



Generator DDS na zakres 1 Hz...40 MHz z wobulatorem (2)

W poprzednim artykule opisano warstwę sprzętową generatora DDS oraz zasadę jego działania. W bieżącym podano uwagi odnośnie do sposobu jego montażu oraz uruchomienia. Omówiono również oprogramowanie sterujące.

Układ generatora należy zmontować na dwóch płytkach drukowanych, których schematy montażowe pokazano na **rysunkach 11 i 12**. Na płytce głównej znajduje się m.in. zasilacz generatora, na panelu jego sterowanie. Na **fotografiach 13...15** pokazano szczegóły montażu obu płytek, a na fotografii tytułowej i na **fotografii 16** organizację panelu przedniego i tylnego, dla których projekty zastosowanych maskownic opisów przedstawiono na **rysunku 17**.

Montaż elementów rozpoczynamy od elementów najniższych (rezystory, diody) i kolejno montujemy elementy coraz wyższe (podstawki pod układy scalone, kondensatory, potencjometry, tranzystory i wszelkie elementy łącznikowe). Rozsądne wydaje się zmontowanie i uruchomienie najpierw płytki głównej (poziomej) i przetestowanie poprawności pracy bloku zasilającego ze stabilizatorami liniowymi U1

i U2, dostarczającego napięcia +5 V i +9 V dla całego przyrządu. Stabilizatory U1 i U2 warto wyposażyć w niewielkie radiatory. Układ należy zasilic napięciem 11...14 V ze źródła o wydajności prądowej około 500 mA. Po sprawdzeniu poprawności zasilania należy skontrolować stałoprądowe punkty pracy wzmacniacza sygnału sinusoidalnego z tranzystorami Q1...Q3. Napięcia na wyprowadzeniach tych tranzystorów powinny być następujące:

Q1: Baza – 2,1 V, Kolektor – 6,65 V, Emiter – 1,4 V.

Q2: Emiter – 7,37 V, Kolektor – 2,5 V.

Q3: Kolektor – 5,47 V, Emiter – 1,74 V.

Pewną trudnością może okazać się przygotowanie wsuwek dla modułów DDS, które wykonujemy z przyciętych na odpowiednią długość odcinków żeńskich listew „gold-pin”. Dla modułu U5 wystarczą listwy jednorzędowe, a dla modułu U6 jedną z wsuwek

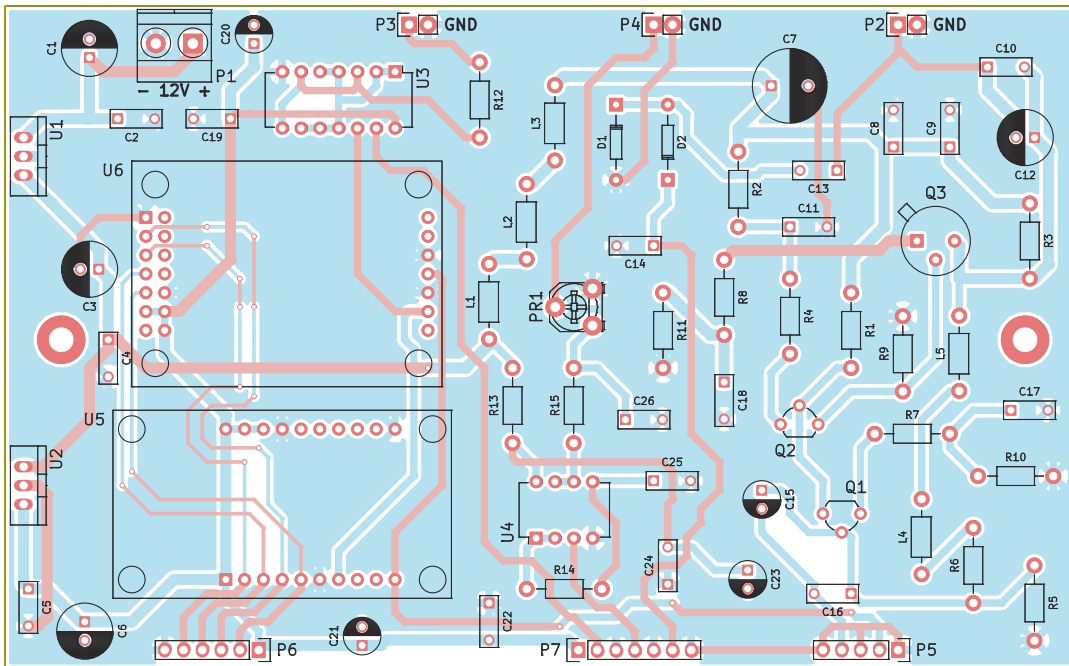
wykonujemy z listwy dwurzędowej lub sklejamy ją na wymiar z dwóch listew jednorzędowych. Jeśli jesteśmy zdecydowani na zastosowanie jednego, konkretnego typu modułu DDS (U5 albo U6), to nie ma potrzeby przygotowywania i montażu wsuwek pod oba typy modułów.

Po zmontowaniu i wstępnym uruchomieniu (na razie bez zainstalowanego modułu DDS) głównej płytki urządzenia należy przystąpić do montażu płytki sterowania,

