0$  — тиск на нульовому рівні (на рівні вибою в газових свердловинах, біля поверхні Землі або на рівні моря), Па;

$p$  — тиск на висоті  $h$ , м над цією поверхнею, Па;

$m$  — маса молекули (для повітря дорівнює масі молекули азоту), кг;

$g$  — прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$k$  — стала Больцмана, Дж/К;

$T$  — абсолютна температура повітря, К.

Записана барометрична формула є наближеною: при виведенні її не враховано залежності  $g$  і  $T$  від висоти, відхилення газу від ідеального газу тощо. Нею можна користуватися для визначення атмосферного тиску до висоти 11 км (з поправками на зміну температури). За уточненою барометричною формулою градуюють альтиметри, висотоміри.

### **3. 10. Дослідження затримки обробки інформації макетною платою**

Виконання команд мікроелектронною друкованою платою займає певний час. Тривалість для виконання команд називають затримкою. Затримка виконання необхідна для опрацювання мікроконтроллером набору інструкцій та команд, що у ньому закладені. У даному випадку виконання операцій мікроконтроллером PSoC 5 для обробки датчиків положення, управління, комунікації із зовнішніми пристроями загалом займає доволі складний процес. Серед труднощів які можна виділити є — отримання вхідного потоку даних, перетворення у послідовність команд; одержання усіх даних від датчиків положення (гіроскоп, акселерометр, барометр, термометр); одержання даних від датчиків керування роторами (цифро-аналоговий перетворювач, широтно-імпульсний модулятор); структурування усіх даних в один пакет повідомлення та передача по каналу зв'язку. Усі ці операції виконуються циклічно. У ролі обробника інформації є ПЕОМ для моделювання положення макетної плати.

Комунікація з ПЕОМ налаштована за допомогою інтерфейсу USB. Макетна плата для опрацювання даних по USB інтерфейсу використовує програмовану компоненту USB FS, також вона служить для передачі даних назад у ПЕОМ. Розмір повідомлення передачі складає 100 байт. Такий розмір повідомлення достатній для передавання даних акселерометра та гіроскопа, по три- осевими координатами у форматі цілого числа із знаком. Також передача даних у вигляді стрічки температури, тиску та відносної висоти (від рівня моря).

У програмній реалізації використовується циклічний моніторинг під'єднання макетної плати. Частота опитування складає 50 Гц. Дана частота може збільшуватись до 1 КГц. Для моделювання макетної плати у просторі для спостереження на ПЕОМ достатньо 50 Гц.

Автоматизована система надає інтерфейс користувачу для здійснення налаштувань, режимів, тощо і для отримання результатів. В результаті роботи

система повинна видати набір точок – значень кутової швидкості і сили тяги (піднімальної сили) двигуна в залежності від форми його вхідного керуючого сигналу.

Отже, система генерує сигнал із ШІМ, тривалість робочого часу якого змінна в часі, і вимірює величини – частоту обертання і силу. Постає закономірне питання: яка характеристика абсолютних значень форми ШІМ сигналу для ЕРХ. У документації ЕРХ наведено наступні значення: період сигналу ШІМ – 20мс мінімальний робочий цикл – 1мс максимальний робочий цикл – 2мс .

Отже при тривалості робочого циклу 1мс – двигун не обертається. При тривалості робочого циклу 2мс – двигун обертається на максимальних обертах. Період сигналу 20мс означає, що впливати на швидкість обертання можна лише 50 разів за секунду. Цього на перший погляд не достатньо для стабільної роботи квадролаета. Тому цікавить можливість зменшення цього періоду. Загально відомо, що це застарілий стандарт ЕРХ, проте насправді можливо таки можна подавати сигнал і з більшою частотою. Цей параметр підлягає встановленню у майбутньому.

### **3. 11. Фільтр Баттерворта. Фільтр Калмана**

Фільтр Баттерворта - один з типів електронних фільтрів. Фільтри цього класу відрізняються від інших методом проектування. Фільтр Баттерворта проектується так, щоб його амплітудно-частотна характеристика була максимально гладкою на частотах смуги пропускання.

Амплітудо-частотна характеристика фільтра Баттерворта максимально гладка на частотах смуги пропускання і знижується практично до нуля на частотах смуги придушення. При відображенні частотного відгуку фільтра Баттерворта на логарифмічною АФЧХ , амплітуда знижується до мінус нескінченності на частотах смуги придушення. У разі фільтра першого порядку АЧХ загасає зі швидкістю -6 децибел на октаву (-20 децибел на

декаду ) (насправді всі фільтри першого порядку незалежно від типу ідентичні і мають однаковий частотний відгук). Для фільтра Баттерворта другого порядку АЧХ загасає на -12 дБ на октаву, для фільтра третього порядку - на -18 дБ і так далі. АЧХ фільтра Баттерворта - монотонно спадна функція частоти. Фільтр Баттерворта - єдиний з фільтрів, що зберігає форму АЧХ для більш високих порядків (за винятком більш крутого спаду характеристики на смузі придушення) тоді як багато інших різновиди фільтрів ( фільтр Бесселя , фільтр Чебишева , еліптичний фільтр ) мають різні форми АЧХ при різних порядках.

