Systemy mikroprocesorowe

Instrukcja laboratoryjna

Spotkanie 2

Obsługa wyświetlaczy przez mikrokontroler

Autorzy: dr inż. Paweł Dąbal

Ostatnia aktualizacja: 17.11.2022 r.

Wersja: 2.0.0

Warszawa 2022

Spis treści

1. Wprowadzenie

Instrukcja ta zawiera zadania związane z tworzeniem programów obsługujących dwa popularne typy wyświetlaczy: siedmiosegmentowy oraz tekstowy LCD. W trakcie zajęć student będzie korzystał z środowiska programistycznego *STM32CubeIDE*, rozbuduje dostarczony projekt aplikacji dla mikrokontrolera STM32L496ZGT6 umieszczonego na płycie uruchomieniowej *KAmeLeon* o funkcjonalność umożliwiającą obsłużenie wyświetlaczy. Ponadto będzie potrafił obsługiwać narzędzia wspomagające kontrolę wersji oprogramowania w celu dokumentowania własnych postępów.

1.1. Cel ćwiczenia

Ćwiczenie laboratoryjne ma na celu:

- nabycie umiejętności konfiguracji stanowiska pracy w oparciu o oprogramowanie *STM32CubeIDE 1.10.0*;
- poznanie płyty uruchomieniowej *KAmeLeon* z mikrokontrolerem *STM32L496ZGT6*;
- przypomnienie i usystematyzowanie wiedzy i umiejętności z zakresu posługiwania się językiem *C*;
- przypomnienie wiedzy z zakresu budowy wyświetlaczy siedmiosegmentowych oraz tekstowych LCD;
- praktyczne korzystanie z systemu kontroli wersji *Git* i serwisu *GitHub*.

1.2. Wymagania wstępne

Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia laboratoryjnego należy :

- zapoznać się z schematem płyty uruchomieniowej *KAmeLeon* oraz dokumentacją mikrokontrolera *STM32L496ZGT6* (*Product Specifications*, *Reference Manuals*);
- zapoznać się z składnią języka C – pojęcie zmiennej, stałej, funkcji, prototypu funkcji, parametru funkcji, wyrażenia warunkowego, pętli, wskaźnik, struktury i tablicy;
- utworzyć konto na platformie *GitHub*;
- zapoznać się z dokumentacją środowiska *STM32CubeIDE* i biblioteki *STM32CubeL4*.

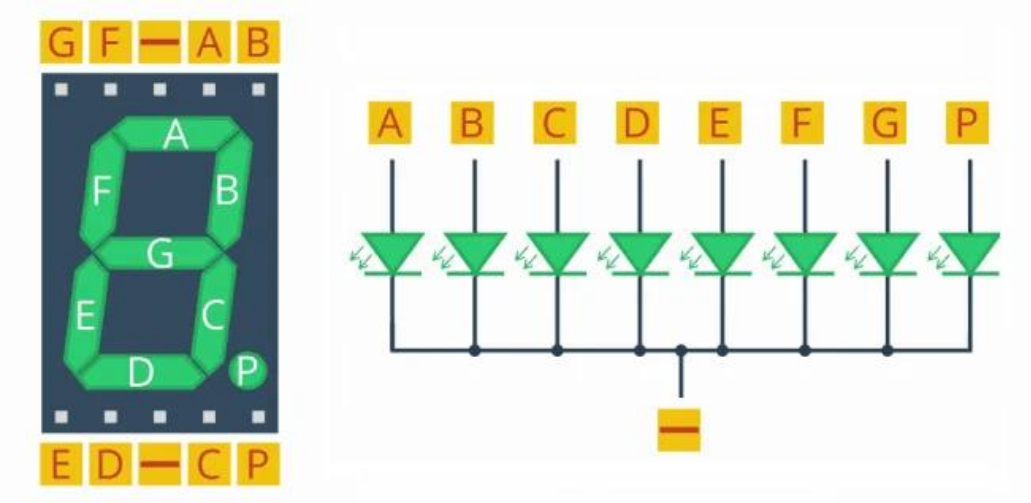
1.3. Opis stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko do przeprowadzenia zajęć składa się z komputera PC z zainstalowanym oprogramowaniem koniecznym do realizacji zajęć: *STM32CubeIDE*, dedykowaną do układu biblioteką *STM32CubeL4* i systemem *Git* oraz płyty *KAmeLeon* podłączonej do komputera za pomocą przewodu USB do złącza programatora *SWD PRG/DBG/vCOM* płyty uruchomieniowej. Połączenie to również odpowiada za zasilanie płyty.

1.4. Wyświetlacze 7-segmentowe

Wyświetlacze tej rodziny są jednymi z najstarszych i najpopularniejszych rozwiązań. Są one montowane głównie w zegarach i cyfrowych multimetrach. Wyświetlacze siedmiosegmentowe mogą być wykonane w różnych technologiach – najczęściej jest to zestaw oddzielnych diod LED. Buduje się też urządzenia mechaniczne – zespół klapek w kolorze tła przysłaniających kontrastowe kreski (ang. *vane displays*) – zaletą układów mechanicznych jest możliwość prezentacji cyfr bez zasilania (niektóre wykonania). Nazwa pochodzi od siedmiu kresek, z których można zbudować znak. Najczęściej wyświetlają cyfry, ale mogą to być również niektóre litery. Segmenty w prezentowanym wyświetlaczu oznaczone są literami od A do G. Dodatkowo występuje również kropka DP, oddzielający często część ułamkową liczby od części całkowitej. Wyświetlenie

określonego znaku polega na załączeniu odpowiednich segmentów. Przykładowo cyfra 1 wymaga załączenia segmentów B i C, a cyfra 2 segmentów A, B, D, E, G. Każdy segment zawiera diodę (LED). Jednak wyprowadzenie każdej z nich oddzielnie wymagałoby użycia aż 14 nóżek (z kropką - 16). Dlatego producenci łączą diody wewnątrz wyświetlacza. Schemat wewnętrzny wyświetlacza OPD-S5621UPG-BW przedstawiony został poniżej. Wszystkie katody zostały połączone razem, do jednej nóżki. Właśnie tak jest zbudowany wyświetlacz ze wspólna katodą. Analogicznie, po połączeniu anod, powstałby wyświetlacz ze wspólną anodą. W związku z tym, że wyświetlacz to zbiór diod LED ich sterowanie niczym się nie różni od sterowania zwykłymi diodami. Jednakże dla wyświetlania cyfr i niektórych liter równolegle zapalanych jest wiele segmentów. Istnieją również 14- i 16-wyświetlacze segmentowe jednakże z upowszechnieniem się wyświetlaczy LCD są coraz rzadziej stosowane. W zależności od potrzeb stawianych przez system mikroprocesorowy, wyświetlacze mogą występować w formie 1-, 2- ,4-, a nawet 8-cyfrowej. Niezależnie od liczby cyfr, występujących w wyświetlaczu zasada działania w każdym przypadku jest taka sama.



