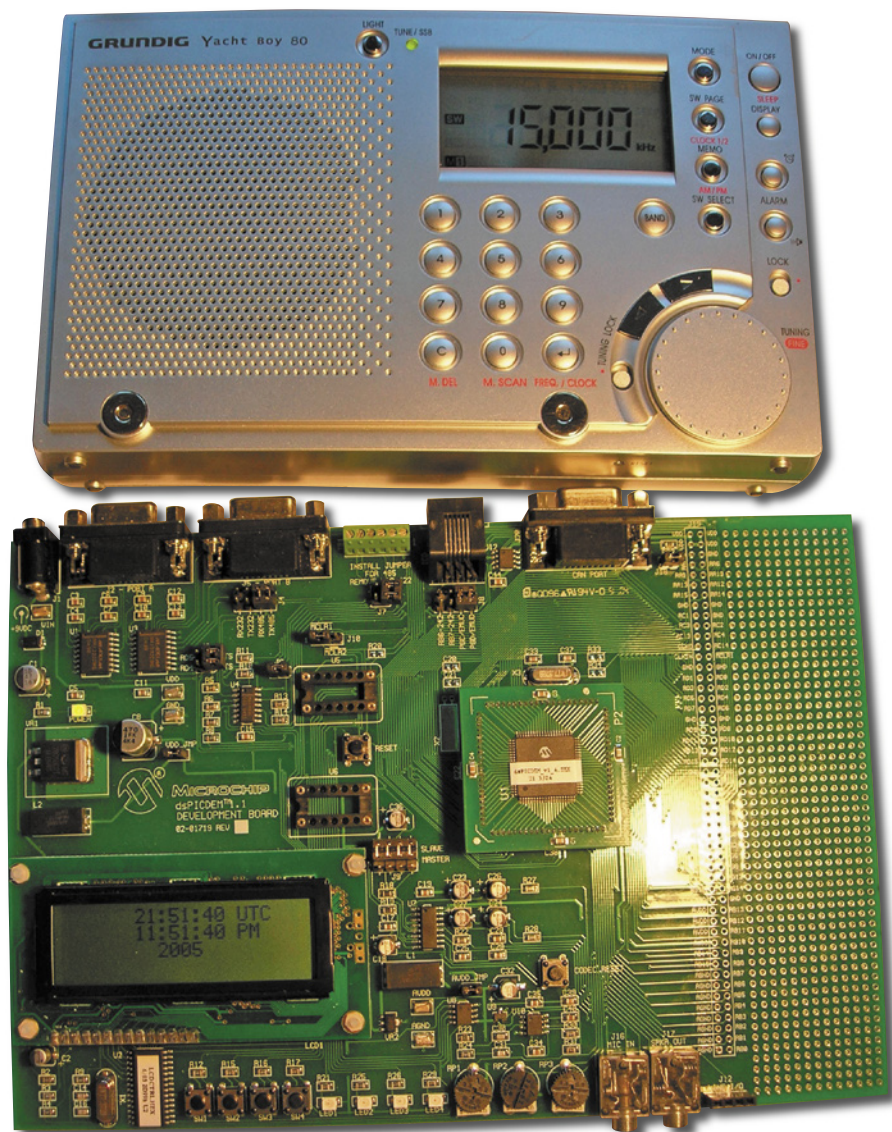




Zegar synchronizowany radiem

Procesory DSP stały się popularne nie tylko wśród profesjonalistów, ale też wśród zaawansowanych amatorów. Mówi się o nich sporo, ale podobnie jak w przypadku logicznych układów programowalnych popularność ta nie przekłada się na dostępność gotowych i dobrze udokumentowanych praktycznych rozwiązań. Przykładem takiej aplikacji jest opisany poniżej bardzo ciekawy kompletny projekt zegara synchronizowanego radiem, w którym wykorzystano procesor z rodziny dsPIC produkowany przez firmę Microchip. Projekt nazywa się WWV Cuckoo Clock, jest autorstwa Moe Wheatley'a i powstał w firmie Moetronix www.moetronix.com.

Rekomendacje: artykuł dedykujemy głównie zaawansowanym elektronikom z dużym zacięciem eksperymentatorskim – wykonanie tego projektu znakomicie pomaga w poznaniu technik DSP.



Jednym z najbardziej znanych cyfrowych zegarów synchronizowanych radiem jest DCF77. DCF77 emituje cyfrowo zakodowany sygnał synchronizacji zegarów czasu rzeczywistego z terenu Niemiec na falach długich o częstotliwości 77 kHz. Sygnał jest odbierany praktycznie w całej Europie, w tym też w naszym kraju. Zegary wykorzystujące DCF77 są dostępne w handlu, ale istnieje też sporo opisów projektów z wykorzystaniem różnych mikrokontrolerów i modułów odbiorczych.

Opisywany tutaj projekt korzysta z amerykańskiego wzorca czasu UTC przesyłanego na falach krótkich. Amerykański standard nazywa się WWV (jego odmiana WWVH) i jest bardzo popularny w Stanach Zjednoczonych.

