

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни

«Загальні знання дистанційно пілотованих суден:

Схемотехніка безпілотних літальних апаратів»

обов'язкових компонент

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт  
(Оператор безпілотних літальних апаратів)***

**за темою № 1 – Загальна структура електронних систем БПЛА**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1.

**Розробник:** викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Волканін Є.Є.

**Рецензенти:**

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

### **План лекції:**

1. Типова архітектура БПЛА та його обладнання.
2. Система керування квадрокоптером.
3. Типова структурна схема управління коптерами.
4. Схема VTOL-літака з використанням UAVCAN датчиків та виконавчих механізмів.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

1. Теорія і практика застосування безпілотних літальних апаратів (дронів) / КНТ, 2023. – 126 с.
2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ “КОМАНДИРУ ПІДРОЗДІЛУ ПО ЗАСТОСУВАННЮ БпАК ТАКТИЧНОГО РІВНЯ” (за досвідом проведення ООС (раніше АТО), О.О. Павлишен (керівник розробки), Г.М. Тимчук, Т.В. Цокур, 2018. – 72 с.
3. UAV Based Remote Sensing, Volume 2, Special Issue Editors Felipe Gonzalez, Toro Antonios Tsourdos, 2017. – 406 p.
4. Aircraft General Knowledge 2 - Electrics and Electronics - 2014

#### **Допоміжна література:**

1. Unmanned aircraft systems : UAVS design, development and deployment / Reg Austin. This edition first published 2010. – 365 p.
2. Theory, design, and applications of unmanned aerial vehicles / A. R. Jha. Boca Raton, FL : CRC Press / Taylor & Francis Group, [2016]. 317 p.
3. SMART AUTONOMOUS AIRCRAFT Flight Control and Planning for UAV. Yasmina Bestaoui Sebbane, Université d'Evry, France. 2016 by Taylor & Francis Group, LLC – 434 p.

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті:**

1. [https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/\[bpla\]\\_ua\\_dynamics\\_brochure.pdf](https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/[bpla]_ua_dynamics_brochure.pdf)
2. [https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/\[bpla\]\\_zastosuvannya\\_bpak\\_takty%60chnogo\\_rivnya.pdf](https://nvkarta.com/project/library/uploads/military/bpla/[bpla]_zastosuvannya_bpak_takty%60chnogo_rivnya.pdf)
3. <https://defence-ua.com/tags/389/>

## Текст лекції

### 1. Типова архітектура БПЛА та його обладнання

Польотний контролер (flight controller) - електронний пристрій, що управляє польотом літального апарату. Термін застосовується до безпілотних літальних апаратів, в тому числі і авіамоделей. Стосовно до пілотованих літальних апаратів зазвичай вживається термін автопілот. Найчастіше термін польотний контролер відноситься до керуючих пристроїв типу мультикоптерів [23]. До функцій польотного контролера відносяться:

- стабілізація апарату в повітрі;
- утримання висоти за допомогою барометричного висотоміра чи інших датчиків і позиції за допомогою GPS / GLONASS;
- автоматичний політ по заданих наперед точкам (опціонально);
- передача на землю поточних параметрів польоту за допомогою модему або Bluetooth (опціонально);
- забезпечення безпеки польоту (повернення в точку зльоту при втраті сигналу, автопосадка);
- зупинка перед перешкодою (для коптерів) або обліт перешкод (для літаків) при наявності датчиків;
- підключення додаткової периферії: OSD, світлодіодна індикація та ін.

Кількість функцій залежить від наявності на борту апарату відповідної периферії.

Відповідно до складності польотного завдання БАК (безпілотний авіаційний комплекс) мають різну структуру побудови. У найпростішому випадку БАК може складатися з базової станції керування (БСК) та БПЛА. Проте типова БАК, орієнтована на виконання більш складних польотних завдань, складається з великої кількості структурних елементів поєднаних між собою складними взаємозв'язками. Узагальнена схема взаємодії структурних основних складових БАК наведено на рис. 1.2.

