

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ AUTOMATYKI, ROBOTYKI I ELEKTROTECHNIKI

INSTYTUT ROBOTYKI I INTELIGENCJI MASZYNOWEJ

ZAKŁAD STEROWANIA I ELEKTRONIKI PRZEMYSŁOWEJ



MIKROPROCESOROWY SYSTEM
STEROWANIA I POMIARU.

SYSTEMY MIKROPROCESOROWE

MATERIAŁY DO ZAJĘĆ LABORATORYJNYCH

DR INŻ. DOMINIK ŁUCZAK, MGR INŻ. ADRIAN WÓJCIK

DOMINIK.LUCZAK@PUT.POZNAN.PL
ADRIAN.WOJCIK@PUT.POZNAN.PL

I. CEL ĆWICZENIA

UMIEJĘTNOŚCI

Celem zadania zaliczeniowego jest nabycie umiejętności programistycznych pozwalających na:

- implementację zamkniętej pętli regulacji dla prostego obiektu sterowania, w tym:
 - programową obsługę elementu wykonawczego,
 - programową obsługę elementu pomiarowego wraz z niezbędną obróbką sygnału pomiarowego,
 - implementację algorytmu sterowania,
- implementację interfejsu użytkownika dla mikroprocesorowego systemu sterowania i pomiaru,
- parametryzacji systemu wbudowanego,
- implementacji niezawodnych protokołów komunikacji systemu wbudowanego z systemem nadrzędnym w oparciu o komunikację szeregową,
- zaprojektowanie i implementację dedykowanych aplikacji desktopowych, skryptów i modeli symulacyjnych, stanowiących graficzny interfejs użytkownika dla systemu wbudowanego.

KOMPETENCJE SPOŁECZNYCH

Celem realizacji zadania zaliczeniowego jest kształtowanie właściwych postaw programistycznych:

- tworzenie kodu programu w sposób czytelny,
- tworzenie własnych procedur i struktur danych zorganizowanych w niezależne moduły,
- stosowanie użytecznych dyrektyw preprocesora oraz makroinstrukcji,
- wykorzystanie systemu kontroli wersji,
- tworzenie profesjonalnej dokumentacji kodu.

II. POLECENIA KOŃCOWE

Wykonaj [zadanie laboratoryjne](#) zgodnie z poleceniami i wskazówkami prowadzącego. Utwórz trzyosobowe zespoły projektowe. Przygotuj raport laboratoryjny zawierający opis mikroprocesorowego systemu sterowania i pomiaru.

III. PRZYGOTOWANIE DO ZAJĘĆ

A) ZAPOZNANIE Z PRZEPISAMI BHP

Wszystkie informacje dotyczące instrukcji BHP laboratorium są zamieszczone w sali laboratoryjnej oraz na stronie Zakładu [1]. Wszystkie nieścisłości należy wyjaśnić z prowadzącym laboratorium. Wymagane jest zaznajomienie i zastosowanie do regulaminu.

Na zajęcia należy przyjść przygotowanym zgodnie z tematem zajęć. Obowiązuje również materiał ze wszystkich odbytych zajęć.

