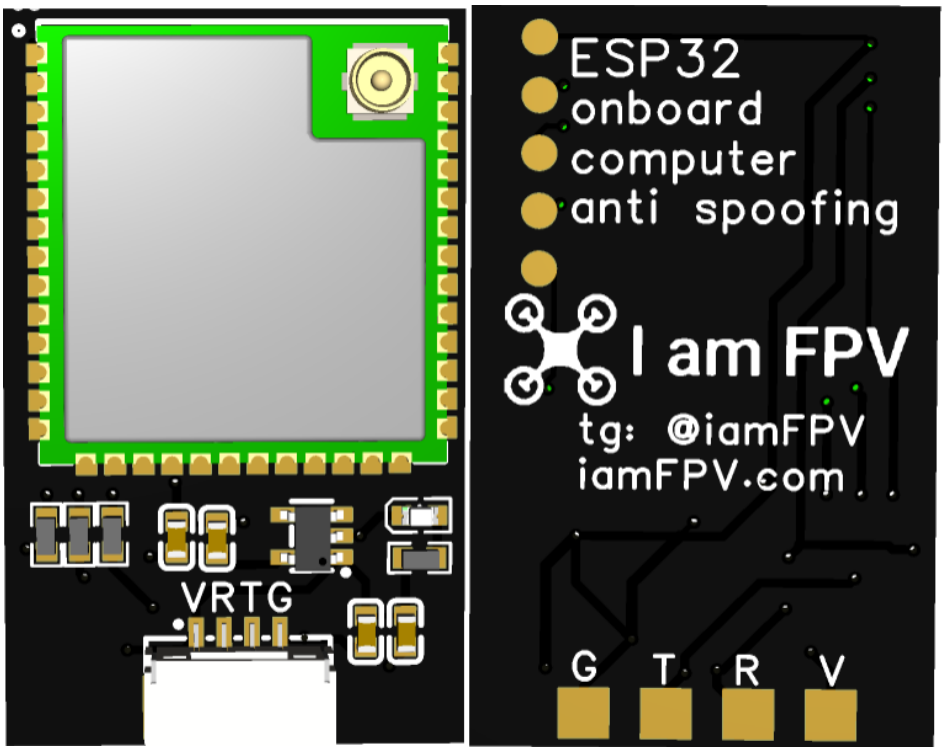
Онборд-комп’ютер для Ardupilot з “анти-спуф” логікою



1) Для чого ця плата

• Дана плата захищає Ваш борт від підміни координат по GNSS навігації.

Це **онборд-комп’ютер на ESP32**, який під’єднується до польотника (ArduPilot / fixed-wing) по **MAVLink** і:

1. Моніторить стан GPS приймача
2. Вимикає використання GPS, коли, відповідно до запрограмованих алгоритмів, виявить погіршення стану GPS-Приймача
3. Після завершення впливу GPS-Приймач на Автоматично з гістерезисами вмикає GPS для навігації в Ardupilot

Плата **НЕ змінює параметри ArduPilot. Також вона не є навігаційним засобом, тобто вона не допоможе долетіти будь-куди. Єдине завдання модуля – активувати GPS Disable і не дозволити автопілоту отримати невалідні координати**

2) Алгоритм роботи (коротко)

1. **Старт**: ESP32 ініціалізує UART, оголошує себе як sysid=42, шле HEARTBEAT кожну 1 с, запитує GPS_RAW_INT (1 Гц) та HOME_POSITION.
2. **Збір телеметрії**: читає кількість супутників, HDOP, тип фікса, координати, HOME_POSITION, Time_usec.
3. **Критерії ВИМКНЕННЯ GPS** (виконується будь-який з них):
   - Кількість супутників, що приймає приймач менші, ніж Sat_count_Off (якщо Sat_count_Off > 0), **або**
   - Значення HDOP менше за HDOP_Off (якщо HDOP_Use=1).
   - GPS-приймач передає на борт координати, що не попадають в квадрат, зазначений в FPT - Geo
   - Погіршується плинність Time_Usec (точний час, що передає GPS-Приймач на борт)

   Для відключення навігації по GPS, польотнику надсилається команда DO_AUX_FUNCTION(GPS Disable, pos=2). Одночасно, якщо є валідні координати та 3d fix — фіксується точка й час відключення.
4. **Критерії УВІМКНЕННЯ GPS** (усі одночасно):
   - sats ≥ Sat_count_On, і (якщо HDOP_Use=1) HDOP ≤ HDOP_On.
   - Умови тримаються **не менше Sat_On_delay секунд**.
   - Переміщення від точки відключення **≤ Speed_max * час_вимкнення** (якщо точка була зафіксована).
   - Відстань до HOME **≤ home_dist_max** (якщо HOME відомий).