У порівнянні з фільтрами Чебишева I і II типів або еліптичних фільтром, фільтр Баттерворта має більш пологий спад характеристики і тому повинен мати більший порядок (що більш важко в реалізації) для того, щоб забезпечити потрібні характеристики на частотах смуги придушення. Однак фільтр Баттерворта має більш лінійну фазо-частотну характеристику на частотах смуги пропускання.

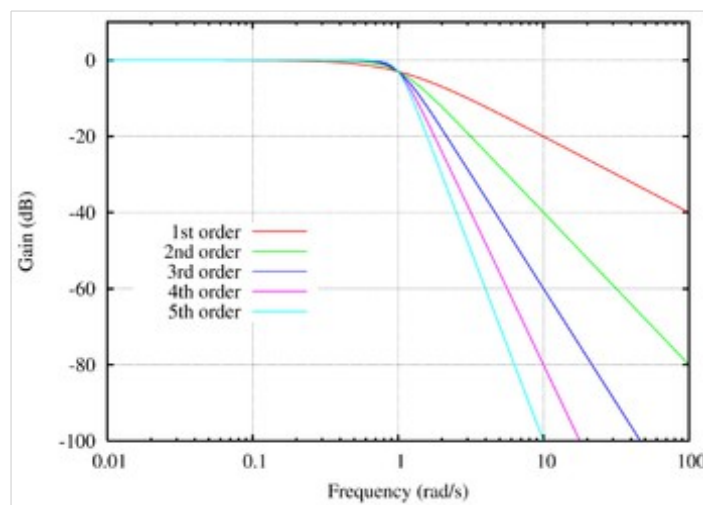


Рис. 12. ЛАЧХ для фільтрів Баттерворта нижніх частот порядку від 1 до 5.

Нахил характерстікі -  $20n$  дБ / декаду, де  $n$  - порядок фільтра.

Як і для всіх фільтрів при розгляді частотних характеристик використовують фільтр нижніх частот , з якого легкоможна отримати фільтр високих частот , а, включивши кілька таких фільтрів послідовно, - смуговий

фільтр аборежекторний фільтр .

Амплітудно-частотна характеристика  $G(\omega)$  фільтра Баттерворта  $n$ -го порядку може бути отримана з передавальної функції  $H(s)$  :

$$G^2(\omega) = |H(j\omega)|^2 = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}$$

де

$n$  - Порядок фільтра

$\omega_c$  - Частота зрізу (частота на якій амплітуда дорівнює-3dB)

$G_0$  - Коефіцієнт посилення по постійної складової (посилення на нульовій частоті)

Легко помітити, що для нескінченних значень  $n$  АЧХ стає прямокутною функцією, і частоти нижче частоти зрізу будуть пропускатися з коефіцієнтом посилення  $G_0$ , а частоти вище частоти зрізу будуть повністю придушуватися. Для кінцевих значень  $n$  спад характеристики буде пологим.

За допомогою формальної заміни  $s = +j\omega$  представимо вираз  $H(s)H(-s)$  у вигляді  $|H(\omega)|^2$ :

$$H(s)H(-s) = \frac{G_0^2}{1 + \left(\frac{-s^2}{\omega_c^2}\right)^n}$$

Полюси передавальної функції розташовані на колі радіуса  $\omega_c$  рівновіддалено один від одного в лівій півплощині. Тобто передавальну функцію фільтра Баттерворта можна визначити лише визначенням полюсів його передавальної функції в лівій півплощині  $s$ -площині .  $k$ -й полюс визначається з наступного виразу:

$$-\frac{s_k^2}{\omega_c^2} = (-1)^{\frac{2k-1}{n}} = e^{\frac{j(2k-1)\pi}{n}} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n$$

звідки

$$s_k = \omega_c e^{\frac{j(2k+n-1)\pi}{2n}} \quad k = 1, 2, 3, \dots, n$$



Передавальну функцію можна записати у вигляді:

$$H(s) = \frac{G_0}{\prod_{k=1}^n (s - s_k / \omega_c)}$$

Аналогічні міркування застосовні і до цифровим фільтрам Баттерворта, з тією лише різницею, що співвідношення записуються для  $s$ -площині, а для  $z$ -площині.

Знаменник цього передавальної функції називається поліномом Баттерворта.

### **Фільтр Калмана.**

Фільтр Калмана — це алгоритм, що використовує послідовності вимірювань протягом часу, які містять шум (випадкові відхилення) та інші неточності, й видає оцінки невідомих змінних, що є потенційно точнішими за базовані на самих лише вимірюваннях. Формальніше, фільтр Калмана працює рекурсивно на потоках зашумлених вхідних даних, і видає статистично оптимальну оцінку базового стану системи. Фільтр названо на честь Рудольфа Калмана, одного з головних розробників його теорії.

Фільтр Калмана має численні застосування у технології. Поширеним є застосування для наведення, навігації та керування транспортними засобами, особливо літаками та космічними апаратами. Крім того, фільтр Калмана є широко застосовуваною концепцією в аналізі часових рядів, що використовується у таких галузях як обробка сигналів та економетрія.

Цей алгоритм працює як двокроковий процес. На кроці передбачення фільтр Калмана видає оцінки змінних поточного стану, разом із їхніми невизначеностями. Щойно отримано спостереження виходу наступного вимірювання (неодмінно якоюсь мірою спотворене відхиленням, включно з випадковим шумом), ці оцінки уточнюються з використанням середнього зваженого, в якому більше ваги надається оцінкам з вищою визначеністю.

