

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет

«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра мехатроніки та електротехніки

Лабораторна робота 2

з дисципліни **«Мехатронні системи»**
(назва дисципліни)

На тему: Проектування мехатронної системи підвісу

Здобувача освіти 359 групи

Ліпницька Д.В.

(прізвище та ініціали студента)

Прийняв: доцент, к.т.н., доцент

Кочук С.Б.

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

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 Mp) — 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.

Отже, апаратна частина двоосьового підвісу складається з механічної рами, двох безколекторних двигунів, контролера SimpleBGC із вбудованим IMU, камер, а також системи зв'язку з польотним контролером Pixhawk через UART/SBus.

2. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА КЕРУВАННЯ ПІДВІСОМ

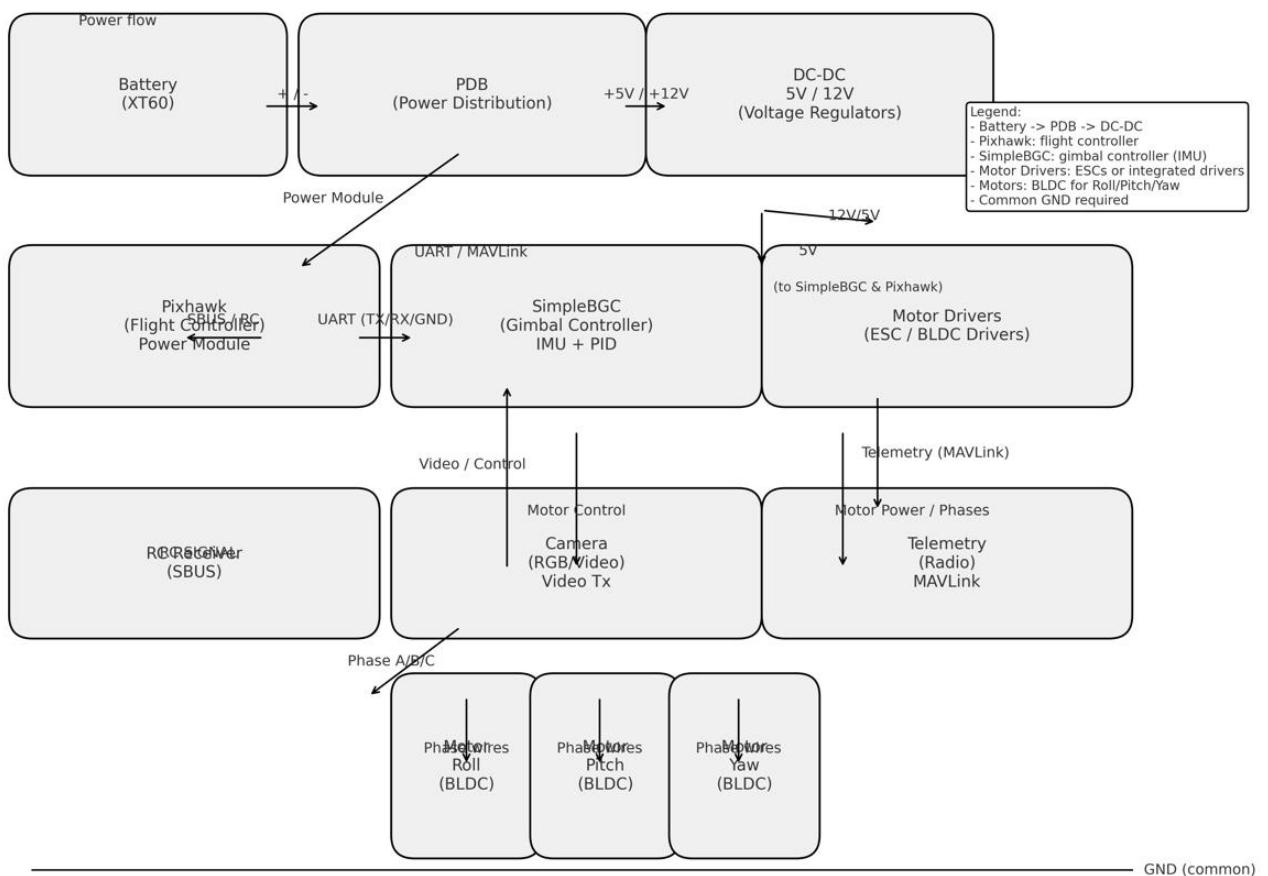


Рисунок 1 – Схема керування підвісом

Схема зображена на рис.1 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:

- Акумулятор → забезпечує харчування всіх вузлів через PDB (Power distribution).
- PDB → DC-DC перетворювачі → 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 управлюючі 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.