REKLAMA

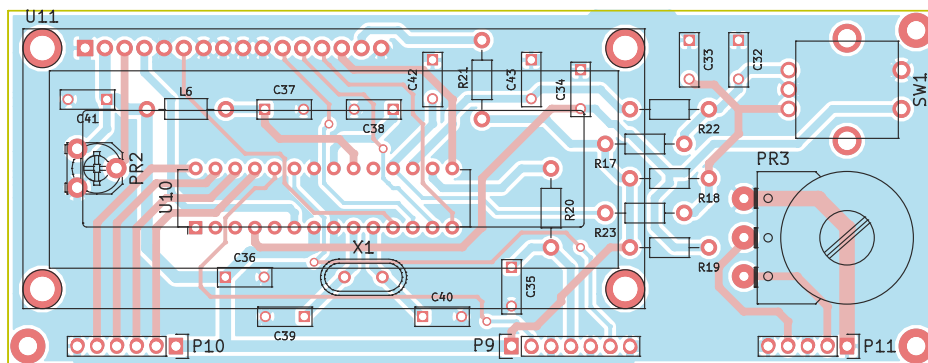
Projekty na...
STM32
www.stm32.eu

montowanej do przedniego panelu urządzenia. 16-pi-nową złączkę-gniazdo dla ekranu LCD (U11) należy przyciąć z odpowiedniego odcinka żeńskiej listwy „goldpin”. Z kolei wyprowadzenia do montażu potencjometru regulacyjnego poziomu sygnału sinusoidalnego PR3 wykonujemy z pięciu segmentów odcinka męskiej listwy „goldpin”, po usunięciu zbędnych pinów (2 i 4). Warto zadbać także o solidne zamontowanie enkodera obrotowego z przyciskiem (SW1), który powinien mieć przylutowane nie tylko wyprowadzenia elektryczne, ale także dwa metalowe mocowania obudowy. Na fotografii 13 pokazano montaż potencjometru PR2 do regulacji kontrastu LCD. Zamontowano go na tylnej stronie PCB po to, by ułatwić dostęp. Na zdjęciu widać także zamontowane na roboczo (w fazie uruchomienia projektu) elementy R22, R23, C42 oraz C43, które zapewniają dodatkową filtrację drgań styków enkodera. W dostępnym w sprzedaży kicie AVT5580 te elementy są zamontowane na płytce drukowanej. Na uwagę zasługuje także montaż rezystora R21, ograniczającego prąd podświetlenia LCD. W modelowym wykonaniu miał on rezystancję 22 Ω, jednak należy dobrać wartość do posiadanego wyświetlacza. Dla ułatwienia doboru R21 w jego miejsce na płytce drukowanej wlutowano odcinek listwy „goldpin”.



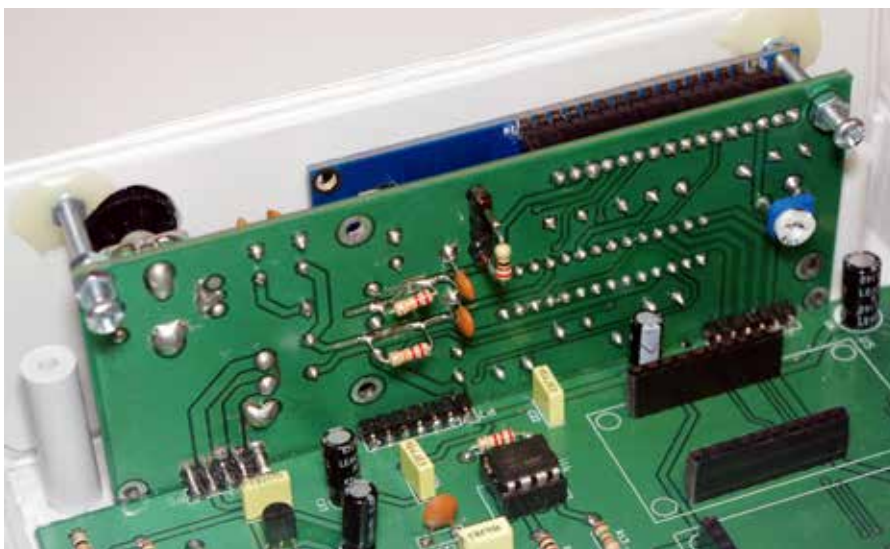
Rysunek 11. Schemat montażowy płyty głównej

Po zmontowaniu obu płytek należy przystąpić do wykonania połączeń. Najlepiej do tego celu nadają się odcinki kątowych męskich listw „goldpin”, za których pomocą łączymy ze sobą porty: P5 i P11, P6 i P10 oraz P7 i P9. Najpierw przycinamy kątowe łączówki na odpowiednią liczbę segmentów, a następnie przesuwamy elementy plastikowe, łączące metalowe kołki, do samego ich zagięcia, co pozwoli zamontować tak przygotowane listwy jak najbliżej głównej (poziomej) płytki drukowanej. Po wprowadzeniu listew do głównej PCB zalutowujemy je od spodu, pilnując, by montaż został wykonany starannie pod kątem prostym do płytki.



Rysunek 12. Schemat montażowy panelu sterującego

Projekty obu płytek drukowanych zostały dopasowane do obudowy typu KM-60 i przed dolutowaniem płytki sterowania (panelowej) do płytki głównej należy wstępnie przypasować odległość montażu do usytuowania całości urządzenia w obudowie. Po ustaleniu odległości montażowych lutujemy starannie płytkę przednią do „goldpinów”



Fotografia 13. Gotowy generator – widok zamontowanego panelu sterującego od tyłu

wyprowadzonych z płytki głównej i możemy przystąpić do wstępnego uruchomienia urządzenia – przed zamontowaniem w obudowie.

Jeśli nie korzystamy z zaprogramowanego mikrokontrolera, to układ ten należy zaprogramować w zewnętrznym gnieździe DIP-28 programatora. W pierwszym kroku

trzeba ustawić bity konfiguracyjne mikrokontrolera zgodnie z rysunkiem 18 (low fusebit: 3F, high fusebit: D7), a następnie wgrać do niego kod z pliku HEX. Po zainstalowaniu mikrokontrolera montujemy wyświetlacz LCD U11 i włączamy główne zasilanie +12 V. Na LCD powinniśmy ujrzeć ekran powitalny,



Fotografia 14. Widok zmontowanego generatora od przodu



Fotografia 15. Widok zmontowanego generatora od tyłu



Fotografia 16. Przykładowe wykonanie i opis tylnego panelu generatora

DODATKOWE MATERIAŁY NA FTP:

<ftp://ep.com.pl>

USER: 77322, PASS: 8qxonzsb

W ofercie AVT*

AVT-5580

Podstawowe informacje:

- Zakres częstotliwości generowanego sygnału: 1 Hz...40 MHz (krok 1 Hz).
- Zakres prędkości wobulacji: 5...40 Hz (krok 1 Hz).
- Wyjście analogowe (sygnał sinusoidalny, regulowana amplituda) i cyfrowe (sygnał prostokątny, CMOS 0/5 V).
- Wyjście sygnału przestrajającego wobulator, które można podać na wejście „X” oscyloskopu.
- Standardowe wejścia/wyjścia o impedancji 50 Ω.
- Złożony z dwóch płytek: sterującej (na panelu czolowym) i głównej.
- Gniazda dla dwóch rodzajów popularnych modułów z AD9850.
- Zasilanie 12...15 V DC/0,25 A.