Використовши рекурсію алгоритму, є можливість працювати в

реальному часі, використовуючи лише наявні вхідні вимірювання, попередньо обчислений стан та його матрицю невизначеності; ніякої додаткової інформації не потрібно.

Фільтр Калмана є рекурсивним оцінювачем. Це означає, що для обчислення оцінки поточного стану необхідні лише оцінка стану з попереднього кроку та поточні вимірювання. На відміну від пакетних методів оцінювання, історія спостережень та/або оцінок не потрібні. Надалі запис  $\hat{\mathbf{x}}_{n|m}$  представляє оцінку  $\mathbf{x}$  в момент часу  $n$  при заданих спостереженнях по момент часу  $m$  включно.

Стан фільтру представляється двома змінними:

- $\hat{\mathbf{x}}_{k|k}$ , апостеріорною оцінкою стану в момент часу  $k$  при заданих спостереженнях по момент часу  $k$  включно;
- $\mathbf{P}_{k|k}$ , апостеріорною коваріаційною матрицею помилок (мірою оцінки точності отриманої оцінки стану).
- 

Фільтр Калмана може бути записано у вигляді одного рівняння, однак найчастіше його представляють як дві окремі стадії: передбачення та уточнення. Стадія передбачення використовує оцінку стану з попереднього моменту часу для отримання оцінки стану в поточний момент часу. Передбачена оцінка стану також відома як апіорна оцінка стану, оскільки, хоча це й оцінка стану в поточний момент часу, вона не включає інформацію про спостереження з поточного моменту часу. У фазі уточнення поточне апіорне передбачення об'єднується з поточною інформацією спостереження для уточнення оцінки стану. Ця поліпшена оцінка називається апостеріорною оцінкою стану.

Як правило, ці дві фази чергуються: передбачення просуває стан до наступного запланованого спостереження, а уточнення включає і це спостереження. Проте, це не є обов'язковим; якщо спостереження з якоїсь причини не доступне, уточнення може бути пропущено, і виконано декілька

кроків передбачення. Аналогічно, якщо в один і той же момент часу доступно декілька незалежних спостережень, може бути виконано декілька кроків уточнення (як правило, з різними матрицями спостереження  $H_k$ ).

## Передбачення

Передбачена (апріорна) оцінка стану	$\hat{\mathbf{x}}_{k k-1} = \mathbf{F}_{k-1} \hat{\mathbf{x}}_{k-1 k-1} + \mathbf{B}_{k-1} \mathbf{u}_{k-1}$
Коваріація передбаченої (апріорної) оцінки	$\mathbf{P}_{k k-1} = \mathbf{F}_{k-1} \mathbf{P}_{k-1 k-1} \mathbf{F}_{k-1}^T + \mathbf{Q}_k$

## Уточнення

Нововведення (відхилення) вимірювання	$\tilde{\mathbf{y}}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k k-1}$
Коваріація нововведень (відхилення)	$\mathbf{S}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k k-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k$
Оптимальний передавальний коефіцієнт Калмана	$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k k-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{S}_k^{-1}$
Оновлена (апостеріорна) оцінка стану	$\hat{\mathbf{x}}_{k k} = \hat{\mathbf{x}}_{k k-1} + \mathbf{K}_k \tilde{\mathbf{y}}_k$
Коваріація оновленої (апостеріорної) оцінки	$\mathbf{P}_{k k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k k-1}$

Наведені вище формули оновленої оцінки та коваріації є справедливими лише для оптимального передавального коефіцієнту Калмана. Використання інших значень передавального коефіцієнту вимагає складнішої формули, що знаходиться у розділі.

#### 4. Програмна реалізація

У роботі було розроблено програму на ПЕОМ, що дозволяє отримувати покази датчиків макетної плати і виконувати моделювання на основі цих датчиків. Середовище програмування вибрано із можливістю використання вільного програмного забезпечення, з можливістю застосування програми моделювання на різних платформах ПЕОМ.

Середовище розробки – Qt 5 надає широкі можливості для застосування графічного моделювання у просторі за використанням технології OpenGL 2.0. Зв'язок із макетною платою забезпечений шляхом використання вільної бібліотеки libUSB 0.1.14, що надає програмну реалізацію доступу до USB інтерфейсу.

У програмі реалізована можливість застосування фільтрації даних за допомогою низькочастотного фільтра Батерворда і медіанного фільтра. Дані фільтри можуть застосовується для очищення сигналу гіроскопа, на якому змодельоване графічне положення макетної плати.

