Systemy mikroprocesorowe

Instrukcja laboratoryjna

Spotkanie 5

Cyfrowe przetwarzanie sygnału

Autorzy: dr inż. Paweł Dąbal

Ostatnia aktualizacja: 25.11.2022 r.

Wersja: 2.0.0

Warszawa 2022

Spis treści

1. Wprowadzenie

Instrukcja ta zawiera zadania związane z tworzeniem programów realizujących przetwarzanie cyfrowego sygnału pochodzącego z akcelerometru i mikrofonu. 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 przetworzenie sygnału i jego przesłanie do komputera z użyciem interfejsu szeregowego. 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 1.7.0*;
- poznanie płyty uruchomieniowej *KAmeLeon* z mikrokontrolerem *STM32L496ZGT6*;
- przypomnienie i usystematyzowanie wiedzy i umiejętności z zakresu posługiwania się językiem *C*;
- przypomnienie wiedzy z zakresu podstaw cyfrowego przetwarzania sygnału;
- 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;
- zapoznanie się z sposobem implementacji operacji splotu;
- 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. Wprowadzenie teoretyczne

Współczesne mikrokontrolery charakteryzują się dużą wydajnością obliczeniową, która wynika z zaawansowanej architektury rdzeni obliczeniowych, np. z rdzeniem ARM Cortex-M4. Jedną z podstawowych operacji arytmetycznych związana z cyfrowym przetwarzaniem sygnału to mnożenie i dodawanie używane w implementacji operacji splotu. Obliczenia mogą być wykonywane wydajnie zarówno z użyciem liczb całkowitych oraz zmiennoprzecinkowych.

Jednym z sygnałów, który najczęściej towarzyszy człowiekowi jest sygnał akustyczny w postaci podłużnej fali mechanicznej. Z użyciem mikrofonów sygnał ten przetworzony jest na sygnał elektryczny analogowy lub cyfrowy. Dalej może być przetworzony pod kątem dodania efektów akustycznych bądź poprawieniem brzemienia zarejestrowanego sygnału. Znając charakter sygnałów akustycznych możemy je również przetwarzać na podstawie zapisu matematycznego budując w ten sposób elektroniczne instrumenty o wyjątkowym brzmieniu. Kolejnym sygnałem, który możemy mierzyć jest przyspieszenie, które towarzyszy nam cały czas. Pomiar przyspieszenia dzięki nowoczesnym czujnikom scalonym umożliwił powstanie wielu nowych urządzeń związanych branżą ochrony zdrowia i fitness. Analiza sygnału umożliwia wykrywanie aktywności osoby takich jak pozycja ciała, zliczanie wykonanych kroków, itp.

1.4.1. Cyfrowa synteza sygnału

Podstawowym sygnałem w telekomunikacji jest okresowy sygnał harmoniczny o przebiegu sinusoidalnym. Reprezentuje on zarówno ton sygnału akustycznego jak i sygnał nośny, który po zmodulowaniu może być transmitowany na duże odległości. Do cyfrowego generowania sygnału o określonych parametrach potrzebny jest jego opis matematyczny w dziedzinie czasu lub częstotliwości w sposób cyfrowy. W przypadku sygnału harmonicznego możemy zapisać:

$$y(n) = A_0 + A \cdot \sin\left(\frac{n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}{f_s} + \varphi_0\right)$$

gdzie: n – numer próbki, f -częstotliwość sygnału harmonicznego, f_s – częstotliwość próbkowania, φ_0 – faza początkowa, A – amplituda sygnału, A_0 – składowa stała amplitudy. Wyznaczenie wartości funkcji sinus może być zrealizowane za pomocą rozwinięcia w szereg Tylora; z użyciem dostatecznie dużej tablicy zawierającej kolejne wartości funkcji dla jednej ćwiartki okresu, a dalsze poprawienie dokładności odbywa się z użyciem aproksymacji liniowej; równania różnicowego. Sygnały okresowe takie jak piłokształtne, prostokątne, trapezowe realizowane są przez kształtowanie amplitudy sygnału w funkcji numeru próbki w okresie tego sygnału. Bardziej złożone przebiegi zapamiętane są w postaci tablic.