   → Надсилається DO_AUX_FUNCTION(GPS Disable, pos=0) (тобто **вмикаємо** GPS).
5. **Сервісні повідомлення**: кожні 5 с — ESP OK | sats=N | GPS ON/OFF | HDOP=x.xx. ACK команд від FC теж логуються.

3. Алгоритм роботи Time_control

Time control – алгоритм контролю ознаках спуфінгу на основі точного часу, що передається приймачем GPS

Алгоритм реалізований на основі порівняння плинності таймера із моменту увімкнення контролера польоту та часу, що передає GPS

Принцип

- Береться вікно time_usec_base секунд
- Обчислюється:

$|\Delta GPS_time - \Delta boot_time|$

- Якщо > time_usec_diff → BAD
- Якщо ≤ time_usec_diff → OK

Вимкнення GPS по часу

- Потрібно time_usec_badct BAD-вікон підряд
- Але тільки якщо дозволено вимикати (див. нижче)

При вимкненому GPS польотник перестає отримувати від GPS приймача точний час. Відповідно time_usec_diff завжди буде BAD і повторне увімкнення GPS буде заблоковане.

За для того, щоб продовжити політ із використанням GPS, реалізований наступний алгоритм:

Якщо time_usec_on_ignore=1, то ESP матиме можливість увімкнути GPS для повторної перевірки плинності часу (але виключно за умови нормальної кількості супутників, коректного місцезнаходження HDOP)

Після такого увімкнення GPS:

У нас три механізми, щоб **не зловити повторне миттєве відключення** через «стрибаючий» time_usec після вмикання:

(A) time_usec_on_ignore (дефолт 1)

- Дозволяє **ввімкнути** GPS навіть якщо time_usec наразі «поганий». Це впливає тільки на **умову дозволу ввімкнення**, а не на вимкнення. Тобто вимкнути можна буде знову — але далі включаються (B) та (C).

(B) time_usec_grace_s (дефолт 8 с) — grace-період

- **Після будь-якого ENABLE** стартує таймер grace.

• Поки триває grace, **перевірка дрейфу часу повністю ігнорується**: BAD-вікна не рахуються, за time_usec не вимикаємо.

(C) time_usec_good_n (дефолт 3) + time_on_min_hold_s (дефолт 12 с)

• Після завершення grace, перш ніж дозволити **вимикання за часом**, треба **назбирати підряд time_usec_good_n добрих вікон** (тобто стабілізувати GPS-час).

• Додатково діє **мінімальна витримка ON**: time_on_min_hold_s. Допоки з моменту ENABLE не минуло цієї витримки, **вимикання саме з причини часу заборонене**, навіть якщо «добрі вікна» вже назбиралися.

Поведінка в прикладах

Приклад 1 (типовий сигнал)

• Увімкнули GPS → 8 с grace: жодних вимкнень за часом.

• Далі назбирали 3 підряд OK-вікна (припустимо, time_usec_base=10c, time_usec_diff=0.5c).

• Минуло 12 с мінімального hold → тепер вимкнення за часом знову **можливе**.

Приклад 2 (шумний старт)

• ENABLE → grace 8 с.

• Після grace перше вікно BAD → good_in_row скинуто в 0.

• Продуманий детектор дозволить вимикати за часом тільки коли підряд наберуться 3 OK-вікна **і** мине мін-hold. До того — **жодних** вимикань за time_usec, але HDOP/Sats/GEO продовжують працювати.

4. Додаткові функції (вимкнені функції за замовчуванням)

EKF_check

Функція EKF_check може працювати як додаткова умова для перевірки при увімкненні GPS.

БПЛА, який летить із вимкненим GPS, самостійно, за рахунок встановлений сенсорів, розраховує своє місцезнаходження (Global_position_int) і передає на ESP32.