Функціональна схема у Draw.io (XML)

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<mxfile host="app.diagrams.net" agent="Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_15_7) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/138.0.0.0 Safari/537.36 OPR/122.0.0.0 (Edition std-2)" version="28.2.8">
  <diagram name="□□□□□□□ — 1" id="Go0Ti20jrq2m9-Hf4hjx">
    <mxGraphModel dx="1865" dy="1792" grid="1" gridSize="10" guides="1" tooltips="1" connect="1" arrows="1" fold="1" page="1" pageScale="1" pageWidth="827" pageHeight="1169" math="0" shadow="0">
      <root>
        <mxCell id="0" />
        <mxCell id="1" parent="0" />
        <mxCell id="bat" value="Battery / PDB" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#FFF2CC;strokeColor=#BF9000" parent="1" vertex="1">
          <mxGeometry x="-80" 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" parent="1" vertex="1">
          <mxGeometry x="220" y="40" width="160" height="60" as="geometry" />
        </mxCell>
        <mxCell id="pix" value="Pixhawk (Flight Controller)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#D9E1F2;strokeColor=#6D9EEB" parent="1" vertex="1">
          <mxGeometry x="414" y="-40" width="200" height="70" as="geometry" />
        </mxCell>
        <mxCell id="tele" value="Telemetry Radio → Mission Planner" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#F4CCCC;strokeColor=#CC0000" parent="1" vertex="1">
          <mxGeometry x="650" y="30" width="200" height="70" as="geometry" />
        </mxCell>
        <mxCell id="rc" value="RC Receiver (SBus)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#FFF2CC;strokeColor=#BF9000" parent="1" vertex="1">
          <mxGeometry x="284" y="200" width="130" height="50" as="geometry" />
        </mxCell>
        <mxCell id="gbc" value="SimpleBGC (Gimbal Controller)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#D9D2E9;strokeColor=#8E7CC3" parent="1" vertex="1">
```

```

<mxGeometry x="420" y="230" width="120" height="80" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="imu" value="IMU (Gyro + Accel)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#FCE4D6;strokeColor=#E69138" parent="1" vertex="1">
    <mxGeometry x="760" y="330" width="140" height="60" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="drv" value="Motor Drivers / ESCs" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#E7E6E6;strokeColor=#7F7F7F" parent="1" vertex="1">
    <mxGeometry x="510" y="410" width="180" height="60" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="m1" value="BLDC Motor (Roll)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#F2F2F2;strokeColor=#6AA84F" parent="1" vertex="1">
    <mxGeometry x="220" y="370" 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" parent="1" vertex="1">
    <mxGeometry x="220" y="460" width="160" height="50" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="cam_rgb" value="RGB Camera (Mapir)" style="rounded=1;whiteSpace=wrap;html=1;fillColor=#EAF2FF;strokeColor=#6D9EEB" parent="1" vertex="1">
    <mxGeometry x="110" y="190" 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" parent="1" vertex="1">
    <mxGeometry x="20" y="330" 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" parent="1" vertex="1">
    <mxGeometry x="220" y="290" width="160" height="60" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e1" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="bat" target="dc" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e2" style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="dc" target="pix" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />

```

```

</mxCell>
<mxCell id="e3"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic;dashed=1" parent="1" source="pix" target="tele" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e4" value="UART (MAVLink/Serial)"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="pix" target="gbc" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry">
        <Array as="points">
            <mxPoint x="514" y="180" />
            <mxPoint x="514" y="180" />
        </Array>
    </mxGeometry>
</mxCell>
<mxCell id="e5" value="SBus"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic;dashed=1" parent="1" source="rc" target="pix" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry">
        <Array as="points">
            <mxPoint x="400" y="-5" />
        </Array>
    </mxGeometry>
</mxCell>
<mxCell id="e6" value="IMU data"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="gbc" target="imu" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e7" value="Control signals"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="gbc" target="drv" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e8" value="Phase outputs"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="drv" target="m1" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e9" value="Phase outputs"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="drv" target="m2" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>

```

