

RCSIM Tier 0 — Audio PPM (Zero Hardware): instrukcja użytkownika

Ilustrowany przewodnik użytkownika: karty konfiguracji, akcje wdrożenia i procedury krok po kroku. Zrzuty przedstawiają angielski interfejs.

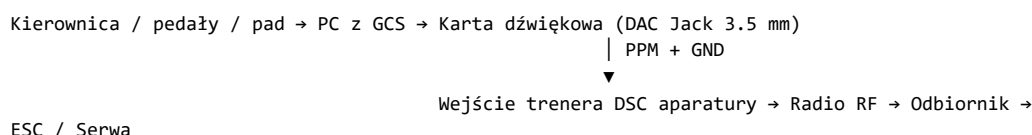
Spis treści

1. Do czego służy Tier 0	2
2. Architektura programowa i tor audio	2
3. Wymagania sprzętowe i połączenia elektryczne	3
3.1. Przewód połączeniowy Jack 3.5 mm	3
3.2. Poziomy napięcie: USB DAC vs Zintegrowana karta Realtek	3
4. Konfiguracja w programie RCSIM GCS	3
5. Konfiguracja aparatury (EdgeTX / OpenTX)	4
6. Procedura pierwszego uruchomienia i bezpieczeństwo	4
7. Diagnostyka i rozwiązywanie problemów	5
8. Ślady weryfikacji w kodzie źródłowym	5

Wydanie: 14 października 2026. Podręcznik opisuje bezpośrednie generowanie sygnału PPM z wyjścia karty dźwiękowej komputera (gniazdo Jack 3.5 mm) do portu trenera (DSC) aparatury RC. Podstawą są implementacje w kodzie źródłowym GCS oraz pomiary parametrów elektrycznych toru audio.

1. Do czego służy Tier 0

Tier 0 („Zero Hardware”) umożliwia sterowanie modelem RC za pomocą kierownicy, pedałów lub gamepada podłączonych do komputera PC, bez konieczności stosowania jakiegokolwiek dedykowanego mikrokontrolera (Arduino, RP2350). Komputer PC generuje przebieg PPM bezpośrednio na przetworniku cyfrowo-analogowym (DAC) karty dźwiękowej.



Sygnał z gniazda słuchawkowego trafia przewodem mini-jack do portu trenera aparatury (np. RadioMaster MT12, TX16S, Boxer, FlySky, FrSky). Aparatura odczytuje kanały w trybie Trainer i przesyła je bezprzewodowo swoim wbudowanym modułem radiowym do odbiornika w pojeździe.

Tier 0 przesyła wyłącznie kanały sterujące (PPM). Obraz FPV oraz ewentualna telemetria zwrotna wymagają całkowicie niezależnego toru (np. odbiornik FPV z grabberem HDMI/USB na PC).

2. Architektura programowa i tor audio

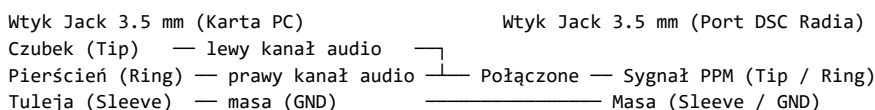
Za generowanie sygnału w GCS odpowiadają moduły AudioPPMStrategy oraz PPMWaveformGenerator w katalogu core/comm/.

- **Próbkowanie:** domyślnie **192 000 Hz** (dostępne także 96 000 Hz oraz 48 000 Hz). Wysokie próbkowanie minimalizuje jitter czasowy zboczy do poziomu poniżej 5 μ s.
- **Liczba kanałów:** od 1 do 16 kanałów (domyślnie **8 kanałów**).
- **Czas trwania ramki** (frame_length_ms): domyślnie **22,5 ms**. Przy większej liczbie kanałów generator automatycznie wydłuża ramkę, aby zachować minimalny odstęp synchronizacji (Sync Gap > 4,0 ms).
- **Szerokość impulsu synchronizacji** (sync_pulse_us): domyślnie **500 μ s** (zakres 300–800 μ s). Wartość 500–600 μ s jest kluczowa dla niezawodnego wyzwalania wejścia DSC aparatury wyposażonej w filtr dolnoprzepustowy RC.
- **Polaryzacja** (audio_ppm_polarity): NEGATIVE lub POSITIVE.
- **Podwójne buforowanie ramki (Zero Phase Tearing):** Pętla sterowania GCS (100 Hz) nigdy nie modyfikuje bufora audio w trakcie trwania ramki PPM. Aktualizacja próbek jest zatrzymywana wyłącznie na granicy ramki (pos == 0), co zapobiega rwaniu fazy i gubieniu synchronizacji przez dekodery EdgeTX.
- **Ciągła fala nośna (No Carrier Loss):** W stanie DISARM wyjście audio nie jest wyciszane do zera. Generator nadaje ciągłą ramkę neutralną (1500 μ s na wszystkich kanałach). Zapobiega to wyzwalaniu w EdgeTX alarmu „Trainer signal lost” i uciążliwych wibracji aparatury przed startem.
- **Wyjście Stereo Tip + Ring:** Przebieg PPM jest powielany identycznie na kanał lewy i prawy. Zapewnia to 100% zgodności elektrycznej zarówno z kablami i gniazdami mono, jak i stereo.