Projekty pokrewne na FTP:

(wymienione artykuły są w całości dostępne na FTP)

| | |
|----------|---|
| AVT-5444 | Generator DDS (EP 4/2014) |
| AVT-5418 | Cyfrowy generator sygnału prostokątnego (EP 10/2013) |
| AVT-1728 | Generator HF z powielaniem częstotliwości (EP 3/2013) |
| AVT-5155 | Generator DDS (EP 10-11/2008) |
| AVT-1474 | Generator fali prostokątnej o regulowanym współczynniku wypetnienia (EP 8/2008) |
| AVT-5124 | Generator funkcyjny DDS (EP 2/2008) |
| AVT-2846 | Generator funkcyjny 0,1 Hz-20 MHz (EdW 11/2007) |

*** Uwaga:**
Zestawy AVT mogą występować w następujących wersjach:
AVT xxxx UK to zaprogramowany układ. Tylko i wyłącznie. Bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx A płytka drukowana PCB (lub płytki drukowane, jeśli w opisie wyraźnie zaznaczono), bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx B płytka drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx C płytka drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymieniony w załączniku pdf.
AVT xxxx D to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wlotowane w PCB. Należy mieć na uwadze, że o ile nie zaznaczono wyraźnie w opisie, zestaw ten nie ma obudowy ani elementów dodatkowych, które nie zostały wymienione w załączniku pdf.
AVT xxxx CD oprogramowanie (nieczęsto spotykana wersja, lecz jeśli występuje, to niezbędne oprogramowanie można ściągnąć, klikając w link umieszczony w opisie kitu).
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! (UK, A, B lub C). <http://sklep.avt.pl>

pokazany na **fotografii 19**. Potencjometrem PR2 regulujemy kontrast LCD. Po wyłączeniu zasilania montujemy wybrany moduł generatora DDS. Obrysy modułów, namalowane na górnej stronie głównej płytki drukowanej, pomogą w prawidłowym umiejscowieniu modułu w przygotowanym w tym celu gnieździe. Po ponownym włączeniu zasilania powinna zaświecić się także dioda LED, umieszczona na module DDS. Dalszą regulację i konfigurację urządzenia opisano w części artykułu poświęconej obsłudze przyrządu.

W tym miejscu należy poświęcić kilka słów montażowi przyrządu w obudowie. Idealnym rozwiązaniem byłoby zastosowanie obudowy metalowej, która po uziemieniu zapewniałaby ekranowanie. Jakkolwiek, najtańsze i najdogodniejsze w obróbce mechanicznej są fabryczne obudowy, wykonane z tworzyw sztucznych. Projekt opisywanego tutaj urządzenia od samego początku

powstawał z zamiarem użycia obudowy typu KM-60. Po wstępnym przymierzeniu zmontowanego urządzenia do obudowy przykręcamy do niej płytkę główną dwoma wkrętami M3. Następnie wykonujemy w tylnym panelu trzy otwory dla gniazd BNC (fot. 16) oraz otwory dla gniazda zasilania 12 V i włącznika.

Ostatnim elementem konstrukcji mechanicznej urządzenia jest usztywnienie przedniej (pionowej) płytki drukowanej. Jest ono niezbędne z uwagi na naprężenia, które będą występowały na łączeniu obu płytek drukowanych pod wpływem nacisku na enkoder SW1. W egzemplarzu modelowym wzmocnienie wykonano, łącząc dwoma śrubami M2,5 płytkę drukowaną sterowania z przednim panelem.

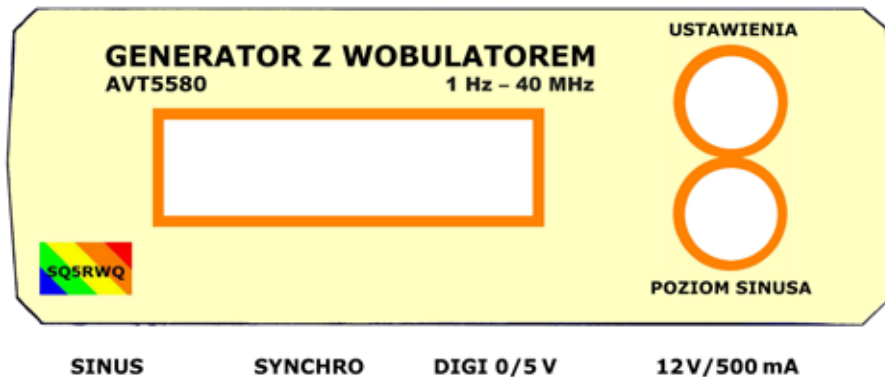
Trwale zamocowane w obudowie urządzenie należy połączyć elektrycznie z wyprowadzeniami sygnałów na gniazdach BNC oraz włącznikiem i gniazdem zasilania +12 V. Z uwagi na brak zagrożenia zwarc wewnątrz zamkniętej obudowy, opisane połączenia można wykonać np. za pomocą srebrzanki o średnicy 0,5 mm.

Oprogramowanie

Program sterujący generatorem napisano w języku Bascom AVR. Kod programu sterującego pracą układu podzielono na cztery listingi 1...4 (ze względu na obszerność, są one dostępne w materiałach dodatkowych), odpowiadające podziałowi na zasadnicze części programu.

Listing 1 obejmuje definicje i deklaracje wstępne wraz z kodem inicjującym urządzenie i pozwalającym wybrać jego zasadniczą funkcję (generator lub wobulator). Pierwsze linijki służą do konfiguracji pracy mikrokontrolera U10 (ATmega8A-PU). Zdefiniowano w nim typ i częstotliwość taktowania U10 zewnętrznym rezonatorem kwarcowym 16 MHz, a także rozmiary stosów i ramki programu. Dalej ustalono konfigurację sterowania wyświetlacza alfanumerycznego LCD 16x2 (U11) oraz zdefiniowano osiem specjalnych znaków semigraficznych. Są to jednoznakowe symbole: jednostki herca [Hz], skrótu indeksu „peak-to-peak”, jednostki napięcia [Vp-p], strzałki w górę i w dół oraz cztery pogrubione symbole literowe modyfikowanych parametrów: częstotliwości F, napięcia U, kroku regulacji częstotliwości D oraz szybkości wobulacji S.