1.4.2. Cyfrowa filtracja sygnału

Proces filtracji sygnału polega na wyznaczeniu jego splotu z odpowiedzią impulsową filtru. W przypadku sygnałów cyfrowych jest to realizacja równania różnicowego o stałych współczynnikach składającego się z szeregu operacji mnożenia i dodawania:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{K-1} \beta_k x(n-k) - \sum_{l=1}^{L-1} \alpha_l y(n-l)$$

gdzie: α – współczynniki dodatniego sprzężenia zwrotnego, β – współczynniki odpowiedzi impulsowej. Jeżeli współczynniki α są równe 0 wtedy mamy do czynienia z filtrem o skończonej odpowiedzi impulsowej FIR. W przeciwnym razie jest to filtr o nieskończonej odpowiedzi impulsowej IIR. Do wyznaczenia współczynników może posłużyć oprogramowanie MatLAB i jego narzędzie *filterDesigner*. Obliczenia możemy realizować z użyciem liczb całkowitych lub zmiennoprzecinkowych. W przypadku operacji na liczbach całkowitych możemy uzyskać dużą wydajność jednakże należy zwrócić szczególną uwagę na dokładność, która cierpi na niską dynamikę. Liczby zmiennoprzecinkowe pozwalają na dokładne obliczenia, kosztem jednak wydajności.

1.5. 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

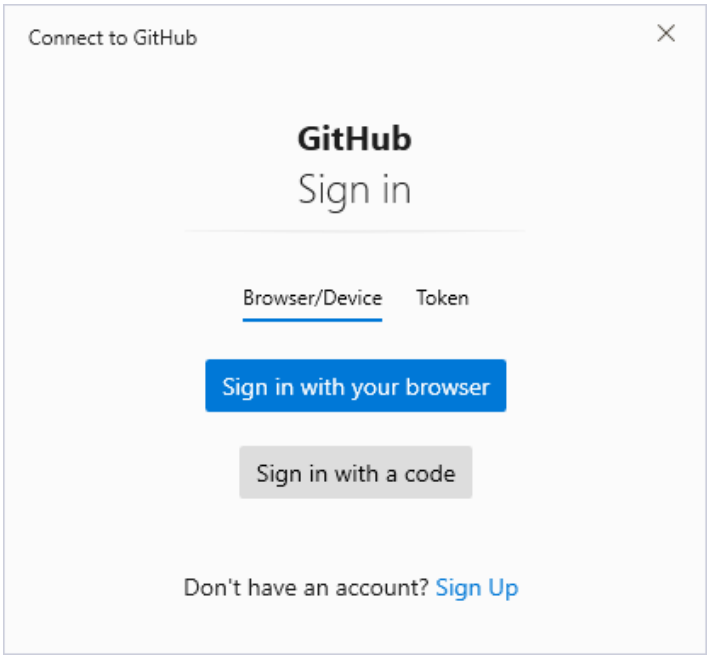
Przed przystąpieniem do pracy należy skonfigurować zainstalowane oprogramowanie i uzyskać dostęp do repozytorium, tzn. system kontroli wersji *Git*, instalacji biblioteki do obsługi mikrokontrolerów rodziny STM32L4 w środowisku *STM32CubeIDE* oraz sklonować repozytorium dla zajęć.