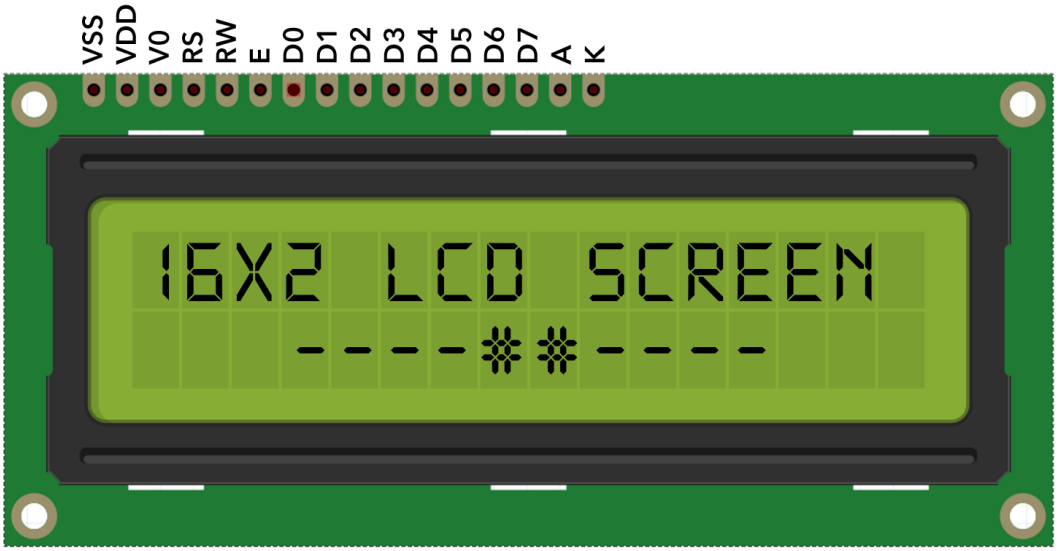
Dostępne są układy scalone sterowników dla tego typu wyświetlaczy np. CD4026, SN7448, które pozwalają na ograniczenie liczby wymaganych wyjść mikrokontrolera. Inny sposób to użycie rejestru przesuwnego np. 74HC595 kiedy to liczba wyjść mikrokontrolera zredukowana jest do trzech.

1.5. Wyświetlacze tekstowe LCD

Wyświetlacz ciekłokrystaliczny LCD pozwala na wyświetlanie oprócz cyfr, również liter oraz znaków graficznych. Każda litera składa się z wielu pikseli (w układzie 5x8), które poukładane są w prostokątach 16 w każdym, z dwóch wierszy. To jest właśnie wyświetlacz tekstowy LCD 16x2. Zapis ten oznacza, że w jednej chwili na ekranie możemy wyświetlić po 16 znaków w 2 wierszach. Jest to ograniczenie typowe dla wyświetlaczy tekstowych, służących do pokazywania napisów (i małych symboli). Inaczej byłoby w przypadku wyświetlaczy graficznych, tam mamy większą swobodę, ponieważ wszystkie piksele ułożone są w jednym prostokącie np.: 128x32. Dzięki temu możliwe jest dodatkowo rysowanie np.: linii, czy okręgów. Litery składają się z punktów. Sterowanie każdym punktem z osobna generowałoby dużą, a wręcz olbrzymią ilość linii sterujących. Oczywiście wszystko działa znacznie prościej, ponieważ wyświetlacze wyposażone są we wbudowane sterowniki. Najpopularniejszy z nich to HD44780.

Jak w takim razie należy przesyłać tekst do wyświetlacza? Konieczne jest podłączenie około 12 przewodów. Oczywiście tylko część z nich służy do komunikacji, pozostałe to zasilanie oraz inne sygnały, które nie zmieniają się podczas pracy wyświetlacza. Najczęściej, ekran taki, jest wyposażony w 16-pinowe złącze. Piny (numerowane

od lewej) od 1 do 3 służą do zasilania układu, od 4 do 14 do sterowania, zaś pod 15 i 16 znajduje się wewnętrzna dioda święcąca, która podświetla ekran. Wyświetlacze kompatybilne ze sterownikiem HD44780 mogą komunikować się z otoczeniem w trybie 4-bitowym oraz 8-bitowym. W pierwszym z nich konieczne jest 7 połączeń mikrokontrolera z wyświetlaczem. Natomiast w przypadku trybu 8-bitowego należy zrobić aż 11 połączeń. Korzystając z mniejszej ilości wyprowadzeń zachowamy praktycznie wszystkie opcje wyświetlacza.



No	Symbol	Function
1	VSS	Ground
2	VDD	5V +
3	V0	Contrast
4	RS	Register
5	RW	Read/Write
6	E	Enable
7	D0	Data bus
8	D1	Data bus
9	D2	Data bus
10	D3	Data bus
11	D4	Data bus
12	D5	Data bus
13	D6	Data bus
14	D7	Data bus
15	A	Anode (5V+)
16	K	Cathode (GND)

1.6. Sposób realizacji ćwiczenia laboratoryjnego

Każde zajęcia składać będą się z następujących elementów:

- zadań obowiązkowych - do wykonania krok po kroku na podstawie instrukcji – do uzyskania od 0 do 12 pkt.;
- zadań uzupełniających – do samodzielnego zbudowania i napisania programu – do uzyskania od 0 do 14 pkt;
- pytań sprawdzających rozumienie działania programu – zadawane przez prowadzącego przyjmującego wykonanie zadania – odpowiedź wpływa na punktację z zadań obowiązkowych i uzupełniających, tzn. czy przyznać maksymalną możliwą liczbę punktów za zadanie czy tylko część przy ewidentnym braku zrozumienia problemu.

Po zrealizowaniu każdego z zadań należy poprosić prowadzącego o sprawdzenie i przyznanie punktów. Na koniec zajęć wystawiana jest ocena na podstawie sumy uzyskanych punktów: **2,0** <0; 10), **3,0** <10; 13), **3,5** <13; 16), **4,0** <16; 19), **4,5** <19; 23), **5,0** <23; 26>. W każdych zajęciach należy uczestniczyć. Przy każdym zadaniu określona jest liczba punktów jakie można uzyskać. W przypadku zadań uzupełniających premiowana jest **jakość** i **czas realizacji** zaprezentowanego rozwiązania. Ocena końcowa z laboratorium to średnia arytmetyczna ocen z każdego spotkania.