Po zdefiniowaniu znaków semigraficznych i niezbędnym w tym momencie restarcie sterownika wyświetlacza LCD jest wyświetlany komunikat powitalny, po którym następuje definicja: roboczego ciągu tekstowego „Sa”, wykorzystywanego dalej do czytelnego formatowania częstotliwości generatora „F”, portów sterujących pracą modułu DDS (sygnały: W_CLK, FQ_UD, DATA, oraz RESET, zamapowane na piny PORTC.2...5), a także



Rysunek 17. Wzór maskownic-opisów na panelu obudowy

| | |
|----------------------|--|
| Fusebits | 3F |
| Fusebit C | 0:BODLEVEL 4.0V |
| Fusebit B | 0:BODEN enabled |
| Fusebit KLA987 | 111111:Ext. Crystal/Resonator High Freq. |
| Fusebits High | D7 |
| Fusebit High M | 1:PIN PC6 is RESET |
| Fusebit High J | 1:WDT enabled by WDTCSR |
| Fusebit High I | 0:SPI enabled |
| Fusebit High H | 1:CKOPT 1 |
| Fusebit High G | 0:Preserve EEPROM when chip erase |
| Fusebit High FE | 11:128 Words boot size , F80 |
| Fusebit High D | 1:Reset vector is \$0000 |

Rysunek 18. Ustawienia fusebitów mikrokontrolera ATmega8



Fotografia 19. Wygląd ekranu powitalnego

podstawowych zmiennych wykorzystywanych do sterowania modułem AD9850: *Init* (ciąg startowy), *Freq* i *Freq_d* (programowana częstotliwość w dwóch formatach) oraz stałej *Df*. Wartość tej stałej, równa „34.359738368”, wynika z przeliczenia formuły: $2^{32}/125 \cdot 10^6$ (liczba możliwych kombinacji rejestru akumulatora DDS-a, podzielona przez częstotliwość taktowania generatora Fs) i jest wykorzystywana do przeliczenia pożądanej częstotliwości generowanej Fc na krok (przyrost) fazy syntezy DDS.

W dalszej części kodu zdefiniowano porty wejściowe, przeznaczone do obsługi enkodera mechanicznego (piny PORTB.3...4) oraz PORTD.2 dla jego przycisku. Określono też i zainicjowano zmienną *Encportbyte* oraz przerwanie czasowe wywołujące podprogram (procedurę) *Testenc* modyfikującą tę zmienną. Treść i sposób działania tej procedury zostanie omówiona dalej, ale już w tym miejscu należy zaznaczyć, że jej zadaniem jest skanowanie (próbkiwanie) styków enkodera ze stałą częstotliwością około 2 kHz, pozwalającą na prawidłowe wykrywanie stanu i kierunku obracania (ta informacja

jest przekazywana do głównego kodu właśnie przez zmienną *Encportbyte*).

Kolejny krok to ustalenie konfiguracji pracy urządzenia: jako generator („GEN”) lub jako wobulator („WOB”), z włączonym („ON”) lub z zablokowanym („OFF”) wyjściem cyfrowym „DIGI”. Informacje te są przechowywane w pamięci EEPROM pod adresem 10 na dwóch najmłodszych bitach zmiennej *State*. Jeśli jednak w momencie przejścia do tej części programu (praktycznie chwilę po zakończeniu wyświetlania ekranu powitalnego) będzie wciśnięty przycisk mikrokontrolera (PIND.2=0), to program przejdzie do dwóch bloków decyzyjnych, zorganizowanych w postaci zamkniętych pętli, powtarzanych aż do kolejnych naciśnięć przycisku enkodera. Wewnątrz tych pętli, na podstawie bitów b0 i b1 zmiennej *State*, wyświetlana jest wybrana konfiguracja pracy urządzenia a także istnieje możliwość jej zmiany w oparciu o analizę obecności i kierunku obrotu enkodera SW1, odzwierciedlonej na czterech najmłodszych bitach zmiennej *Encportbyte*. Odbywa się to wewnątrz instrukcji warunkowych *If-Then-Elseif-Then-EndIf*, które

interpretują wartości zmiennej *Encportbyte*, równe 2, 4, 11 lub 13 jako obracanie w prawo, a wartości 1, 7, 8 lub 14 jako obracanie w lewo (wynika to z mechanicznej konstrukcji wewnętrznej styków enkodera).

Po dokonaniu wyboru trybu pracy przyrzędu, zapamiętanego w zmiennej *State*, zapisanej następnie w pamięci EEPROM, następuje fizyczne włączenie (PORTC.1=1) lub wyłączenie (PORTC.1=0) portu „DIGI”. Ostatnie dwa działania w tym bloku programowym to: aktywacja (uruchomienie) generatora DDS (chipu AD9850) poprzez wygenerowanie krótkich impulsów (poniżej 1 μ s) kolejno na jego portach: RESET, W_CLK i FQ_UD oraz przejście do podprogramu realizującego tryb Generatora lub tryb Wobulatora. Wybrany tryb pracy jest zapowiadany dużym napisem, a w przypadku trybu Wobulatora wykonywany jest odpowiedni skok bezwarunkowy do procedury obsługującej tę opcję (podprogram dla Generatora znajduje się w następującej bezpośrednio dalej części programu i nie wymaga realizacji skoku).

Listing 2 zawiera opis procedur obsługujących funkcję generatora. W pierwszej kolejności skonfigurowano jako wejściowy PORTC.0, który pełni funkcję wejścia przetwornika A/C w mikrokontrolerze U10. Przetwornik skonfigurowano do pracy pojedynczej, z automatycznym preskalarem zegara oraz napięciem referencyjnym $U_{ref}=+5$ V, pobieranym ze stabilizatora scalonego U2 (LM7805). Po uruchomieniu przetwornika A/C zdefiniowano i zainicjowano zmienne *Uold* i *Unew*, które służą do przechowywania bieżącej i poprzedniej próbki zmierzzonego napięcia. Takie podejście służy unikaniu zbyt częstego formatowania i odświeżania wyświetlanej na LCD wartości napięcia wyjściowego, gdy nie ulegało ono zmianie. Kolejna zainicjowana zmienna to *Uvolt*, która po przeskalowaniu i sformatowaniu służy do bezpośredniej prezentacji na wyświetlaczu LCD.

W kolejnych krokach zostały zdefiniowane i zainicjowane zmienne: *F*, *Fold* i *Fstep*. Zmienne *F* i *Fold* przechowują bieżącą i poprzednią wartości zadawanej częstotliwości generatora. Ich porównywanie pozwala na uniknięcie częstej rekonfiguracji parametrów pracy generatora DDS wtedy, gdy obie one są równe (brak oczekiwanych zmian). Natomiast zmienna *Fstep* przechowuje bieżący krok modyfikacji częstotliwości *F*, wykorzystywany przy jej modyfikacji za pomocą enkodera obrotowego SW1. W programie przyjęto wartości początkowe **F=1MHz** oraz **Fstep=1kHz**.

