

# Projekt stanowiska pomiarowego podstawowych wielkości fizycznych wykorzystywanych w systemach HVAC

w oparciu o zestaw STM32F746G-Discovery z wyświetlaczem TFT

Imię Nazwisko

19 października 2025

## Streszczenie

Praca przedstawia projekt oraz weryfikację stanowiska pomiarowego dla wybranych wielkości fizycznych typowych w systemach HVAC (temperatura, wilgotność, ciśnienie, przepływ oraz sygnały sterujące 0 V–10 V). Rozwiązanie bazuje na zestawie uruchomieniowym STM32F746G-Discovery z wyświetlaczem TFT oraz na dedykowanej karcie pomiarowo-wyjściowej 0 V–10 V zaprojektowanej w KiCad. Oprogramowanie wykonano w środowisku Zephyr RTOS z wykorzystaniem sterowników peryferiów i biblioteki LVGL do obsługi interfejsu graficznego. Przedstawiono wymagania funkcjonalne, projekt części analogowej (tory wejściowe z ochroną i skalowaniem, tor wyjściowy 0 V–10 V), architekturę oprogramowania (wątki RTOS, kolejki, sterowniki), a także wyniki walidacji dokładności i powtarzalności pomiarów na podstawie wzorców i porównania z przyrządami referencyjnymi.

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Wstęp</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Stan wiedzy i rozwiązania pokrewne</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Wymagania</b>	<b>2</b>
3.1	Funkcjonalne . . . . .	2
3.2	Niefunkcjonalne . . . . .	2
<b>4</b>	<b>Projekt części sprzętowej</b>	<b>2</b>
4.1	Wymagania sprzętowe — przegląd . . . . .	2
4.2	Moduł zasilania . . . . .	3
4.3	Tor wyjściowy 0–10 V . . . . .	3
4.4	PCB i testy . . . . .	3
<b>5</b>	<b>Oprogramowanie (Zephyr RTOS)</b>	<b>4</b>
5.1	Architektura . . . . .	4
5.2	Sterowniki . . . . .	4
5.3	GUI . . . . .	4
5.4	Testy . . . . .	4

<b>6</b>	<b>Walidacja</b>	<b>4</b>
6.1	Metodyka . . . . .	4
6.2	Wyniki . . . . .	4
6.3	Dyskusja . . . . .	4

## 1 Wstęp

Celem pracy jest zaprojektowanie i weryfikacja stanowiska pomiarowego dla podstawowych wielkości fizycznych spotykanych w HVAC oraz interfejsu sterującego 0 V–10 V, z wykorzystaniem zestawu STM32F746G-Discovery (STM32F746NG, Cortex-M7) i dedykowanego modułu pomiarowego PCB. Motywacją jest potrzeba ekonomicznego, dydaktycznego stanowiska do testów i demonstracji algorytmów sterowania.

Omówiono kontekst przemysłowy sygnałów 0 V–10 V, przegląd czujników oraz wymagania co do dokładności i izolacji torów.

## 2 Stan wiedzy i rozwiązania pokrewne

Krótki przegląd: interfejsy analogowe w HVAC (0–10 V, 4–20 mA), standardy i zalecenia, dostępne moduły komercyjne oraz przykłady platform STM32 z wyświetlaczem TFT.

## 3 Wymagania

### 3.1 Funkcjonalne

- Pomiar napięć wejściowych w zakresie 0 V do 10 V z rozdzielczością  $\leq 10$  mV.
- Generacja sygnału wyjściowego 0 V do 10 V obciążalność  $\geq 5$  mA.
- GUI na TFT: wizualizacja trendów, konfiguracja kanałów.

### 3.2 Niefunkcjonalne

EMC, bezpieczeństwo, ESD, kalibracja (offset/gain), testowalność.

## 4 Projekt części sprzętowej

### 4.1 Wymagania sprzętowe — przegląd

Projektowana płytką stanowi jedną, spójną platformę do pomiaru i generacji sygnałów 0–10 V w aplikacjach HVAC, współpracującą z zestawem uruchomieniowym wyposażonym w m.in. MCU STM32F7 i panel TFT. Od strony zasilania przewidziano wejście instalacyjne DC z podstawowym torem ochronnym (odwrotna polaryzacja, przepięcia, wstępna filtracja), następnie podział zasilania na osobne gałęzie dla części cyfrowej, analogowej i elementów interfejsowych. Taki układ zmniejsza wpływ zakłóceń na pomiary i stabilizuje pracę torów. Interfejs do świata zewnętrznego obejmuje wejścia 0–10 V przygotowane do bezpiecznego próbkowania przez ADC (buforowanie i prosta filtracja antyaliasingowa) oraz wyjścia 0–10 V realizowane przez DAC i wzmacniacze operacyjne. Warstwa analogowa jest topologicznie

oddzielona od cyfrowej (kontrolowane powroty prądowe, wydzielone obszary masy, filtry na przejściach między domenami), co ogranicza przesłuchy i dryft.