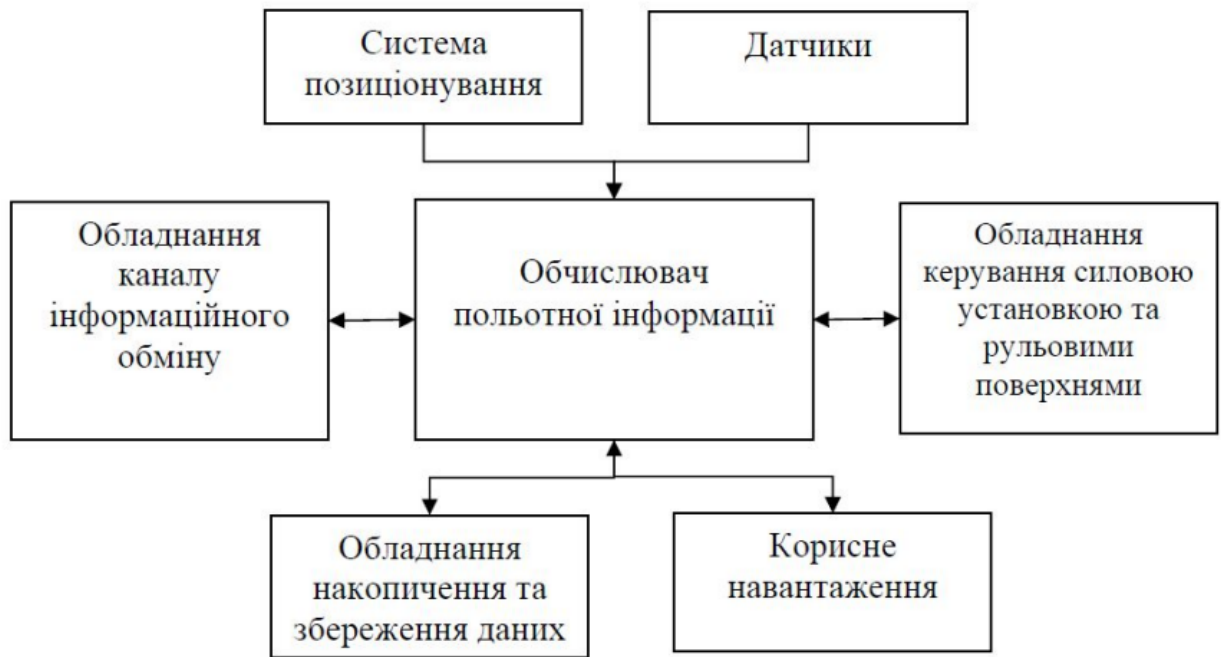


Рисунок 1. Узагальнена схема взаємодії структурних складових типової БАК

Центральним елементом керування БАК є БСК, що забезпечує функції керування БПЛА та взаємодії з корисним навантаженням для оператора. У залежності від типу та складності польотного завдання, розрізняють різні масогабаритні розміри БСК від малих до великих, що можуть складатися з декількох робочих станцій керування. БСК не завжди розміщуються на земній поверхні, окрім них виділяють бортові морські та авіаційні пункти. До складу БСК зазвичай належать БПЛА та оператор пілотування БПЛА, що забезпечує рух за заданою траєкторією та оператор взаємодії з даними корисного навантаження БПЛА.

Планування польотного завдання не обов'язково відбувається у БСК. Іноді залучається віддалений центр планування, що зв'язується з БСК цифровою мережею передачі даних. План польотного завдання задається оператором у функціональні системи БПЛА за допомогою КІО (канал інформаційного обміну) або безпосередньо перед польотом у внутрішню пам'ять пілотажно-навігаційного комплексу БПЛА. Під час польоту БПЛА передає інформацію про стан підсистем та своє місцезнаходження разом з даними корисного навантаження через КІО. Для ефективного виконання польотного завдання БСК використовує дані від джерел надання інформаційних послуг (метеорологічні дані, сонячна активність та інші). У разі планування складних завдань, БСК можуть об'єднуватись в мережі та діяти скоординовано для гарантування виконання польотного завдання.

Складність та характер польотного завдання визначають тип БПЛА, що використовується для його виконання. У загальному випадку, БПЛА містить необхідні системи для забезпечення польоту, що включають стабілізацію та

керування польотом БПЛА у повітрі, КІО з БСК (базова станція керування), джерело електроживлення чи паливо та навігаційні системи.