W trakcie wykonywania ćwiczenia należy zwrócić szczególną uwagę na wyróżnione w treści instrukcji fragmenty tekstu wyróżnione kolorem:

- ***zielonym*** – etykiety wartości, nazwy pola, nazwy funkcji;
- ***niebieskim*** – wartości jakie należy użyć we skazanym miejscu;
- ***purpurowy*** – odwołania do kodu programu, nazw własnych.

2. Zadania podstawowe do realizacji (12 pkt.)

W tej części instrukcji zamieszczone są treści, z którymi obowiązkowo należy się zapoznać i praktycznie przećwiczyć. Ważne jest aby zapamiętać wykonywane przedstawione czynności aby móc na kolejnych zajęciach wykonywać je na kolejnych zajęciach bez potrzeby sięgania do niniejszej instrukcji.

Uwaga: Załączone wycinki z ekranu są poglądowe i pomagają jedynie w wskazaniu lokalizacji elementów interfejsu. Należy używać wartości podanych w tekście.

2.1. Zagadnienia wstępne

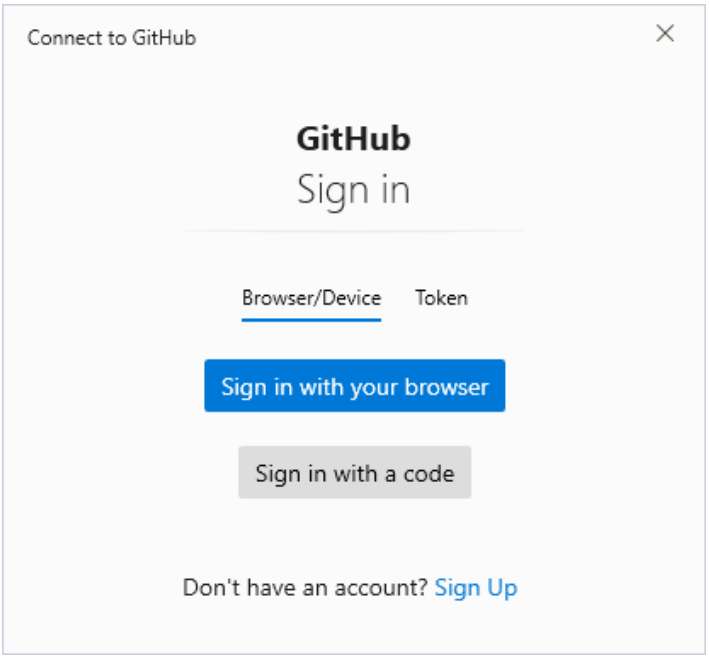
Przed przystąpieniem do pracy należy skonfigurować zainstalowane oprogramowanie i uzyskać dostęp do repozytorium, tzn. system kontroli wersji *Git*, instalacji biblioteki do obsługi mikrokontrolerów rodziny STM32L4 w środowisku *STM32CubeIDE* oraz sklonować repozytorium dla zajęć.

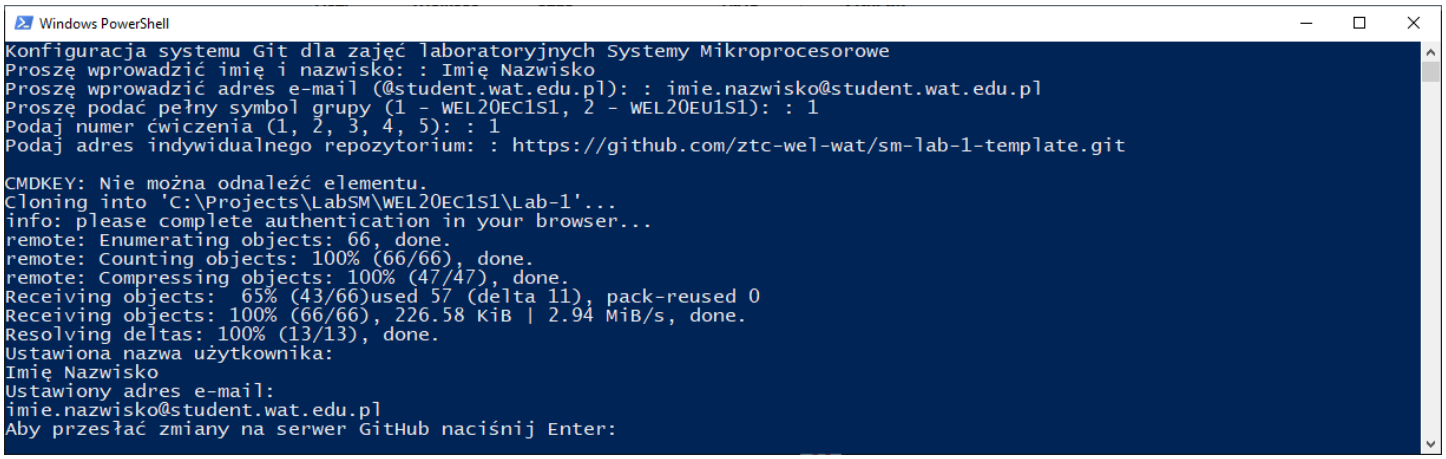
2.1.1. Dołączenie do wirtualnej klasy i utworzenie repozytorium bazowego dla zadania

Na zajęciach należy dołączyć do wirtualnej grupy w ramach *Classrom GitHub* ***za pomocą udostępnionego odnośnika prowadzącego do zadania***. Odnośnik prowadzi do kreatora w którym tworzone jest zadanie – indywidualne repozytorium studenta. Z listy należy wybrać swój adres e-mail i potwierdzić przyjęcie zadania (ang. *assignment*). Automatycznie zostanie utworzone prywatne repozytorium indywidualnie dla każdego studenta na podstawie przygotowanego repozytorium-szablonu. Na pierwszych zajęciach jest to wersja minimalna, a na kolejnych będzie zawierała już wstępnie skonfigurowane projekty. W sytuacji jeżeli student nie może odszukać się na liście (np. ktoś inny podłączył się pod daną osobę) proszę zgłosić to prowadzącemu zajęcia. W celu skorygowania nieprawidłowości. Zaakceptowanie zadania wiąże się również z dołączeniem do organizacji – wirtualnego konta organizacji w ramach którego tworzone są indywidualne repozytoria do zadań, z którego prowadzący zajęcia mają dostęp do wszystkich repozytoriów tworzonych w ramach zajęć.

