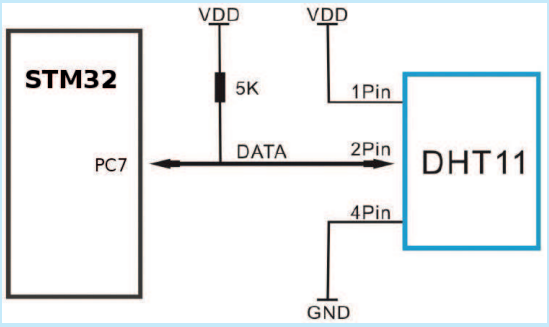
Czujnik DHT11 jest członkiem większej rodziny zintegrowanych czujników wilgotności i temperatury. Różnią się one precyzją pomiarów, natomiast są kompatybilne pod względem rozmieszczenia wyprowadzeń i sposobu komunikacji z systemem nadrzędnym. W **tabeli 1** umieszczono najważniejsze parametry 3 typów czujników.

Sensor DHT11 ma 4 wyprowadzenia. Mają one następujące funkcje:

1. VDD – zasilanie czujnika.
2. DATA – linia danych.
3. Nieużywane.
4. GND – masa zasilania.

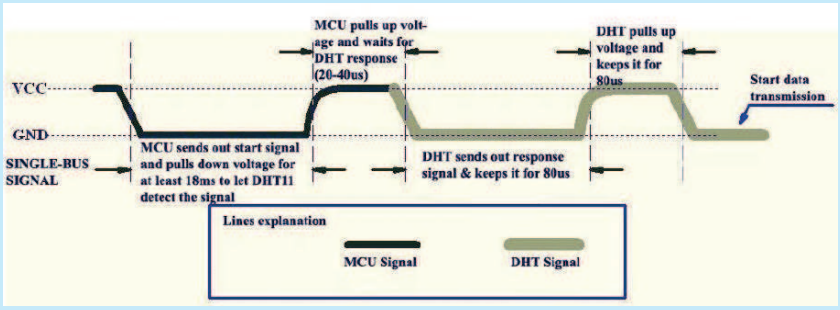
Komunikacja czujnika z kontrolerem STM32 odbywa się za pośrednictwem linii DATA. Typowy schemat podłączenia SHT11 do systemu nadrzędnego pokazano na **rysunku 1**.



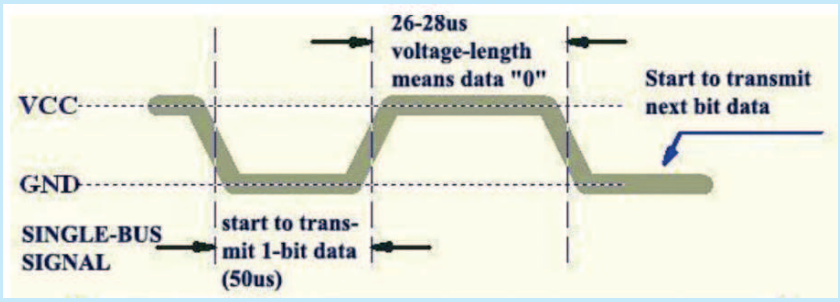
Rysunek 1. Schemat połączenia czujnika SHT11 z systemem nadrzędnym

