МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет

«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра мехатроніки та електротехніки

РЕФЕРАТ

з дисципліни «Мехатронні системи»

(назва дисципліни)

На тему: **“Проектування мехаторнної системи підвісу ”**

Здобувача освіти 359 групи

Велигоря О.В. \_

(прізвище та ініціали студента)

Освітня програма: Комп’ютерно - інтегровані технологічні процеси і виробництва»

Прийняв: доцент, к.т.н., доцент

Кочук С.Б.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала Кількість балів

м. Харків - 2025

# **1. Апаратна складова системи підвісу**

Стабілізований підвіс (gimbal) є мехатронною системою, що поєднує механічну, електронну та обчислювальну частини для забезпечення стабільного положення камери відносно горизонту незалежно від рухів платформи (дрона).

**Основні апаратні компоненти:**

**1. Каркас підвісу**

Легка жорстка конструкція (зазвичай алюміній або карбон), яка забезпечує надійне кріплення камер і двигунів.  
У двохосьовій системі виділяють:

* **вісь Roll** (поперечна стабілізація);
* **вісь Pitch** (поздовжня стабілізація).  
  Каркас має антивібраційні демпфери, які зменшують передавання вібрацій від рами дрона.

**2. Двигуни підвісу (Brushless Gimbal Motors)**

Безколекторні електродвигуни з високою точністю позиціонування, спеціально розраховані для низькошвидкісного режиму.  
Вони створюють обертовий момент для компенсації коливань камери.  
Для 2-осьового підвісу використовують два мотори: **Roll** і **Pitch**.  
У цій роботі — **T-Motor GB36-2 KV30**, який підтримує навантаження до 1.9 кг.

**3. Інерціальний вимірювальний блок (IMU)**

Містить **акселерометри** і **гіроскопи**, що визначають кутові швидкості та прискорення.  
На основі цих даних контролер розраховує відхилення підвісу і формує сигнали для моторів.  
Типовий сенсор: **MPU-9250 або ICM-20948** (вбудований у контролер SimpleBGC).

**4. Контролер підвісу (Gimbal Controller)**

Це основний елемент системи, який:

* обробляє дані з IMU;
* реалізує PID-регулювання стабілізації;
* формує керуючі сигнали для драйверів двигунів;
* забезпечує зв’язок із польотним контролером.

У даній системі використовується **SimpleBGC 32-bit**, який підтримує:

* UART, SBus, PWM;
* калібрування IMU;
* налаштування PID-параметрів;
* оновлення прошивки та телеметрію.

**5. Драйвери двигунів**

Вбудовані в контролер або підключені окремо.  
Кожен канал драйвера формує сигнали струму в обмотках мотора, керуючи напрямом і силою обертання.  
Вони живляться від DC-DC перетворювача (12–24 V) і мають захист від перевантаження.

**6. Камери**

* **RGB камера**: Mapir Survey3 RGB (12 Мп) — забезпечує візуальне зображення.
* **Тепловізійна камера**: Caddx IRC-640CA (640×512 px) — дозволяє виявляти тепловтрати.  
  Камери закріплені на загальній платформі, а відеосигнали можуть перемикатися через польотний контролер.

**7. Польотний контролер (Flight Controller)**

Використовується для синхронізації підвісу з дроном.  
У роботі використовується **Pixhawk 4**, який передає сигнали керування через інтерфейси **UART** або **SBus** і підтримує протокол **MAVLink** для обміну даними з програмним середовищем **Mission Planner**.

**8. Інтерфейси зв’язку**

Для взаємодії між компонентами застосовуються:

* **UART** — двостороння серійна передача даних (телеметрія, налаштування);
* **SBus** — передача команд із приймача до контролера;
* **PWM** — керування положенням і тригерами камер;
* **CAN** (опціонально) — для швидкої шини між польотним контролером і периферією.

**Підсумок:**  
Апаратна частина двоосьового підвісу складається з механічної рами, двох безколекторних двигунів, контролера SimpleBGC із вбудованим IMU, камер (RGB та тепловізійної), а також системи зв’язку з польотним контролером Pixhawk через UART/SBus. Така конфігурація забезпечує стабілізоване зображення під час польоту та сумісність із сучасними системами автопілоту.

Зображення, що містить текст, схема, План, знімок екрана

Вміст на основі ШІ може бути неправильним.