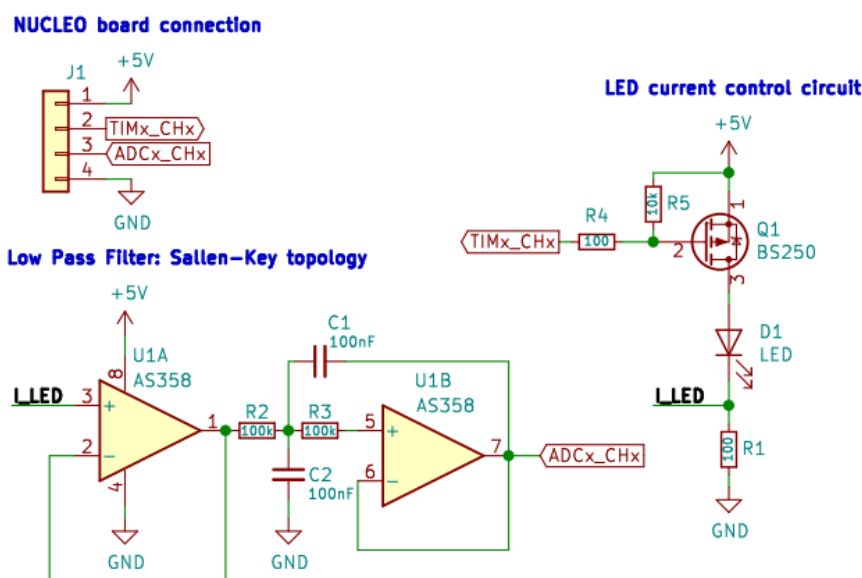
B) PRZYKŁAD UKŁADU STEROWANIA

W poniższej instrukcji przedstawiono przykład mikroprocesorowego systemu sterowania i pomiaru spełniającego *wymagania minimalne* zadania zaliczeniowego: układ regulacji *prądu* diody świecącej (ang. *light-emitting diode*, LED). Kolejne sekcje instrukcji zawierają dokumentację etapów realizacji zadania:

1. Schemat elektryczny: koncepcja układu oraz lista komponentów.
2. Model symulacyjny otwartej pętli sterowania w środowisku LTSpice.
3. Model symulacyjny zamkniętej pętli sterowania w środowisku MATLAB/Simulink.
4. Aplikację sterującą dla zestawu uruchomieniowego NUCLEO F746ZG.

C) SCHEMAT ELEKTRYCZNY

Na rys. 1 przedstawiono *schemat elektryczny* (*rysunek techniczny elektryczny*) obwodu sterowania prądem LED. Schemat elektryczny to graficzny dokument konstrukcyjny, na którym za pomocą symboli graficznych przedstawia się części składowe obiektu elektrycznego oraz połączenia między nimi. Dokument ten stanowi *specyfikację* do budowy fizycznego obwodu sterowania.



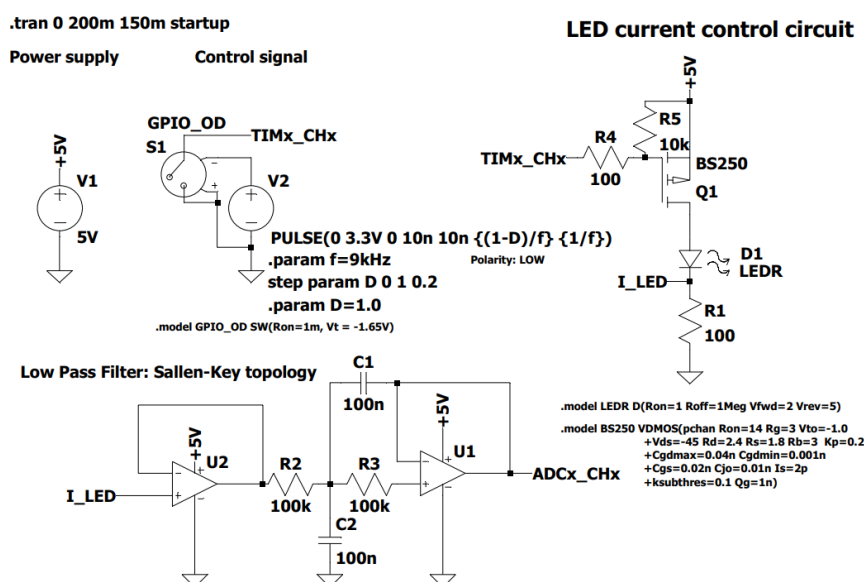
Rys. 1. Schemat elektryczny układu sterowania prądem LED dla zestawu NUCLEO [2].