Komunikacja z czujnikiem wilgotności i temperatury

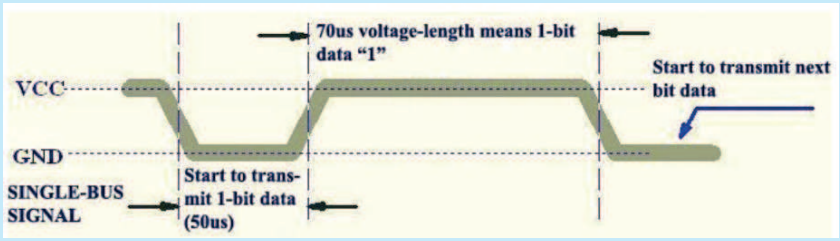
Protokół komunikacji pomiędzy czujnikiem a kontrolerem podobny jest do protokołu 1-Wire. Dane przesyłane są szeregowo magistralą DATA bit po bicie. Bity o wartości logicznej 0 i 1 różnią się czasem trwania. Magistrala w stanie nieaktywnym utrzymywana jest na poziomie wysokim poprzez opornik zasilający (5 kΩ). Kolejną transmisję inicjuje kontroler wymuszając na magistrali poziom niski przez 18 ms. Jeżeli czujnik jest dołączony do magistrali, powinien w czasie nie dłuższym niż 40 µs odpowiedzieć impulsem ujemnym o czasie około 80 µs. Po zakończeniu impulsu i czasie przerwy trwającej 80 µs czujnik rozpoczyna wysyłanie kolejnych bajtów danych zmierzonej wilgotności i temperatury. Na **rysunku 2** pokazano sekwencję inicjującą transmisję. Logiczne 0 i 1 różnią się czasem trwania sekwencji stanu niskiego i wysokiego. Transmisję bitu 0 rozpoczyna ujemny impuls o czasie około 50 µs wysyłany przez czujnik. Następnie, magistrala jest utrzymywana na poziomie wysokim przez 26…28 µs i czujnik rozpoczyna wysłanie kolejnego bitu. Opisaną sytuację pokazano na **rysunku 3**. Transmisję bitu '1' także rozpoczyna ujemny impuls o czasie około 50 µs wysyłany przez czujnik. Następnie magistrala utrzymywana jest w stanie wysokim przez 70 µs i czujnik inicjuje przesłanie kolejnego bitu. Na **rysunku 4** pokazano przebiegi podczas transmisji logicznej 1. Transmisję każdego bajta danych czujnik rozpoczyna od wysłania najstarszego bitu. Każda transmisja składa się z sekwencji 5 bajtów zawierających komplet informacji o zmierzonej wilgotności względnej (RH) w procentach, temperatury w stopniach i sumy kontrolnej. Bajty transmisji wysyłane są w następującej kolejności: wilgotność w procentach, dziesiąte części wilgotności, temperatura w stopniach Celsjusza, temperatura w dziesiątych częściach stopnia, bajt sumy kontrolnej.



Rysunek 2. Sekwencja inicjująca transmisję



Rysunek 3. Transmisja logicznego 0



Rysunek 4. Transmisja logicznej 1

Protokół transmisji dla wszystkich wymienionych w tabeli typów czujników jest identyczny. Dla DHT11 bajty dziesiętne pomiarów będą zawsze wyzerowane, ponieważ jego dokładność ogranicza się do pełnych procentów pomiaru wilgotności i pełnych stopni temperatury. Sumę kontrolną oblicza się dodając do siebie wartości kolejnych bajtów wilgotności i temperatury. Bajtem kontrolnym jest LSB tak obliczonej sumy.

Założenia projektu testowego

Przykładowe procedury obsługi czujnika wykonano jako część projektu testowego termometru z higrometrem. Zmierzone wartości wilgotności względnej i temperatury mają być wyświetlane na 2-liniowym wyświetlaczu alfanumerycznym LCD. Cykle pomiaru i wyświetlania mają być dodatkowo sygnalizowane świeceniem diod LED. Błąd komunikacji z czujnikiem jest sygnalizowany za pomocą diody LED. Jako platformę sprzętową zastosowano Panel Edukacyjny z dołączonym przewodami czujnikiem DHT11. Listę połączeń sensora z Panelem Edukacyjnym umieszczono w **tabeli 2**. Przełącznik S13 powinien być usunięty lub ustawiony w pozycji

„otwarty”, zwory na JP6 założone, a wyświetlacz LCD umieszczony w gnieździe J5.

Przygotowanie projektu dla środowiska CooCox

Projekt testowy opracowano za pomocą środowiska CooCox, jednak wydzielone pliki procedur obsługi czujnika bez problemu dadzą się przenieść do innego zintegrowanego IDE np. Keil.

Po otwarciu środowiska CooCox rozpoczynamy nowy projekt od wybrania z menu *Project* opcji *New Project*. Następnie, podajemy nazwę i ścieżkę dostępu do katalogu, w którym projekt ma być umieszczony. Wybieramy typ kontrolera, dla którego projekt ma być kompilowany. Dla Panelu Edukacyjnego będzie to STM32F103RC. Kolejnym krokiem jest dodanie niezbędnych bibliotek. Otwieramy *View* ➞ *Repository* i zaznaczamy: C Library, CMSIS Core, CMSIS Boot, RCC, GPIO, TIM, MISC. Zaznaczone składniki zostaną dodane automatycznie do projektu. Na koniec otwieramy *View* ➞ *Configuration* i wybieramy opcję *Link* ➞ *Use base C Library*. W tym momencie szkielet programu został utworzony. Pozostało dopisać własne procedury, w tym te obsługujące komunikację i odczyt pomiarów z czujnika.