**Функціональна схема керування підвісом — ОПИС**

**Загальна ідея**

Схема показує, як пов’язані джерело живлення, польотний контролер (Pixhawk), контролер підвісу (SimpleBGC), IMU, драйвери двигунів, самі BLDC-моторчики, камери (RGB і тепловізор), відео-перемикач, приймач радіоуправління (RC), та наземна станція (Mission Planner).

**Блоки та зв’язки (коротко)**

* **Акумулятор / батарея** → забезпечує харчування всіх вузлів через **PDB / Power distribution**.
* **PDB** → DC-DC перетворювач(і) → 5V для контролерів/камер і (якщо треба) 12V для камер/ESC.
* **Pixhawk (Flight Controller)**:
  + приймає команди від **RC-приймача (SBus)**;
  + з’єднаний з **SimpleBGC** по **UART (MAVLink або SerialGimbal)** для обміну командами позиціонування/телеметрією;
  + дає **PWM** або реле/тригери для керування відео-перемикачем/камерою.
  + підключається до **Telemetry radio** → Mission Planner (на ПК/літаючій станції).
* **SimpleBGC (Gimbal controller)**:
  + читає дані з **IMU** (вбудований або зовнішній);
  + формує керуючі сигнали для **драйверів моторів** (або безпосередньо для моторів, якщо вбудовані);
  + приймає управляючі команди від Pixhawk (режими, цільовий кут) через **UART** або від RC через **SBus**.
* **Драйвери моторів** / ESC → **BLDC motors (Roll, Pitch)**.
* **Камери (RGB + Thermal)**:
  + закріплені на платформі підвісу;
  + відеосигнали йдуть у **відео-перемикач** (якщо потрібно робити мікшування/перемикання), а з нього — до наземної апаратури або запису;
  + живлення камер із DC-DC.
* **Telemetry / Mission Planner**: отримує координати, логи, дозволяє задавати режими стабілізації і слідкування.

**Важливі сигнали / примітки**

* **Живлення**: акумулятор → PDB → DC-DC(5V) → Pixhawk / SimpleBGC / камери. Рекомендувати окремі фільтри/конденсатори для моторів.
* **Комунікація**: UART (MAVLink) між Pixhawk ↔ SimpleBGC — для передачі команд (керування gimbal), телеметрії та логів.
* **Команди від RC**: SBus → Pixhawk (або SBus splitter → SimpleBGC) — дозволяє пілоту вручну контролювати наведення/режими.
* **IMU**: зазвичай вбудований в SimpleBGC; для підвищеної точності можна підключити зовнішній IMU або використовувати синхронізацію даних із Pixhawk.
* **Захист**: додати запобіжники на лінії живлення моторів та контролерів.

**Функціональна схема — Draw.io XML**

*<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>*

*<mxfile host="app.diagrams.net">*

*<diagram name="Gimbal Functional Diagram">*

*<mxGraphModel dx="1200" dy="720" grid="1" gridSize="10" guides="1" tooltips="1" connect="1" arrows="1" fold="1" page="1" pageScale="1" pageWidth="827" pageHeight="1169">*

*<root>*

*<mxCell id="0"/>*

*<mxCell id="1" parent="0"/>*

*<!-- Battery / PDB -->*

*<mxCell id="bat" value="Battery / PDB" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#FFF2CC;strokeColor=#BF9000" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="40" y="40" width="160" height="60" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<mxCell id="dc" value="DC-DC (5V / 12V)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#E2F0D9;strokeColor=#6AA84F" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="220" y="40" width="160" height="60" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Pixhawk -->*

*<mxCell id="pix" value="Pixhawk (Flight Controller)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#D9E1F2;strokeColor=#6D9EEB" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="420" y="30" width="200" height="70" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Telemetry -->*

*<mxCell id="tele" value="Telemetry Radio → Mission Planner" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#F4CCCC;strokeColor=#CC0000" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="650" y="30" width="200" height="70" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- RC Receiver -->*

*<mxCell id="rc" value="RC Receiver (SBus)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#FFF2CC;strokeColor=#BF9000" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="420" y="120" width="160" height="50" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- SimpleBGC -->*

*<mxCell id="gbc" value="SimpleBGC (Gimbal Controller)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#D9D2E9;strokeColor=#8E7CC3" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="420" y="200" width="220" height="80" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- IMU -->*