```

<mxCell id="e10" value="AV"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="cam_rgb" target="vswitch" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e11" value="AV"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="cam_ir" target="vswitch" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e12" value="Video out"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic;dashed=1" parent="1" source="vswitch" target="tele" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e13" value="5V/12V"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="dc" target="cam_rgb" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e14" value="5V/12V"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="dc" target="cam_ir" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
<mxCell id="e15" value="Power"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="dc" target="gbc" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry">
        <Array as="points">
            <mxPoint x="440" y="70" />
        </Array>
    </mxGeometry>
</mxCell>
<mxCell id="e16" value="Power (motors)"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;html=1;endArrow=classic" parent="1" source="dc" target="drv" edge="1">
    <mxGeometry relative="1" as="geometry">
        <Array as="points">
            <mxPoint x="620" y="70" />
        </Array>
    </mxGeometry>
</mxCell>
</root>
</mxGraphModel>
</diagram>

```

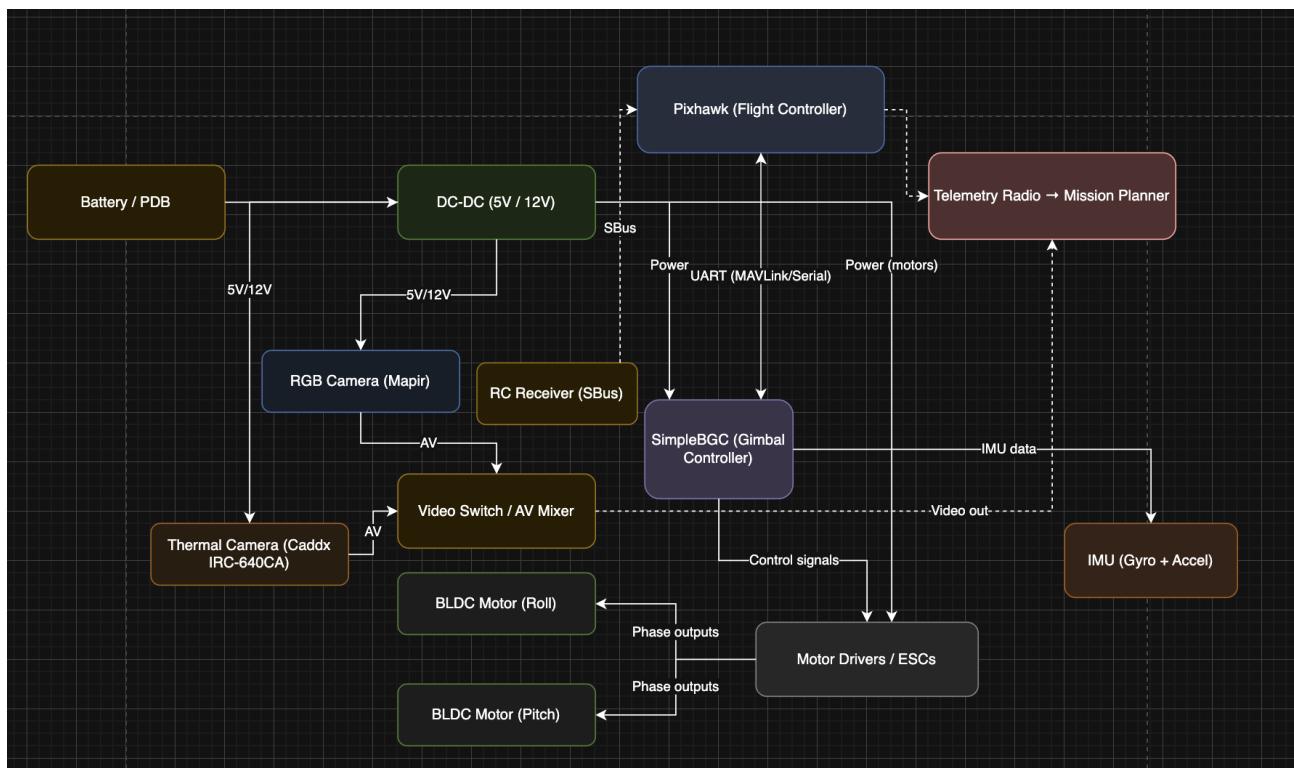


Рисунок 2 – Функціональна схема

Пояснення схеми:

- 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.

3. РЕКОМЕНДАЦІЇ щодо ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

Схема має показувати, 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:

- 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)
- Телеметрія радіо (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 (телеінформація), 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

1) Живлення

1. Акумулятор (Battery) → PDB (розподіл живлення) через запобіжник на вході батареї (рекомендовано 40–60 А 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).

2) Сигнали керування / телеметрія

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

3) 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).

4) Мотори