Listing 1. Deklaracja i inicjowanie portu PC7

```
//LINIA_S_WIRE_PC7 linia I/O magistrali SINLE-WIRE (PC7)
#define LINIA_S_WIRE_PC7_PORT       GPIOC
#define LINIA_S_WIRE_PC7_PORT_NUM   GPIO_PortSourceGPIOC
#define LINIA_S_WIRE_PC7_CLK        RCC_APB2Periph_GPIOC
#define LINIA_S_WIRE_PC7_PIN        GPIO_Pin_7
#define LINIA_S_WIRE_PC7_PIN_SOURC  GPIO_PinSource7

//procedura konfiguracji linii SINGLE-WIRE
void GPIO_Linie_S_W_Konfig(void)
{
    GPIO_InitTypeDef  GPIO_InitStructure;
    /* Enable the GPIO Clock */
    RCC_APB2PeriphClockCmd(LINIA_S_WIRE_PC7_CLK, ENABLE);
    /* Configure the GPIO pin*/
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = LINIA_S_WIRE_PC7_PIN;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode =GPIO_Mode_Out_OD ;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_2MHz;
    GPIO_Init(LINIA_S_WIRE_PC7_PORT, &GPIO_InitStructure);
    /* Enable the Alternate function Clock */
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_AFIO, ENABLE);
    //remapowanie funkcji TIMER3 i przypisanie do PC7
    GPIO_PinRemapConfig (GPIO_FullRemap_TIM3 , ENABLE);
}
```

Tabela 2. Połączenie czujnika DHT11 z Panelem Edukacyjnym

Wyprowadzenie czujnika	Złącze Panelu Edukacyjnego
1 (VDD)	3V3
2 (DATA)	PC7
4 (GND)	GND

Listing 2. Manipulowanie poziomem linii PC7

```
//----------------------------------------
//ustawienie linii SINGLE-WIRE
void GPIO_Linie_S_W_High(void)
{
    LINIA_S_WIRE_PC7_PORT->BSRR =LINIA_S_WIRE_PC7_PIN;
}
//----------------------------------------
//zerowanie linii SINGLE-WIRE
void GPIO_Linie_S_W_Low(void)
{
    LINIA_S_WIRE_PC7_PORT->BRR =LINIA_S_WIRE_PC7_PIN;
}
//----------------------------------------
//procedura odczytu stanu linii SINGLE-WIRE
uint32_t GPIO_Linie_S_W_Odczyt(void)
{
    return GPIO_ReadInputDataBit(LINIA_S_WIRE_PC7_PORT, LINIA_S_WIRE_PC7_PIN);
}
```

Listing 3. Inicjowanie Timera 3

```
/* TIMER3 taktowany wewnętrznym zegarem z częstotliwością 1MHz dla
   rozdzielczości pomiaru lus TIM_Channel_2 (PC7) zatrzaskuje stan
   licznika TIM3 zboczem narastającym i opadającym procedury inicjacji
   TIMER3 */
void TIMER3_Inicjacja(void)
{
    TIM_TimeBaseInitTypeDef  TIM_TimeBaseStructure;
    TIM_ICInitTypeDef  TIM_ICInitStructure;
    TIM_OCInitTypeDef  TIM_OCInitStructure;
    uint16_t PrescalerValue = 0;
    #define TAKTOWANIE_1MHz  1000000

    //TIM3 clock enable
     RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM3, ENABLE);
    //TIM3 disable counter
    TIM_Cmd(TIM3, DISABLE);
    //konfiguracja TIM3
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period =0xFFFF;//do pomiaru wykorzystano 16 bitów
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 0;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0;
    TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;//zliczanie „do góry”
    TIM_TimeBaseInit(TIM3, &TIM_TimeBaseStructure);
    // Prescaler configuration
    PrescalerValue = (uint16_t) (SystemCoreClock / (TAKTOWANIE_1MHz)) - 1;
    TIM_PrescalerConfig(TIM3, PrescalerValue, TIM_PSCReloadMode_Immediate);
    //konfiguracja kanału 2 do przechwycenia stanu TIMER3 w momencie podania
    //padającego zbocza na wejście PC7
    TIM_ICInitStructure.TIM_Channel =TIM_Channel_2;
    TIM_ICInitStructure.TIM_ICFilter =0x0F;
    TIM_ICInitStructure.TIM_ICPolarity =TIM_ICPolarity_Falling;//TIM_ICPolarity_BothEdge
    TIM_ICInitStructure.TIM_ICPrescaler =TIM_ICPSC_DIV1;
    TIM_ICInitStructure.TIM_ICSelection =TIM_ICSelection_DirectTI;
    TIM_ICInit(TIM3, &TIM_ICInitStructure) ;
    //konfiguracja kanału 4 do pracy jako Stoper mierzący odcinki czasu 1-65535us
    TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_Timing;
    TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable;
    TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 1000;
    TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity = TIM_OCPolarity_High;
    TIM_OC4Init(TIM3, &TIM_OCInitStructure);
    TIM_OC4PreloadConfig(TIM3, TIM_OCPreload_Disable);
    /* TIM CC2 IT enable */
    flaga_zbocza =FALSE;
    TIM_ClearITPendingBit(TIM3, TIM_IT_CC2);
    TIM_ITConfig(TIM3, TIM_IT_CC2, ENABLE);
    //włączenie licznika
    TIM_Cmd(TIM3, ENABLE);
}
```