Kolejny blok programu realizuje pierwszą nastawę generatora DDS. Najpierw żądana częstotliwość *F* jest przeliczana na zwiększenie wartości akumulatora *Freq_d*, odpowiadające przyrostowi fazy sygnału

generowanego, a następnie wyliczona wartość zmiennej *Freq_d* jest rzutowana na zmienną *Freq* 32-bitowego typu całkowitego, odpowiedniego dla rejestru sterującego AD9850. Za przesłanie tej zmiennej do syntezy jest odpowiedzialna procedura *Dds_setup*. W następnym etapie następuje zainicjowanie wyświetlania parametrów pracy generatora: częstotliwości *F*, kroku strojenia *Df*, napięcia wyjściowego *U* oraz trybu pracy *G*, realizowane przez procedury: *F_disp*, *Df_disp*, *U_disp* i funkcję *Lcd*.

Wewnątrz nieskończonej pętli Do...Loop cyklicznie powtarzane są te same czynności:

Interpretacja stanu enkodera obrotowego SW1 i w razie konieczności zmiana nastawy częstotliwości *F* o wartość kroku *Fstep* za pomocą procedury *F_up* lub *F_down*.

Sprawdzenie stanu przycisku enkodera SW1 i jeśli odpowiadające mu wejście PIND.2=0, rotacyjna zmiana parametru *Fstep* z zastosowaniem procedury *F_step_chng*.

W bloku instrukcji warunkowej If-Then-EndIf następuje porównanie ostatnio ustawionej częstotliwości generowanej *F* z częstotliwością poprzednią *Fold* i w razie wykrycia takiego stanu ponowne zaprogramowanie AD9850 oraz wyświetlenie generowanej częstotliwości *F* na ekranie LCD.

Pomiar i wizualizacja na ekranie LCD sinusoidalnego napięcia wyjściowego. Wykrycie zmiany wartości (*Unew<>Uold*) wyzwała proces uśrednienia porównywanych wartości, zapamiętania tak wyliczonej wartości jako poprzedniej a następnie wyświetlenie jej na ekranie LCD za pomocą procedury *U_disp*.

Na **listingu 3** umieszczono procedury realizujące funkcję wobulatora. Na początku PORTB.2 jest definiowany jako wyjściowy, a następnie TIMER1 jest konfigurowany jako 8-bitowy przetwornik C/A pracujący w trybie PWM. Wyjście kanału PWM1A tego przetwornika jest wyprowadzone na wcześniejsz skonfigurowany PORTB.2 i służy do wytworzenia piłokształtnego sygnału odchylania poziomego, przeznaczonego do sterowania kanałem X oscyloskopu. Dalej definiowane są zmienne *Fmin* i *Fmax* będące granicami przedziału częstotliwości wobulacji, *Deltaf* – elementarny krok-postęp częstotliwości wobulacji, *Fvobstep* – krok regulacji krańców przedziału wobulacji *Fmin* i *Fmax*. Początkowy przedział wobulacji ustalono na zakres pasma akustycznego 20 Hz...20 kHz, a krok jego regulacji na 100 Hz. Po tych definicjach następuje pierwsze (inicjujące) wywołanie procedury *Deltafcalc*, której zadaniem jest wyznaczenie elementarnego kroku wobulacji *Deltaf*. Dalej wprowadzane są definicje zmiennych: *Pwnval* (poziom sygnał na wyjściu przetwornika DAC/PWM1A oraz iterator głównej pętli wobulatora), *Fvob* (rzeczywista częstotliwość wobulacji w zakresie 1...40 Hz), *Tvobwaitus* (czas determinujący szybkość wobulacji $1000000/(Fvob*256)$

minus ok. 91 [us]), *Tvobwaitusword* (wersja całkowitoliczbowa zmiennej *Tvobwaitus*). Początkową wartość częstotliwości wobulacji *Fvob* ustalono na 20 Hz. Następnie jest wywoływana procedura *Fvob_chng*, wyznaczająca opóźnienie w elementarnym kroku wobulacji – w funkcji przyjętej częstotliwości przemiatania *Fvob*. Dalej następuje pierwsze w procedurze wobulacji wyświetlenie na ekranie LCD regulowanych parametrów pracy: *Fmin*, *Fmax*, *Fvob* oraz *Fvobstep*.

Nieskończoną pętlę Do...Loop podprogramu wobulatora podzielono na dwa bloki: modyfikacji parametrów procesu oraz jego realizacji. Blok realizacji podzielono na 4 cztery części, służące zmianie każdego z ustawialnych parametrów. Wejście do bloku modyfikacji parametrów procesu następuje po naciśnięciu przycisku enkodera SW1 (PIND.2=0) i odczekaniu 400 ms. Wtedy następuje wejście do podprogramu modyfikacji parametru *Fvobstep*, czyli kroku regulacji parametrów *Fmin* i *Fmax*. W kolejnej podpętli, przerywanej naciśnięciem przycisku enkodera, jest odczytywany kierunek obrotu enkodera, a następnie krok regulacji częstotliwości jest odpowiednio zmniejszany lub zwiększany 10-krotnie, przy czym odbywa się to wyłącznie w granicach 1 Hz...1 MHz. Zmodyfikowana wartość parametru *Fvobstep* jest formatowana i wyświetlana na LCD, przy czym przy modyfikowanym aktualnie parametrze cały czas w miejsce symbolizującej go ikony jest wyświetlana gwiazdka „*”. Opuszczenie pętli modyfikacji parametru *Fvobstep* następuje po naciśnięciu przycisku enkodera, a gwiazdka „*”, symbolizująca proces modyfikacji parametru, jest zamieniana na podstawowy symbol, czyli pogrubione „D”.

Modyfikacje kolejnych trzech parametrów wobulacji odbywają się w bardzo podobny sposób, każdorazowo po odczekaniu 400 ms od potwierdzającego naciśnięcia przycisku enkodera, z różnicami charakterystycznymi dla danego parametru. W przypadku parametru *Fmin* zmiana wartości następuje o (być może zmodyfikowaną w poprzednim kroku) wartość parametru *Fvobstep*, przy czym zakres możliwych wartości jest

REKLAMA



Projekty na...
STM32

www.stm32.eu

life.augmented

KAMAMI

ograniczony od dołu do 1 Hz a od góry do bieżącej wartości F_{max} . Znacznikiem parametru F_{min} jest gruba strzałka, skierowana w dół. Analogicznie, w wypadku parametru F_{max} zmiana wartości następuje o wartość parametru $F_{vobstep}$, przy czym zakres możliwych wartości jest ograniczony od góry do 40 MHz a od dołu do bieżącej wartości F_{min} . Znacznikiem parametru F_{max} jest gruba strzałka, skierowana w górę. Po modyfikacji F_{min} i F_{max} wywołana zostaje procedura Δf_{calc} , która ponownie przelicza elementarny krok wobulacji Δf .