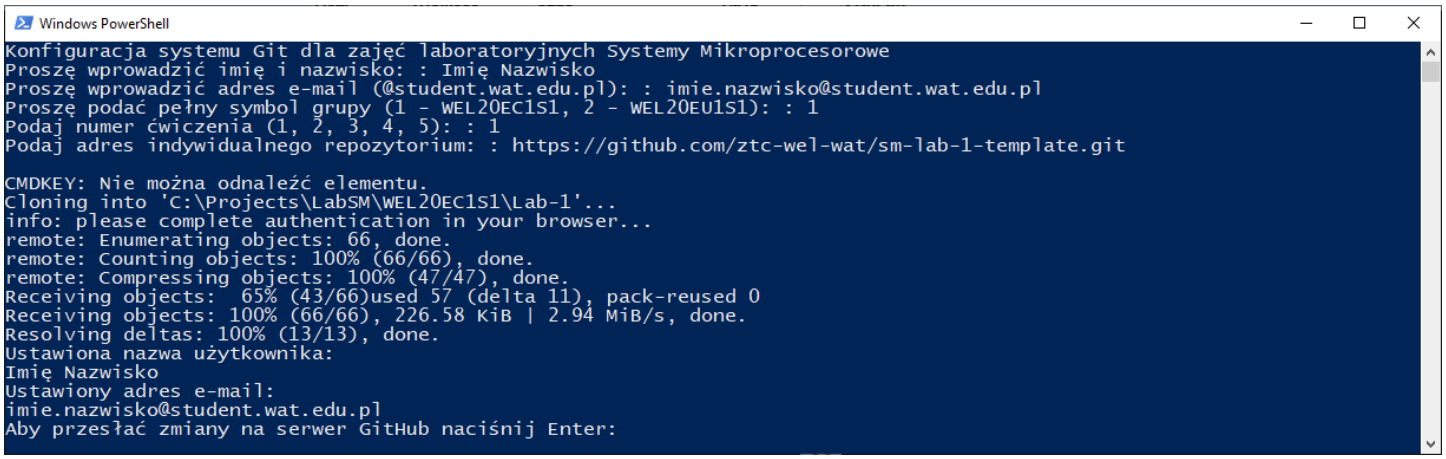
2.1.1. Dołączenie do wirtualnej klasy i utworzenie repozytorium bazowego dla zadania

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

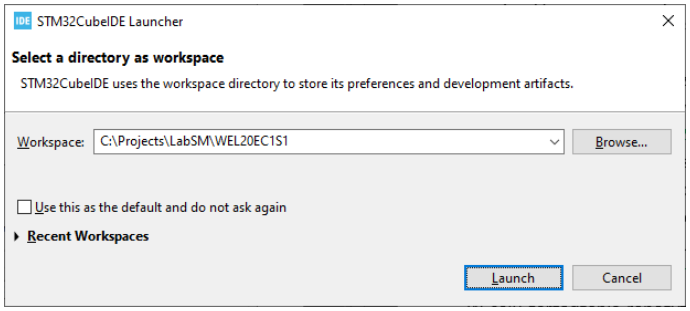
W celu pobrania repozytorium należy odszukać na pulpicie skrót o nazwie ***LabGitConfig***, który uruchomi skrypt wiersza poleceń, w którym należy podać: 1) *swoje imię i nazwisko*, 2) *adres e-mail*, 3) *symbol grupy*, 4) *numer ćwiczenia*, 5) *adres indywidualnego repozytorium* uzyskany w wcześniejszym 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.