Listing 4. Procedura ustawienia kanału 4 do pracy jako stoper

```
//wykorzystany Timer3 i kanał CC4
//odliczanie czasu przerwy z rozdzielczoscią 1us przez Stoper1
void Start_Stoper1(uint16_t odliczany_czas_us)
{
    TIM_OCInitTypeDef  TIM_OCInitStructure;
    uint16_t CCR4_Val;
    /* Output Compare Timing Mode configuration: Channel4 */
    TIM_ITConfig(TIM3, TIM_IT_CC4, DISABLE);
    CCR4_Val=TIM_GetCounter(TIM4);
    CCR4_Val = CCR4_Val + odliczany_czas_us;
    TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_Timing;
    TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable;
    TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = CCR4_Val;
    TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity = TIM_OCPolarity_High;
    TIM_OC4Init(TIM3, &TIM_OCInitStructure);
    TIM_OC4PreloadConfig(TIM3, TIM_OCPreload_Disable);
    /* TIM CC4 IT enable */
    flaga_stopera1 =FALSE;
    TIM_ClearITPendingBit(TIM3, TIM_IT_CC4);
    TIM_ITConfig(TIM3, TIM_IT_CC4, ENABLE);
}
```

Listing 5. Obsługa przerwania Timer'a 3 oraz konfigurowanie NVIC

```
//---------------------------
//TIM3 obsługa przerwania
void TIM3_IRQHandler(void)
{
    if (TIM_GetITStatus(TIM3, TIM_IT_CC2) != RESET)
    {
        //kanał CC2 wyzwalany zboczem przechwytuje stan TIM3
        TIM_ClearITPendingBit(TIM3, TIM_IT_CC2);
        flaga_zbocza=TRUE;
    }

    if (TIM_GetITStatus(TIM3, TIM_IT_CC4) != RESET)
    {
        //kanał CC4 steruje odliczaniem czasu Stopera1
        TIM_ClearITPendingBit(TIM3, TIM_IT_CC4);
        //wyłączenie przerwania kanału
        TIM_ITConfig(TIM3, TIM_IT_CC4, DISABLE);
        flaga_stopera1=TRUE;
    }
}

//w pliku Procedury_Ogolne.c
void NVIC_Configuration(void)
{
    NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
    /* Configure the NVIC Preemption Priority Bits */
    NVIC_PriorityGroupConfig(NVIC_PriorityGroup_2);
    /*Enable the TIM3 gloabal Interrupt */
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = TIM3_IRQn;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 1;
    NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;
    NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);
}
```

Katalogi projektu

Na pulpicie CooCox-a w okienku *Project* jest wyświetlone drzewo katalogów projektu. Po przygotowaniu szkieletu projektu powinno być już częściowo zapełnione automatycznie utworzonymi katalogami. Przy dodawaniu do projektu własnych plików z procedurami, użytkownik sam tworzy dodatkowe grupy katalogów i plików. Najłatwiej robi się to po kliknięciu prawym przyciskiem myszy na pierwszą pozycję w okienku *Project* będącą nazwą projektu. Z wyświetlonej listy wybiera się pozycję *Add Group* i wpisuje nazwę grupy. Logicznie jest tworzenie grup odzwierciedlających rzeczywisty układ podkatalogów projektu na dysku. Klikając w ten sam sposób na nazwę nowo utworzonej grupy i wybierając z wyświetlonej listy pozycję *Add Files* dodaje się do utworzonej grupy pliki już istniejące na dysku.