Ostatni, czwarty krok modyfikacji dotyczy parametru F_{vob} , utrzymując go w zakresie 1...40 Hz. Po zmianie wartości zmiennej F_{vob} jest wywołana procedura F_{vob_chng} , wyznaczająca opóźnienie w elementarnym kroku wobulacji. Znacznikiem parametru F_{vob} jest pogrubiona litera S.

W drugiej części pętli Do...Loop jest realizowane przemiatanie ustalonego zakresu częstotliwości, połączone z wysterowaniem osi X oscyloskopu. Obszerny blok modyfikacji parametrów przy normalnej pracy wobulatora nie opóźnia jego działania, ponieważ program wchodzi do tego bloku wyłącznie w trybie konfiguracji urządzenia. Podstawowa pętla wobulatora For...Next iteruje parametr $Pwmval$ w zakresie 0...255, który jest właściwy do ustawienia jako wyjście przetwornika DAC/PWM i równocześnie stanowi

iteracja do wyliczenia narastającej częstotliwości wyjściowej F , liczonej jako iloczyn tego iteratora oraz wyliczonego wcześniej współczynnika skalującego Δf , powiększony o wartość F_{min} . Tak wyznaczona wartość F jest następnie przeliczana na wartość parametru $Freq_d$ do zaprogramowania AD9850 przez procedurę Dds_setup . Procedura ta jest poprzedzana modyfikacją wyjścia przetwornika PWM/DAC, aby przyspieszyć propagację sygnału PWM przez filtry dolnoprzepustowe z układami U4A/U4B. Ostatnim działaniem, wykonywanym wewnątrz podstawowej pętli wobulacyjnej, jest wprowadzenie opóźnienia o wartość $T_{vobwaitusword}$ mikrosekund, odpowiedniego do przyjętej szybkości wobulacji F_{vob} , wyliczonego przez wywołanie procedury F_{vob_chng} .

Listing 4 zawiera podprogramy pomocnicze wywoływane komendą skoku Gosub.

Procedurę $Testenc$ w całości napisano w assemblerze dla procesorów z rdzeniem AVR ATmega – w celu maksymalnego zwiększenia szybkości jej działania, ponieważ jest wywołwana za pomocą przerywania generowanego z częstotliwością około 2 kHz. Procedura wykonuje test stanu styków enkodera z pamięcią poprzednich stanów, a wynik przekazuje do zmiennej $Encportbyte$, w której istotne są tylko bity b3...b0. W pierwszej kolejności na stos procesora odkładane są wszystkie używane rejestry (SREG, R24

i R25). Następnie poprzednie stany styków enkodera są przesyłane ze zmiennej $Encportbyte$ do rejestru R24. Dalej są usuwane 2 najstarsze bity stanów (b1...b0) poprzez dwukrotne przesunięcie w prawo rejestru R24. Potem aktualne stany enkodera odczytywane są z portu B (PB.4, PB.3) do rejestru R25, w którym maskowane zerami są wszystkie pozostałe bity. Dalsze dorównanie w prawo o jedną pozycję powoduje przesunięcie pobranych wartości na bity b3 i b2. Połączenie alternatywną logiczną rejestrów R24 i R25 tworzy nowy zestaw czterech bitów stanu w rejestrze R24, który następnie jest zapamiętywany w zmiennej $Encportbyte$. Procedurę kończy pobranie ze stosu poprzednich wartości wszystkich używanych rejestrów.

Procedura F_down i F_up , odpowiednio: zmniejsza lub zwiększa częstotliwości pracy generatora o wartość kroku $Fstep$, dbając jednak o to, aby nie wykroczyły one poza zakres $Fstep$...40 MHz.

Procedura F_step_chng powoduje zmianę kroku strojenia generatora $Fstep$ w sposób cykliczny, tzn. w ciągu od 1 Hz do 1 MHz (z powiększeniem 10x) i dalej z powrotem od 1 Hz. Po realizacji każdorazowej takiej zmiany wywołana zostaje także procedura aktualizacji wyświetlania wartości $Fstep$ na wyświetlaczu LCD. Następnie odczekany zostaje czas, który pozwala uniknąć wielu

REKLAMA

Wszystko, co lubisz,
w jednym miejscu



UlubionyKiosk.pl

Oferuje papierowe
i elektroniczne
wydania czasopism
z najważniejszych
segmentów rynku:

budownictwo i wnętrza, muzyka
i dźwięk, elektronika i automatyka,
edukacja i hi-tech, rodzina.

Przesyłka
GRATIS

kolejnych zmian tego parametru przy dłuższym naciśnięciu przycisku enkodera.

Procedura *Dds_setup* realizuje programowanie częstotliwości AD9850. Odbywa się to poprzez wprowadzenie szeregowo najpierw 32-bitowego słowa *Freq* reprezentującego nową częstotliwość, a następnie 8-bitowej sekwencji *Init* powodującej wprowadzenie nowej częstotliwości. Procedurę kończy wygenerowanie krótkiego impulsu zatwierdzającego tę zmianę na linii *FQ_UD* syntezera.

Procedura *F_disp* realizuje wyświetlanie sformatowanej częstotliwości generatora na wyświetlaczu LCD. Wykorzystywano w niej specjalną, pogrubioną czcionkę „F”, zdefiniowaną jako znak specjalny. Procedura ta najpierw zamienia całkowitą wartość częstotliwości *F* na ciąg tekstowy *Sa*, a następnie w ciągu instrukcji *If-Then-Elseif-Else-EndIf* dokonuje formatowania zależnego od przedziału, do którego należy wyświetlana wartość. Formatowanie to polega na wstawieniu kropek dziesiętnych, oddzielających kolejne trzycyfrowe bloki cyfr, a następnie na końcu dostawia właściwą jednostkę (Hz, kHz lub MHz). Jednostkę „Hz” zaimplementowano w formie pojedynczego, zdefiniowanego na początku programu znaku specjalnego, co pozwoliło na zaoszczędzenie jednego znaku na względnie niewielkim wyświetlaczu LCD.

Procedura *Df_disp* powoduje wyświetlenie sformatowanego kroku strojenia generatora na wyświetlaczu LCD, a odbywa się to z zastosowaniem specjalnej, pogrubionej czcionki „D”, zdefiniowanej jako znak specjalny. W procedurze użyto bloku instrukcji *Select-Case-EndSelect*, które selekcionują poszczególne wartości kroków strojenia generatora *Fstep* i przypisują im odpowiednie napisy, składające się z liczby zakończonej odpowiednią jednostką wielokrotną (Hz, kHz lub MHz).