3. Wymagania sprzętowe i połączenia elektryczne

3.1. Przewód połączeniowy Jack 3.5 mm

Potrzebny jest przewód audio Jack 3.5 mm (męski-męski) łączący wyjście słuchawkowe / Line-Out karty dźwiękowej PC z gniazdem DSC / Trainer aparatury.



W przypadku standardowych kabli stereo Tip i Ring są zwarte po stronie oprogramowania GCS, więc kabel stereofoniczny działa poprawnie nawet wtedy, gdy gniazdo w aparaturze jest złączem mono.

3.2. Poziomy napięć: USB DAC vs Zintegrowana karta Realtek

Amplituda sygnału wyjściowego karty dźwiękowej PC wynosi typowo 1,0–2,2 V Pk-Pk. Próg logiczny V_{IH} mikrokontrolera w aparaturze wynosi zazwyczaj ok. 1,8–2,0 V.

- **Zintegrowane karty Realtek (płyty główne PC):** Wyjścia te często mają ograniczoną wydajność prądową, kondensatory wyjściowe powodujące spadek napięcia pod obciążeniem oraz ujemny undershoot. Może to skutkować niestabilnym dekodowaniem PPM w radiu (objaw: radio widzi trenera przez sekundę, po czym go gubi).
- **Zewnętrzne karty USB DAC:** Tanie karty dźwiękowe USB (lub adaptery USB od słuchawek, np. Corsair HS60 PRO) zapewniają stabilne napięcie wyjściowe rzędu 2,0–2,5 V, czysty tor zasilania i brak zakłóceń z płyty głównej. Zapewniają natychmiastowe, stabilne wykrywanie sygnału w aparaturze.
- **Polaryzacja a sprzężenie AC:** Wyjścia audio posiadają kondensatory separujące składową stałą (AC coupling). Ustawienie polaryzacji POSITIVE (oraz POS w aparaturze) utrzymuje stan spoczynkowy blisko 0 V i generuje dodatnie szpilki napięciowe, zapobiegając ucinaniu ujemnych impulsów przez diody zabezpieczające mikrokontrolera.

4. Konfiguracja w programie RCSIM GCS

1. Podłącz kierownicę/pedały do USB oraz kabel audio Jack 3.5 mm pomiędzy PC a aparaturą.
2. Uruchom GCS i otwórz **Configuration** → **Connection Settings**.
3. W polu **GCS Mode** wybierz **Audio PPM (Trainer Port)**.
4. Na karcie **Tier 0 / Audio PPM** skonfiguruj parametry:
 - **Audio Output Device:** wskaż właściwą kartę dźwiękową (np. wyjście słuchawkowe USB DAC).
 - **Sample Rate:** wybierz **192000 Hz** (lub najwyższe stabilne dla karty).
 - **Channels Count:** ustaw **8**.
 - **Frame Length:** ustaw **22.5 ms**.
 - **Sync Pulse Width:** ustaw **500 µs** (w przypadku problemów z detekcją zwiększ do 600 µs).
 - **Signal Polarity:** ustaw **POSITIVE** (lub dopasuj do konfiguracji aparatury).
 - **Output Volume / Amplitude:** ustaw **1.0** (100% głośności w systemie Windows dla tego wyjścia).
5. Przejdź do **Channel Definitions** oraz **Control Mapping**, aby przypisać osie kierownicy i pedałów do kanałów CH1–CH8 (zgodnie z instrukcją GCS).
6. Wróć do **Cockpit**, wybierz tryb **Manual (Driver)** i kliknij **Connect**.

7. Wybierz opcję diagnostyczną **Test Center (1500 μ s)**, aby wygenerować idealny sygnał neutralny bez wpływu ruchów kierownicy.
8. Kliknij **ARM SYSTEM**, aby aktywować wyjście audio.

5. Konfiguracja aparatury (EdgeTX / OpenTX)

Procedura konfiguracji na przykładzie systemu EdgeTX (RadioMaster MT12, Boxer, TX16S, Pocket):

1. Konfiguracja modelu (Model Setup):

- Otwórz **MDL** → **Model Setup**.
- Przewiń do sekcji **Trainer**.
- Ustaw **Mode**: Master / Jack.
- Ustaw format wejścia: PPM, polaryzację: POS (zgodnie z GCS) oraz ramkę: 22.5ms 500us.