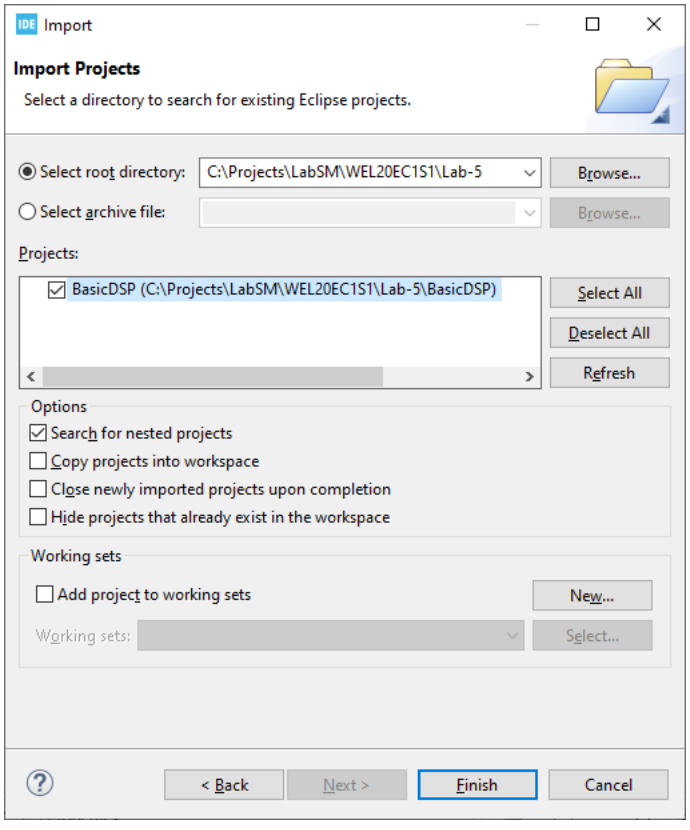


2.1.3. Konfiguracja środowiska STM32CubeIDE

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 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-5*). Zaktualizuje się lista dostępnych projektów i na niej należy wybrać ***BasicInterfacesHAL*** i zatwierdzić przyciskiem ***Finish***.



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*. Repozytorium dla zajęć zostanie automatycznie dodane do listy dostępnych repozytoriów. Przed wykonywaniem migawek należy się upewnić, że jest zaznaczone właściwe repozytorium, tj. ***Lab-5***.

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 ***BasicDSP***, 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. Ponadto skonfigurowana i dodana została obsługa wyświetlacza 7-segmentowego oraz tekstowego LCD w plikach ***display.c*** i ***lcd.c***. W pliku ***sensor.c*** dodana została obsługa czujników temperatury ***LM75*** i przyspieszenia ***LSM303C***. Ponadto skonfigurowany został przetwornik ADC. W pliku ***dsp.c*** zamieszczone zostały podstawowe funkcję imitujące komunikację z kodekiem audio: ***DSP_GetSample*** oraz ***DSP_SetSample***.

2.2. Cyfrowa synteza sygnału harmonicznego (6 pkt.)

W celu zobrazowania syntezowanego sygnału należy użyć programu *SerialPlot* oraz przygotowanej konfiguracji z pliku *Lab-5.ini* znajdującego się na dysku sieciowym oraz w katalogu repozytorium. Mikrokontroler przesyła z częstotliwością 8 kHz po dwie liczby 8-bitowe ze znakiem, które reprezentują sygnał stereofoniczny.

2.2.1. Synteza sygnału harmonicznego o stałej amplitudzie i częstotliwości (3 pkt.)

Cyfrowy oscylator wymaga przechowywania minimum informacji o amplitudzie, fazie i kroku fazy, który wynika z częstotliwości generowanego sygnału. W związku z czym do przechowywania tych informacji należy zdefiniować strukturę ***OSC_Cfg_t*** w sekcji kodu pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN PTD */ a /* USER CODE END PTD */ jak to przedstawione poniżej:

```
35 /* USER CODE BEGIN PTD */
36 typedef struct {
37     float amplitude;    // Real value in V in range from 0 to 1.650
38     float phase;        // Real value in radians
39     float phaseStep;    // Real value in radians
40 } OSC_Cfg_t;
```

Konfiguracja pól struktury powinna zostać zrealizowana za pośrednictwem dedykowanej funkcji (***OSC_Init***), która sprawdzi parametry i wyznaczy krok fazy (***phaseStep***) na podstawie częstotliwości (***frequency***) podanej w parametrze. Należy dodać funkcję konfiguracji oscylatora pomiędzy znaczniki /* USER CODE BEGIN 0 */ a /* USER CODE END 0 */ jak to przedstawione poniżej.

```
90 /* USER CODE BEGIN 0 */
91 void OSC_Init(OSC_Cfg_t *hOscCfg, float amplitude, float frequency) {
92     frequency = fmodf(frequency, (DSP_CODEC_Fs / 2.0f));
93     hOscCfg->amplitude = fmodf(amplitude, (DSP_CODEC_Vpp * 0.5f));
94     hOscCfg->phaseStep = (frequency * DSP_2PI_DIV_FS );
95     hOscCfg->phase = 0.0f;
96 }
```

Wartość nowej próbki należy wyznaczyć korzystając z zależności $y(n) = A \cdot \sin\left(\frac{n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}{f_s}\right)$, gdzie A – amplituda, $\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{f_s}$ – krok fazy. Każdorazowo po wyznaczeniu próbki należy zaktualizować fazę (***phase***) przez zwiększenie o krok fazy i dokonać ewentualnej korekty wynikającej z okresowości funkcji trygonometrycznej (***OSC_GetValue***). Dodatkowo pomocne mogą być funkcję pozwalające na zmianę częstotliwości