2.1.2. Pobranie repozytorium i konfiguracja lokalna

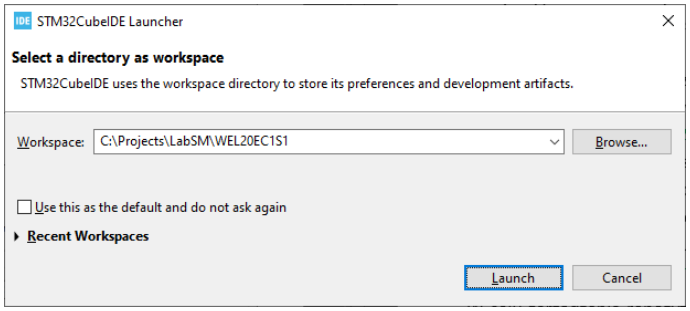
W celu pobrania repozytorium należy odszukać na pulpicie skrót o nazwie ***LabGitConfig***, który uruchomi skrypt wiersza poleceń, w którym należy podać: 1) *swoje imię i nazwisko*, 2) *adres e-mail*, 3) *symbol grupy*, 4) *numer ćwiczenia*, 5) *adres indywidualnego repozytorium* uzyskany w wcześniejszym punkcie. Po wykonaniu punktu 5) pojawi się okno logowania do serwisu *GitHub* podobne do zamieszczonego obok. W celu połączenia należy wybrać przycisk ***Sign in with your browser*** co spowoduje otworzenie nowej karty przeglądarki w którym należy udzielić dostępu do konta. Po uzyskaniu zgody nastąpi sklonowanie projektu z serwera do lokalizacji wynikającej z symbolu grupy. Na ten moment należy zminimalizować okno wiersza poleceń. Na zakończenie zajęć pozwoli ono na wypchnięcie zmian (ang. *push*) do repozytorium zdalnego. Przykładowy przebieg wykonania skryptu zamieszczony został poniżej.



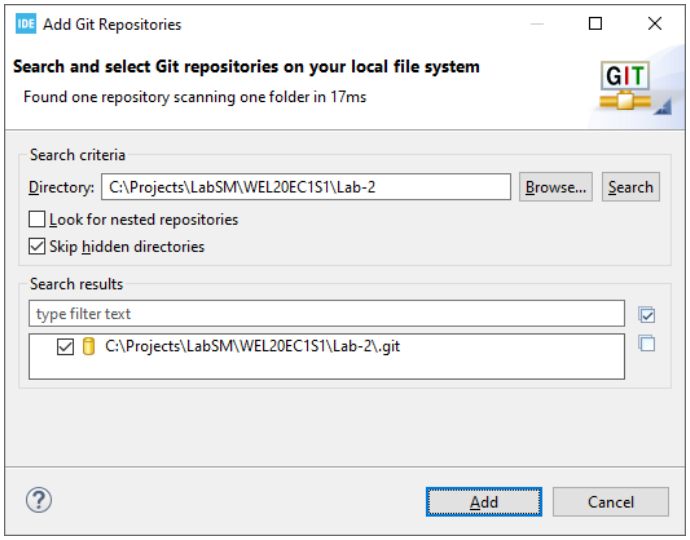


2.1.3. Konfiguracja środowiska STM32CubeIDE

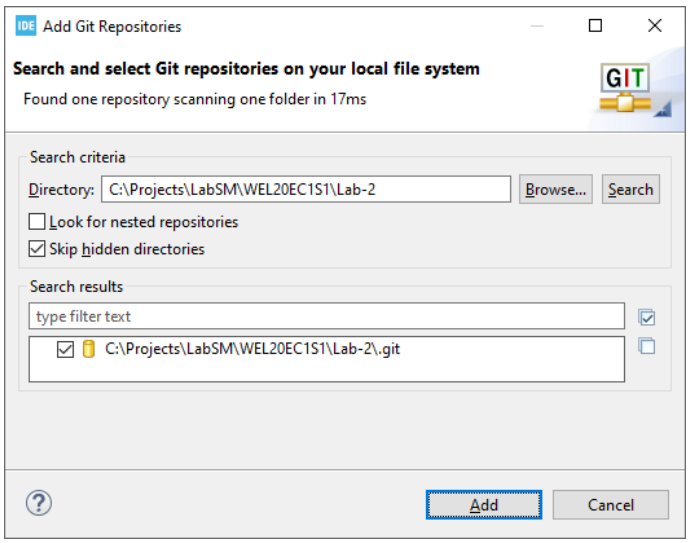
Korzystając ze skrótu na pulpicie lub z menu *Start* należ uruchomić środowisko projektowe *STM32CubeIDE*. Po jego uruchomieniu pojawi się pytanie o wskazanie katalogu, który będzie pełnił rolę przestrzeni roboczej. Należy wskazać na katalog *swojej grupy studenckiej* gdzie umieszczone zostało sklonowane repozytorium (w przykładzie: *C:\Projects\LabSM\WEL20EC1S1*). Wybór katalogu zatwierdzamy przyciskiem ***Launch***. Można używać wielu różnych przestrzeni roboczych w przypadku pracy z różnymi projektami. Po załadowaniu środowiska należy zamknąć zakładkę *Information Center*.