Із часом розбіжність між розрахунковою точкою і фактичним місцезнаходженням борту буде зростати.

Якщо увімкнути EKF_check=1, ESP32 перед увімкненням GPS буде перевіряти реалістичність місцезнаходження, порівнюючи точку Global_position_int та «сирі» дані із GPS.

Якщо похибка місцезнаходження становить більше ніж **EKF_error_sec * час польоту без GPS**, ESP вважатиме, що GPS передає некоректні данні та не дасть можливість увімкнути GPS для навігації

Стосовно величини **EKF_error_sec.** Дефолтне значення (6 метрів за секунду) є сильно завищене для усіх бортів. Це значення потрібно підбирати в залежності від набору сенсорів на БПЛА, складності місії та погодних умов

До прикладу, на літаку із простим польотником, дешевим компасом і датчиком повітряної швидкості, за 30 хв польоту без GPS (50 км пройденого шляху), накопичувалася помилка приблизно 1500 метрів, тобто близько 1 м/сек

На літаку із польотником на ADIS акселях із RM3100 компасом та DLVR датчиком швидкості за 15 хв (30 км польоту) польоту накопичувалася похибка 100 метрів (0,1 метри за секунду)

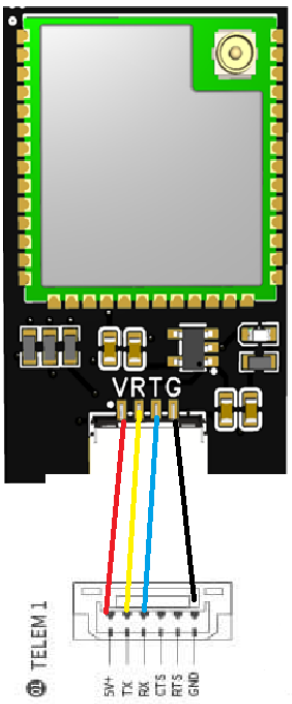
Тому рекомендую перед увімкненням EKF_check протестувати можливості свого літака (вимкнути вручну GPS, налітати 20-30 км і промоніторити похибку прорахованого місцезнаходження після ручного увімкнення GPS) і встановити EKF_error_sec, яка буде підходити для вашого БПЛА

****

Rtl_en

Якщо Rtl_en = 1, після відключення GPS, через Rtl_delay (час в секундах) ESP32 передасть на БПЛА команду на зміну польотного режиму на RTL

5) Підключення плати



Інформація по підключенню

1. **Живлення**: 4,5..6 V, 50мА струм споживання
2. **Логіка RX-RX**: 3.3 В рівні (ESP32 і FC — 3.3 В). Обов'язково спільна **GND**
3. **Підключається на вільний UART польотника** із типовий перехресним підключення: **TX ESP32 → RX FC**, **RX ESP32 → TX FC**.

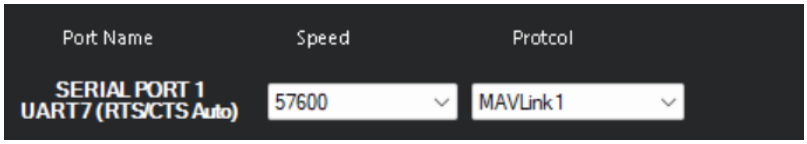
Налаштування в Ardupilot

Підключається до будь-якого UART порту польотного контролера TELEM/Serial (зверніть увагу на SERIAL mapping польотника, тобто на відповідність UART-serial)

У Mission Planner:

▪ SERIALx_PROTOCOL = 2 (MAVLink2),

▪ SERIALx_BAUD = 57 (тобто 57600), де x — номер саме того Serial порту, куди підключена ESP.