OSC_SetFrequency oraz amplitudy ***OSC_SetAmpltude*** syntezowanego sygnału. Pomiędzy znaczniki /* USER CODE BEGIN 0 */ a /* USER CODE END 0 */ należy dodać kod wspomnianych funkcji jak to przedstawione poniżej.

```
98  float OSC_GetValue(OSC_Cfg_t *hOscCfg) {
99      float wave;
100
101     wave = hOscCfg->amplitude * sinf(hOscCfg->phase);
102     hOscCfg->phase += hOscCfg->phaseStep;
103     hOscCfg->phase = fmodf(hOscCfg->phase, DSP_PI_MUL_2);
104
105     return wave;
106 }
107
108 void OSC_SetFrequency(OSC_Cfg_t *hOscCfg, float frequency) {
109     frequency = fmodf(frequency, (DSP_CODEC_Fs / 2.0f));
110     hOscCfg->phaseStep = (frequency * DSP_2PI_DIV_FS );
111 }
112
113 void OSC_SetAmplitude(OSC_Cfg_t *hOscCfg, float amplitude) {
114     hOscCfg->amplitude = fmodf(amplitude, (DSP_CODEC_Vpp * 0.5f));
115 }
```

W sekcji kodu znajdującej się pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN PV */ a /* USER CODE END PV */ należy zdefiniować zmienną ***Osc1***, która posłuży do przechowywania informacji o oscylatorze.

```
72  /* USER CODE BEGIN PV */
73  OSC_Cfg_t Osc1;
```

Następnie w funkcji ***main*** należy zmodyfikować kod pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN WHILE */ a /* USER CODE END WHILE */ jak to przedstawione poniżej.

```
227     /* USER CODE BEGIN WHILE */
228     float sample;
229     channel_t data;
230     OSC_Init(&Osc1, 1.0f, 100.0f);
231     while (1) {
232         if (DataNew == SET) {
233             // Wyznaczenie nowej próbki
234             sample = OSC_GetValue(&Osc1);
235             // Ustawienie poziomu na podstawie potencjometru
236             sample = DSP_SetVolumePOT(sample);
237             // Zamiana na liczbę całkowitą
238             data = DSP_GetChannelSampleFromValue(sample);
239             // Skopiowanie sygnału wejściowego z mikrofonu
240             DataOut = DataIn;
241             // Modyfikacja zawartości kanału 0
242             DataOut.channel[0] = data;
243             // Skasowanie flagi przetwarzania
244             DataNew = RESET;
245         }
246         /* USER CODE END WHILE */
```

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przetestować. Działanie programu przedstawić prowadzącemu zajęcia do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 2.2.1 – sygnał harmoniczny o stałej amplitudzie i częstotliwości***”.

2.2.2. Synteza sygnału harmonicznego o stałej amplitudzie i zmiennej częstotliwości (3 pkt.)

Jedną z podstawowych funkcjonalności cyfrowych generatorów arbitralnych jest praca w trybie przemiatania częstotliwości (ang. *sweep*). Generator taki umożliwia określenie przedziału częstotliwości oraz czasu w jakim

ma nastąpić przejście między krańcowymi częstotliwościami. W związku z czym do przechowywania tych informacji należy zdefiniować strukturę ***SWEEP_Cfg_t*** w sekcji kodu pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN PTD */ a /* USER CODE END PTD */ jak to przedstawione poniżej:

```
typedef struct {
    float duration;
    float phase;
    float phaseStep;
    float phaseStepStart;
    float phaseStepStop;
    float phaseInc;
    OSC_Cfg_t *generator;
} SWEEP_Cfg_t;
```