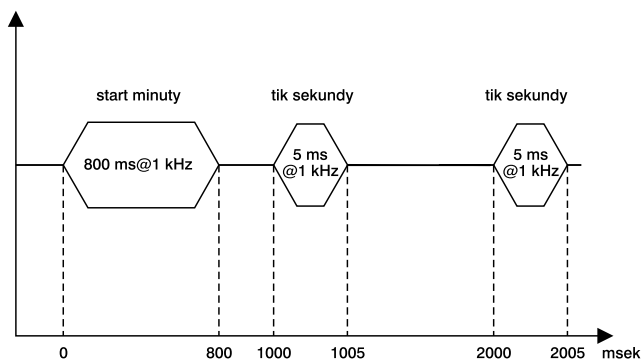
Strefy czasowe – standard UTC

Określanie czasu w odniesieniu do astronomicznego położenia ziemi względem słońca od dawna jest metodą za mało dokładną. Na potrzeby współczesnej cywilizacji zdefiniowano pojęcie czasu uniwersalnego UTC i stref czasowych.

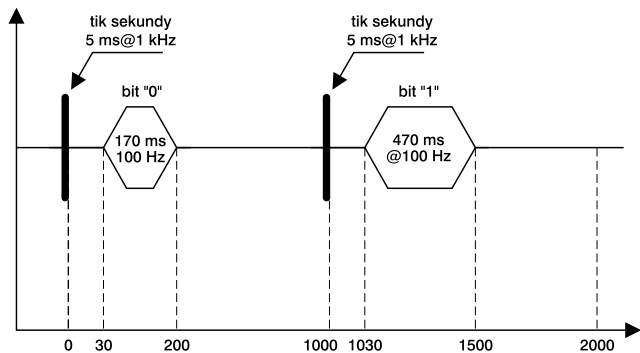
Czas uniwersalny, to czas w miejscach, przez które przechodzi południk zerowy (Greenwich w Wielkiej Brytanii). Czas UTC jest czasem międzynarodowym i względem niego określa się czas stref czasowych. Strefy czasowe różnią się o wielokrotność 1 godziny od czasu UTC. Czas w naszej strefie czasowej (nazywany czasem środkowo europejskim) jest obliczany przez dodanie 2 godzin do czasu UTC. Czas UTC nie

zmienia się w trakcie zmian na czas letni/zimowy i jest liczony w systemie 24 godzinnym.

Trzeba pamiętać, że UTC jest czasem atomowym. Jedna sekunda czasu atomowego upływa po odliczeniu 9192631770 drgań atomów cezu. Taki sposób pomiaru czasu jest bardzo dokładny, ale są zastosowania, w których do obliczeń musi być wykorzystany, tak jak kiedyś, czas obrotu ziemi. Mówimy wówczas o czasie astronomicznym UT1. UT1 jest wykorzystywany w klasycznej nawigacji, astronomii i astronautyce. Czas UT1 nie może się różnić od UTC więcej niż o 1 sekundę. Żeby ten warunek był spełniony, to czas UTC jest korygowany (zwiększany) o 1 sekundę 30 czerwca i 31 grudnia każdego roku. Dodatkowo, co 5 lat UTC jest zwiększany o 4 sekundy.



Rys. 1. Impulsy synchronizacji minut i sekund



Rys. 2. Przesyłanie bitów

Standard WWV

Czas zakodowany w standardzie WWV jest nadawany na falach krótkich na częstotliwościach 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz i 20 MHz z Fort Collins w stanie Kolorado. Przesyłany sygnał ma modulację amplitudową i zawiera:

- informację głosową w języku angielskim
- impulsy (tiki) sekund uzupełnione o tony początku godziny i minuty
- cyfrowo przesyłany czas z rozdzielczością do 1 minuty (minuty, godziny, dni i lata)

Początek każdej godziny jest sygnalizowany przez ton o częstotliwości 1,5 kHz trwający 800 ms. Każda następna minuta w godzinie rozpoczyna się tonem 1 kHz o długości 800 ms

(rys. 1). Co jedną sekundę są nadawane tony 1 kHz trwające 5 ms (tiki sekund). Po każdym tiku sekundowym przesyłany jest jeden bit informacji cyfrowej. Ton o częstotliwości 100 Hz i długości 170 ms to bit „0”. Bit „1” ma długość 470 ms. Przesyłanie bitów rozpoczyna się 30 ms po rozpoczęciu każdej sekundy (rys. 2).

Na rys. 3 pokazano kompletną ramkę danych przesyłaną przez jedną minutę. Ramka jest podzielona na 6 pozycji identyfikacyjnych oznaczonych P0...P5. Każda pozycja identyfikacyjna synchronizowana jest impulsem o czasie trwania 770 ms. Początek ramki danych (pozycja P0) jest identyfikowany przez impuls synchronizacyjny 770 ms i przerwę 1,03 sekundy (w czasie pierwszej sekundy minuty nie są przesyłane dane cyfrowe). W tab. 1 pokazano znaczenie bitów przesyłanych w ramce. Wszystkie wartości są podawane w kodzie BCD.

com/downloads/en/DeviceDoc/dsPICDEM%201.1%20Plus%20UG%2070099d.pdf. Płyta zawiera wszystkie niezbędne elementy zegara. Nie są potrzebne żadne dodatkowe elementy, ani modyfikacje oryginalnego układu. Kompletny zegar wymaga połączenia do złącza J16 (gniazdo jack 3,5 mm) sygnału z wyjścia słuchawkowego (lub głośnikowego) odbiornika krótkofalowego nastrojonego na odbiór jednej z częstotliwości sygnału WWV. Na wyjściu J17 zegar generuje efekty akustyczne. Żeby je odsłuchać trzeba to wyjście połączyć z wejściem wzmacniacza akustycznego lub z małym głośnikiem o impedancji 32 Ω.