Powyższy układ oparty jest o obwód *przełącznika* (*klucza*) *tranzystorowego* z tranzystorem unipolarnym z kanałem typu P (PMOS). Całość układu zasilana jest napięciem 5 V. Klucz tranzystorowy sterowany jest sygnałem PWM z wybranego kanału układu licznika. Gdy napięcie bramki tranzystora jest bliskie napięciu zasilającemu, obwód LED jest otwarty (LED nie świeci). Gdy napięcie bramki jest bliskie napięciu odniesienia (masy), obwód LED jest zamknięty (LED świeci). Wyjście GPIO zestawu NUCLEO pracuje w zakresie napięć 0-3.3 V, więc do prawidłowego sterowania kluczem tranzystorowym należy wykorzystać wyjście cyfrowe w trybie *Open Drain* oraz użyć *zewnętrznego* rezystora podciągającego. Pomiar prądu odbywa się poprzez konwersję napięcia na rezystorze R1 - które zgodnie z *prawem Ohma* jest proporcjonalne do prądu w obwodzie, gdzie współczynnikiem proporcjonalności jest wartość rezystancji. Sygnał pomiarowy podłączony jest do wejścia wtórnika napięciowego, wyjście wtórnika podłączone jest do analogowego filtra dolnoprzepustowego w topologii Sallen-Key. Filtr pozwala na uzyskanie pomiaru *średniego* prądu LED w okresie sygnału PWM. Wtórnik napięciowy gwarantuje to, że filtr nie obciąża obwodu LED. Wyjście filtra podłączone jest do wybranego wejścia analogowego (kanału przetwornika A/C).

D) MODEL SYMULACYJNY LTSPICE

Na rys. 2 przedstawiono model symulacyjny obwodu sterowania i pomiaru wykonanego w środowisku typu SPICE (ang. *Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis*). Symulacja obwodu sterowania na tym poziomie pozwala na weryfikację prawidłowej pracy oraz analizę charakterystyk *statycznych*, *czasowych* i *częstotliwościowych* **otwartej** pętli sterowania.

Etap ten jest bardzo pomocny podczas projektowania układów *pomiarów analogowych*, *energoelektronicznych* jak również aplikacji *audio*.

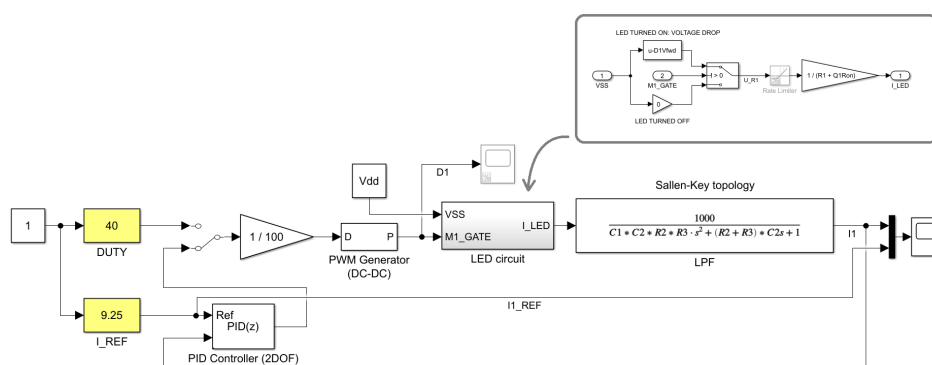


Rys. 2. Model symulacyjny układu sterowania i pomiaru prądu LED w środowisku LTSpice [3].

E) MODEL SYMULACYJNY MATLAB/SIMULINK

Na rys. 3 przedstawiono model symulacyjny układu regulacji prądu LED wykonanego w środowisku do obliczeń numerycznych MATLAB/Simulink. Symulacja układu regulacji na tym poziomie pozwala na weryfikację prawidłowej pracy oraz analizę charakterystyk *statycznych*, *czasowych* i *częstotliwościowych* **otwartej** i **zamkniętej** pętli sterowania.

Etap ten jest bardzo pomocny podczas realizacji zadania doboru algorytmu sterowania oraz jego strojenia.



Rys. 3. Model symulacyjny układu regulacji prądu LED w środowisku Simulink [4].