Konfiguracja pól struktury powinna zostać zrealizowana za pośrednictwem dedykowanej funkcji (***SWEEP_Init***), która sprawdzi parametry i wyznaczy aktualny krok fazy (***phaseStep***), zmianę kroku fazy (***phaseInc***) na podstawie częstotliwości początkowej i końcowej oraz czasu przechodzenia (***duration***) podanych w parametrze. Należy dodać funkcję konfiguracji oscylatora pomiędzy znaczniki /* USER CODE BEGIN 0 */ a /* USER CODE END 0 */ jak to przedstawione poniżej.

```
void SWEEP_Init(SWEEP_Cfg_t *hCfg, OSC_Cfg_t *hGen, float freqStart,
        float freqStop, float duration) {
    hCfg->duration = duration;
    hCfg->phaseStepStart = (freqStart * DSP_2PI_DIV_FS );
    hCfg->phaseStepStop = (freqStop * DSP_2PI_DIV_FS );
    hCfg->phaseStep = hCfg->phaseStepStart;
    hCfg->phaseInc = ((hCfg->phaseStepStop - hCfg->phaseStepStart)
            / (duration * DSP_CODEC_Fs ));
    hCfg->generator = hGen;
    hCfg->generator->phaseStep = (freqStart * DSP_2PI_DIV_FS );
}
```

Pomiędzy znaczniki /* USER CODE BEGIN 0 */ a /* USER CODE END 0 */ należy dodać kod funkcji ***SWEEP_GetValue*** odpowiedzialnej za wyznaczanie nowej próbki, jak to przedstawione poniżej.

```
float SWEEP_GetValue(SWEEP_Cfg_t *hCfg) {
    float wave = OSC_GetValue(hCfg->generator);
    hCfg->phaseStep += hCfg->phaseInc;
    if (hCfg->phaseStep > hCfg->phaseStepStop)
        hCfg->phaseStep -= (hCfg->phaseStepStop - hCfg->phaseStepStart);
    hCfg->generator->phaseStep = hCfg->phaseStep;

    return wave;
}
```

W sekcji kodu znajdującej się pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN PV */ a /* USER CODE END PV */ należy zdefiniować zmienną ***Sweep1***, która posłuży do przechowywania informacji o oscylatorze.

```
/* USER CODE BEGIN PV */
SWEEP_Cfg_t Sweep1;
```

Następnie w funkcji ***main*** należy zmodyfikować kod pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN WHILE */ a /* USER CODE END WHILE */ jak to przedstawione poniżej.

```
226     /* USER CODE BEGIN WHILE */
227     float sample;
228     channel_t data;
229     OSC_Init(&Osc1, 1.0f, 100.0f);
230     SWEEP_Init(&Sweep1, &Osc1, 1.0f, DSP_CODEC_Fs / 4, 1.0f);
231     while (1) {
232         if (DataNew == SET) {
233             // Wyznaczenie nowej próbki
234             sample = SWEEP_GetValue(&Sweep1);
235             // Ustawienie poziomu na podstawie potencjometru
236             sample = DSP_SetVolumePOT(sample);
237             // Zamiana na liczbę całkowitą
238             data = DSP_GetChannelSampleFromValue(sample);
239             // Skopiowanie sygnału wejściowego z mikrofonu
240             DataOut = DataIn;
241             // Modyfikacja zawartości kanału 0
242             DataOut.channel[0] = data;
243             // Skasowanie flagi przetwarzania
244             DataNew = RESET;
245         }
246         /* USER CODE END WHILE */
```

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przetestować. Działanie programu przedstawić prowadzącemu zajęcia do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 2.2.2 – sygnał harmoniczny o stałej amplitudzie i zmiennej częstotliwości***”.

2.3. Cyfrowa filtracja sygnału harmonicznego (6 pkt.)

Cyfrowa filtracja sygnału przedstawiona zostanie na przykładzie implementacji filtru FIR. Do przechowania konfiguracji filtru wymagane jest zapamiętanie jego rzędu (***n***) bufora próbek (*x*) oraz tablicy współczynników (*h*). W związku z czym do przechowywania tych informacji należy zdefiniować strukturę ***FIR_Cfg_t*** w sekcji kodu pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN PTD */ a /* USER CODE END PTD */ jak to przedstawione poniżej:

```
52  typedef struct {
53      uint32_t n;
54      float *x;
55      float *h;
56  } FIR_Cfg_t;
```