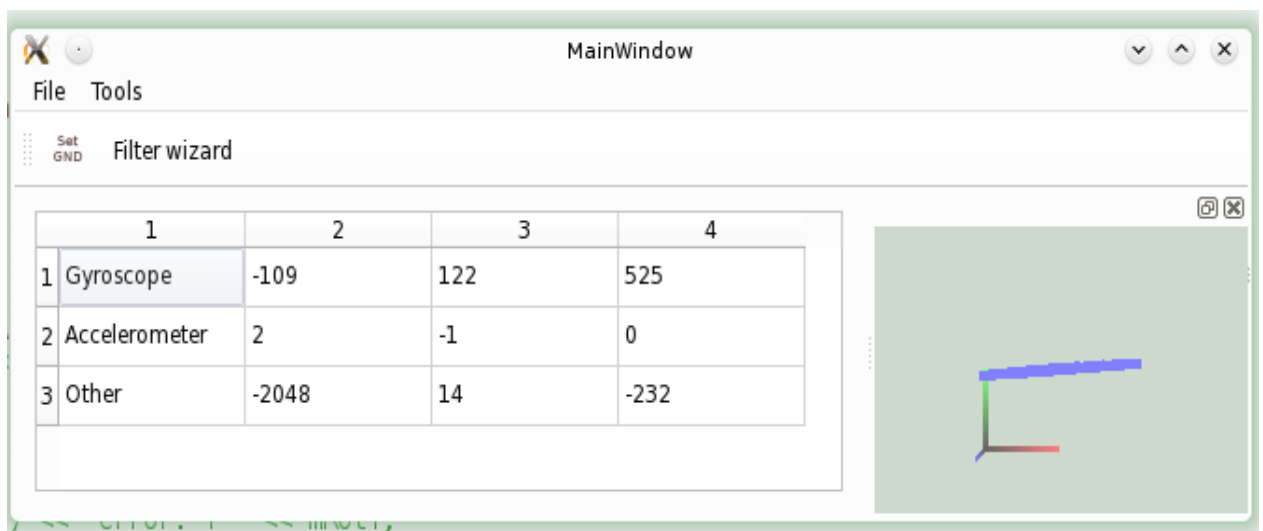


Рис. 14. Графічний інтерфейс програми

Графічний інтерфес поділений на дві частини: 1) показники датчиків гіроскопа, акселерометра, тощо; 2) графічне зображення положення макетної

плати у просторі.

У програмі також реалізовано запис вибраних показників гіроскопа, для подальшого дослідження сигналу від гіроскопа чи акселерометра.

Сигнал від осей гіроскопа містять високочастотний шум порядку 120 Гц. Тому необхідність використання фільтрації у програмі є суттєвою. У програмній реалізації застосовано фільтрування даних низькочастотним фільтром Баттерворта. Задана частота зрізу — 100 Гц. Порядок фільтра — 3.

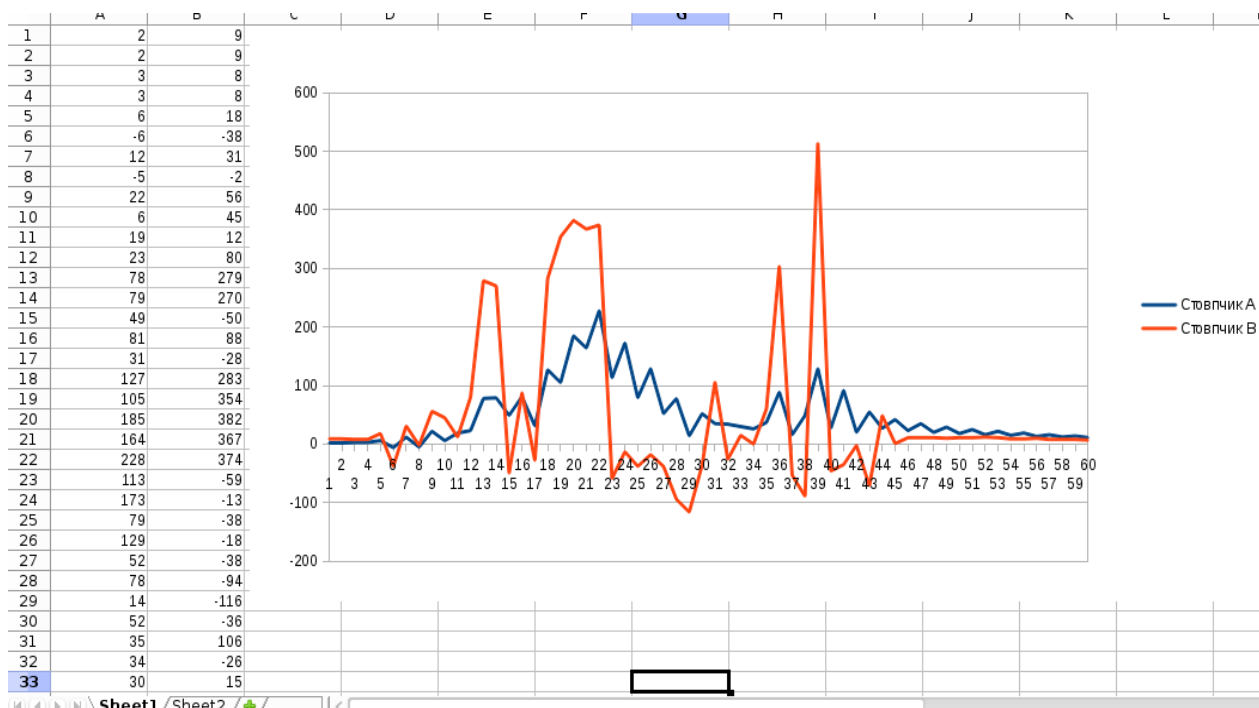


Рис. 14. Приклад застосування цифрового низькочастотного фільтра Баттерворда із частотою зрізу 100Гц

На рис зображено нефільтровані дані однієї (червоною лінією) з осей гіроскопа та відфільтровані дані (синя лінія). Під час запису і фільтрації даних було здійснено різкі повороти макетної плати. Даний фільтр показує доволі хороший результат у таких умовах, проте у момент надто різких перепадів зміни осей даний фільтр не може швидко вирівняти.