Основною задачею БПЛА є транспортування корисного навантаження за певною траєкторією руху. Отримання даних від корисного навантаження є польотним завданням у більшості випадків, що може бути пов'язане із спостереженням, транспортуванням, зв'язком, зондуванням, розвідкою. Тип та клас БПЛА часто обирається від запланованого набору корисного навантаження у БАК (безпілотний авіаційний комплекс). Розмір і вага корисного навантаження є одним з найважливіших критеріїв при проектуванні БПЛА. Розміщення корисного навантаження на борту залежить від фізичних принципів побудови обладнання спостереження. Зокрема можуть використовуватись електронно-оптичні чи інфрачервоні камери, радіолокаційні станції чи далекомірні системи. Польотне завдання визначає склад корисного навантаження, що може змінюватися від відносно простих підсистеми, що складаються з нестабілізованої відеокамери з фіксованою лінзою; відеосистеми з значною дальністю дії з автоматичним об'єктивом гіростабілізованим на спеціалізованій платформі до повнофункціональних радіолокаційних станцій високої потужності значної маси.

Більш складні БПЛА використовують комбінацію різних типів давачів, інтегруючи їх дані для підвищення їх точності. Так зображення з оптичного сенсору чи теплової знімальної камери доцільно об'єднувати з далекомірним обладнанням (лазерним, акустичним чи радіолокаційним). Це дозволяє отримувати повну інформацію стосовно об'єкта спостереження.

Пункт запуску є необхідним для БПЛА, що не мають здатності вертикального зльоту та обмежені у доступі до злітно-посадкової смуги необхідної поверхні та довжини. Пункт запуску може використовувати різні фізичні принципи збільшення підйомної сили БПЛА. У найпростішому випадку може використовуватись похила поверхня з рухомою платформою, що прискорюється.

Пункт налагодження обладнання БПЛА як правило, є необхідним у разі використання складного обладнання корисного навантаження та важких БПЛА.

У разі використання легких БПЛА пункт налагодження виконує функції відновлення конструкції БПЛА зіпсованих під час виконання польотного завдання. Пункт зв'язку забезпечує постійний КІО між БПЛА та БСК.

Також, для якісного та ефективного виконання польотного завдання, необхідно, щоб оператор мав високі професійні навички та компетентності.

Бортове електронне обладнання БПЛА забезпечує функціонування та виконання польотного завдання. Склад бортового обладнання в першу чергу залежить від класу БПЛА та його функціонального призначення. Проте, основним завданням бортового обладнання БПЛА є забезпечення виконання польотного завдання, що включає керування БПЛА за заданою траєкторією руху та його автоматичну кутову стабілізацію відносно центру мас. Виконання польотів у середовищі з динамічно змінюваними параметрами

зовнішнього середовища потребує ситуаційної обізнаності у режимі реального часу, що забезпечується різноманітними датчиками та сенсорами.

Окрім того, закони керування БПЛА повинні враховувати зміни навколишнього середовища з метою точного виконання польотного завдання. Відповідно до цього, повинно забезпечуватись політ по заданій траєкторії в складних метеорологічних умовах, враховуватись рельєф місцевості та інші перешкоди на траєкторії руху БПЛА, спостереження за навколишніми рухомими об'єктами, що можуть становити загрозу руху. Бортові системи повинні функціонувати у середовищі з наявними радіозавадами.

Бортове обладнання БПЛА, також повинне забезпечувати вирішення певних задач керування відповідно до рівня автономності. Виконання вимог поставлених до сучасного БПЛА забезпечується використанням інформаційних, обчислювальних та інтелектуальних технологій у структурі бортового обладнання.

За своєю архітектурою більшість БПЛА цивільного призначення містять цифровий обчислювач, що за інформацією від джерел даних таких як, система повітряних сигналів, акселерометрів, гіроскопів, GPS системи забезпечує функції керування та навігації. Застосування сучасних цифрових технологій дозволило поступово перейти від системної архітектури до програмної, що дозволило значно зменшити кількість бортового обладнання БПЛА та мінімізувати його габаритні розміри.

Відповідно до класу БПЛА та призначення, різні нормативні документи висувають певні вимоги до складу бортового обладнання, а саме: стандарти STANAG стосуються бортового обладнання БПЛА військового призначення, EASA та JARUS – цивільного.