Pomiędzy znaczniki /* USER CODE BEGIN 0 */ a /* USER CODE END 0 */ należy dodać kod funkcji ***FIR_GetValue*** odpowiedzialnej za wyznaczanie nowej próbki wyjściowej filtru, jak to przedstawione poniżej.

```
160 float FIR_GetValue(FIR_Cfg_t *hCfg, float value) {
161     int32_t i;
162     float y = 0.0f;
163 
164     hCfg->x[0] = value;                     // Dodanie próbki do bufora
165     for (i = 0; i < hCfg->n; i++) {         // Suma iloczynów
166         y += (hCfg->h[i]) * (hCfg->x[i]);
167     }
168     for (i = (hCfg->n - 2); i >= 0; i--) {  // Przesunięcie bufora
169         hCfg->x[i+1] = hCfg->x[i];
170     }
171 
172     return y;
173 }
```

2.3.1. Implementacja filtru FIR o średniej kroczącej (3 pkt.)

Filtr o średniej kroczącej jest to rodzaj filtru dolnoprzepustowego wyznaczający średnią arytmetyczną *N* ostatnich próbek sygnału. Wszystkie współczynniki tego filtru są równe 1/*N*, a jego rząd jest równy *N*. Konfiguracja pól struktury filtru powinna zostać zrealizowana za pośrednictwem dedykowanej funkcji (***FIR_InitAvr***), która zarezerwuje pamięć dla buforów próbek i współczynników oaz wyznaczy współczynniki filtru ze średnią kroczącą. Należy dodać tą funkcję pomiędzy znaczniki /* USER CODE BEGIN 0 */ a /* USER CODE END 0 */ jak to przedstawione poniżej.

```
149 void FIR_InitAvr(FIR_Cfg_t *hCfg, uint32_t n) {
150     hCfg->n = n;
151     hCfg->x = (float*) malloc(n * sizeof(float));
152     hCfg->h = (float*) malloc(n * sizeof(float));
153 
154     for (uint32_t i = 0; i < n; ++i) {
155         hCfg->x[i] = 0;
156         hCfg->h[i] = 1.0f / n;
157     }
158 }
```

W sekcji kodu znajdującej się pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN PV */ a /* USER CODE END PV */ należy zdefiniować zmienną ***FirAvr***, która posłuży do przechowywania informacji o oscylatorze.

```
72 /* USER CODE BEGIN PV */
73 FIR_Cfg_t FirAvr;
```

Następnie w funkcji ***main*** należy zmodyfikować kod pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN WHILE */ a /* USER CODE END WHILE */ jak to przedstawione poniżej.

```
219     /* USER CODE BEGIN WHILE */
220     float sample;
221     channel_t data;
222     OSC_Init(&Osc1, 1.0f, 100.0f);
223     SWEEP_Init(&Sweep1, &Osc1, 1.0f, DSP_CODEC_Fs / 2, 0.5f);
224     FIR_InitAvr(&FirAvr, 11);
225     while (1) {
226         if (DataNew == SET) {
227             // Wyznaczenie nowej próbki
228             sample = SWEEP_GetValue(&Sweep1);
229             // Wyznaczenie próbki po przejściu przez filtr
230             sample = FIR_GetValue(&FirAvr, sample);
231             // Ustawienie poziomu na podstawie potencjometru
232             // Zamiana na liczbę całkowitą
233             data = DSP_GetChannelSampleFromValue(sample);
234             // Skopiowanie sygnału wejściowego z mikrofonu
235             DataOut = DataIn;
236             // Modyfikacja zawartości kanału 0
237             DataOut.channel[0] = data;
238             // Skasowanie flagi przetwarzania
239             DataNew = RESET;
240         }
241         /* USER CODE END WHILE */
```

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przetestować. Działanie programu przedstawić prowadzącemu zajęcia do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 2.3.1 – filtr o średniej kroczącej***”.