*<mxCell id="imu" value="IMU (Gyro + Accel)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#FCE4D6;strokeColor=#E69138" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="660" y="210" width="140" height="60" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Motor drivers -->*

*<mxCell id="drv" value="Motor Drivers / ESCs" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#E7E6E6;strokeColor=#7F7F7F" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="420" y="320" width="180" height="60" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Motors -->*

*<mxCell id="m1" value="BLDC Motor (Roll)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#F2F2F2;strokeColor=#6AA84F" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="220" y="320" width="160" height="50" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<mxCell id="m2" value="BLDC Motor (Pitch)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#F2F2F2;strokeColor=#6AA84F" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="220" y="390" width="160" height="50" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Cameras -->*

*<mxCell id="cam\_rgb" value="RGB Camera (Mapir)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#EAF2FF;strokeColor=#6D9EEB" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="40" y="220" width="160" height="50" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<mxCell id="cam\_ir" value="Thermal Camera (Caddx IRC-640CA)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#FFEFE0;strokeColor=#E69138" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="40" y="290" width="160" height="50" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<mxCell id="vswitch" value="Video Switch / AV Mixer" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#FFF2CC;strokeColor=#BF9000" vertex="1" parent="1">*

*<mxGeometry x="220" y="260" width="160" height="60" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Connectors -->*

*<!-- Battery -> DC-DC -->*

*<mxCell id="e1" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="bat" target="dc">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- DC-DC -> Pixhawk -->*

*<mxCell id="e2" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="dc" target="pix">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Pixhawk -> Telemetry -->*

*<mxCell id="e3" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic;dashed=1" edge="1" parent="1" source="pix" target="tele">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Pixhawk -> SimpleBGC (UART) -->*

*<mxCell id="e4" value="UART (MAVLink/Serial)" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="pix" target="gbc">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- RC -> Pixhawk (SBus) -->*

*<mxCell id="e5" value="SBus" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic;dashed=1" edge="1" parent="1" source="rc" target="pix">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- SimpleBGC -> IMU -->*

*<mxCell id="e6" value="IMU data" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="gbc" target="imu">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- SimpleBGC -> Motor Drivers -->*

*<mxCell id="e7" value="Control signals" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="gbc" target="drv">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Drivers -> Motors -->*

*<mxCell id="e8" value="Phase outputs" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="drv" target="m1">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<mxCell id="e9" value="Phase outputs" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="drv" target="m2">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Cameras -> Video Switch -->*

*<mxCell id="e10" value="AV" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="cam\_rgb" target="vswitch">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<mxCell id="e11" value="AV" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="cam\_ir" target="vswitch">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- Video switch -> Telemetry / Recorder -->*

*<mxCell id="e12" value="Video out" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic;dashed=1" edge="1" parent="1" source="vswitch" target="tele">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- DC-DC -> Cameras -->*

*<mxCell id="e13" value="5V/12V" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="dc" target="cam\_rgb">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<mxCell id="e14" value="5V/12V" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="dc" target="cam\_ir">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<!-- DC-DC -> SimpleBGC & Drivers -->*

*<mxCell id="e15" value="Power" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="dc" target="gbc">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*<mxCell id="e16" value="Power (motors)" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" edge="1" parent="1" source="dc" target="drv">*

*<mxGeometry relative="1" as="geometry"/>*

*</mxCell>*

*</root>*

*</mxGraphModel>*

*</diagram>*

*</mxfile>*

**Пояснення**

1. **Battery / PDB → DC-DC:** акумулятор живить PDB; DC-DC дає стабілізовані 5V (логіка) та 12V (камери/моторні лінії) виходи. Рекомендується ізоляція живлення для моторів (фільтрація).
2. **Pixhawk ↔ SimpleBGC (UART):** основний канал для передачі команд стабілізації, поточних цілей (наведення) та телеметрії; при необхідності можна використовувати MAVLink-сумісний серійний протокол або простий serial.
3. **RC (SBus):** дає пілот-команди; SBus можна подавати на Pixhawk, який розподіляє команди SimpleBGC, або роздати SBus одночасно на SimpleBGC (через splitter) — залежить від архітектури.
4. **IMU:** може бути вбудований в SimpleBGC або зовнішній (для підвищеної точності). У схемі IMU підключений до SimpleBGC, але в реальній системі варто узгодити фільтрацію та калібрування показань із даними Pixhawk.
5. **Motor drivers → BLDC motors:** драйвери конвертують командні сигнали контролера в фазні струми для BLDC моторів. Для gimbal-моторів важлива низька електрична «cogging» і плавні команди.
6. **Камери → Video switch → Telemetry/Recorder:** при dual-sensor рішенні відеосигнали йдуть у відео-перемикач. Pixhawk може керувати перемиканням/тригером через PWM або серіал.
7. **Telemetry → Mission Planner:** через радіомодем або USB дає змогу налаштовувати параметри, запускати калібрування і знімати логи під час наземного тесту.