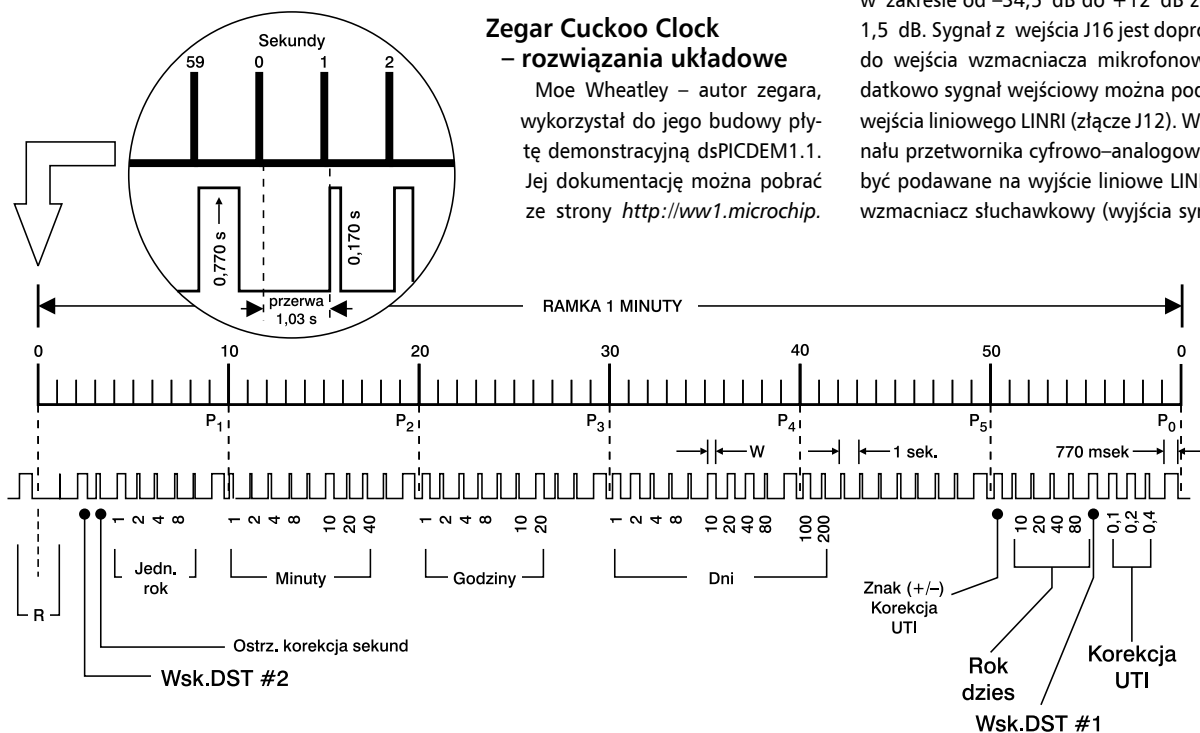
Potencjometr RP1 jest używany do regulacji wzmocnienia sygnału wejściowego, a potencjometr RP3 do regulacji poziomu sygnału wyjściowego. Interfejs użytkownika składa się z klawiatury zbudowanej z mikrostryków SW1...SW4 i graficznego wyświetlacza standardowo montowanego w dsPICDEM1.1. Elementy dsPICDEM1.1 używane w projekcie przedstawiono na rys. 4.

Działanie zegara

Obróbkę danych i impulsów identyfikacyjnych sekund będzie się zajmował procesor DSP. Najpierw trzeba wykonać konwersję sygnału analogowego z wyjścia odbiornika krótkofalowego na postać cyfrową. Sygnał ze złącza J16 jest podawany na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego kodeka Si3000 zamontowanego na dsPICDEM1.1. Si3000 jest kodekiem przeznaczonym do konwersji sygnałów akustycznych z rozdzielczością 16 bitów i częstotliwością próbkowania 4...12 kHz. W torze wejścia analogowego jest umieszczony wzmacniacz mikrofonowy o regulowanym wzmocnieniu w zakresie od -34,5 dB do +12 dB ze skokiem 1,5 dB. Sygnał z wejścia J16 jest doprowadzony do wejścia wzmacniacza mikrofonowego. Dodatkowo sygnał wejściowy można podłączyć do wejścia liniowego LINRI (złącze J12). Wyjście sygnału przetwornika cyfrowo-analogowego może być podawane na wyjście liniowe LINEO lub na wzmacniacz słuchawkowy (wyjścia symetryczne

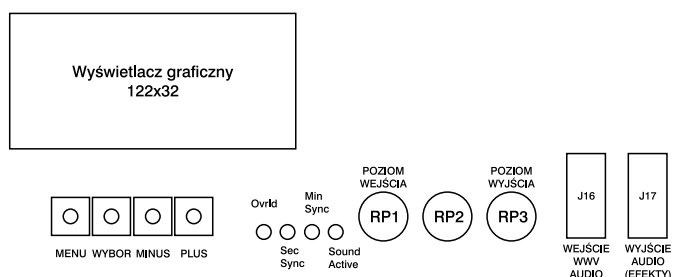
Zegar Cuckoo Clock – rozwiązania układowe

Moe Wheatley – autor zegara, wykorzystał do jego budowy płytę demonstracyjną dsPICDEM1.1. Jej dokumentację można pobrać ze strony <http://wwv1.microchip>.