Для даних гіроскопа доцільніше застосувати фільтр Калмана, використовуючи поправку відповідно до акселерометра, оскільки цей підхід дозволить краще вирівняти сигнал на даних частотах.

## **5. Безпека життєдіяльності та охорона праці**

### **5. 1. Техніка безпеки при роботі з ПК**

Приступаючи до роботи з ПК, необхідно завжди пам'ятати, що це дуже складна і дорога апаратура, яка потребує акуратного й обережного ставлення до неї, високої самодисципліни на всіх етапах роботи з комп'ютером.

Напруга живлення ПК (220 В) є небезпечною для життя людини. Через це в конструкції блоків комп'ютера, міжблочних з'єднувальних кабелів передбачена достатньо надійна ізоляція від струмопровідних ділянок. Користувач практично має справу лише з декількома вимикачами живлення і, здавалось би, застрахований від ураження електричним струмом. Однак в практичній роботі можуть зустрічатись непередбачені ситуації, і щоб вони не стали небезпечними для користувача, необхідно знати та чітко виконувати ряд правил техніки безпеки. Це допоможе не тільки уникнути нещасних випадків і зберегти здоров'я, але й гарантує збереження апаратури.

Особливо уважним треба бути при роботі з дисплеєм, електронно-променевою трубкою якого використовує високу напругу і є джерелом електромагнітного випромінювання. Неправильне поводження з дисплеєм та іншою електронною апаратурою може призвести до тяжких уражень електричним струмом, спричинити загоряння апаратури. Через це суворо забороняється:

- торкатися до екрана і тильного боку дисплея, проводів живлення і
- пристроїв заземлення, з'єднувальних кабелів;
- порушувати порядок ввімкнення й вимкнення апаратних блоків, намагатись самотійно усунути виявлену несправність в роботі апаратури;
- класти на апаратуру сторонні предмети;
- працювати на комп'ютері у вологій одежі і з вологими руками.

В разі появи запаху горілого, незвичайних звуків або самовільного

вимкнення апаратури треба негайно вимкнути комп'ютер. Робота на комп'ютері потребує постійної уваги, чітких дій і самоконтролю. Через це на комп'ютері не можна працювати при недостатньому освітленні, високому рівні шуму.

Під час роботи з комп'ютером необхідно:

- суворо дотримуватись положень інструкції з експлуатації апаратури;
- уважно слідкувати за справністю основних блоків і пристроїв;
- працювати з клавіатурою чистими сухими руками, не натискати на ті чи інші клавіші без потреби або навмання;
- під час перерви в роботі вимикати комп'ютер лише в тому разі, коли обробка поточної інформації завершена і вміст оперативної пам'яті занесений в енергонезалежну пам'ять (в іншому випадку неминуча втрата інформації).

Під час роботи комп'ютера електронно-променева трубка дисплея є джерелом електромагнітного випромінювання, яке при роботі близько від екрана руйнівню діє на зір, викликає втоми і знижує працездатність. Через це треба працювати на відстані 60-70 см від екрана, дотримуватись правильної постави, не сутулячись і не нахиляючись. Тривала робота з комп'ютером призводить до перенапруження зору.

## **5. 2. Санітарні вимоги**

Більше рухайтесь - пройдіться, зробіть глибокий вдих. Навіть така проста гімнастика активує відбудовні процеси, сприяє звільненню організму від шлаків.

Приймайте щодня достатню кількість вітаміну B2 (він знижує наслідки радіації). Частіше включайте в раціон сир і інші молочні продукти (амінокислоти зв'язують виникаючі вільні радикали, це особливо відноситься до проживаючого в екологічно несприятливих умовах). Неіонізуюче

випромінювання складається з електромагнітних і електростатичних полів. Існують спеціальні норми, що регулюють напруженість цих полів, але, на жаль, їхній вплив на організм вивчено недостатньо. Безсумнівно одне: при різних аритміях серця, тобто в тих випадках, коли порушуються електричні процеси в серце, вплив електричних полів може вносити свій внесок у розвиток захворювання.

### **5. 3. Організація робочого місця**

Штучне освітлення в робочому приміщенні насамперед повинно бути рівномірним. Якщо робочі місця у вашому офісі розташовуються рядами, то світильники загального освітлення найкраще розташувати збоку, паралельно лінії зору користувача; а якщо комп'ютери розташовуються по периметрі приміщення, то і світильники повинні розташовуватися по периметрі над робочим місцем, ближче до його переднього краю. Для підсвічування документів припустимо використовувати лампу, що не дає відблисків на моніторі. При розміщенні комп'ютера потрібно взяти до уваги, що площа одного робочого місця повинна складати не менш 6 кв. м. При цьому комп'ютер повинний розташовуватися таким чином, щоб світло з вікна падало збоку, бажано ліворуч. Найкраще, якщо ваші вікна виходять на північ чи північний схід, їх необхідно обладнати жалюзіями чи шторами, щоб мати можливість регулювати кількість падаючого світла. Крім того, штори з щільної тканини служать гарними звукопоглиначами. Рівень шуму на робочому місці не повинний перевищувати 50 Дб. Сильно шумливе устаткування рекомендується ставити в окремому приміщенні.

Для створення сприятливого мікроклімату приміщення повинне добре опалюватися і вентилюватися, рекомендується регулярно його провітрювати, що забезпечить поліпшення якісного складу повітря.