У загальному випадку бортове обладнання БПЛА складається з систем позиціонування, обчислювача польотної інформації, різноманітних датчиків, систем керування рульовими поверхнями та силовою установкою, обладнання корисного навантаження та каналу інформаційного обміну (рис. 1.2).

Система позиціонування призначена для визначення власного місцеположення у певній системі координат в будь-який момент часу. Координати поточного місцеположення БПЛА відіграють визначальну роль у вирішенні задач переміщення у просторі.

Відповідно до цього, системі позиціонування висуваються жорсткі вимоги до точності визначення координат. Основними системами позиціонування у просторі є глобальна навігаційна супутникова система (GNSS) та бортова інерціальна навігаційна система. Переважна більшість систем позиціонування, крім координат власного місцеположення, забезпечують розрахунок похідних даних таких як висота польоту, лінійні швидкості польоту, кутова орієнтація та інші.

Функціонування БАК забезпечується шляхом вимірювання та контролю параметрів системи. Основним джерелом інформації про стан БПЛА та БАК у цілому є різноманітні датчики, що безперервно контролюють вимірювальні параметри, а саме: гіроскопи, акселерометри, датчики тиску, датчики

магнітного поля, пірометричні прилади, температури, кутів атаки та ковзання, напруги живлення.

Корисне навантаження БПЛА може включати наступне обладнання, а саме: відеокамери, обладнання денної і нічної розвідки, РЛС, оптико-електронні, метеорологічні, хіміо-біологічні прилади, обладнання зв'язку та навігації, будьяке обладнання, необхідне для виконання польотних завдань БПЛА. Обчислювач польотної інформації використовується для управління БПЛА.

Канал інформаційного обміну між БПЛА та БСК забезпечується трьома важливими функціями: висхідна лінія зв'язку від наземної станції для передачі керуючих даних до БПЛА; низхідна лінія зв'язку від БПЛА для передачі даних від бортових датчиків і обчислювальної системи на наземну станцію; засоби для забезпечення виміру азимута і дальності від наземної станції до БПЛА для забезпечення зв'язку між ними. Основним завданням обладнання зв'язку є гнучкість, адаптивність та безпека інформаційних потоків даних.

Для забезпечення цілісності систем БПЛА, необхідно проводити постійний моніторинг їх справностей. Це гарантує, що непомічені несправності в системі не призведуть до катастрофічної відмови систем БПЛА, що можуть зашкодити виконанню польотного завдання.

Система БПЛА повинна мати можливість планувати і перепланувати власну траєкторію польоту з урахуванням зміни стану навколишнього середовища. Операція планування польотів вимагає знання оточення БПЛА; в тому числі повітряного простору, рельєфу, іншого руху, метеорологічних умов, зони обмежень і перешкод.

БПЛА повинен мати записи даних про причини втрати зв'язку. Стратегічне бачення передбачає, що в тому випадку, якщо зв'язок між БСК та БПЛА були повністю розірвані, БПЛА повинен бути попередньо запрограмований спробувати протягом деякого часу відновити зв'язок задля виконання повністю автоматизованої програми повернення до НСК (наземна станція керування) або самостійного у автоматичному режимі, завершити задане польотне завдання.



## 2. Система керування квадрокоптером

Пристроєм керування в підсистемі є мікроконтролер PIC32MX795F512L.

Сам мікроконтролер підключається до виконавчої системи безпосередньо, отримує дані з датчиків через інтерфейси UART, SPI та вплив оператора через пульт керування за допомогою UART інтерфейсу через радіо COM-порт.

В середині контролеру отримані дані фільтруються, співставляються з попередніми даними і з даними, отриманого, обробляються за допомогою ПІД регулятора та приймають участь в підрахунку шим сигналу для необхідної частоти обертів двигунів.