Rys. 3. Ramka z danymi cyfrowymi WWV

Tab. 1 Bity ramki			
Bit	Opis	Bit	Opis
0	Identyfikacja ramki (przerwa)	30	Dzień roku (waga 1 BCD)
1	Rezerwa	31	Dzień roku (waga 2 BCD)
2	Identyfikator DST	32	Dzień roku (waga 4 BCD)
3	Ostrzeżenie: korekcja sekund	33	Dzień roku (waga 8 BCD)
4	Rok (waga 1 BCD)	34	Rezerwa
5	Rok (waga 2 BCD)	35	Dzień roku (waga 10 BCD)
6	Rok (waga 4 BCD)	36	Dzień roku (waga 20 BCD)
7	Rok (waga 8 BCD)	37	Dzień roku (waga 40 BCD)
8	Rezerwa	38	Dzień roku (waga 80 BCD)
9	Znacznik pozycji P1	39	Znacznik pozycji P4
10	Minuty (waga 1 BCD)	40	Dzień roku (waga 100 BCD)
11	Minuty (waga 2 BCD)	41	Dzień roku (waga 200 BCD)
12	Minuty (waga 4 BCD)	42	Rezerwa
13	Minuty (waga 8 BCD)	43	Rezerwa
14	Rezerwa	44	Rezerwa
15	Minuty (waga 10 BCD)	45	Rezerwa
16	Minuty (waga 20 BCD)	46	Rezerwa
17	Minuty (waga 40 BCD)	47	Rezerwa
18	Rezerwa	48	Rezerwa
19	Znacznik pozycji P2	49	Znacznik pozycji P5
20	godziny (waga 1 BCD)	50	Znak kor. UT1
21	Godziny (waga 2 BCD)	51	Rok (waga 10 BCD)
22	Godziny (waga 4 BCD)	52	Rok (waga 20 BCD)
23	Godziny (waga 8 BCD)	53	Rok (waga 40 BCD)
24	Rezerwa	54	Rok (waga 80 BCD)
25	godziny (waga 10 BCD)	55	Wskaźnik DST
26	godziny (waga 20 BCD)	56	Korekcja UT1 0,1 s
27	Rezerwa	57	Korekcja UT1 0,2 s
28	Rezerwa	58	Korekcja UT1 0,4 s
29	Znacznik pozycji P3	59	Znacznik pozycji P0



Rys. 4. Elementy dsPICDEM1.1 używane w projekcie

SPKRL, SPKRR). W module wyjście głośnikowe jest doprowadzone do złącza J17, a wyjście LI-NEO do złącza J12. Poziom sygnału wyjściowego jest regulowany w zakresie 34,5...+12 dB ze skokiem 1,5 dB.

- Interfejs cyfrowy kodeka składa się z linii:
- SDI – dane wejściowe. Dane są przesyłane z procesora DSP i poddawane konwersji w przetworniku cyfrowo-analogowym na sygnał analogowy,
 - SDO – dane wyjściowe. Z wyjścia przetwornika analogowo-cyfrowego dane są przesyłane do procesora DSP,
 - FSYNC – sygnał identyfikacji początku i końca ramki przesyłanych danych,
 - MCLK – zegar systemowy,
 - SCLK – zegar taktujący przesyłaniem danych na SDI i SDO.
- Linie interfejsu cyfrowego są połączone

z liniami interfejsu DCI (Data Converter Interface) wbudowanego w mikrokontroler dsPIC30F6014 płyty dsPICDEM1.1. Magistrala wymiany danych pomiędzy mikrokontrolerem (DCI) a kodekiem jest zorganizowana na zasadzie master-slave. Układem master jest tutaj mikrokontroler (generuje sygnały zegarowe), a układem slave jest kodek.

Zastosowanie kodeka powoduje, że nie trzeba się troszczyć o wejściowy, analogowy filtr antyaliasingowy. W przetworniku analogowo-cyfrowym zastosowano prosty analogowy filtr dolnoprzepustowy, technikę nadpróbkowania i dolnoprzepustowe filtrowanie cyfrowe.

Układ DCI generuje sygnał FSYNC o częstotliwości 7,2 kHz i na wyjściu SDO przetwornika analogowo-cyfrowego pojawiają się dane o częstotliwości próbkowania 7,2 kHz. Z twierdzenia o próbkowaniu wynika, że pasmo analogowego sygnału wejściowego jest w praktyce ograniczone do ok. 3,3...3,5 kHz. Takie pasmo jest stosowane w przetwarzaniu sygnałów mowy. W sygnałach przesyłanych w systemie WWV najwyższa częstotliwość to 1,5 kHz (ton początku godziny).