Для внутрішньої обробки інтер'єра приміщень не повинні використовуватися блискучі і матеріали, що відбивають світло,, не рекомендується застосовувати полімерні матеріали (ДВП-плити, шаруватий



паперовий пластик, синтетичні килимові покриття й ін.), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. Важливе значення має конструкція робочого столу. Висота його робочої поверхні повинна регулюватися в межах 680-800 мм; при відсутності можливості регуляції вона повинна складати 725 мм. Робочий стіл повинний мати простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше 500 мм, глибиною на рівні колін; не менше 450 мм і на рівні витягнутих ніг; не менше 650 мм. Розміри столу для дітей і підлітків повинні підбиратися з урахуванням їх росту.

Предмети на столі повинні бути розташовані так, щоб до них було легко дотягтися. Найнеобхідніші з них розташуйте на відстані від ліктя до кисті руки; ті пристрої, якими ви користуєтеся часто, повинні розташовуватися в зоні досяжності витягнутої руки, інші предмети можна розмістити поза цією зоною. Для паперів, книг і роздруківок доцільно використовувати спеціальну підставку. Конструкція робочого стільця (крісла) повинна забезпечувати підтримку раціональної робочої пози при роботі з комп'ютером, дозволяти змінювати позу з метою зниження статичної напруги м'язів шийно-плечової області і спини для попередження розвитку стомлення.

Робочий стілець (крісло) повинний бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також відстані від спинки до переднього краю сидіння, при цьому регулювання кожного параметра повинне бути незалежним, легко здійснюваним і мати надійну фіксацію.

Налаштовуйте висоту спинки стільця таким чином, щоб вона стикалася з місцем найбільшого вигину спини; якщо ваше крісло постачене підлокітниками, відрегулюйте їхню висоту так, щоб не доводилося горбитися і сутулитися. Виберіть таку позу, щоб край стільця не давив під коліна. Спірайтеся обома ступнями на чи підлогу на підставку для ніг.

Протягом дня змінюйте положення стільця і позу, це зменшить фізичну утому м'язів. Екран монітора повинний знаходитися від очей користувача на оптимальній відстані 600-700 мм, але не ближче 500 мм з урахуванням

розмірів алфавітно-цифрових знаків і символів. Верхня частина екрана повинна знаходитися на рівні очей (при роботі в окулярах з біфокальними лінзами; нижче рівня ока). Щоб уникнути відбитих відблисків на екрані потрібно нахилити його поверхню злегка вниз. Не розташовуйте поруч з монітором блискучі предмети (аркуші паперу, глянсові плакати, рамки для картинок). Поверхня екрана повинна бути чистою, розташуєте її перпендикулярно до вікна щоб уникнути відблисків. Частота кадрового розгорнення є надзвичайно важливим з погляду ергономіки параметром. Зображення на екрані монітора малюється електронним променем з частотою зміни кадрів, рівній частоті кадрового розгорнення. Якщо ця частота нижче 75 Гц, то око встигає помітити мерехтіння зображення, що діє на нього дуже стомлюючи. Мерехтіння найбільш легко помітити, якщо завантажити зображення з білим фоном і, відхиливши погляд від екрана на 60-80°, подивитися на зображення краєм ока. Якщо мерехтіння помітне, то варто збільшити частоту кадрового розгорнення. Звичайно установка рекомендованої частоти 85 Гц цілком усуває мерехтіння, помітне для очей. З метою зменшення негативного впливу монотонії доцільно застосовувати перехід від одного виду діяльності до іншого, що забезпечує змінний відпочинок від них, підвищуючи продуктивність праці. Крім правильної організації робочого місця велике значення має здоровий спосіб життя.

#### **5. 4. Безпека при травленні та нанесенні гальванічних покриттів.**

Травлення, нанесення гальванічних покриттів пов'язані із застосуванням шкідливих і небезпечних для організму людини речовин, наприклад: кислих, лужних і лужно-ціанистих електролітів, що у багатьох випадках мають підвищену температуру, а також мідних, нікелевих, свинцевих та інших солей і хромового ангідриду. Тому такі технологічні процеси повинні бути механізовані і автоматизовані. Якщо ж неможливо повністю автоматизувати заповнення ванн розчинами, необхідно використовувати спеціальні заливальні пристосування.

Ванни повинні закриватися кришками. Ванни з кислотами необхідно встановлювати так, щоб верхні борти їх знаходились на відстані 0,9-1 м від підлоги або настилу, а робітникам не доводилось нахилятися над ванною при завантаженні та розвантаженні деталей.

При підвішуванні пристосувань з деталями на штанги повинна бути виключена можливість падіння деталей у ванну. Забороняється перевіряти надійність кріплення деталей на підвісках шляхом струшування їх над ванною. Підвісні пристосування (підвіски, кошики тощо) повинні бути простими та зручними, виготовлені з кислото - і лугостійкого матеріалу.

При увімкненому електроживленні ванни забороняється завантажувати, розвантажувати, струшувати деталі, очищати штанги і виправляти контакти. Режим травлення повинен відповідати прийнятій технології. Температуру розчинів необхідно підтримувати автоматично. Підігрівати розчини сірчаної кислоти до температури вище 60 °С, а соляної - вище 40 °С не допускається. Категорично забороняється застосовувати для травлення суміш оцтової і хлорної кислот, тому що за певним співвідношенням цих кислот суміш схильна до запалення та вибуху.