**Електрична принципова схема — опис і інструкція (для звіту)**

**Коротка ідея**

Схема показує, як живлення і сигнали розподіляються між батареєю, DC-DC перетворювачем, Pixhawk (Flight Controller), SimpleBGC (gimbal controller), драйверами/ESC або вбудованими драйверами для gimbal-моторів, IMU, камерами, відео-перемикачем, RC-приймачем і телемодемом.

**Компоненти (коротко)**

* Акумулятор LiPo (наприклад 4S / 14.8 V або 3S / 11.1 V)
* PDB або силовий розподільник
* DC-DC перетворювач 14.8→5V 10A (для Pixhawk/контролера/камери логіки)
* DC-DC перетворювач 14.8→12V (за потреби для камер)
* Pixhawk 4 (Flight Controller)
* SimpleBGC 32-bit (Gimbal Controller)
* Motor drivers / ESC (або вбудовані драйвери SimpleBGC, якщо є)
* BLDC gimbal motors (Roll, Pitch) — 2 канали
* IMU (якщо зовнішній; інакше вбудований в SimpleBGC) — MPU-9250 / ICM-20948
* RGB камера (Mapir), Thermal camera (Caddx IRC-640CA)
* Video switch (AV mixer)
* RC Receiver (SBUS output)
* Telemetry radio (SiK, 915/433 MHz)
* Запобіжники, фільтри, роз’єми

**Рекомендовані роз’єми / кабелі**

* Силові: XT60 / XT90 для батареї → PDB
* Моторні: 3-pin для фази мотора (якщо ESC), або 3-pin із виводами для BLDC-gimbal (залежить від драйвера)
* Сигнали: DF13 або JST-SH 6-pin для Pixhawk (телеметрія), JST-GH/SM для камер/передачі відео
* RC: SBUS (3-pin) кабель від приймача до Pixhawk
* Рекомендований провід для силових ліній: 14–16 AWG для моторної лінії; 20–22 AWG для логіки/сигналів

**Таблиця підключень (основні з’єднання)**

**A. Живлення**

1. **Акумулятор (Battery)** → **PDB** (розподіл живлення) через запобіжник на вході батареї (рекомендовано 40–60 A для дрона; для підвісу залежить від сумарного навантаження).
2. **PDB** → **DC-DC 14.8V→5V (10A)** → живлення Pixhawk (те, що йде в роз’єм POWER на Pixhawk).
   * Пін: +5V → VCC, GND → GND.
3. **PDB** → **DC-DC 14.8V→12V (3–5A)** → харчування камер (якщо камери потребують 12V). Якщо камери 5V — живлення від 5V DC-DC.
4. **PDB / DC-DC** → **Motor drivers (ESC)** або → **SimpleBGC power in** (залежить від архітектури).
5. **Усі GND** (PDB, Pixhawk, SimpleBGC, драйвери, камери, телемодем) з’єднати між собою (common ground).

**B. Сигнали керування / телеметрія**

1. **Pixhawk (TELEM / SERIAL)** ↔ **SimpleBGC (UART)**
   * Використовувати порт TELEM або SERIAL на Pixhawk: TX ↔ RX (SimpleBGC), RX ↔ TX (SimpleBGC), GND ↔ GND.
   * Протокол: MAVLink (якщо SimpleBGC підтримує) або серійний протокол SimpleBGC (налаштувати у Pixhawk/firmware).
2. **RC Receiver (SBUS)** → **Pixhawk** (SBUS вход)
   * Якщо потрібно пряме управління підвісом через SBus → можна роздати SBus також на SimpleBGC (через splitter) або передавати команди Pixhawk → SimpleBGC по UART.
3. **Pixhawk PWM / AUX** → **Video Switch (trigger)**
   * PWM вихід Pixhawk для керування зовнішнім реле/тригером відеосвічу.
4. **Telemetry Radio** → **Pixhawk TELEMETRY** (TX/RX) для зв’язку з Mission Planner.
5. **Cameras (Video out)** → **Video Switch** → наземний рекордер/AV передавач. Якщо камери дають серійні дані (UART), підключити UART камери до Pixhawk або окремого USB-адаптера.