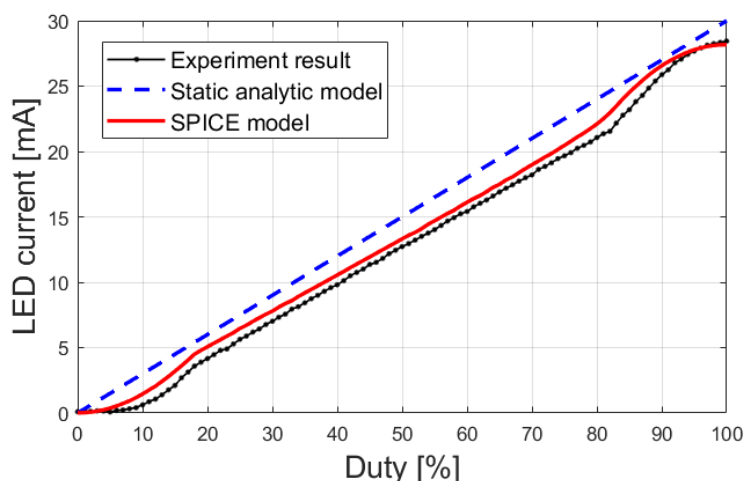
F) APLIKACJA STERUJĄCA

W [repozytorium](#) umieszczono projekt w środowisku STM32CubeIDE z prostą aplikacją sterującą dla rozważanego układu. Na podstawie analizy modeli symulacyjnych dokonano konfiguracji licznika programowalnego jako podstawy czasu algorytmu regulacji. Wykorzystano ten sam licznik jako źródło sygnału PWM. W każdym okresie licznika uruchamiana jest konwersja kanału przetwornika A/C podłączonego do wyjścia filtra pomiarowego. Na koniec konwersji wykonywany jest krok regulatora PID na podstawie wyniku pomiaru i wartości referencyjnej (Listing 1). Wartość referencyjna może być ustawiona przez użytkownika za pomocą komendy sterującej wysyłanej po porcie szeregowym. Format komendy to: „Rxx.xmA\r” gdzie xx.x to wartość referencyjna prądu LED wyrażona w miliamperach. Dowolny inny 8-znakowy komunikat (rozpoczynający się od litery innej niż „R”) spowoduje odesłanie informacji o sygnale *pomiarowym*, *referencyjnym* i *sterującym* w formacie JSON.

Listing 1. Wywołanie zwrotne dla końca konwersji ADC - pętla regulacji.

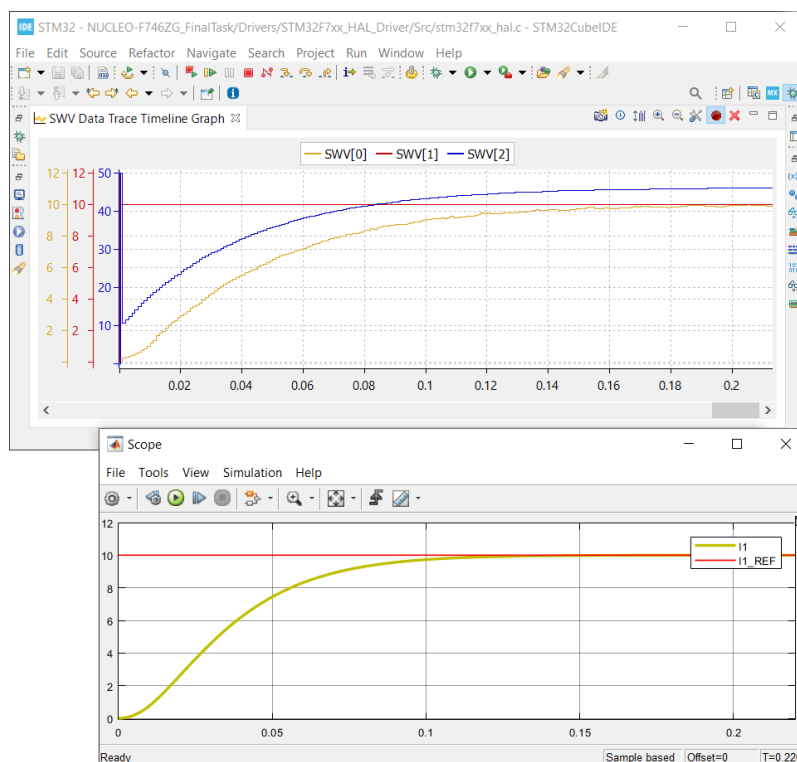
```
01. void HAL_ADC_ConvCpltCallback(ADC_HandleTypeDef* hadc)
02. {
03.     if(hadc == &hadc1)
04.     {
05.         float ain = 3.3f * HAL_ADC_GetValue(hadc) / 4095.0f; // [V]
06.         current = 1000.0f * (ain / resistance); // [mA]
07.         duty = PID_GetOutput(&hpid1, current_ref, current); // [%]
08.         __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim2, TIM_CHANNEL_3, duty*10); // ARR = 999
09.     }
10. }
```