2. Aktywacja wejścia trenera (Special Functions):

- Otwórz **MDL** → **Special Functions**.
- Dodaj nową funkcję: przypisz wybrany przełącznik fizyczny (np. dwupozycyjny switch na kierownicy/radiu).
- Ustaw akcję: **Trainer**, parametr: **Sticks** (lub wybrane kanały 1–8).
- Ustaw przełącznik na **ON** (zaptaszkowane pole włączenia).

3. Monitor kanałów:

- Przejdź do ekranu **Channel Monitor** w radiu.
- Po przełączeniu przełącznika Trainer słupki kanałów w aparaturze powinny natychmiast przyjąć pozycje nadawane przez GCS.
- Poruszaj kierownicą i pedałami — słupki w radiu muszą płynnie podążać za ruchem kontrolerów PC.

6. Procedura pierwszego uruchomienia i bezpieczeństwo

1. **Zabezpieczenie modelu:** Przed włączeniem zasilania pojazdu zdejmij koła, unieś podwozie na stojaku lub odłącz przewody silnika od regulatora ESC.
2. **Kolejność włączania:**
 - Włącz aparaturę RC i upewnij się, że jest zbindowana z odbiornikiem w modelu.
 - Podłącz kabel audio Jack do PC i aparatury.
 - Uruchom GCS, połącz profil Audio PPM i uzbrój system (**ARM SYSTEM**).
 - Sprawdź działanie na monitorze kanałów w aparaturze.
 - Dopiero po potwierdzeniu stabilnego środka (1500 μ s) i prawidłowych kierunków włącz zasilanie modelu/ESC.
3. **Test odłączenia kabla (Failsafe trenera):**
 - Na pracującym zestawie na stojaku odłącz wtyk Jack 3.5 mm od aparatury.
 - Aparatura powinna natychmiast zgłosić utratę sygnału trenera i przełączyć się na pozycje własnych drążków/kierownicy lub wywołać zaprogramowany failsafe.
 - Upewnij się, że silnik nie startuje samoczynnie.

7. Diagnostyka i rozwiązywanie problemów

- **Aparatura zgłasza „Trainer signal lost” i wibruje:**
 - Sprawdź, czy wyjście w Windows nie jest wyciszone (Mute) lub ustawione na mniej niż 100% głośności.
 - Wyłącz wszelkie ulepszacze dźwięku (Spatial Audio, Sonic, Dolby, korektory EQ w panelu karty).
 - Zwiększ `sync_pulse_us` w GCS z 500 μ s do 600 μ s.
 - Zmień polaryzację w GCS i aparaturze z NEGATIVE na POSITIVE.
 - Użyj zewnętrznej karty dźwiękowej USB zamiast zintegrowanego złącza Realtek.
- **Sygnał trenera pojawia się na sekundę i znika:**
 - Kondensator wyjściowy karty dźwiękowej odcina składową stałą przy długich impulsach. Wymuś polaryzację POSITIVE i upewnij się, że GCS nadaje ciągłą falę nośną (najnowsza wersja `audio_ppm_strategy.py`).
- **Kanały w radiu drżą lub skaczą:**
 - Wymuś próbkowanie 192 000 Hz w ustawieniach GCS i właściwościach urządzenia w systemie Windows (Panel sterowania dźwiękiem → Zaawansowane → Format domyślny: 24-bit/192000 Hz).
 - Sprawdź jakość kabla Jack 3.5 mm i czystość styków gniazda.
- **Brak reakcji modelu mimo ruchu słupków w radiu:**
 - Sprawdź miksery w aparaturze (zakładka MIXES) — wejścia trenera (TR1–TR8) muszą być przekazane na odpowiednie kanały wyjściowe (CH1–CH8).

8. Ślady weryfikacji w kodzie źródłowym

- `RCSIM_PC/pc_app/core/comm/audio_ppm_strategy.py` — implementacja strategii, obsługa strumienia PyAudio / sounddevice, buforowanie float32 i ciągła fala nośna.
- `RCSIM_PC/pc_app/core/comm/ppm_waveform_generator.py` — synteza impulsów PPM, obliczanie ramki 22,5 ms, regulacja szerokości impulsu 500 μ s i polaryzacji.
- `RCSIM_PC/pc_app/core/comm_manager.py` — rejestracja identyfikatora AUDIO_PPM w fabryce strategii komunikacyjnych.
- `RCSIM_PC/pc_app/gui/tabs/connection_sections.py` — pola konfiguracji karty dźwiękowej w interfejsie GCS.