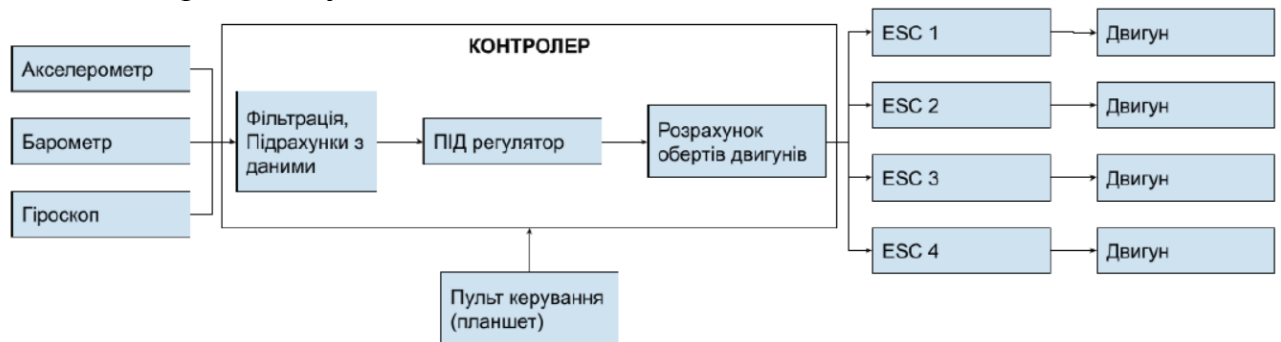


Рисунок 2. Структурна схема системи керування

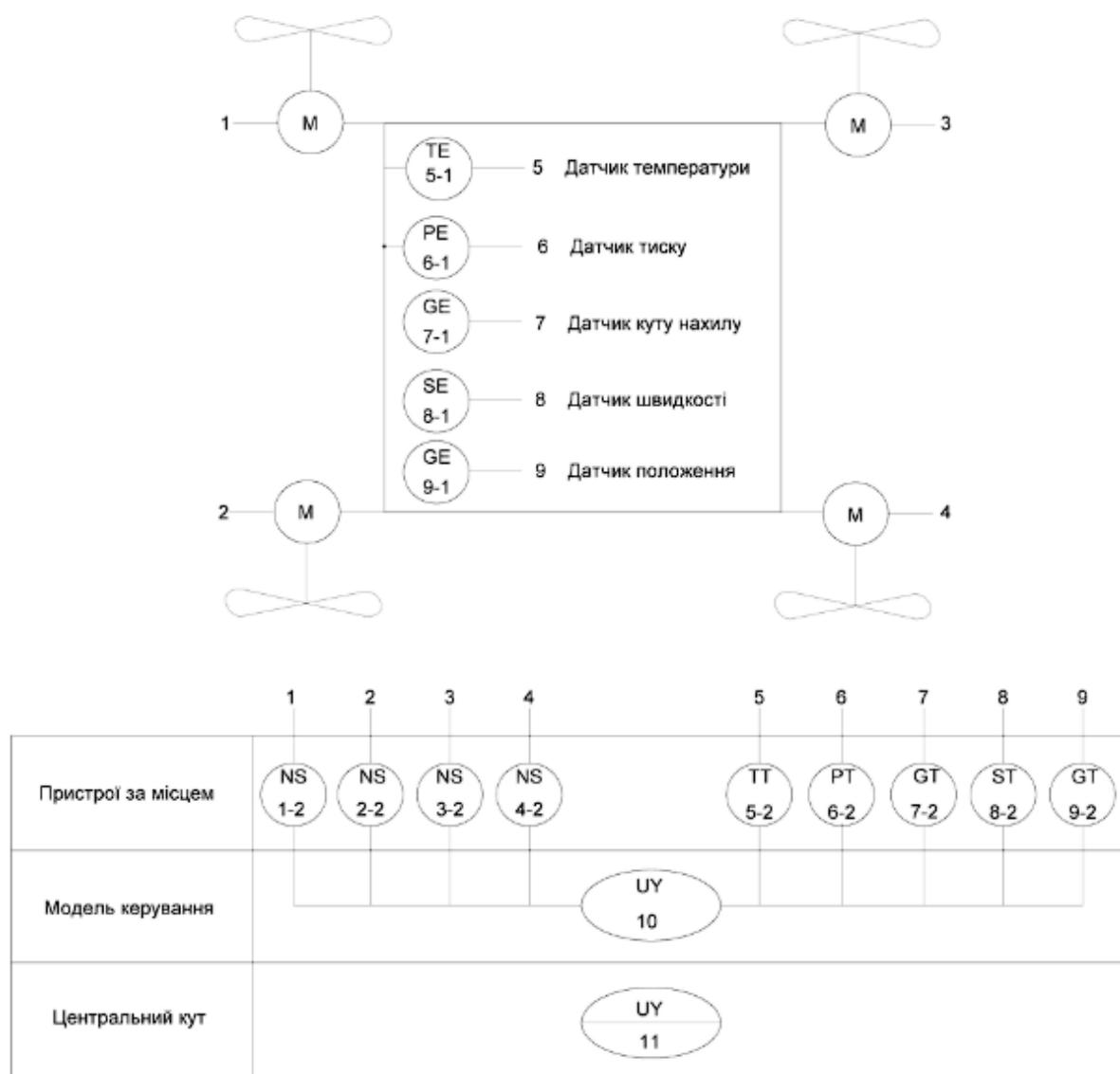


Рисунок 3. Функціональна схема автоматизації

В системі використовується система живлення, яка складається з акумулятора, BMS контролера та ланцюга регулювання напруги. На вхід ланцюга регулювання напруги подається напруга акумулятора  $V_{bat}$ , яка дорівнює  $\sim 16.8$  В. Ланцюг регулювання напруги складається з мікросхем LM78F. Одна мікросхема знижує вхідну напругу до 3.3 В, друга знижує до 5 В.

На виході системи живлення ми отримуємо 3 варіанти напруги - 3.3 В, 5 В та 16.8 В.

Напруга в 5 В підключається до всіх наявних датчиків в системі, 3.3 В необхідні для заживлення мікроконтролеру, ESC підключаються напряму до виходу акумулятору (16.8 В).

Основним керуючим пристроєм є мікроконтролер PIC32MX795F512L, до аналогових входів якого під'єднані акселерометр, гіроскоп, барометр, термометр, GPS модулі, а також модуль радіозв'язку з пультом оператора. Після обробки отриманих даних контролер формує керуючий вплив, який надходить до ESC, які в свою чергу коригують швидкість обертів пропелерів.