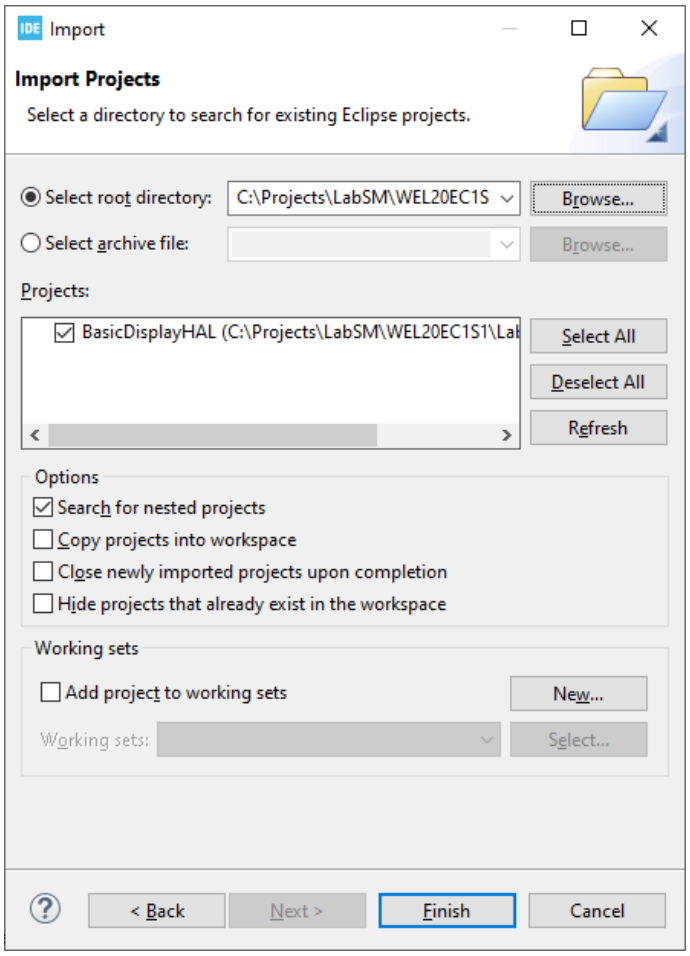
W celu zarządzania repozytorium dla zadania należy w środowisku *STM32CubeIDE* należy otworzyć widok (ang. *perspective*) zarządzania repozytorium. W tym celu z menu wybieramy: ***Window → Perspective → Open Perspective → Other…***, gdzie z listy należy wybrać ***Git***. Środowisko przełączy się do widoku *Git* i po lewej stronie pojawi się zakładka *Git Repositories*. Następnie korzystając z odnośnika ***Add an existing local Git repository*** (domyślnie po lewej stronie programu) otworzy się okno dodawania repozytorium (*Add Git Repositories*). Za pomocą przycisku ***Browse…*** należy wskazać położenie sklonowanego repozytorium (np. *C:\Projects\LabSM\WEL20EC1S1\Lab-2*), a następnie zaznaczyć pozycję dla ćwiczenia pierwszego.



W kolejnym kroku należy zaimportować projekt do przestrzeni roboczej poprzez wybranie z menu ***File → Import***, a następnie w oknie, które się pojawi wybrać ***General → Existing Projects into Workspace***.



Zatwierdzić przyciskiem ***Next***. Za pomocą przycisku ***Browse…*** wybrać należy katalog repozytorium (np. *C:\Projects\LabSM\WEL20EC1S1\Lab-2*). Zaktualizuje się lista dostępnych projektów i na niej należy wybrać ***BasicInterfacesHAL*** i zatwierdzić przyciskiem ***Finish***.



W trakcie zajęć ograniczymy się do prostej liniowej struktury migawek wykonywanych po zakończeniu każdego z zadań instrukcji opatrzonych stosownym komentarzem. W dalszej części instrukcji będą podane treści komentarzy jakimi należy opatrzyć realizowane migawki. Powstanie zatem coś w rodzaju sprawozdania z zajęć, które będzie *przechowywane* w serwisie *GitHub*.

2.1.4. Opis projektu bazowego

W sklonowanym repozytorium znajduje się projekt bazowy korzystający z biblioteki HAL o nazwie ***BasicDisplayHAL***, który w poprzednim kroku został zaimportowany do środowiska *STM32CubeIDE*. Posiada on skonfigurowane wyprowadzenia mikrokontrolera do których dołączone są diody ***LED*** (*LED0* … *LED7*) oraz pięć styków joysticka joystick (*SW_RIGHT*, *SW_ LEFT*, *SW_ DOWN*, *SW_UP*, *SW_OK*). W pliku ***gpio.c*** zdefiniowane zostały podstawowe funkcje do obsługi diod LED oraz odczytu stanu joysticka.

2.2. Obsługa wyświetlacza 7-segmentowego (6 pkt.)

Do obsługi wyświetlacza 7-segmentowego posłużą wyprowadzenia mikrokontrolera **PG0** (*SEG7_A*), **PG1** (*SEG7_B*), **PG2** (*SEG7_C*), **PG3** (*SEG7_D*), **PG4** (*SEG7_E*), **PG5** (*SEG7_F*), **PG6** (*SEG7_G*), **PG9** (*SEG7_DP*), **PB2** (*SEG7_DIG1*), **PB3** (*SEG7_DIG2*), **PB4** (*SEG7_DIG3*), **PB5** (*SEG7_DIG4*). Zostały one już skonfigurować do pracy jako cyfrowe wyjście i nadano im etykiety zgodnie z opisem podanym w nawiasach. Poprawne nadanie etykiet jest bardzo ważne dla poprawności kompilacji dołączonego w dalszej części instrukcji kodu.

2.2.1. Obsługa jednego modułu – praca statyczna (3 pkt.)

Poprzez właściwe wysterowanie segmentów od A do G można zapalić je tak aby ich układ miał charakter cyfry. Oczywiście wymaga to stworzenia odpowiedniej tablicy podstawnikowej (***SEG7_Bin2Dec***), która dla danej wartości cyfry wskaże jakie segmenty mają być ustawione w stan wysoki, a które w niski. Ponadto Dodać należy tablicę przechowującą numery wyprowadzeń do których są podłączone moduły (***SEG7_Module***). Związku z tym w pliku ***mian.c*** należy dodać poniższy kod:

```
/* USER CODE BEGIN PD */
#define SEG7_Msk        (SEG7_A_Pin | SEG7_B_Pin | SEG7_C_Pin | SEG7_D_Pin | \
                         SEG7_E_Pin | SEG7_F_Pin | SEG7_G_Pin | SEG7_DP_Pin)
#define SEG7_MOD_Msk    (SEG7_DIG4_Pin | SEG7_DIG3_Pin | SEG7_DIG2_Pin | SEG7_DIG1_Pin)
/* USER CODE END PD */
```

```
/* USER CODE BEGIN PV */
const uint8_t SEG7_Bin2Dec[] = {
    SEG7_A_Pin | SEG7_B_Pin | SEG7_C_Pin | SEG7_D_Pin | SEG7_E_Pin | SEG7_F_Pin, // 0
    SEG7_B_Pin | SEG7_C_Pin,                                                     // 1
    SEG7_A_Pin | SEG7_B_Pin | SEG7_D_Pin | SEG7_E_Pin | SEG7_G_Pin,             // 2
    SEG7_A_Pin | SEG7_B_Pin | SEG7_C_Pin | SEG7_D_Pin | SEG7_G_Pin,             // 3
    SEG7_B_Pin | SEG7_C_Pin | SEG7_F_Pin | SEG7_G_Pin,                          // 4
    SEG7_A_Pin | SEG7_C_Pin | SEG7_D_Pin | SEG7_F_Pin | SEG7_G_Pin,             // 5
    SEG7_A_Pin | SEG7_C_Pin | SEG7_D_Pin | SEG7_E_Pin | SEG7_F_Pin | SEG7_G_Pin, // 6
    SEG7_A_Pin | SEG7_B_Pin | SEG7_C_Pin,                                       // 7
    SEG7_A_Pin | SEG7_B_Pin | SEG7_C_Pin | SEG7_D_Pin | SEG7_E_Pin | SEG7_F_Pin | SEG7_G_Pin, // 8
    SEG7_A_Pin | SEG7_B_Pin | SEG7_C_Pin | SEG7_D_Pin | SEG7_F_Pin | SEG7_G_Pin, // 9
};

const uint16_t SEG7_Module[] = { SEG7_DIG4_Pin, SEG7_DIG3_Pin, SEG7_DIG2_Pin, SEG7_DIG1_Pin };
/* USER CODE END PV */
```