Po wstępnej fazie przygotowania projektu środowisko CooCox najprawdopodobniej samo utworzy następujące grupy: *cmsis*, *cmsis_boot*, *stm_lib*, *syscalls*, plik z funkcją *main()*. W projekcie testowym przewidziałem następujące dodatkowe grupy, w których znajdą się pliki projektu dodawane przez użytkownika:

- **Procedury_SINGLE_WIRE**. Pliki związane z komunikacją i odczytem danych z czujnika DHT11.
- **Procedury_TIMER**. Pliki związane z użytym w projekcie sprzętowym timerem kontrolera.
- **Procedury_GPIO**. Pliki związane z portami obsługującymi na Panelu Edukacyjnym, między innymi wyświetlacz LCD i diody LED.
- **Procedury_LCD**. Pliki procedur pokazujących informację na wyświetlaczu.
- **Procedury_Podstawowe**. Pliki z procedurami programowych pauz, inicjacją przerwań oraz wydzielony plik na podprogramy przerwań Timera.

Port GPIO do obsługi komunikacji z czujnikiem DHT11

Dekodowanie danych odczytywanych z linii DATA czujnika polega głównie na precyzyjnym pomiarze czasu trwania impulsów kodujących kolejne bity transmisji. W projekcie testowym zdecydowałem się na użycie do pomiaru jednego z wewnętrznych timerów kontrolera w trybie pracy *capture*. W tym trybie można „w locie" zapamiętywać bieżącą wartość timera, gdy wystąpi kolejne zbocze impulsu na linii DATA. Porównanie wartości odpowiadających kolejnym zboczom pozwala na obliczenie czasu trwania impulsu, a tym samym właściwie odczytanie kolejnych bitów transmisji z czujnika.

Wybór padł na TIMER3 i jego kanał 2. Portem współpracującym z tym kanałem jest PC7. I właśnie do tego portu jest dołączana linia DATA. W podkatalogu *Procedury_SINGLE_WIRE* umieszczono pliki *GPIO_S_Wire_Procedury.h* i *GPIO_S_Wire_Procedury.c*, w których są deklaracja i inicjacja portu PC7 (**listing 1**). W efekcie port PC7 będzie pracował jako wyjściowy w trybie otwartego drenu. W tym trybie można zarówno wpływać na poziom sygnału na wyprowadzeniu portu, co jest konieczne do wygenerowania przez kontroler impulsu *Start*, jak i czytać poziom sygnału występującego na porcie, co jest konieczne do sterowania Timerem w trybie *capture*. Dodatkowo, w pliku umieszczono krótkie procedury do ustawienia/zerowania portu i jego odczytu (**listing 2**).

