

Projekt stanowiska pomiarowego podstawowych wielkości fizycznych wykorzystywanych w systemach HVAC

w oparciu o zestaw STM32F746G-Discovery z wyświetlaczem TFT

Imię Nazwisko

14 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

1	Wstęp	2
2	Stan wiedzy i rozwiązania pokrewne	2
3	Wymagania	2
3.1	Funkcjonalne	2
3.2	Niefunkcjonalne	2
4	Projekt części sprzętowej	2
4.1	Zestaw bazowy	2
4.2	Tor pomiarowy 0–10 V	2
4.3	Tor wyjściowy 0–10 V	3
4.4	Zasilanie i separacja	3
4.5	PCB i testy	3
5	Oprogramowanie (Zephyr RTOS)	3
5.1	Architektura	3
5.2	Sterowniki	3

5.3	GUI	3
5.4	Testy	3
6	Walidacja	3
6.1	Metodyka	3
6.2	Wyniki	3
6.3	Dyskusja	3

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 ≤ 10 mV.
- Generacja sygnału wyjściowego 0 V do 10 V obciążalność ≥ 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 Zestaw bazowy

Użyto zestawu STM32F746G-Discovery z wyświetlaczem TFT

4.2 Tor pomiarowy 0–10 V

Opis idei: dzielnik wejściowy, ochrona ESD, filtr RC antyaliasing, bufor operacyjny o niskim prądzie biasu, dopasowanie do ADC MCU lub zewnętrznego ADC (jeśli w schemacie). Wstaw tutaj referencje do konkretnych wzmacniaczy/oporników z BOM.

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 Zasilanie i separacja

Regulatory LDO/DC-DC, separacja AGND/DGND, gwiazda masy, ekranowanie przewodów pomiarowych.

4.5 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, semafony.

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. 3).