Do ustawienia wybranej cyfry na wyświetlaczu należy dodać funkcję ***SEG7_SetSegment***, która pozwoli na ustawienie wyprowadzeń mikrokontrolera. W pierwszej kolejności należy wygasić wszystkie segmenty, a następnie odpowiednie segmenty zapalić. Do wygaszenia wszystkich elementów posłuży zdefiniowany symbol ***SEG7_Msk***. Ponadto potrzebna jest również funkcja ***SEG7_SetModule***, która aktywuje jeden z czterech (***DIG1***, ***DIG2***, ***DIG3***, ***DIG4***) modułów wyświetlacza. Należy dodać do pliku ***main.c*** poniższy kod funkcji:

```
/* USER CODE BEGIN 0 */
void SEG7_SetSegment(uint8_t value){
    value &= 0x0F;
    HAL_GPIO_WritePin(SEG7_SEG_GPIO_Port, SEG7_Msk, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(SEG7_SEG_GPIO_Port, SEG7_Bin2Dec[value], GPIO_PIN_SET);
}

void SEG7_SetModule(uint8_t value){
    value &= 0x03;
    HAL_GPIO_WritePin(SEG7_MOD_GPIO_Port, SEG7_MOD_Msk, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(SEG7_MOD_GPIO_Port, SEG7_Module[value], GPIO_PIN_SET);
}
/* USER CODE END 0 */
```

Korzystając z przygotowanych funkcji uzupełnić funkcję główną ***main*** za pomocą załączonego kodu. Na module ***0*** (skrajnie prawy) wyświetlane są kolejne cyfry z odstępem 500 ms. W tym celu zadeklarowana jest zmienna ***i***, która zawiera wartość do wyświetlenia. Następnie za pomocą funkcji ***SEG7_SetModule*** wybierany jest moduł, a w pętli ***while*** za pomocą funkcji ***SEG7_SetSegment*** ustawiane są segmenty. Za odczekanie czasu odpowiada funkcja ***HAL_Delay***. Na zakończenie jest wyrażenie warunkowe sprawdzające czy zmienna ***i*** wynosi 10, a jeżeli tak to ustawia ją na wartość 0. Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienia. Na zakończenie punktu proszę wykonać migawkę z komentarzem następującej treści: „***Zadanie 2.2.1 – pojedynczy wyświetlacz 7-segmentowy***”.

```
/* USER CODE BEGIN WHILE */
uint8_t i = 0;
SEG7_SetModule(0);
while (1) {
    SEG7_SetSegment(i++);
    HAL_Delay(500);
    if(i == 10) {
        i = 0;
    }
```

2.2.2. Obsługa wszystkich modułów – praca multipleksowana (3 pkt.)

Z racji, że segmenty modułów wyświetlacza są ze sobą podłączone równolegle ustawienie stanu wysokiego na więcej niż jednym wyjściu ***SEG7_DIGx*** powoduje wyświetlenie tej samej cyfry na każdym module. Aby temu zaradzić konieczne jest zaimplementowanie funkcjonalności ciągłego przełączania aktywnego segment. Umożliwia to ograniczenie liczby połączeń kosztem ograniczenia jasności i potencjalnego wystąpienia efektu migotania segmentów. Zasada działania wyświetlania multipleksowanego polega na cyklicznym oraz szybkim przełączaniem

modułów, gdzie w danej chwili czasu włączony jest tylko jeden wyświetlacz spośród wszystkich dostępnych. Cykliczne oraz szybkie przełączanie modułów dzięki własności bezwładności wzroku, daje złudzenie jednocześnie załączonych wszystkich modułów. Obraz jest tym bardziej stabilny im szybciej przełączane (multipleksowane) są wyświetlacze. Przyjmuje się, że minimalna oraz akceptowalna częstotliwość przełączania każdego wyświetlacza powinna wynosić przynajmniej 25 Hz. Jeżeli natomiast zespół wyświetlaczy liczy 4 moduły 7-segmentowe, to częstotliwość przełączania powinna zostać zwiększona przynajmniej dwukrotnie. Aby móc przełączyć aktywny moduł i wysterować jego segmenty można użyć funkcji biblioteki ***HAL_SYSTICK_Callback***. Jest ona domyślnie wykonywana przez mikrokontroler co 1 ms w przerwaniu od licznika *SysTick*. Każde upłynięcie okresu zdefiniowanego przez symbol ***SEG7_RefreshPeriodMs*** powoduje wywołanie funkcji ***SEG7_Mux***, która ustawia segmenty dla danej cyfry oraz ustawia aktywny moduł. W sekcji /* USER CODE BEGIN PD */ należy dodać definicję:

```
#define SEG7_RefreshPeriodMs        5
```

Następnie należy dodać deklarację zmiennej ***SEG7_Value*** do przechowywania cyfr liczby do wyświetlenia w sekcji /* USER CODE BEGIN PV */:

```
uint8_t SEG7_Value[4] = { 0, 0, 0, 0 };
```

W sekcji /* USER CODE BEGIN 0 */ należy dodać definicje funkcji: ***SEG7_DisplayDec*** do zamiany liczby na poszczególne cyfry i zapisanie ich w zmiennej ***SEG7_Value***, ***SEG7_Mux*** do cyklicznego zmieniania aktywnego modułu i wyświetlanej cyfry, ***HAL_SYSTICK_Callback*** do realizacji wywołania funkcji ***SEG7_Mux*** co ***SEG7_RefreshPeriodMs*** milisekund.

Użycie modyfikatora ***static*** w deklaracji zmiennych ***module*** *i* ***SEG7_Delay*** sprawia, że stan zmiennych jest pamiętany pomiędzy poszczególnymi wejściami do funkcji. Brak modyfikatora za każdym razem zerowałby te zmienne. Jest to rodzaj zmiennej globalnej której widoczność ograniczona jest do funkcji w której ta zmienna jest zadeklarowana.

