

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

Generatory przestrajane stanowią ważną pozycję w warsztacie każdego konstruktora. Opisany generator pozwala na komfortową pracę m.in. z urządzeniami audio, przetwornicami DC/DC, mikrokontrolerami czy urządzeniami radiokomunikacyjnymi. Jego dodatkowymi atutami są: wbudowana funkcja wobulatora oraz możliwość alternatywnego wykorzystania jednego z dwóch typów dostępnych na rynku modułów generatorów DDS z chipem AD9850.

Rekomendacje: generator przyda się w warsztacie każdego elektronika konstruktora.

Opisany projekt generatora oparto na gotowych modułach z popularnym chipem scalonego syntezy DDS typu AD9850 firmy Analog Devices (fotografie 1 i 2). Moduły te są taktowane przebiegiem o częstotliwości 125 MHz z generatora kwarcowego OXCO umieszczonego na module. Znaczącym atutem tego właśnie projektu jest możliwość alternatywnego zastosowania jednego z dwóch wymienionych modułów DDS.

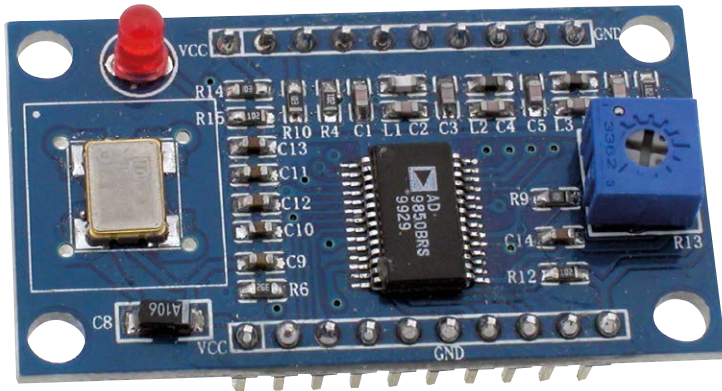
Urządzenie wyposażono we wzmacniacz szerokopasmowy dla analogowego sygnału sinusoidalnego, o wzmacnieniu

napęciowym 12 dB w 3-decybelowym paśmie przynajmniej do 30 MHz i impedancji wyjściowej 50 Ω. Także wyjście sygnału cyfrowego, o poziomach CMOS 0/5 V, wyposażono w bufor o impedancji wyjściowej 50 Ω, z możliwością programowego wyłączenia w celu obniżenia poziomu zaburzeń dla sygnałów analogowych (sinusoidalnych). Zastosowanie zestandaryzowanej impedancji wyjściowej jest nie tylko wygodne we współpracy z innymi urządzeniami (głównie radiokomunikacyjnymi), lecz także umożliwia poprawne przekazywanie

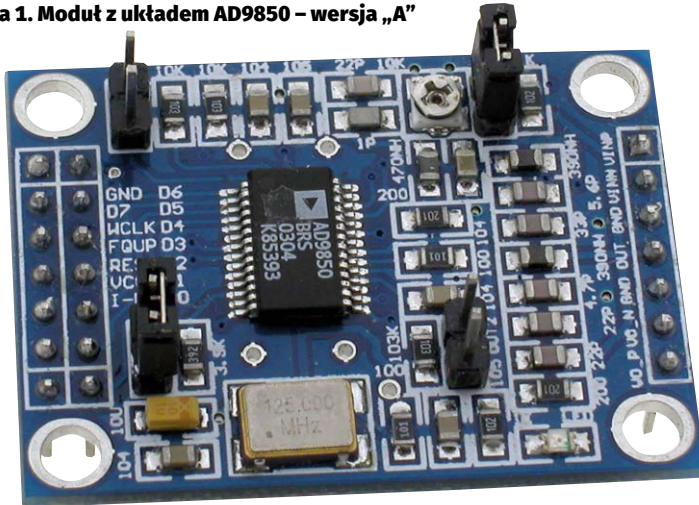
sygnałów na zewnątrz urządzenia za pomocą kabli koncentrycznych o tej samej impedancji falowej.