Listing 6. Obsługa transmisji czujnika DHT11

```
//procedura odczytu danych z czujnika DHTxx
char Odczyt_DHTxx(unsigned char *p_bufor)
//we:    wskaźnik do 5 bajtowego buforu odczytu
//wy:    status operacji
{
//zbocze inicjujące, H bajt higro, L bajt higro, H bajt temp, L bajt temp, bajt sumy
    #define ILE_ZBOCZY_TRANSMISJI_DHTXX     (1+8+8+8+8+8)
    extern char flaga_stopera1, flaga_zbocza;
    uint32_t stan_linii;
    uint8_t x, numer_bajtu, numer_bitu, suma;
    uint16_t zbocza_licznik[ILE_ZBOCZY_TRANSMISJI_DHTXX], czas_bitu;
    unsigned char maska, bajt;
    stan_linii =GPIO_Linie_S_W_Odczyt();
    if (stan_linii ==0) return STATUS_BLAD_ZWARCIE;
    //generowanie impulsu START transmisji
    Start_Stoper1(CZAS_SYGNALU_START);
    GPIO_Linie_S_W_Low();
    while (flaga_stopera1==FALSE)
        stan_linii =GPIO_Linie_S_W_Odczyt();
    GPIO_Linie_S_W_High();
    //oczekiwanie na początek sygnału potwierdzenia od DHTxx
    Start_Stoper1(CZAS_STARTU_TRANS_MAX);
    flaga_zbocza =FALSE;
    while (1)
    {
        //detekcja zbocza sygnału potwierdzenia od DHTxx
        if (flaga_zbocza ==TRUE) break;
        if (flaga_stopera1 ==TRUE) return STATUS_BLAD_PRZERWA;
        stan_linii =GPIO_Linie_S_W_Odczyt();
    }
    //oczekiwanie na początek 1 bitu
    flaga_zbocza =FALSE;
    Start_Stoper1(CZAS_STARTU_TRANS_MAX);
    for (x=0; x<ILE_ZBOCZY_TRANSMISJI_DHTXX; x++)
    {
        while(1)
        {
            if (flaga_zbocza ==TRUE)//kolejne zbocze opadające
            {
                zbocza_licznik[x] =Odczyt_CAPTURE2();
                break;
            }
            if (flaga_stopera1 ==TRUE) return STATUS_BLAD_PRZERWA;
        }
        flaga_zbocza =FALSE;
        Start_Stoper1(CZAS_BITU_MAX);
    }
    //odtwarzanie przesłanych bitów
    x=0;
    for (numer_bajtu=0; numer_bajtu <5; numer_bajtu++)
    {
        maska =0x80;
        *(p_bufor+numer_bajtu) =0;
        for (numer_bitu=0; numer_bitu<8; numer_bitu++)
        {
            if (zbocza_licznik[x+1] > zbocza_licznik[x])
            {
                czas_bitu =zbocza_licznik[x+1] - zbocza_licznik[x];
            }
            else
            {
                //pomiędzy 2 zboczami zawartosć licznika się przewinęła
                czas_bitu =(0xFFFF+1) -zbocza_licznik[x];
                czas_bitu =czas_bitu + zbocza_licznik[x+1];
            }
            if (czas_bitu >CZAS_BITU_LOW_MAX)
            {
                //przesłany bit jest '1'
                bajt =*(p_bufor+numer_bajtu);
                bajt =bajt | maska;
                *(p_bufor+numer_bajtu) =bajt;
            }
            x++;
            maska =maska >>1;
        }
    }
    suma =*(p_bufor+0) +*(p_bufor+1) +*(p_bufor+2) +*(p_bufor+3);
    if (suma !=*(p_bufor+4)) return STATUS_BLAD_SUMY;
    return STATUS_SUKCES;
}
```

Konfigurowanie licznika Timer 3

W podkatalogu *Procedury_TIMER* umieszczono pliki *Procedury_TIMER.c* i *Procedury_TIMER.h*. Zawierają one procedury inicjowania i obsługi Timera 3, którego kanał 2 funkcjonuje w trybie *capture*. Zamieszczono je na **listingu 3**. W efekcie timer będzie taktowany sygnałem o częstotliwości 1 MHz, co zapewnia rozdzielczość pomiaru impulsów równą 1 µs. Timer będzie liczył nieprzerwanie od wartości 0000h do FFFFh i po przepełneniu znów od 0000h. Kanał 2 timera zaprogramowano do pracy w trybie *capture*, w którym zatrzaskuje aktualn stan licznika po wystąpieniu zbocza opadającego na wejściu portu PC7. Procedurę pozwalająca odczytać zatrzaśniętą może być zaimplementowana, jak niżej:

```
//odczyt rejestru CAPTURE2 ze stanem TIMER3
//zatrzaśniętym zboczem na porcie PC7
uint16_t Odczyt_CAPTURE2(void)
{
   uint16_t zawartosc_CAPTURE2;
  zawartosc_CAPTURE2 =TIM_GetCapture2 (TIM3);
   return zawartosc_CAPTURE2;
}
```