Procedura *U_disp* ma za zadanie przeskalowanie, sformatowanie i wyświetlenie na ekranie LCD zmierzonego napięcia wyjściowego z generatora. Skalowanie odbywa się wg współczynnika $5/1024$ V, odpowiadającego przyjętemu napięciu referencyjnemu $U_{ref}=+5$ V i rozdzielczości przetwornika A/C. Przeskalowana wartość jest powiększana o około 0,22 V, co odpowiada napięciu progowemu zastosowanego detektora-podwajacza napięcia z diodami Schottky'ego D1 i D2. Zmienna *Unew* odpowiada wielkości zmierzonej przez detektor, natomiast zmienna *Uvolt* jest wielkością wyświetlaną na ekranie LCD. Formatowanie z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku ma charakter wariantowy, bowiem dla wielkości mniejszych od 0,22 V, z uwagi na niepewną wartość pomiaru, wyświetlany jest jedynie stały komunikat.

Procedura *Fvob_chng* wyznacza opóźnienie *Tvobwaitus* (w mikrosekundach), które



Fotografia 20. Wygląd ekranu podsumowującego ustawienia

należy wprowadzić w elementarnym kroku wobulacji dla przyjętej częstotliwości przemiatania *Fvob*. Pierwsze dwa wyrażenia realizują: podział jednego cyklu wobulacji na 256 przedziałów (rozdzielczość 8-bitowego przetwornika DAC/PWM) oraz skalowanie od zastosowanej dla parametru *Fvob* jednostki [Hz] do mikrosekund. Kolejny wiersz wprowadza oszacowaną pomiarowo korektę o stałe czasy wykonania pojedynczej iteracji, a ostatnie wyrażenie dokonuje rzutowania zmiennoprzecinkowego rezultatu opisanych obliczeń na wartość całkowitą.

Procedura *Deltafcalc* wyznacza elementarny krok (przyrost) częstotliwości *Deltaf*, zastosowany przy przemiataniu. Jest to po prostu różnica skrajnych częstotliwości wobulacji *Fmin* oraz *Fmax*, podzielona przez zastosowaną liczbę przedziałów, równą 255.

Jak widać, kod programu sterującego urządzeniem nie jest bardzo skomplikowany, choć względnie obszerny (plik w formacie HEX, przeznaczony do zaprogramowania mikrokontrolera ATmega8, wypełnia 99% jego pamięci FLASH). Zachowana w programie prostota struktury, sposób podziału i uporządkowanie różnych funkcji a także liczne, dość wyczerpujące komentarze zachęcają do własnych modyfikacji i eksperymentów z urządzeniem. Krótka, ilustrowana instrukcja obsługi oprogramowania przyrządu zostanie podana w dalszej części tego opracowania.

Obsługa

Tryb pracy można zmienić tylko w chwili włączenia urządzenia – poprzez naciśnięcie i przytrzymanie przycisku enkodera aż do momentu wejścia w menu trybu pracy przyrządu. Po kilku sekundach wyświetlania ekranu powitalnego (fot. 19) zostanie wyświetlony jeden z dwóch ekranów wyboru stanu aktywności wyjścia (buforu) dla sygnału cyfrowego („DIGI OUT: OFF/ON”). Pokręcając gałką enkodera, ustawiamy wyjście cyfrowe jako aktywne („ON”) i zatwierdzamy ten wybór przyciskiem enkodera, tym samym przechodząc do kolejnego poziomu wyboru w menu konfiguracyjnym. W podobny sposób wybieramy tryb pracy przyrządu („MODE: GEN/WOB”). Po wyborze przez kilka sekund będziemy mogli oglądać ekranik podsumowujący wybrane ustawienia, które w przypadku wyboru trybu wobulatora i wyłączenia wyjścia cyfrowego (przykład) wyglądałyby tak, jak na fotografii 20.

Na ekranie przyrządu pracującego w trybie generatora, w górnym wierszu są wyświetlane: po lewej – nastawiona częstotliwość *F*, po prawej – duża litera „G” lub „W” symbolizująca wybrany tryb pracy. W dolnym wierszu, po lewej stronie można odczytać wybrany krok regulacji częstotliwości, a po prawej międzyszczytową wartość [*Vp-p*] zmierzonego wyjściowego napięcia sinusoidalnego. Z uwagi na zastosowaną metodę pomiaru (detektor szczytowy w układzie podwajacza napięcia z diodami Schottky'ego, skalibrowany programowo dla częstotliwości zbliżonej do 1 MHz) wskazania napięcia należy traktować orientacyjnie. Dodatkowo, z uwagi na napięcie progowe detektora na poziomie około 0,22 V, sygnały wyjściowe o niższym poziomie nie zostaną zmierzone.

Obsługa generatora jest bardzo łatwa. Regulację częstotliwości *F* przeprowadzamy pokrętkiem enkodera, a zmianę kroku tej regulacji wykonujemy poprzez naciskanie jego przycisku (kolejne kroki zmieniają się cyklicznie w kierunku rosnącym). Amplitudę sygnału wyjściowego sinusoidalnego zmieniamy liniowym potencjometrem obrotowym PR3, który wyprowadzono na przedni panel urządzenia. Należy w tym miejscu podkreślić, że wyjściowy wzmacniacz szerokopasmowy z tranzystorami Q1...Q3, o wzmocnieniu około 12 dB, jest w stanie dostarczyć nieprzesterowanego sygnału wyjściowego o maksymalnym poziomie około 2 *Vp-p*. Może zatem być przesterowany, gdy zostanie zasilony sygnałem z modułu DDS o poziomie przekraczającym około 0,5 *Vp-p*. Ponieważ różne typy (i różne wykonania) rozważanych tutaj modułów generatorów DDS mają różne poziomy napięć wyjściowych, zmieniające się także znacząco wraz

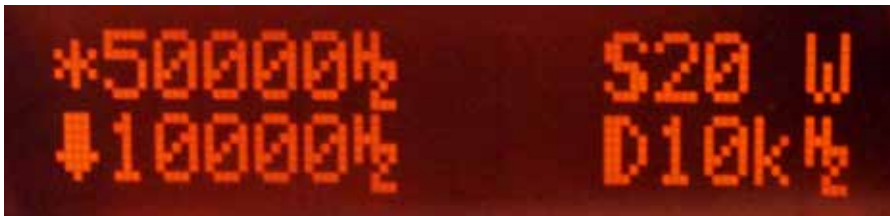
REKLAMA

Projekty na...
STM32
www.stm32.eu
life.augmented

z częstotliwością wytwarzanego przebiegu, kryterium utrzymania poziomu sygnału wyjściowego, nieprzekraczającego około 2 V_{p-p}, jest prostą i dogodną metodą ograniczania zniekształceń nieliniowych w napięciu wyjściowym generatora.