4. **Швидкий чек**:

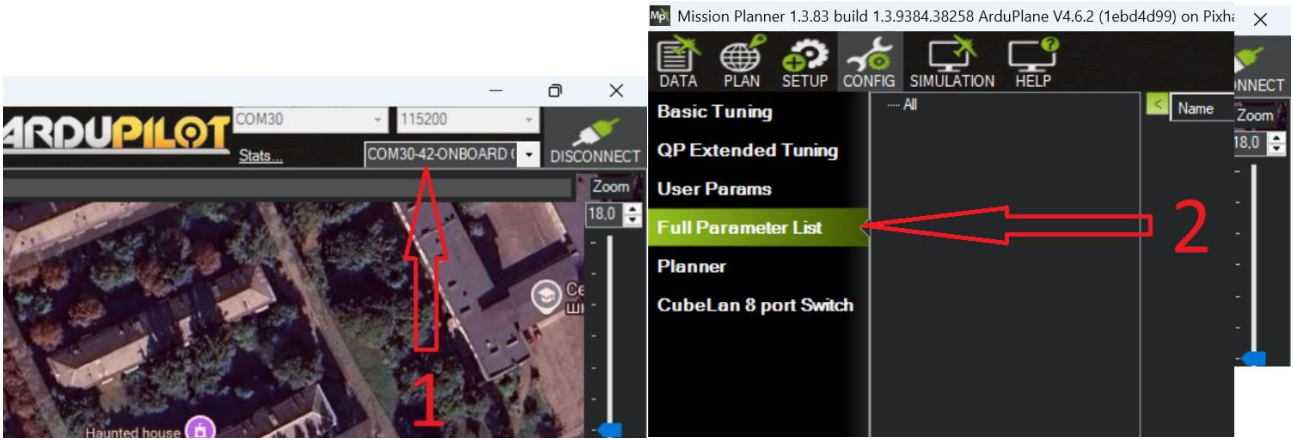
- Після підключення та запуску в Mission Planner у "Messages" в вкладці Onboard Computer із мають з'явитися рядки типу:
  - FC detected: sysid=...
  - ESP OK | sats=... | GPS ON/OFF | HDOP=...
- В "Onboard Computer" ESP буде видно як **sysid 42**.

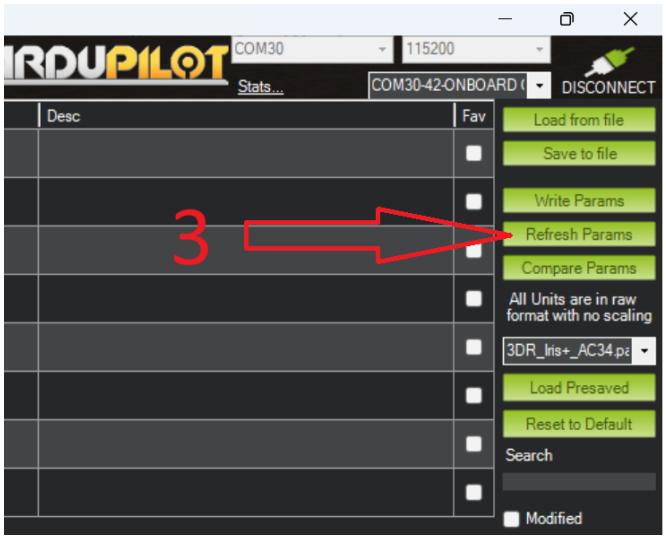
5) FULL PARAMETER LIST (параметри ESP32)

ESP32 плати прошита прошивкою для за захисту від спуфінгу

Прошивка позволяє змінювати користувачу усі параметри для досягнення найкращого ефекту

Параметри для налаштування логіки роботи ESP32 плати доступні у Mission Planner через MAVLink-параметри **онборд-комп'ютера (наш sysid=42).**





Доступні для зміни параметри:

SATELLITES (контроль кількості супутників)

Параметр	Тип	Дефолт	Опис
Sat_count_Off	int	**10**	Якщо кількість супутників ≤ цього значення → GPS **DISABLE**
Sat_count_On	int	**15**	Мінімальна кількість супутників для **GPS ENABLE**
Sat_On_delay	сек	**30**	Час стабільного виконання умов перед GPS ENABLE

📐 HDOP (якість геометрії GPS)

Параметр	Тип	Дефолт	Опис
HDOP_Use	bool (0/1)	**1**	Увімкнути/вимкнути контроль HDOP
HDOP_Off	float	**3.1**	Якщо HDOP ≥ значення → GPS **DISABLE**
HDOP_On	float	**1.5**	Максимальний HDOP для **GPS ENABLE**

⏱️ TIME / ANTI-SPOOF (контроль часу GPS)