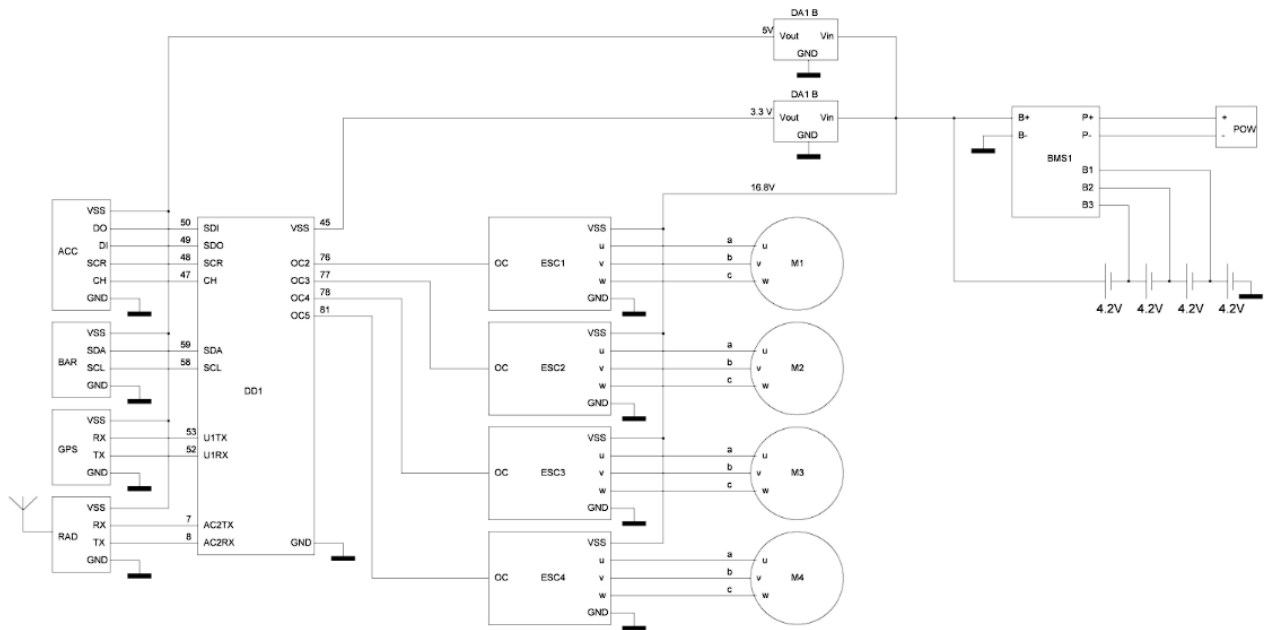


Рисунок 4. Схема принципова електрична

### 3. Типова структурна схема управління коптерами.

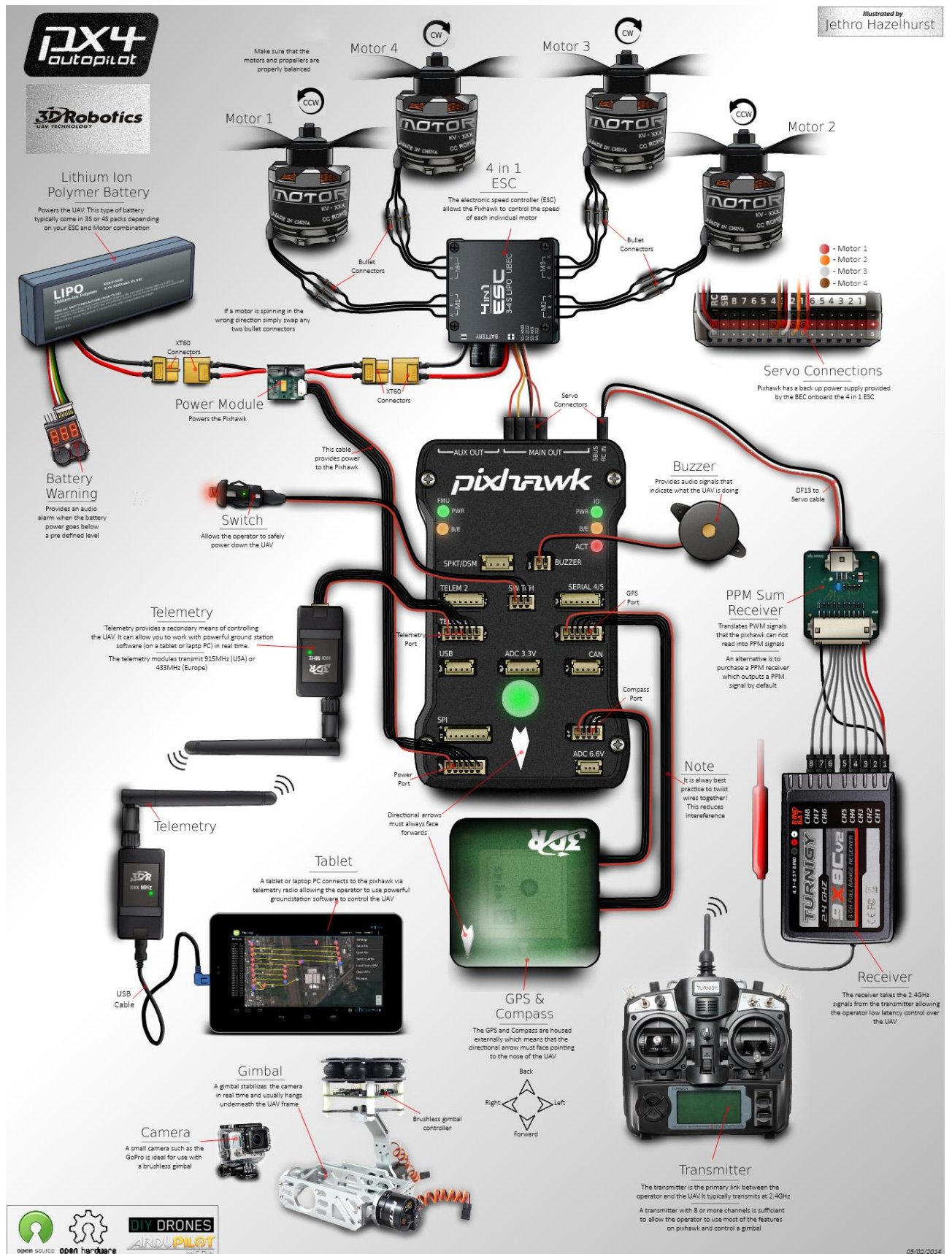