Особливу увагу слід приділяти коректуванню складу розчину ванн, тому що помилкове додавання в ванну розчину іншого складу може призвести до розігріву і його викиду, виділенню шкідливих парів. Сталеві деталі, що впали у ванну, слід вилучати магнітом, мідні і латунні - перфорованим совком з держакон із матеріалу, стійкого до дії кислот і лугів. Довжина держака повинна бути більше глибини ванни на 40 см. Діставати деталі, які впали у ванну, руками і ставати на борти ванн забороняється.

При роботі з кислими електролітами з ваннами нікелювання робітники повинні проходити періодичний медичний огляд через кожні 6 місяців, руки необхідно змащувати захисною маззю для запобігання захворювання нікелевою екземою.

При роботі з лужними розчинами необхідно періодично очищувати щілини бортового відсмоктувача, обмивати водою борти ванни і підлогу. На

кожній дільниці цеху повинен бути складений графік очищення ванн і бортових відсмоктувачів . Облік профілактичного огляду і ремонту ванн повинен реєструватися в журналі.

Найбільшу небезпеку становить робота з ціанистими електролітами. Приміщення повинно бути обладнане автоматичними сигналізаторами наявності у повітрі СДОР. Дільниці повинні бути обладнані потужною вентиляцією. Необхідно постійно слідкувати за контрольною сигнальною лампою, що сигналізує про роботу витяжної вентиляції. У неробочий час усі ванни повинні бути закриті щільними кришками, вентиляція вмикається за 30 хвилин до початку роботи.

Інструмент для робіт з ціанистими ваннами повинен мати розпізнавальне офарблення. Перед зануренням та після вивантаження деталей їх необхідно ретельно промити у двох ваннах з проточною водою. Після вивантаження деталей слід старанно протерти борти ванни мокрою ганчіркою до повного видалення залишків ціанистого розчину.

Електроліти для хромування містять дуже агресивну речовину - хромовий ангідрид. Крім того, до складу деяких типів електролітів входять кремнефтористий калій і інші шкідливі речовини. Шкідливість процесу збільшується тим, що температура розчинів становить 50-90 °С, а процес іде при високих щільностях струму. У зв'язку з цим хромові ванни облаштовуються бортовою вентиляцією. Для зменшення утворення над ваннами туману рекомендується дзеркала ванни покривати скляними або пластмасовими порожнистими кульками, що затримують винесення найдрібніших частинок електроліту. Ванни повинні бути обладнані автоматичними регуляторами температури, кришками і заливними пристроями. Розчинення, заміну електроліту і очищення ванн необхідно проводити у відповідному спецодязі і протигазі марки "В" або респіраторі типу Ф-46К. При випадковому потраплянні електроліту на шкіру обличчя і рук слід видаляти його 5-ти процентним розчином гіпосульфиту з наступним промиванням водою; при потраплянні електроліту в очі - промити 1-но

процентним розчином, а потім - водою.

Для приготування фтористоводневих електролітів застосовується плавикова, борна кислоти та інші компоненти. Пари плавикової кислоти отруйні і здійснюють шкідливу дію на організм людини, тому електроліти слід готувати на спеціально облаштованому місці, при ввімкнутій вентиляції, користуючись респіратором або протигазом, в захисному спецодязі та взутті

### **5. 5. Безпека праці при паяльних роботах**

Монтаж електричних схем приладів та радіоапаратури проводиться за допомогою різних видів паяння. Кожному з них властиві певні відповідні шкідливі та небезпечні фізичні фактори, що відрізняються як кількісними, так і якісними характеристиками. При цьому деякі види паяння продукують одночасно декілька таких фізичних факторів, що призводять до травм, погіршення умов праці і виникнення пожеж та вибухів. Такими потенційними шкідливостями і небезпеками можуть бути: запиленість та загазованість повітря робочої зони; наявність інфрачервоних випромінювань від розплавленого припою у ванні або від паяльника; наявність електромагнітного випромінювання високої частоти; дія ультразвуку на організм монтажника при пайці хвилею, котра утворюється за рахунок дії ультразвуку на розплавлений припій; дія електростатичного заряду; незадовільна освітленість робочих зон або підвищена яскравість; незадовільні метеорологічні умови в робочій зоні; дія бризок та крапель розплавленого припою; ураження електричним струмом.

Біологічна дія деяких вихідних компонентів припою наведена у таблиці 1.

Таблиця 1. Біологічна дія, клас небезпеки та гранично допустима концентрація (ГДК) у повітрі робочої зони деяких компонентів, що входять до складу припою

Компонент	Характер токсичності та дії	Клас небезпек	ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Алюміній	При вдиханні пилу вражаються легені, виникає дифузний фіброз - алюміноз	3	2,0
Кадмій	Спостерігається ураження печінки, легенів, нирок, системи кровообігу, статеві та репродуктивної функцій	1	0,1
Марганець	Діє на центральну нервову систему, викликає органічні зміни головного мозку, дистрофічні зміни в печінці та легенях	2	0,3
Мідь	Ураження органів дихання, шлунково-кишкового тракту, печінки, нирок, анемія, пневмосклероз	2	1,0
Нікель	Ураження нервової системи, шлунково-кишкового тракту, печінки, серцево-судинної системи (гіпотонія), системи крові, слизової оболонки верхніх дихальних шляхів	2	0,5
Олово	Ураження бронхів, проліферативно-кліткова реакція в легенях. При тривалій дії можливий пневмоконіоз	3	10,0
(оксид) Свинець	Ураження нервової системи, крові, серцево-судинної системи, шлунково-кишкового тракту, статеві системи, ураження перебігу вагітності	1	0,01
Сурма	Ураження дихальних шляхів, травного тракту, нервової системи, серцевого м'язу	2	0,50
Титан	Астмоїдні бронхіти, емфізема, фіброз легенів.	3	10,0
Цинк	Ураження дихальної та травної систем, нирок, серця	2	0,50