Załączony projekt pozwala na kompilację aplikacji sterującej w trybie pracy **otwartej** albo **zamkniętej** pętli regulacji. Wybór trybu zamkniętej pętli następuje przez zamieszczenie w kodzie pliku `main.c` definicji symbolu `CLOSED_LOOP`. Brak tej definicji oznacza pracę w otwartej pętli. Tryb pracy otwartej pętli wykorzystano do zbadania charakterystyki statycznej układu (Rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka statyczna obiektu sterowania: wyniki eksperymentalne, prosty model analityczny i model SPICE.

Na rys. 5 porównano odpowiedzi skokowe modelu symulacyjnego w środowisku Simulink i fizycznego układu. Do wizualizacji danych pomiarowych i sterujących wykorzystano narzędzie *Serial Wire Viewer* środowiska STM32CubeIDE. Jako algorytm regulacji wykorzystano regulator PI. Wszystkie zamieszczone wyniki uzyskano dla częstotliwości próbkowania **9 kHz**.



Rys. 5. Charakterystyka czasowa (odpowieści skokowe) obiektu sterowania: wyniki eksperymentalne i model Simulink. Wyniki dla regulatora PI o nastawach $K_P = 1.0$ i $K_I = 100.0$.

IV. SCENARIUSZ DO ZAJĘĆ

A) ŚRODKI DYDAKTYCZNE

Sprzętowe: • komputer,

Software: • procesor tekstu (np. MS Word) / oprogramowanie do zautomatyzowanego składu tekstu (np. TexMaker),
• oprogramowanie do edycji schematów elektrycznych (np. KiCAD)

B) ZADANIA DO REALIZACJI

1. Przygotuj raport laboratoryjny zawierający opis mikroprocesorowego systemu sterowania i pomiaru będącego przedmiotem Twojego zadania zaliczeniowego.
 - (a) Utwórz trzyosobowy zespół projektowy. Ustal wraz z zespołem to, jaki proces zamierzasz regulować.
 - (b) Wykonaj schemat systemu w postaci *schematu obwodu elektrycznego* (np. w programie KiCAD) lub *schematu blokowego*. Schemat powinien prezentować najważniejsze elementy systemu: regulowany proces, metodę pomiaru, urządzenie sterujące oraz sposób podłączenia tych elementów do systemu mikroprocesorowego.
 - (c) Opisz założenia systemu. Sprecyzuj, które z *wymagać dodatkowych* planujesz zrealizować oraz za pomocą jakich środków.
 - (d) Zamieść schemat oraz opis systemu w raporcie laboratoryjnym zgodnie z *wymogami redakcyjnymi*. Pamiętaj, że całość opisu stanowi jedynie wstępną *specyfikację* zadania zaliczeniowego.

BIBLIOGRAFIA

1. *Regulaminy porządkowe, instrukcje BHP* [online]. [B.d.] [udostępniono 2019-09-30]. Dostępne z: <http://zsep.cie.put.poznan.pl/materialy-dydaktyczne/MD/Regulaminy-porz%C4%85dkowe-instrukcje-BHP/>.
2. *KiCad EDA - Schematic Capture & PCB Design Software* [online] [udostępniono 2021-12-13]. Dostępne z: <https://www.kicad.org/>.
3. *LTspice Simulator / Analog Devices* [online] [udostępniono 2021-12-13]. Dostępne z: https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html?ADICID=pdsr_emea_P354758_adw-mid.
4. *Simulink - Simulation and Model-Based Design* [online] [udostępniono 2021-12-13]. Dostępne z: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>.