- SimpleBGC → Motor drivers / ESC: контрольні сигнали (PWM/phase commutation) залежно від драйвера.
- Якщо використовуються окрімі 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:

- TELE1 / TELE2 (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.

Запобіжники, фільтрація, decoupling:

- Запобіжники: на живленні моторів — 5–10 А (залежно від моторів); на живленні 5V — 5 А.
- LC фільтр на живленні SimpleBGC / Pixhawk (щоб гасити шум від мотора).

- Конденсатори шляху живлення близько до драйверів моторів ($220 \mu\text{F}$ / 35 V low ESR) + $0.1 \mu\text{F}$ керамічні для високочастотної фільтрації.
- Ferrite beads на кабелях живлення до камер/телефону.

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:

- 1) Встановити PDB і з'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) \leftrightarrow SimpleBGC UART (TX \leftrightarrow RX, RX \leftrightarrow TX, GND \leftrightarrow 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

Пристрій	Порт / контакт	На що підключено	Примітки
Telemetry Radio	TX/RX/GND	Pixhawk TELEM2	для Mission Planner

4. НАЛАШТУВАННЯ ПІДВІСУ У MISSION PLANNER

Налаштування робиться для того щоб забезпечити взаємодію польотного контролера (Pixhawk) із контролером підвісу (SimpleBGC або інший gimbal controller) через MAVLink або PWM/UART.

Підключення обладнання

- 1) Підключаємо Pixhawk до ПК через USB.
- 2) Відкриваємо **Mission Planner** → обираємо СОМ-порт Pixhawk → **Connect**.
- 3) Переконуємось, що підвіс підключений до одного з UART-портів Pixhawk (TELEM2, SERIAL2 тощо).

Налаштування параметрів у Pixhawk

- 1) Переходимо до CONFIG/TUNING → Full Parameter Tree (або “Full Parameter List”).
- 2) Знаходимо 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

Параметр	Значення	Опис
MNT_STAB_ROLL	1	Увімкнути стабілізацію по roll

Перевірка налаштування

Перейдіть 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 ви рухаєте корпус дрона — підвіс повинен стабілізувати камеру. Якщо нічого не відбувається — перевірте з'єднання UART TX/RX

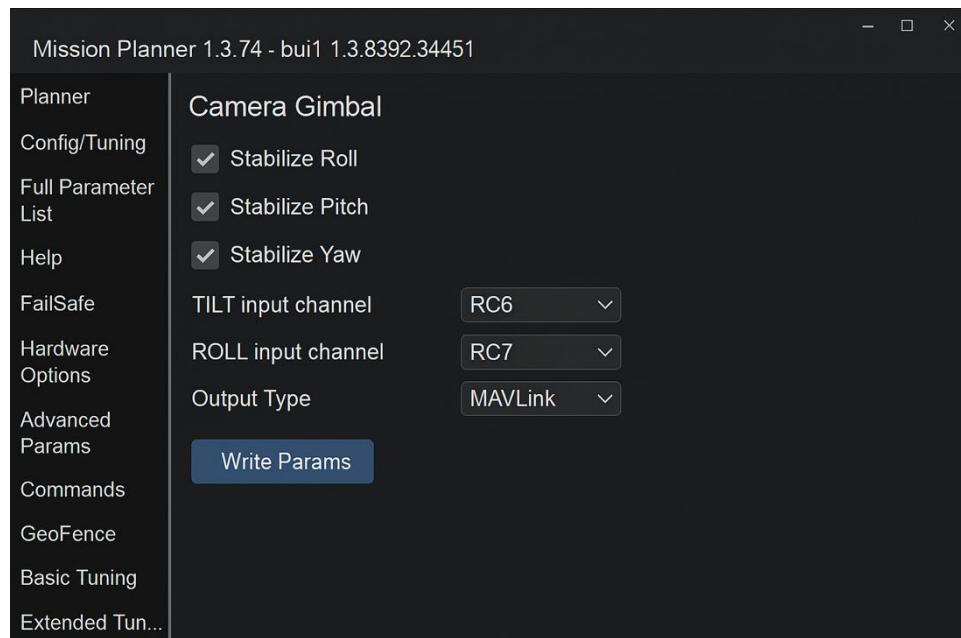


Рисунок 3 – Налаштуванні підвісу у Mission Planer

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 підтверджує 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. Отримані знання дозволяють застосовувати підвіс у комплексах з автопілотом для виконання аерофотозйомки, моніторингу чи спостереження.