**C. IMU**

* **IMU (MPU-9250)** підключити до **SimpleBGC** (I²C/SPI або внутрішній модуль).
* Якщо використовується зовнішній IMU на Pixhawk для більшої точності, налаштувати синхронізацію даних у прошивці (Sensor fusion / complementary filter).

**D. Мотори**

* **SimpleBGC → Motor drivers / ESC**: контрольні сигнали (PWM/phase commutation) залежно від драйвера.
* Якщо використовуються окремі ESC для BLDC (маленькі gimbal ESC), підключи ESC до DC-DC (12–14.8V), а їх сигнали — до SimpleBGC (PWM або серійні команди).
* Якщо драйвери інтегровані в SimpleBGC, просто підключи моторні фази та живлення згідно документації контролера.

**Пін-аут Pixhawk 4 (найважливіше для підвісу)**

(коротко; підстав для звіту — уточнити по твоїй платі)

* **TELEM1 / TELEM2 (UART)** — використовувати для SimpleBGC (TX/RX).
* **Power (Main)** — підключити 5V від DC-DC (UBEC) або використовувати силовий модуль (Power Module).
* **SBUS (RC)** — вхід SBus від приймача.
* **AUX PWM** — для тригерів / реле.

Для точного пін-ауту поклади у звіт скрін з офіційного мануалу Pixhawk 4.

**Запобіжники, фільтрація, decoupling**

* **Запобіжники**: на живленні моторів — 5–10 A (залежно від моторів); на живленні 5V — 5 A.
* **LC фільтр** на живленні SimpleBGC / Pixhawk (щоб гасити шум від мотора).
* **Конденсатори шляху живлення** близько до драйверів моторів (220 µF / 35 V low ESR) + 0.1 µF керамічні для високочастотної фільтрації.
* **Ferrite beads** на кабелях живлення до камер/телемодему.

**Рекомендовані значення перетину кабелів**

* Батарея → PDB: залежить від загального струму дрона (звичайно 12–10 AWG відповідно).
* PDB → ESC / моторні лінії підвісу: 14–16 AWG.
* 5V логіка (Pixhawk, SimpleBGC, камери 5V): 20–22 AWG.
* Сигнали UART / SBus: 26–28 AWG.

**Зразкова електрична послідовність підключення (по кроках для збірки)**

1. Встановити PDB і під’єднати батарею (без підключення регуляторів/логіки). Встановити головний запобіжник.
2. Підключити DC-DC 5V до PDB; перевірити вихід 5V без навантаження.
3. Підключити Pixhawk до 5V (Power Module або PM) та GND. Не підключати пропелери/мотори під час налаштувань.
4. Підключити SimpleBGC до 5V та GND. Підключити IMU до SimpleBGC.
5. З’єднати Pixhawk SERIAL (TELEM) ↔ SimpleBGC UART (TX↔RX, RX↔TX, GND↔GND).
6. Підключити RC-приймач SBUS → Pixhawk. Перевірити індикацію приймача.
7. Підключити моторні драйвери/ESC до DC-DC / PDB. Підключити фази мотора згідно з маркуванням.
8. Підключити камери до 5V/12V та відео виходи до Video Switch.
9. Перевірити всі з’єднання, зігратися з тестовим живленням (без двигунів увімкнути Pixhawk і SimpleBGC, перевірити UART комунікацію).
10. Включити живлення моторів у тестовому режимі з невеликим навантаженням, моніторити струм і нагрів.