Operowanie na danych reprezentujących sygnał o paśmie ponad 3 kHz nie jest potrzebne.

Ograniczenie pasma sygnału z 3 kHz do ok. 1,5 kHz można uzyskać przez filtrowanie dolnoprzepustowe próbek otrzymanych z kodeka. Ograniczone pasmo wymaga mniejszej częstotliwości próbkowania (zgodnie z twierdzeniem Nyquista). W cyfrowym przetwarzaniu sygnałów stosuje się technikę decymacji, czyli operacji polegającej na wybraniu, co którejś próbki (w tym przypadku, co drugiej) ze zgromadzonych próbek. Po decymacji ze współczynnikiem 2 dane reprezentują sygnał o dwukrotnie mniejszym paśmie, (bo częstotliwość próbkowania zmniejszyła się o połowę). Żeby zapobiec zjawisku aliasingu, po decymacji wykonuje się filtrowanie dolnoprzepustowe ograniczające pasmo o połowę.

Program zegara został napisany w języku C i skompilowany kompilatorem MPLAB C-30. Kompilator ma wbudowaną bibliotekę DSP Library. Decymacja z filtrowaniem jest wykonywana przez procedurę biblioteczną FIRDecimate. Argumentami procedury są: liczba próbek wejściowych, wskaźniki na bufor z próbkami wejściowymi i wyjściowymi, wskaźnikiem na bufor ze współczynnikami dolnoprzepustowego FIR i współczynnik decymacji.

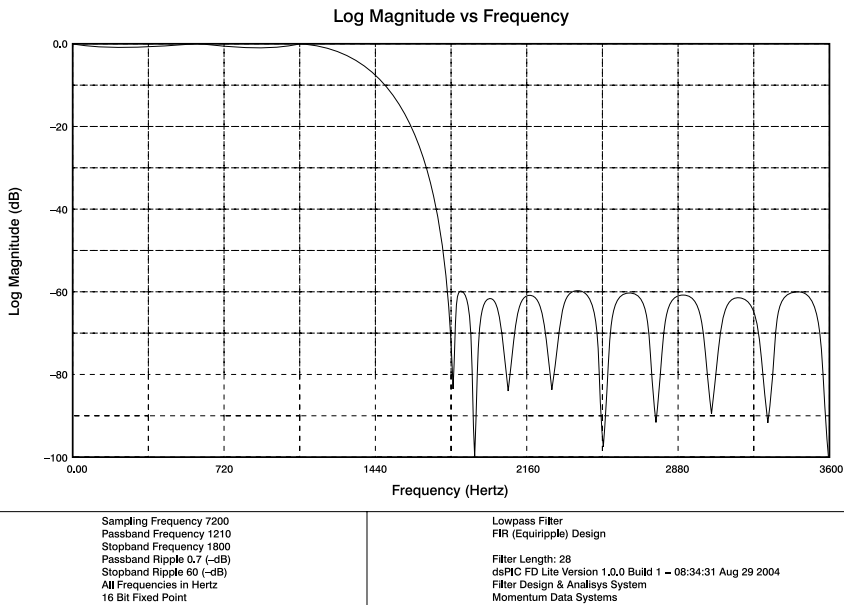
Na wyjściu decymatora mamy próbki reprezentujące sygnał o paśmie tłumionym o -60 dB dla częstotliwości 1800 Hz i częstotliwości próbkowania 3,6 kHz. N rys. 5 pokazano charakterystykę filtru decymatora.

Po decymacji i filtrowaniu obróbka sygnału rozdziela się na 2 tory: tor demodulacji tonów 1 kHz (tików sekundowych) i tor demodulacji danych cyfrowych przenoszonych przez tony 100 Hz.