## 4.2 Moduł zasilania

Układ zasilania płytki został zaprojektowany tak, aby bezpiecznie przyjąć instalacyjne napięcie stałe (do ok. 24 V, por. schemat) i rozdzielić je na dwie stabilne linie: +5 V oraz +3,3 V. Na wejściu zastosowano gniazdo **J1** (DC jack 5,5 × 2,1 mm), za którym znajduje się polimerowy bezpiecznik samoresetujący **F1** (PPTC 1,1 A/30 V) pełniący rolę zabezpieczenia nadprądowego. Dodatkowo tranzystor **Q1** (PMOS *IRLML9301*) w układzie “idealnej diody” realizuje ochronę przed odwrotną polaryzacją zasilania; rezystory **R5/R4** formują dzielnik i sterowanie bramki. Równolegle do toru wejściowego umieszczono diodę TVS **D3** (SMBJ33A) tłumiącą przepięcia oraz diodę **D4** (SOD323) do szybkiego klampowania krótkich impulsów. Włącznik **SW1** odcina cały moduł zasilania, a wskaźnik **D5** z rezystorem **R14** sygnalizuje obecność napięcia po stronie “*po włączeniu*”.

Za sekcją ochronną znajduje się wstępna filtracja: dławik **L3** (33 µH) oraz kondensatory **C15** (100 µF/63 V), **C26** (100 nF), **C27** (47 µF) i **C16** (1 µF) ograniczają wahania napięcia i szpilki prądowe ładujące przetwornice. Dodatkowy koralik ferrytowy **FB1** poprawia tłumienie zakłóceń o wyższych częstotliwościach, izolując domenę wejściową od przetworników DC/DC obniżających napięcie.

Konwersję napięcia realizują dwie niezależne przetwornice obniżające z rodziny *LM2596S*. Układ **U1** (*LM2596S-5*) generuje linię +5 V; w jego torze znajdują się: dławik **L2** (33 µH), dioda Schottky’ego **D1** (SK56) oraz kondensatory wejściowe **C2** (100 µF/63 V) i **C1** (470 nF) oraz wyjściowe **C4/C3**. Analogicznie **U2** (*LM2596S-3,3*) dostarcza +3,3 V z użyciem dławika **L1** (68 µH), diody **D2** (SK56) oraz zestawu kondensatorów **C5**, **C6** po stronie wejściowej i **C7**, **C8** po stronie wyjściowej. Dobór elementów został wykonany w zgodności z zaleceniami producenta przetwornic. Wspólny punkt masy prowadzony jest od strony wejściowej, a rozdział linii +5 V i +3,3 V pozwala zasilać oddzielnie część cyfrową, analogową i interfejsową, co ogranicza przesłuchy i wrażliwość torów pomiarowych.

Stan szyn wyjściowych jest sygnalizowany diodami LED: **D7** (+5 V) z rezystorem **R16** oraz **D6** (+3,3 V) z rezystorem **R15**. Na schemacie umieszczono również znaczniki **PWR\_FLAG**, ułatwiające kontrolę ciągów zasilania w narzędziu CAD i jednoznacznie wskazujące punkty dystrybucji energii na płytce. Całość tworzy spójny, warstwowy tor: *wejście i zabezpieczenia* → *filtracja wstępna* → *konwersja +5 V/+3,3 V* → *dystrybucja i sygnalizacja*, co przekłada się na stabilną pracę układu w warunkach typowych dla instalacji HVAC.

## 4.3 Tor wyjściowy 0–10 V

Opis: DAC (wewnętrzny z wzmacniaczem/zewnętrzny), wzmacniacz operacyjny w konfiguracji nieodwracającej, zasilanie symetryczne/podwyższające jeśli wymagane, ograniczenie prądowe, filtr wyjściowy. Podmień TODO na rzeczywiste MPN.

## 4.4 PCB i testy

Reguły DRC, szerokości ścieżek, pętle masy. Zrzuty z KiCada (**figures/**).

## 5 Oprogramowanie (Zephyr RTOS)

### 5.1 Architektura

Wątki: akwizycja pomiarów, filtracja, GUI (LVGL), sterowanie wyjściem 0–10 V. IPC: kolejki, semaforey.

### 5.2 Sterowniki

Konfiguracja ADC/DAC/I2C/SPI w Zephyr (DeviceTree), obsługa dotyku i TFT, logowanie.

### 5.3 GUI

Ekran: podgląd kanałów, konfiguracja zakresów, kalibracja dwu-punktowa.

### 5.4 Testy

Testy jednostkowe (zassert), pomiary jitteru i latencji, profilowanie czasu CPU.

## 6 Walidacja

### 6.1 Metodyka

Źródła wzorcowe (kalibrator napięcia), obciążenie dla wyjścia 0–10 V, środowisko testowe.

### 6.2 Wyniki

Tabele dokładności, histogram odchyleń, niepewność typu A/B, budżet niepewności.

### 6.3 Dyskusja

Ograniczenia, dryft temperaturowy, histereza, propozycje ulepszeń.

[1]

## Bibliografia

- [1] *Application Guidelines for 0–10 V Control Interfaces in HVAC*. ASHRAE. 2019 (cyt. na s. 4).