Do wyznaczania wartości cyfry użyta jest operacja dzielenia modulo (operator ***%***), która zwraca resztę z dzielenia. W kodzie funkcji ***SEG7_DisplayDec*** użyty został operator warunkowy (*warunek* **?** *wyrażenie1* **:** *wyrażenie2*), który pozwala na bardziej zwarty zapis wyrażenia: ***if*** *(warunek) wyrażenie1;* ***else*** *wyrażenie2*;.

W celu przetestowania całego wyświetlacza należy zaprezentować na nim losowe liczby. W tym celu należy dodać odwołanie do pliku nagłówkowego: ***stdlib.h*** w sekcji /* USER CODE BEGIN Includes */ za pomocą dyrektywy preprocesora ***#include*****.** Następnie w funkcji ***main*** w sekcji /* USER CODE BEGIN WHILE */ umieścić załączony kod. Za pomocą funkcji bibliotecznej ***rand*** pozyskiwana jest pseudolosowa liczba typu *int*, która jest rzutowana na typ 16-bitowy bez znaku, a następnie

```
void SEG7_DisplayDec(uint16_t value){
    if((value >= 0) && (value < 10000)){
        SEG7_Value[0] = (value % 10);
        value /= 10;
        SEG7_Value[1] = value ? (value % 10) : 0;
        value /= 10;
        SEG7_Value[2] = value ? (value % 10) : 0;
        value /= 10;
        SEG7_Value[3] = value ? (value % 10) : 0;
    }
}

void SEG7_Mux(void){
    static uint32_t module = 0;
    SEG7_SetSegment(SEG7_Value[module]);
    SEG7_SetModule(module++);
    module &= 0x03;
}

void HAL_SYSTICK_Callback(void){
    static uint16_t SEG7_Delay = 0;
    if((++SEG7_Delay) >= SEG7_RefreshPeriodMs){
        SEG7_Delay = 0;
        SEG7_Mux();
    }
}

/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1) {
    SEG7_DisplayDec((uint16_t)rand() % 10000);
    HAL_Delay(1000);
    /* USER CODE END WHILE */
```

wykonywana operacja dzielenia modulo przez 10000 w celu zmiany wyświetlanej wartości w każdej iteracji pętli co 1 sekundę.

```
/* USER CODE BEGIN WHILE */
while (1) {
    SEG7_DisplayDec((uint16_t)rand() % 10000);
    HAL_Delay(1000);
    /* USER CODE END WHILE */
```

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 2.2.2 – 7-segmentowy wyświetlacz multipleksowany***”.

2.3. Obsługa wyświetlacza tekstowego LCD (6 pkt.)

Biblioteka HAL nie dysponuje dedykowanymi funkcjami do obsługi wyświetlaczy LCD. Jednakże dostępne są biblioteki do ich obsługi. Udostępniają one szereg funkcji zapewniających pełną obsługę wyświetlacza. Sterowanie wyświetlaczem 16x2 polega na jego pierwotnej inicjalizacji, w której następuję konfiguracja sterownika i trybu jego pracy. Ponieważ wyświetlacz posiada wbudowaną pamięć znaków o rozmiarze przynajmniej 16x2 bajtów, w celu ciągłego wyświetlania znaków, nie jest konieczne cykliczne odświeżanie pamięci. Raz zapisany znak we wskazanym miejscu jest wyświetlany, aż do ponownej zmiany znaku lub zaniku napięcia zasiania. Wyświetlacz 16x2 umożliwia wyświetlenie znaków zgodne z tablicą ASCII. Dodatkowo w zależności od kraju pochodzenia dostępne mogą być dodatkowe znaki (najczęściej chińskie). Ponadto wyświetlacz LCD ze sterownikiem HD44780 pozwala definiować własne znaki (np. ą, ć, ę, itp.), które można w późniejszym czasie używać.

2.3.1. Inicjalizacja i ustawianie treści do wyświetlenia (3 pkt.)

Niniejsze zadanie polega na wyświetlaniu napisu gdzie w pierwszej linii należy umieścić *swoje* ***Nazwisko*** bez znaków diakrytycznych, natomiast w drugiej linii wyświetlać licznik inkrementowany co 500 ms.

W pierwszej kolejności należy dodać odwołania do plików nagłówkowych ***stdio.h*** oraz ***string.h*** w sekcji /* USER CODE BEGIN Includes */ za pomocą dyrektywy preprocesora ***#include.*** Pierwszy z nich umożliwia korzystanie z funkcji wejścia/wyjścia (np. *printf*, *scanf*) a drugi udostępnia funkcjonalności przydatne przy przetwarzaniu łańcuchów znaków. Następnie należy zainicjować wyświetlacz przez wywołanie funkcji ***LCD_Init*** oraz włączenie podświetlania wyświetlacza za pomocą funkcji ***LCD_BacklightOn***, które umieścić należy w sekcji /* USER CODE BEGIN 2 */, która znajduje się w funkcji ***main***. W sekcji /* USER CODE BEGIN WHILE */ należy dodać kod odpowiedzialny za wyświetlanie napisów w poszczególnych liniach. Wpierw należy zadeklarować zmienną tablicową do przechowania ***lcdBuffer*** typu *char* o długości 16 elementów oraz zmienną całkowitoliczbową ***cnt*** do przechowywania kolejnych wartości do wyświetlania w drugiej lini wyświetlacza. Za pomocą bibliotecznej funkcji ***sprintf*** wartość zmiennej ***cnt*** jest zamieniana na postać tekstową i zapisana w tablicy ***lcdBuffer***. Funkcja ***LCD_WriteTextXY*** pozwala na umieszczenie tekstu od wybranego miejsca na ekranie wyświetlacza za pomocą 3 i 4 parametru dla odpowiednio wiersza i kolumny. Jako 2 parmaetr funkcja ta przyjmuje długość łańcucha znaków, który jest pozyskany za pomocą funkcji bibliotecznej ***strlen***.

```
/* Private includes ----------------------
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "lcd.h"
#include <stdio.h>
#include <string.h>
/* USER CODE END Includes */

/* USER CODE BEGIN 2 */
LCD_Init();
LCD_BacklightOn();
/* USER CODE END 2 */

/* USER CODE BEGIN WHILE */
char lcdBuffer[16];
int cnt = 0;

LCD_WriteText((uint8_t *)"Nazwisko");
while (1) {
    sprintf(lcdBuffer, "%d", cnt++);
    LCD_WriteTextXY((uint8_t *)lcdBuffer,
            strlen(lcdBuffer), 2, 1);
    HAL_Delay(500);
    /* USER CODE END WHILE */
    /* USER CODE BEGIN 3 */
}
```

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 2.3.1 – Inicjalizacja i ustawianie treści do wyświetlenia***”.