Bardzo ważną czynnością, którą koniecznie należy wykonać, jest wyregulowanie współczynnika wypełnienia generowanego przebiegu prostokątnego na wartość jak najbliższą 50%. Przebieg ten powstaje w szybkim komparatorze w układzie AD9850 jako efekt porównania odfiltrowanego sygnału sinusoidalnego ze stałym napięciem referencyjnym, ustalonym potencjometrem montażowym, umieszczonym na module generatora DDS. Regulację przeprowadzamy tym właśnie potencjometrem, a pomiaru dokonujemy np. oscyloskopem cyfrowym. W ostateczności, jeśli nie dysponujemy odpowiednim przyrządem pomiarowym, można zastosować metodę uproszczoną, polegającą na pomiarze odfiltrowanego dolno-przepustowo napięcia średniego (filtr RC z R=10 kΩ i C=100 nF będzie wystarczający z zapasem dla testowej F=1 MHz) i regulacji potencjometrem, umieszczonym na module DDS, aż do uzyskania na wyjściu filtru RC wartości środkowej pomiędzy szczytami napięcia prostokątnego. Przy filtracji i pomiarze napięcia z wyjścia na porcie P3 będzie to wartość w bardzo dobrym przybliżeniu równa połowie napięcia zasilania, pobieranego ze stabilizatora U2 (LM7805), czyli około 2,5 V.

Przełączenie urządzenia do trybu wobulatora należy wykonać w sposób opisany wcześniej. Ekran w trybie wobulatora wygląda jak na **fotografii 21**. Po lewej stronie pokazano dolną (u dołu) i górną (na górze ekranu) częstotliwość graniczną wobulacji. Po prawej stronie wyświetlacza można zobaczyć krok regulacji (u dołu) oraz częstotliwość przemiataania (u góry). Duża litera „W” w prawym, górnym rogu informuje o wybranym trybie pracy wobulatora. Domyślne ustawienia wobulatora to F_{min}=20 Hz oraz F_{max}=20 kHz (pasmo akustyczne), krok regulacji 100 Hz, szybkość przemiataania 20 Hz. Wciśnięcie przycisku enkodera spowoduje przejście do cyklu zmiany tych



Fotografia 21. Wygląd ekranu przyrządu w trybie wobulatora

parametrów, co będzie sygnalizowane zastąpieniem ikonki wskazującej modyfikowany parametr tymczasowym symbolem „*”. Przechodzimy wówczas kolejno przez: krok regulacji częstotliwości, jej granice zmian oraz szybkość wobulacji (w prawo w kierunku obrotu wskazówek zegara). Wybrany parametr zmieniamy pokrętle enkodera, a jego wartość zatwierdzamy przyciskiem. Jeśli nie chcemy zmieniać parametru, to przechodzimy do kolejnego, po prostu naciskając przycisk enkodera. Podobnie opuszczamy menu zmiany parametrów wobulacji.

Korzystanie z trybu wobulatora wymaga wstępnego ustawienia zakresu wartości piłokształtnego napięcia sterującego wejściem „X” oscyloskopu (wyjście „SYNCHRO” na porcie P4 urządzenia). Można to zrobić za pomocą potencjometru montażowego PR1, zamontowanego w pobliżu środka głównej (wykonawczej). Na początku pracy z przyrządem rozsądnie będzie ustawić PR1 na maksimum amplitudy sygnału piłokształtnego na wyjściu „SYNCHRO”. Jeśli jako wyjście generatora-wobulatora wykorzystujemy sygnał cyfrowy (wyjście „DIGI 0/5V”), to potencjometr regulacji poziomu sygnału analogowego (sinusoidalnego) można ustawić na minimum. Natomiast jeśli doysterowania badanego układu używamy wyłącznie sygnału sinusoidalnego, to przed rozpoczęciem pomiarów należy ustawić jego odpowiedni poziom wyjściowy, a wyjście cyfrowe „DIGI 0/5V” można całkowicie „wygasić” w trybie wstępnej konfiguracji przyrządu. Należy tu zaznaczyć, że pomiar poziomu napięcia wyjściowego sinusoidalnego nie jest dostępny w trybie pracy wobulatora. Poziom wyjściowy wobulowanego napięcia sinusoidalnego, po podłączeniu badanego obwodu,

warto jest zatem skontrolować za pomocą oscyloskopu. Można też ewentualnie dokonać tego za pomocą woltomierza napięć zmiennych lub wbudowanej w przyrząd funkcji pomiarowej – w trybie generatora, zmieniając ręcznie częstotliwość pracy F w zakresie interesujących wartości.

Podsumowanie

Opisany generator-wobulator DDS powstał jako kontynuacja projektu generatora AVT-3111. Autor projektu ma poczucie, że udało się osiągnąć cel projektowy, którym był rozsądny kompromis pomiędzy: szerokim wachlarzem możliwości technicznych, ergonomią obsługi, względną prostotą wykonania we własnym zakresie oraz niskim kosztem nabycia potrzebnych podzespołów i elementów. Znaczącym atutem opisanego urządzenia, poza dwufunkcyjnością, jest także możliwość alternatywnego zastosowania jednego z dwóch dość szeroko dostępnych na rynku modułów generatorów DDS z układem AD9850. Kontynuacją tego projektu i publikacji będzie projekt trzech sond pomiarowych (jednej liniowej i dwóch logarytmicznych), w oparciu o które bardziej szczegółowo przedstawione zostaną możliwości opisanego tutaj przyrządu oraz sposoby jego wykorzystania w praktycznych zadaniach konstruktorskich i pomiarowych.

Na koniec chciałbym serdecznie podziękować koledze Lucjanowi Bryndzy SQ5FGGB za pomoc okazaną przy konfigurowaniu nowej edycji programu KiCAD, którego użyłem do projektowania obu płytek, a także za cenne sugestie dotyczące samego procesu projektowego.

Adam Sobczyk, SQ5RWQ
sq5rwq@gmail.com
<http://sq5rwq.pl>

REKLAMA



sklep.avt.pl

NOWOŚĆ

Poznaj cały proces edycji zdjęć: od sortowania materiału, poprzez kolorystyczną i tonalną korektę oraz techniki retuszerskie, po bardziej zaawansowane metody fotomontażu, konwersji mono, a także tworzenia całego wachlarza efektów!



**SZUKAJ W SALONACH PRASOWYCH
ORAZ NA WWW.ULUBIONYKIOSK.PL
(PRZESYŁKA GRATIS)**