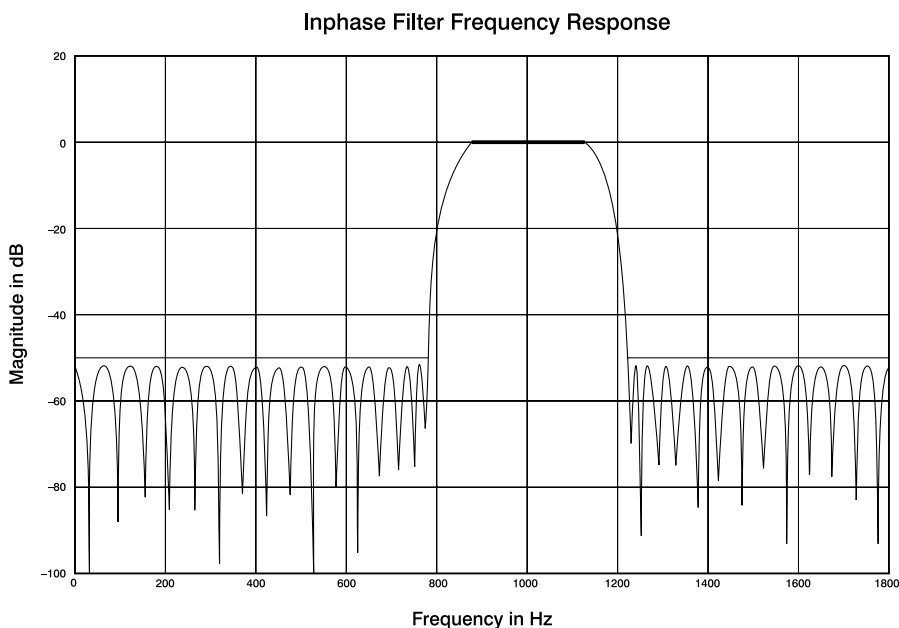
Demodulacja tików sekundowych

Na rys. 1 pokazano przesyłanie tonów identyfikujących początki sekund. Tony mają częstotliwość 1 kHz i trwają 5 ms. Do ich wydzielenia, próbki z wyjścia decymatora poddaje się filtrowaniu filtrem pasmowo-przepustowym. Ponieważ czas trwania impulsu sekundowego wynosi 5 ms, to pasmo przenoszenia filtru jest równe 1/5 ms=200 Hz. Zastosowano tutaj filtr typu FIR z 81 współczynnikami. Charakterystyka filtru została pokazana na rys. 6.

Na wyjściu filtru mamy przebieg sinusoidalny o częstotliwości 1 kHz, który następnie jest poddawany operacji wyliczania wartości bezwzględnej (abs()) i ponownej decymacji przez 4. Decymator jest powiązany z filtrem dolnoprzepustowym ograniczającym pasmo do 200 Hz. Otrzymamy w ten sposób „przesunięcie” sygnału 1000 Hz filtrowanego z pasmem 200 Hz z zakresu 900...1100 Hz do zakresu 0...200 Hz. Częstotliwość próbkowania po decymacji wynosi 450 Hz. Cała energia tiku sekundowego znajduje się teraz w zakresie 0...200 Hz. Pozostaje teraz do wykonania detekcja impulsu sekundowego. Do tego celu został utworzony bufor kołowy, w którym jest



Rys. 5. Charakterystyka filtru decymatora



Rys. 6. Charakterystyka filtru pasmowo-przepustowego

zapisywanych 150 wartości uśrednionej energii sygnału mierzonych przez 6,66 milisekund. Cały bufor zapelnia się, co $150 \cdot 6,66666 \text{ ms} = 1 \text{ s}$. Po kilku sekundach uśredniania jedna lub 2 pozycje w buforze mają wartości dużo większe niż pozostałe. Wartości te określają wykrycie tiku sekundowego.

Do wykrycia wartości maksymalnych bufora kołowego wykorzystano cyklicznie wywołowaną funkcję biblioteczną `VectorMax()` kompilatora MPLAB C-30.

Jeżeli znane są pozycje tików sekundowych, to można wykryć impuls synchronizacji minuty. Trzeba mierzyć energię sygnału przez pierwsze 800 ms każdego interwału sekundowego i porównywać ją z energią mierzoną przez 200 ms przed tikiem sekundowym. Taki pomiar jest możliwy, ponieważ wszystkie pomiary są umieszczane w buforze kołowym.

Demodulacja danych cyfrowych

Moment wykrycia tiku sekundowego jest punktem odniesienia dla wykrywania „podnośnej” 100 Hz z danymi cyfrowymi. Jak to zostało pokazane na rys. 2 po 30 ms od przesłania tiku sekundowego przesyłane są impulsy 100 Hz. Długość impulsu określa przesyłany bit (rys. 2).

Po pierwszej decymacji częstotliwość próbkowania wynosi 3,6 kHz. Impulsy o częstotliwości 100 Hz wymagają teoretycznej częstotliwości próbkowania 200 Hz. Żeby operować na danych bez tak dużej nadmiarowości trzeba poddać je kolejnej decymacji z filtrowaniem dolnoprzepustowym: 3,6 kHz jest najpierw dzielone przez 4, a następnie dzielone przez 2. Oba decymatory są połączone z filtrowaniem dolnoprzepustowym z ograniczeniem pasma do 110 Hz. W efekcie otrzymujemy próbki o częstotliwości próbkowania 450 Hz. Ten sygnał jest filtrowany

przez filtr pasmowo przepustowy 100 Hz, żeby wyizolować sygnał 100 Hz, poddawany operacji wyliczania wartości bezwzględnej (`abs()`) i filtrowany dolnoprzepustowo z ograniczeniem pasma do 100 Hz.

Kiedy zostaną wykryte impulsy początku minuty, można rozpocząć odczytywanie kolejnych bitów z zakodowanym czasem i datą. Przy dobieraniu bitu zerowego wykrywana jest energia sygnału 100 Hz przez 170 milisekund. Wykrywanie jest rozpoczynane 30 ms od startu sekundy. Jedyńka jest przesyłana, kiedy energia sygnału 100 Hz jest wykrywana przez 470 milisekund.

Dekodowanie przesyłanych danych wydaje się proste, bo wystarczy odebrać ton początku minuty, a potem po tikach każdej sekundy kolejne bity danych. Jednak sprawa jest o wiele trudniejsza. Sygnał modulowany amplitudowo nadawany na falach krótkich jest podatny na zakłócenia przemysłowe i od wyładowań atmosferycznych. Do odbiornika może docierać fala bezpośrednia i odbita od górnych warstw atmosfery powodując okresowe zaniki. Dlatego program zegara musi wykonywać silną korekcję odbieranych danych.