Параметр	Тип	Дефолт	Опис
time_usec_check	bool	**1**	Увімкнути перевірку дрейфу часу
time_usec_base	сек	**10**	Вікно порівняння часу
time_usec_diff	сек	**0.5**	Максимально допустимий дрейф у вікні
time_usec_badct	int	**2**	Скільки BAD-вікон поспіль → GPS DISABLE
time_usec_on_ignore	bool	**1**	Дозволити GPS ENABLE навіть якщо час BAD
time_usec_grace_s	сек	**8**	Час після ENABLE, коли time-check ігнорується
time_usec_good_n	int	**3**	Кількість OK-вікон для повторного дозволу DISABLE
time_on_min_hold_s	сек	**12**	Мінімальний час утримання GPS ON

🌍 GEO (географічний фільтр координат). За замовчуванням квадрат із територією України, за необхідністю можна зменшити чи збільшити)

Параметр	Тип	Дефолт	Опис
GEO_min_lat	°	**44.0**	Мінімальна допустима широта
GEO_max_lat	°	**53.0**	Максимальна допустима широта
GEO_min_lon	°	**22.0**	Мінімальна допустима довгота
GEO_max_lon	°	**42.0**	Максимальна допустима довгота

🧭 NAVIGATION SAFETY (анти-телепортація)

Параметр	Тип	Дефолт	Опис
Speed_max	м/с	**25**	Максимально допустима “швидкість” зміни позиції
home_dist_max	м	**20000**	Максимальна відстань від HOME для GPS ENABLE

EKF (додаткова перевірка увімкнення GPS на основі розбіжностей відстаней між точками, що передає GPS та точкою Estimate position)

Параметр	Тип	Дефолт	Опис
EKF_check	bool (0/1)	**0**	За замовчуванням функція вимкнена
EKF_error_sec	м/сек	**6**	Максимальна допустиме зростання помилки місцезнаходження, м/сек

RTL (автоматичне увімкнення режиму RTL по відключенню GPS)

Параметр	Тип	Дефолт	Опис
Rtl_en	bool (0/1)	**0**	За замовчуванням функція вимкнена
Rtl_delay	сек	30	Затримка увімкнення режиму RTL, сек

Значення зберігаються в EEPROM автоматично при зміні.

Примітки по поведінці:

- **Вимкнення** GPS тригериться **миттєво**, як тільки виконається один із “поганих” критеріїв (sats або HDOP).
- **Увімкнення** GPS потребує **всіх** “добрих” критеріїв **одночасно** + **затримки Sat_On_delay**.
- Якщо при відключенні **не було валідних координат** (наприклад, до 3D-фікса), тоді обмеження Speed_max **не застосовується**.
- Якщо Sat_count_Off = 0 — відключення за кількістю супутників ніколи не спрацює (але HDOP-критерій може).

4) Примітки по експлуатації

1. Плата тестована тільки на Fixed Wing бортах. Проте на коптерах повинна працювати також

2. Функціонал та алгоритми пристрою розраховані на те, що запуск БЛЛА буде відбуватися за умов відсутності подавлення GPS

3. Плата надсилає команду на виключення та включення GPS лише 1 раз на цикл. Це означає, що кращим рішенням буде не використовувати програмний ребут (Crtl+F – reboot Pixhawk), а фізично від'єднувати акумулятор та перезавантажувати одночасно контролер польту та плату ESP

4. Для коректної визначення швидкості борту без GPS потрібен датчик повітряної швидкості

5. Після вимкнення GPS літак переходить в режим інерціальної навігації. Надалі якість польоту залежить виключно від датчиків на літаку (IMU, компас, датчик повітряної швидкості) тощо

6. Приймачі GPS після закінчення спуфінгу довго отримують повторний 3D fix. Бували випадки, що через декілька годин. Будьте до цього готові. Для перезапуску GNSS приймача можна використовувати GPIO пін контролера польоту та Reset на GNSS приймачі

7. На OSD в літаку пише реальні (RAW) координати. Це ті, що напряму передає GNSS приймач.

5) Вирішення типових несправностей

#	Проблема	Рішення
1	Не відображається Onboard Computer	Перевірити правильність підключення до польотника (RX/TX, Serial, швидкість, протокол)
2	В Message плати не відображається кількість супутників і тд	Зробити перезапуск польотника та esp32 плати