Рисунок 5. Типова структурна схема управління коптерами

#### 4. Схема VTOL-літака з використанням UAVCAN датчиків та виконавчих механізмів

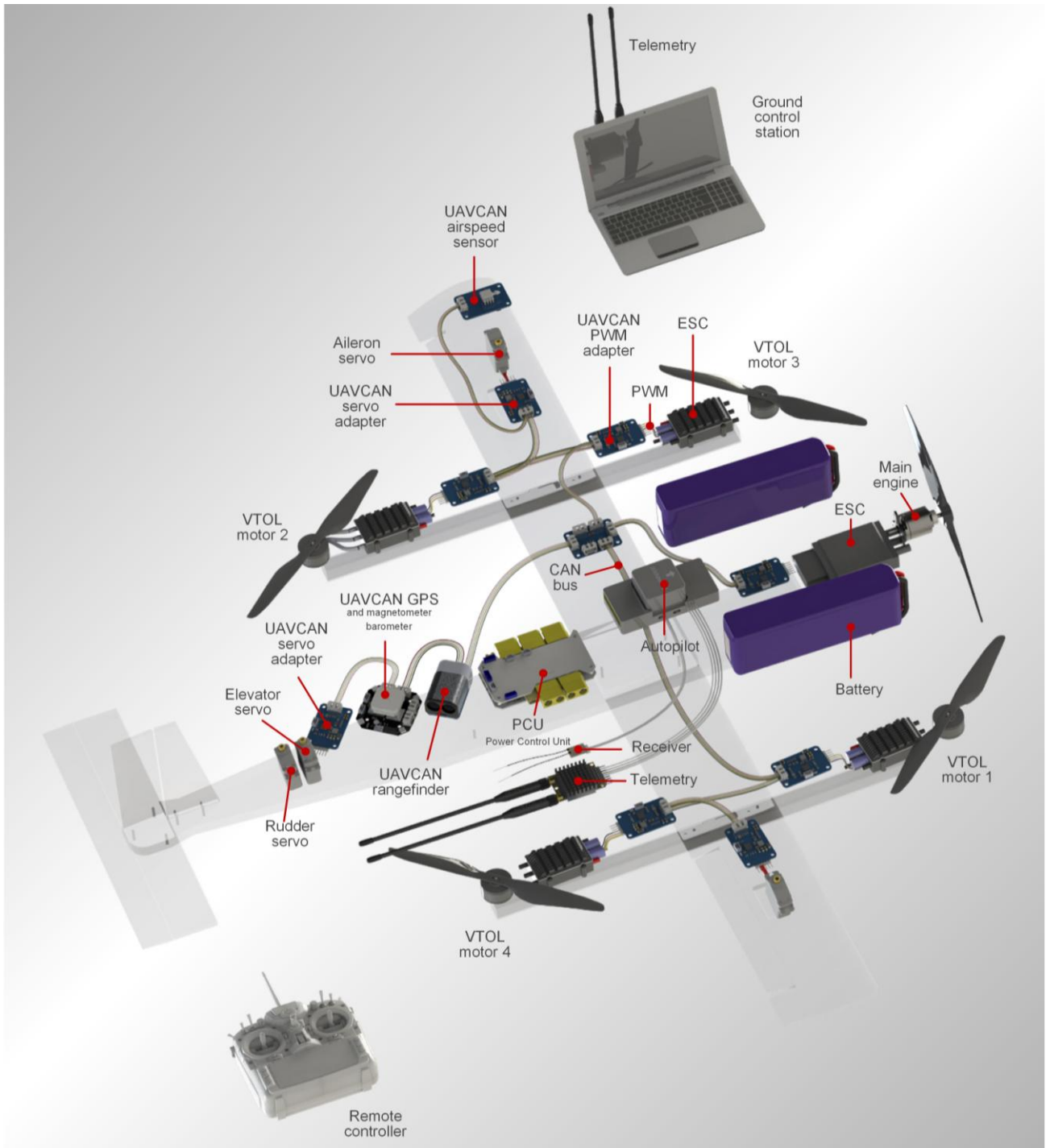


Рисунок 6. Типова структурна схема VTOL-літака