Użyta tutaj metoda korekcji polega na uśrednieniu odbieranych bitów przez określona liczbę minut, a następnie wyszukiwanie najbardziej prawidłowej wartości bitu. Procedura odbioru bitu danych `CalcBit()` zwraca -1 kiedy zidentyfikuje zero logiczne, zwraca 0 kiedy nie zidentyfikuje żadnego bitu i zwraca 1 kiedy zidentyfikuje jedynkę logiczną. Wystarczy sumować bity każdej lokacji sekundowej, a znak sumy określi odebrany bit po korekcji. Jest jednak pewien problem. Wartość danych cyfrowych zmienia się co minutę i po każdej zmianie nie można danych sumować z poprzedniej minuty. Rozwiązaniem tego problemu może być zapisywanie wszystkich możliwych kombinacji każdego bitów do tablicy, a potem wyszukiwanie maksymalnej wartości w tej tablicy. W ramce minutowej jest przesyłanych 38 bitów (tab. 1) i do zapisania wszystkich możliwych kombinacji potrzeba 2^{38} lokacji w pamięci, co daje bufor o rozmiarze ok. 278 gigabajtów. Z oczywistych względów takie rozwiązanie nie może być zastosowane w praktyce. Korekcję należy tak zmodyfikować, żeby dane dało się zapisać w rozsądnej

przeprzeni pamięci RAM mikrokontrolera. Wykorzystano tutaj fakt, że dane nie zmieniają się często i są zakodowane w kodzie BCD. Tablicę z danymi podzielono na obszary minut, godzin i ostatnich 2 cyfr roku. Możliwych jest 60 kombinacji minut, 24 kombinacje godzin i 100 kombinacji dziesiątek lat. Taka tablica jest już możliwa do zaimplementowania w pamięci mikrokontrolera.

Na list. 1 pokazano fragment procedury *ProcInput* wykonującej decymację i filtrowanie sygnałów

Uwagi końcowe

Sprawdzenie działania zegara w praktyce było możliwe, ponieważ dysponowałem płytą testową dsPICDEM1.1. W dołączonej do projektu dokumentacji znajduje się opis funkcji menu funkcyjnego pozwalającego na ustawienie zegara, ustawienie poziomu sygnału wejściowego i określenie jakości sygnału WWV.

Na stronie projektu można znaleźć zapisany w formacie mp3 5-minutowy fragment sygnału nadajnika WWV (www.mp3) przeznaczony do testowania zegara. Po zaprogramowaniu mikrokontrolera i zapoznaniu się z menu zegara podłączyłem wyjście audio komputera z wejściem J16 dsPICDEM1.1. Sygnał z odtwarzanego pliku www.mp3 bez problemu ustawiał po swoim godzinie UTC i rok 2004. Pozytywne wyniki tego testu zachęciły mnie do tego, by spróbować zsynchronizować go sygnałem rzeczywistym odbieranym na falach krótkich.

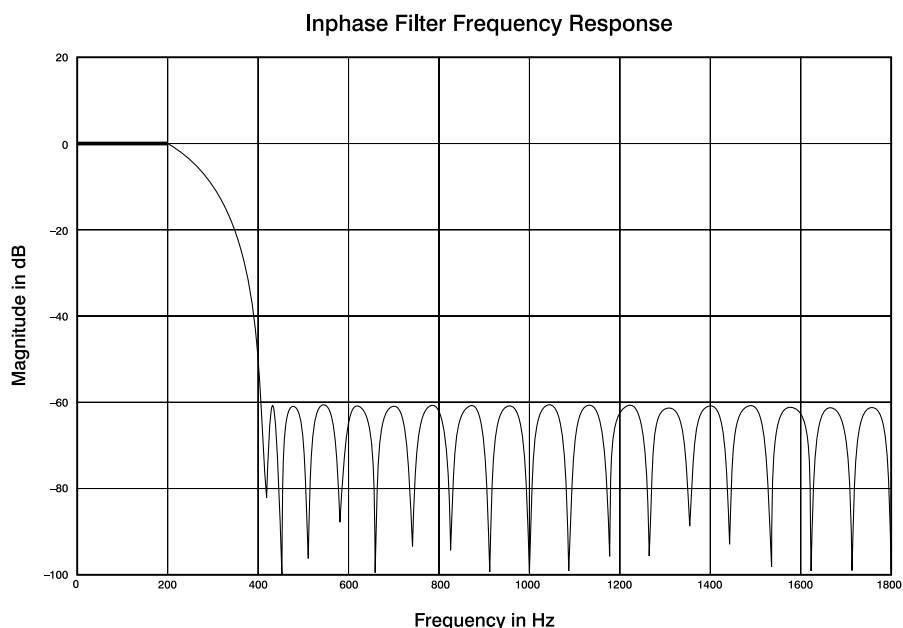
Fale krótkie są odbijane przez górne warstwy atmosfery i mogą być odbierane w dużej odległości od nadajnika. Wykorzystują to krótkofalowcy do łączności DX-owych. Przy sprzyjających okolicznościach sygnał nadawany w Stanach Zjednoczonych powinien być słyszalny w Polsce, tym bardziej, że jest nadawany na kilku różnych częstotliwościach. Do prób odbioru sygnału stacji WWV wykrzystałem odbiornik Grundig Yacht Boy 80. Nie jest to profesjonalny odbiornik krótkofalowy, ale ma kilka cech, które powodują, że mógłby być do tego celu wykorzystany. Odbiornik ma wbudowaną syntezę częstotliwość i odbiera cały zakres fal krótkich. Odbieraną częstotliwość można wpisać z klawiatury i możliwe jest jej przestrajanie z krokiem 1 kHz. Grundig Yacht Boy 80 został zaprojektowany jako tak zwany odbiornik globalny ze szczególnym naciskiem na zakres fal krótkich. Ma odpowiednią czułość, i co ważne, dodatkowe wejście na antena zewnętrzną dla fal krótkich. Po kilkukrotnym przesłuchaniu pliku www.mp3 wiedziałem jak brzmi sygnał zegara. Po nastrojeniu odbiornika do odbioru częstotliwości 5 MHz, 10 MHz i 15 MHz wyraźnie było słychać tiki sekundowe, ale sygnał był zdecydowanie inny niż ten z odtwarzanego pliku. Po przeszukaniu zasobów Internetu dowiedziałem się, że na częstotliwościach