2.3.2. Implementacja filtru FIR o kształtowanej charakterystyce (3 pkt.)

Cyfrowa filtracja sygnału z użyciem filtru FIR o charakterystyce wyznaczonej na podstawie podanych parametrów wymaga dodania zmodyfikowanej postaci funkcji inicjującej strukturę filtru. Należy dodać tą

funkcję ***FIR_Init*** pomiędzy znaczniki /* USER CODE BEGIN 0 */ a /* USER CODE END 0 */ jak to przedstawione poniżej.

```
159 void FIR_Init(FIR_Cfg_t *hCfg, uint32_t n, float * h) {
160     hCfg->n = n;
161     hCfg->x = (float*) malloc(n * sizeof(float));
162     hCfg->h = h;
163 
164     for (uint32_t i = 0; i < n; ++i) {
165         hCfg->x[i] = 0;
166     }
167 }
```

Następnie w funkcji ***main*** należy zmodyfikować kod pomiędzy znacznikami /* USER CODE BEGIN WHILE */ a /* USER CODE END WHILE */ jak to przedstawione poniżej.

```
231     /* USER CODE BEGIN WHILE */
232     float sample;
233     channel_t data;
234     OSC_Init(&Osc1, 1.0f, 100.0f);
235     SWEEP_Init(&Sweep1, &Osc1, 1.0f, DSP_CODEC_Fs / 2, 0.25f);
236     FIR_Init(&FirAvr, (uint32_t)N, (float *)h);
237     while (1) {
238         if (DataNew == SET) {
239             // Wyznaczenie nowej próbki
240             sample = SWEEP_GetValue(&Sweep1);
241             // Wyznaczenie próbki po przejściu przez filtr
242             sample = FIR_GetValue(&FirAvr, sample);
243             // Ustawienie poziomu na podstawie potencjometru
244             // Zamiana na liczbę całkowitą
245             data = DSP_GetChannelSampleFromValue(sample);
246             // Skopiowanie sygnału wejściowego z mikrofonu
247             DataOut = DataIn;
248             // Modyfikacja zawartości kanału 0
249             DataOut.channel[0] = data;
250             // Skasowanie flagi przetwarzania
251             DataNew = RESET;
252         }
253         /* USER CODE END WHILE */
```

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przetestować. Działanie programu przedstawić prowadzącemu zajęcia do ocenienia. Po zatwierdzeniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 2.3.2 – filtr FIR o kształtowanej charakterystyce***”.

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.

3.1.1. Implementacja modulacji amplitudy sygnałem harmonicznym (3 pkt.)

Zadanie to polega na zademonstrowaniu modulacji amplitudy sygnału nośnego o częstotliwości f_0 = 500 Hz i amplitudzie A_0 = 1,0 V sygnałem modulującym f_m = 50 Hz, amplitudzie A_m = 0,25 V i składowej stałej A = 0.5 V.

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przetestować. Działanie programu przedstawić prowadzącemu zajęcia. Po zatwierdzeniu i ocenieniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 3.1.1 – modulacji amplitudy sygnałem harmonicznym*”.**

3.1.2. Modulacja częstotliwości sygnałem harmonicznym (4 pkt.)

Zadanie to polega na zademonstrowaniu modulacji częstotliwości sygnału nośnego o częstotliwości f_0 = 500 Hz i amplitudzie A_0 = 1,0 V sygnałem modulującym f_m = 5 Hz, amplitudzie A_m = 1,0 V. Należy przyjąć dewiację częstotliwości k = ±400 Hz.

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przetestować. Działanie programu przedstawić prowadzącemu zajęcia. Po zatwierdzeniu i ocenieniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 3.1.2 – modulacja częstotliwości sygnałem harmonicznym***”.

3.1.3. Projekt filtru pasmowo zaporowego na bazie filtru dolnoprzepustowego (7 pkt.)

Korzystając z własności funkcji transmitancji filtru cyfrowego i kombinacji połączenia filtrów równolegle i szeregowo przygotować filtr pasmowozaporowy.

Przygotowany program należy skompilować, uruchomić i przetestować. Działanie programu przedstawić prowadzącemu zajęcia. Po zatwierdzeniu i ocenieniu wykonać migawkę z komentarzem „***Zadanie 3.1.3 – modulacja częstotliwości sygnałem harmonicznym***”.