Враховуючи шкідливість вихідних компонентів, що входять до складу припою, флюсів та миючих середовищ, до приміщень та робочих ділянок, де виконується паяння, ставляться особливі вимоги.

## 5. 6. Вимоги до вентиляції та опалення

Експлуатація ділянок пайки, не обладнаних місцевою витяжною вентиляцією, забороняється. Вентиляційні установки повинні вмикатися до початку робіт і вимикатися після їх закінчення. Робота вентиляційних установок повинна контролюватися за допомогою спеціальної сигналізації (світлової, звукової).

Конструкція місцевих відсмоктувачів і зона розташування всмоктуючої частини повітроприймача вибирається залежно від габаритних розмірів і форми виробів. У зоні паяння швидкість направленої потоку, що

утворюється місцевими відсмоктувачами, повинна на 0,2 м/с перевищувати рухомість повітря в зоні пайки, але бути не менше 0,5 м/с. На дільницях, де допускається природне провітрювання, швидкість повітря в зоні пайки, що утворюється місцевими повітроприймачами, повинна бути не менше 0,6 м/с. Електропаяльники у робочому стані повинні знаходитися у зоні дії витяжної вентиляції. Повітря на дільниці паяння слід подавати повітря розосереджено у верхню зону приміщення через плафони, перфоровані або щілинні стелі, перфоровані повітропроводи, панелі та ін. Швидкість руху повітря в робочій зоні радіомонтажника повинна бути не більша 0,3 м/с.

Приміщення, в яких містяться дільниці паяння, обладнуються відокремленою припливно-витяжною вентиляцією. Приплив повітря повинен складати 95% обсягу витяжки. Недостатні 5% припливного повітря надходять із суміжних, більш чистих приміщень. Рециркуляція повітря у приміщенні паяння не допускається. Утворені повітрообміни слід перевіряти на забезпечення в приміщеннях необхідних метеорологічних умов за ГОСТ 12.1.005-88.

## Висновки

У роботі розглянуто основні підходи для моделювання квадрокоптерної системи, як динамічної системи із затримкою. Розглянуто основні пристрої, що необхідні для обладнання квадрокоптерної системи. Досліджено затримку обробки інформації квадрокоптерною системою на основі макету мікропроцесора PSoC 5. Досліджено вплив шуму датчика гіроскопа на покази у маневрі нестійкого польоту. Застосовано фільтрування даних гіроскопа двома фільтрами: Калмана та Баттерворта.

Створено програмний інтерфейс для обробки цифрової інформації макетної плати у середовищі Qt5 Framework на мові C++. Використано бібліотеку LibUSB для підключення через периферійний інтерфейс USB від ПЕОМ до макетної плати. Також використано технологію інтегровану у середовище програмування OpenGL 2.0 для зображення макетної плати.

Результати роботи можна використовувати для подальших досліджень із квадрокоптерною системою. Основний поштовх розробки програмного забезпечення був закладений із використання вільного програмного забезпечення із можливістю широкої портативності на інші операційні системи ПЕОМ.



## Список використаної літератури та інформаційних джерел

1. Система управления БПЛА для полета на малых высотах/ Т.В. Белоцерковский – Национальный технический университет Украины.
2. Building and controlling the Quadrocopter – Pavel Chmelar – Number 5, Volume VI, December 2011.
3. Design and control of quadrotors with application to autonomous flying – Samir BOUABDALLAH – ingénieur d'etat, Universite Aboubekr Belkaid, Tlemcen, Algerie de nationalite algerienne
4. An Introduction to the Kalman Filter – Greg Welch, Gary Bishop – Department of Computer Science. University of North Carolina at Chapel Hill Chapel Hill, NC 27599 – 3175 Updated: Monday, July 24, 2006.
5. Разработка управляющих программ промышленных роботов/ А.С. Климчик Р.И. Гомолицкий Ф.В. Фурман К.И. Сёмкин – Курс лекций для студентов – С. 131
6. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1989. – 432 с.
7. Основы построения бесплатформенных инерциальных систем/ В.В.Матвеев, В.Я.Располов – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.
8. Ampersant [Електронний ресурс]: Ультразвуковой дальномер – Электронные данные. – Режим доступа:<http://www.ampersant.ru/ultra/>Дата доступа: апрель 2013. – Загл. с экрана.
9. Разработка ультразвукового измерителя дальности / А.В. Бурдуков // Дипломный проект Государственный университет аэрокосмического приборостроения. – 2010. – С. 17 – 22.
10. Strapdown inertial navigation system. Part 1 – Navigation equations – Albert Ortyl, Zdzislaw Gosiewski – Journal of theoretical and applied mechanics – 1,36,1998 – С.83–96.