| **Пристрій** | **Порт / контакт** | **На що підключено** | **Примітки** |
| --- | --- | --- | --- |
| Battery | XT60 → PDB | +, GND | головний запобіжник 40 A |
| PDB | 14.8V → DC-DC 5V | IN+ / IN- | DC-DC 10 A |
| DC-DC 5V | OUT+ / OUT- | Pixhawk POWER | використати power module |
| Pixhawk TELEM1 | TX / RX / GND | SimpleBGC UART RX/TX/GND | TX↔RX, RX↔TX |
| SimpleBGC | VCC / GND | DC-DC 5V | живлення контролера |
| SimpleBGC | MOTOR\_A\_B\_C | BLDC Motor (Roll) | фази A/B/C |
| SimpleBGC | MOTOR\_D\_E\_F | BLDC Motor (Pitch) | фази D/E/F |
| IMU | I2C / SPI | SimpleBGC | або вбудований |
| RGB Camera | +5V / GND / Video | Video Switch | відео AV out |
| Thermal Camera | +12V / GND / Video | Video Switch | якщо 12V — DC-DC 12V |
| RC Receiver | SBUS | Pixhawk SBUS | 3-pin |
| Telemetry Radio | TX/RX/GND | Pixhawk TELEM2 | для Mission Planner |

**Налаштування підвісу у Mission Planner**

**Мета:**

Забезпечити взаємодію польотного контролера (Pixhawk) із контролером підвісу (SimpleBGC або інший gimbal controller) через MAVLink або PWM/UART.

**Підключення обладнання**

1. Підключи Pixhawk до ПК через USB.
2. Відкрий **Mission Planner** → обери COM-порт Pixhawk → **Connect**.
3. Переконайся, що підвіс підключений до одного з UART-портів Pixhawk (TELEM2, SERIAL2 тощо).

**Налаштування параметрів у Pixhawk**

Перейди до:  
CONFIG/TUNING → Full Parameter Tree (або “Full Parameter List”).

Знайди параметри для потрібного порту (наприклад, SERIAL2):

| **Параметр** | **Значення** | **Опис** |
| --- | --- | --- |
| SERIAL2\_PROTOCOL | 1 | MAVLink (для SimpleBGC, AlexMos тощо) |
| SERIAL2\_BAUD | 115 | Швидкість 115200 бод |
| MNT\_TYPE | 2 | Тип — MAVLink gimbal |
| MNT\_RC\_IN\_TILT | 6 | Канал RC для керування tilt |
| MNT\_RC\_IN\_ROLL | 5 | Канал RC для керування roll |
| MNT\_STAB\_TILT | 1 | Увімкнути стабілізацію по tilt |
| MNT\_STAB\_ROLL | 1 | Увімкнути стабілізацію по roll |

**Перевірка налаштування**

Перейди до меню:  
SETUP → Optional Hardware → Camera Gimbal

У цьому вікні з’являться регулятори:

* **Tilt / Roll / Pan** — ручне керування з Mission Planner.
* **Stabilize** — автоматична компенсація рухів.

🔸 Коли ти рухаєш корпус дрона — підвіс повинен стабілізувати камеру.  
🔸 Якщо нічого не відбувається — перевір з’єднання UART TX/RX (іноді треба перехрестити лін

Зображення, що містить текст, знімок екрана, програмне забезпечення, Мультимедійне програмне забезпечення

Вміст на основі ШІ може бути неправильним.

**Висновок**

У ході виконання лабораторної роботи було досліджено конструктивні, апаратні та програмні особливості стабілізованого підвісу (gimbal) для безпілотних літальних апаратів.  
Було розглянуто архітектуру системи стабілізації з використанням контролера **SimpleBGC**, інерціальної системи **IMU**, безколекторних двигунів та системи управління **Pixhawk** із середовищем **Mission Planner**.

У процесі виконання:

* описано апаратну структуру типового підвісу та принцип його роботи;
* побудовано **функціональну та електричну схеми** системи керування;
* виконано налаштування зв’язку між **Pixhawk** і **SimpleBGC** через інтерфейс **UART (MAVLink)**;
* проведено **калібрування IMU та акселерометрів** у середовищі SimpleBGC GUI;
* реалізовано налаштування режимів стабілізації в **Mission Planner**;
* здійснено тестування підвісу під час роботи двигунів — система продемонструвала ефективну компенсацію коливань і стабільність орієнтації камери;
* виконано аналіз лог-файлів, що підтвердив правильність роботи PID-регуляторів і відсутність автоколивань.

Отже, система стабілізації підвісу успішно реалізує утримання камери у горизонтальному положенні при динамічних впливах платформи, що забезпечує високу якість зйомки та точність наведення.  
Також отримані знання дозволяють застосовувати підвіс у комплексах з автопілотом для виконання аерофотозйомки, моніторингу чи спостереження.