2.3.2. Przemieszczanie się napisu na ekranie wyświetlacza (3 pkt.)

Zadanie to polega na przesuwaniu tekstu zawartego w tablicy znaków o nazwie ***lcdBuffor***. Należy zmodyfikować jej zawartość wpisując ***własne Imię*** bez znaków diakrytycznych. Napis przesuwany jest w górnym wierszu od lewej do prawej strony, a następnie w dolnym wierszu od prawej do lewej. Napis nie może wychodzić poza wyświetlacz i musi zaczynać się zawsze od skrajnego położenia na wyświetlaczu. Dodatkowo, należy zadbać o to, aby przesuwany tekst nie pozostawiał po sobie śladów. Szybkość przesuwania napisu należy ustawić na 500 ms.

Realizacje zadania należy umieścić w sekcji /* USER CODE BEGIN WHILE */ gdzie po deklaracji bufora ***lcdBuffer*** należy dodać deklarację zmiennych ***col***, ***row*** i ***end*** odpowiedzialnych za pamiętanie pozycji od której ma być wyświetlane imię oraz maksymalna wartość kolumny od której zaczyna się tekst. Analogicznie jak w poprzednim zadaniu w celu zapisania łańcucha znaków do ***lcdBuffer*** użyta została funkcja ***sprintf***. W każdej iteracji pętli głównej ***while*** następuje wyczyszczenie zawartości wyświetlacza za pomocą funkcji ***LCD_Clear***, a następnie wyświetlenie imienia pod wskazanymi koordynatami. Wyrażenia warunkowe odpowiadają za odpowiednie modyfikowanie koordynat.

```
/* USER CODE BEGIN WHILE */
char lcdBuffer[16];
uint8_t col = 1, row = 1, end;

sprintf(lcdBuffer, "Imie");
end = 17 - strlen(lcdBuffer);
while (1) {
    LCD_Clear();
    LCD_WriteTextXY((uint8_t *)lcdBuffer,
            strlen(lcdBuffer), row, col);
    if(row == 1){
        col++;
        if(col > end){
            col--;
            row++;
        }
    } else {
        col--;
        if(col == 0){
            col++;
            row--;
        }
    }
    HAL_Delay(500);
    /* USER CODE END WHILE */
    /* USER CODE BEGIN 3 */
}
```

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 2.3.2 – Przemieszczanie się napisu na ekranie wyświetlacza***”.

3. Zadania rozszerzające do realizacji (14 pkt.)

W rozdziale tym przedstawione zostały zadania dodatkowe, za realizację których można podnieść ocenę końcową za wykonane ćwiczenie. Ich realizację należy wykonać w dotychczasowym projekcie.

3.1. Sterowanie wyświetlaczem 7-segmentowym (7 pkt.)

3.1.1. Prezentacja całkowitych liczb bez wiodącego zera (1 pkt.)

Należy działanie funkcji ***SEG7_DisplayDec*** tak aby umożliwiła prezentowanie liczby bez dodawania zera na bardziej znaczących pozycjach. Należy korzystając z przygotowanych funkcji uzupełnić funkcję główną ***main*** tak aby zaprezentować funkcjonalność wprowadzonych zmian. Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 3.1.1 – Prezentacja całkowitych liczb bez wiodącego zera***”.

3.1.2. Dodanie możliwości prezentacji liczb całkowitych ujemnych (2 pkt.)

Należy rozszerzyć działanie funkcji ***SEG7_DisplayDec*** tak aby umożliwiła prezentowanie liczby ujemnych w zakresie od -1 do -999. W tym celu należy rozbudować istniejące wyrażenie warunkowe. Należy korzystając z przygotowanych funkcji uzupełnić funkcję główną ***main*** tak aby zaprezentować funkcjonalność wprowadzonych zmian. Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 3.1.2 – Dodanie możliwości prezentacji liczb całkowitych ujemnych***”.

3.1.3. Dodanie możliwości prezentacji liczb rzeczywistych (2 pkt.)

Należy zdefiniować funkcję ***SEG7_DisplayFixedPoint*** tak aby umożliwiła prezentowanie liczby rzeczywistych z określoną za pomocą parametru dokładnością (tzn. liczbą miejsc po przecinku. Należy korzystając z przygotowanych funkcji uzupełnić funkcję główną ***main*** tak aby zaprezentować funkcjonalność wprowadzonych zmian. Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 3.1.3 – Dodanie możliwości prezentacji liczb rzeczywistych***”.

3.1.4. Dodanie możliwości prezentacji liczb w formacie szesnastkowym (2 pkt.)

Należy dodać funkcję ***SEG7_DisplayHex*** tak aby umożliwiła prezentowanie liczby w formacie szesnastkowym. W tym celu należy rozbudować tablicę ***SEG_Bin2Seg*** o dodatkowe wpisy, które będą prezentowały cyfry zapisu szesnastkowego: *A*, *b*, *c*, *d*, *E*, *F*. Należy korzystając z przygotowanych funkcji uzupełnić funkcję główną ***main*** tak aby zaprezentować funkcjonalność wprowadzonych zmian. Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 3.1.4 – Dodanie możliwości prezentacji liczb w formacie szesnastkowym***”.

3.2. Sterowanie wyświetlaczem tekstowym LCD (7 pkt.)

3.2.1. Częsta zmiana zawartości prezentowanej zawartości na wyświetlaczu - stoper (7 pkt.)

Zadanie to polega na utworzeniu stopera oraz licznika upływu czasu od uruchomienia systemu. Stoper załączany oraz wyłączany jest przy pomocy przycisku ***SW_OK***. Jednokrotne naciśniecie przycisku rozpoczyna pomiar czasu i jego upływ jest wyświetlany w pierwszej linii wyświetlacza. Kolejne naciśnięcie – kończy

i zatrzymuje wynik pomiaru. Pomiar upływu czasu od uruchomienia układu prezentowany jest w drugiej linii wyświetlacza. Prezentowany czas należy podać zgodnie z poprawnym formatem, tj. *hh*:*mm*:*ss*.

Należy korzystając z przygotowanych funkcji uzupełnić funkcję główną ***main*** tak aby zaprezentować funkcjonalność wprowadzonych zmian. Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przedstawić prowadzącemu do ocenienie. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 3.2.1 – Stoper***”.