List. 1. Procedura *ProcInput* wykonująca decymację i filtrowanie sygnałów

```
void ProcInput(fractional* pIn)
{
    int i;
    int j;
    //decymacja fs=7200Hz do fs=3600Hz
    FIRDecimate(PROC_BLOCK_SIZE/2, Dec2Buf, pIn, &fDec2LP1800, 2);

    //decymacja 3600Hz do 900Hz dla ścieżki danych 100Hz
    FIRDecimate(PROC_BLOCK_SIZE/(2*4), Buf100, Dec2Buf, &fDec4LP110, 4);

    //filtr dolnoprzepustowy sygnału fs 3600Hz dla filtrowania tiku 1 kHz
    FIR(PROC_BLOCK_SIZE/2, Dec2Buf, Dec2Buf, &fBPTic);
    //demodulacja tików 1 kHz
    CalcABS(PROC_BLOCK_SIZE/2, Dec2Buf); //
    //decymacja demodulacji
    FIRDecimate(PROC_BLOCK_SIZE/(2*4), Dec2Buf, Dec2Buf, &fDec4LP200, 4);
}
```



Rys. 7. Charakterystyka filtru decymatora

o 4 kHz niższych (4,996 MHz, 9,996 MHz i 14,996 MHz) jest nadawany z Moskwy sygnał zegara RWM. Struktura sygnału RWM jest inna niż WWV, a przede wszystkim nie zawiera danych cyfrowych. Zdecydowanie mniejsza odległość i sygnał nadawany tylko o 4 kHz niżej powodował, że mój odbiornik mimo dość dobrej selektywności odbierał na częstotliwościach WWV tylko słaby sygnał RWM. Po wnikliwszym przestudiowaniu struktury RWM okazało się, że co każde pół godziny przez 10 minut sygnał zegara RWM nie jest nadawany. W czasie eksperymentów z zewnętrzną anteną drutową udało mi się odebrać dość wyraźnie sygnał WWV na częstotliwościach 10 MHz i 15 MHz w przerwach RWM. Jednak próba połączenia wyjścia słuchawkowego odbiornika z dsPICDEM1.1 w celu zsynchronizowania zegara zakończyła się niepowodzeniem. Zakłócenia cyfrowe przenoszone przez przewód masowy do odbiornika były zbyt duże, żeby synchronizacja czasu się powiodła. Zastosowanie mikrofonu podłączonego do wejścia J16 i skierowanego w stronę głośnika wyeliminowało zakłócenia przenoszone przez połączenie galwaniczne. Taki zestaw po wielu

próbach przeprowadzanych głównie w nocy udało się raz na krótko zsynchronizować.

Te wszystkie próby miały na celu zaspokojenie mojej ciekawości. Zegar sterowany sygnałem WWV nie będzie miał chyba praktycznego znaczenia w naszym kraju. Duża odległość od nadajnika, a przede wszystkim wpływ sygnału RWM powodowały, że mój odbiornik nie był w stanie odbierać tego sygnału z wystarczającą jakością. Być może profesjonalny odbiornik z dużą dopasowaną anteną poradzi sobie z tym problemem dużo lepiej, ale i tak wykorzystanie praktyczne jest, co najmniej dyskusyjne.

Opisany tutaj projekt zegara pozwala za to na prześledzenie technik DSP stosowanych przy obróbce sygnałów analogowych. Widać tu różnicę w podejściu do problemu filtrowania sygnałów i ich demodulacji w porównaniu z klasycznymi metodami. Każdy, kto chciałby się zmierzyć z praktycznym wykorzystaniem cyfrowego przetwarzania sygnałów musi je poznać i zrozumieć, a projekt zegara może być do tego niezłym wstępem. Podczas analizowania kodu źródłowego należy korzystać z opisu funkcji bibliotek MPLAB C-30 dsPIC Language Tools Libraries.

Zbigniew Grzeszczuk