Dodatkowo, kanał 4 Timer'a 3 użyto jako *Stoper1* odmierzający odcinki czasu z zakres 1…65535 µs. Procedurę ustawienia kanału 4 do pracy jako stoper pokazano na **listingu 4**.

```
Listing 7. Pętla główna programu
while(1)
{
    GPIO_Linie_IO_Low(LINIA_LED1_WY);
    GPIO_Linie_IO_Low(LINIA_LED4_WY);
    GPIO_Linie_IO_High(LINIA_LED8_WY);
    status =Odczyt_DHTxx(&bufor_pomiar[0]);
    GPIO_Linie_IO_Low(LINIA_LED8_WY);
    if (status ==STATUS_SUKCES)
    {
        snprintf(&bufor_disp[0], 20, „%3d.%1d%c  %3d.%1dC   \n",bufor_pomiar[0],
                 bufor_pomiar[1], '%', bufor_pomiar[2], bufor_pomiar[3]);
        Disp_Wyswietl_txt(&bufor_disp[0], 16);
        GPIO_Linie_IO_High(LINIA_LED4_WY);
    }
    if (status ==STATUS_BLAD_ZWARCIE)
    {
        Disp_Wyswietl_txt(LCD_EKRAN_ZWARCIE, 0);
        GPIO_Linie_IO_High(LINIA_LED1_WY);
    }
    if (status ==STATUS_BLAD_PRZERWA)
    {
        Disp_Wyswietl_txt(LCD_EKRAN_PRZERWA, 0);
        GPIO_Linie_IO_High(LINIA_LED1_WY);
    }
    if (status ==STATUS_BLAD_SUMY)
    {
        Disp_Wyswietl_txt(LCD_EKRAN_SUMA_ER, 0);
        GPIO_Linie_IO_High(LINIA_LED1_WY);
    }
    Delay_ms(1000);
}
```

Konfigurowanie przerwań Timera

Zatrzaśnięcie chwilowej wartości Timera przy opadającym zbocza i odliczenie czasu przez *Stoper1* będą generowały przerwania. Procedurę przerwania standardowo umieszcza się w pliku *stm32f10x_it.c*. Na końcu pliku należy dodać procedurę obsługi przerwań oraz zainicjować NVIC – **listingu 5**. Działanie procedury sprowadza się do ustawienia flag (zmiany wartości rejestrów) sygnalizujących zaistnienie zdarzenia. **Uwaga:** procedurę konfigurującą NVIC umieszczono w w pliku *Procedury_Ogolne.c*. Pliki *stm32f10x_it.c* i *Procedury_Ogolne.c* umieściłem we wspólnym podkatalogu *Procedury_Podstawowe*.

Procedura obsługi transmisji z czujnika DHT11

Procedura znajduje się w pliku *DHTxx_Procedury.c* w podkatalogu *Procedury_SINGLE_WIRE*. Cała procedura zamieszczono na **listingu 6**. Na początku procedura odczytuje poziom na linii DATA. Jeżeli jest on niski, procedura zwraca kod błędu *STATUS_BLAD_ZWARCIE*. Potem jest generowany impuls *Start* o czasie trwania 18 ms. Do odmierzania czasu impulsu użyto czasomierza *Stoper1*. Jeżeli w określonym czasie czujnik nie odpowie oznacza to albo przerwanie magistrali, albo brak dołączonego czujnika. W takim wypadku procedura kończy się zwracając kod błędu *STATUS_KLAD_PRZERWA*. Następnie w pętli procedura oczekuje na wystąpienie 41 kolejnych zboczy opadających w trakcie transmisji z czujnika. Jeżeli podczas odbioru transmisja zostanie przerwana procedura kończy się z kodem błędu. Następnie procedura przystępuje do odtwarzania odebranych bajtów transmisji z czujnika. Jeżeli czas pomiędzy pojawieniem się kolejnych zboczy opadających był bliski 80 µs oznacza to, że przesłany z czujnika bit miał wartość 0. Jeżeli czas był bliski 120 µs oznacza to, że przesłanym bitem była 1. Na koniec procedura oblicza sumę kontrolną i porównuje z przesłaną. W wypadku niezgodności jest zwracany kod błędu *STATUS_BLAD_SUMY*. Jeżeli wszystko przebiegło pomyślnie, procedura zwraca kod *STATUS_SUKCES*. Odczytane bajty pomiarów po kolei zapisane zostają w buforze, do którego wskaźnik został przesłany w wywołaniu procedury.

Wszystko razem

W głównej procedurze *main.c* najpierw są inicjowane porty, timer, NVIC i inne. Następnie, w nieskończonej pętli jest wykonywany odczyt z czujnika i wyświetlanie wyniku pomiaru na wyświetlaczu LCD. Świecenie diod LED sygnalizuje aktualny status urządzenia. Pętlę główną programu pokazano na **listingu 7**. Opisane procedury będą działały z różnymi czujnikami: DHT11, DHT22, AM232, AM2303.

Ryszard Szymaniak, EP

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na FTP: ftp://ep.com.pl, user: 07643, pass: 332wwppm