Opisywany przyrząd może pracować w dwóch trybach. Pierwszy z nich to zwykły tryb generatora (fotografia 3), w którym częstotliwość wyjściową synchronicznych sygnałów: sinusoidalnego i prostokątnego, możemy ustawiać w zakresie od 1 Hz do 40 MHz z minimalnym krokiem 1 Hz (możliwe kroki regulacji to: 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz i 1 MHz). Istnieje też możliwość płynnej regulacji poziomu sygnału sinusoidalnego za pomocą potencjometru obrotowego, a jego wartość U (w jednostkach V_{p-p}) jest prezentowana na ekranie LCD 16×2 razem z nastawionymi: częstotliwością F i krokiem strojenia D . Drugi tryb pracy urządzenia to tryb wobulatora (fotografia 4). W tym trybie można ustawić cztery parametry pracy:

- Częstotliwość minimalną F_{min} .
- Częstotliwość maksymalną F_{max} .
- Krok regulacji częstotliwości D .
- Szybkość (częstotliwość) wobulacji S .



Fotografia 1. Moduł z układem AD9850 – wersja „A”



Fotografia 2. Moduł z układem AD9850 – wersja „B”

Częstotliwości graniczne i krok ich regulacji mogą przyjmować wartości analogiczne, w generatorze, natomiast szybkość (częstotliwość) wobulacji S można regulować w zakresie od 5 do 40 Hz z krokiem 1 Hz.

Wobulator pracuje poprzez generowanie liniowo narastających 256 wartości częstotliwości z przedziału od Fmin do Fmax. Towarzyszy temu wytwarzanie narastającego

liniowo, piłokształtnego sygnału odchylenia dla oscyloskopu z wejściami i trybem pracy „X/Y”, który może też być użyty do wyzwalania kreślenia przebiegu „Y” w oscyloskopach pozbawionych opcji pracy „X/Y”. S jest parametrem o tyle istotnym, że determinuje zarówno częstotliwość odświeżania rysowanej charakterystyki $Y=f(X)$, jak i tempo pobudzania wejścia i skanowania wyjścia

DODATKOWE MATERIAŁY NA FTP:

<ftp://ep.com.pl>

USER: 97325, PASS: 6yfwxr8q

W ofercie AVT*

AVT-5580

Podstawowe informacje:

- Zakres częstotliwości generowanego sygnału: 1 Hz...40 MHz (krok 1 Hz).
- Zakres prędkości wobulacji: 1...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 czołowym) 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 wypełnienia (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 A* płytka drukowana i zaprogramowany układ (czyli połączenie wersji A i wersji UK) bez elementów dodatkowych.
AVT xxxx B płytka drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymienionych w załączniku pdf.
AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wylutowane 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, A*, B lub C). <http://sklep.avt.pl>

badanego układu (czas ustalania odpowiedzi częstotliwościowej niektórych układów może być znaczny i w związku z tym wymagać bardzo powolnego skanowania wyjścia; podobne zagadnienie dotyczy sond analizujących poziom sygnału wyjściowego badanego układu). Sposób realizacji układowej

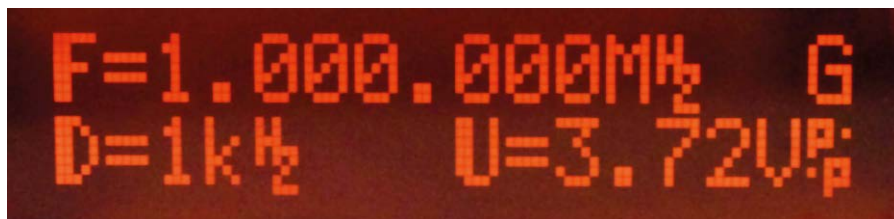
i programowej oraz praktyczną obsługę generatora i wobulatora opisano w dalszej części publikacji.

Syntezer DDS AD9850

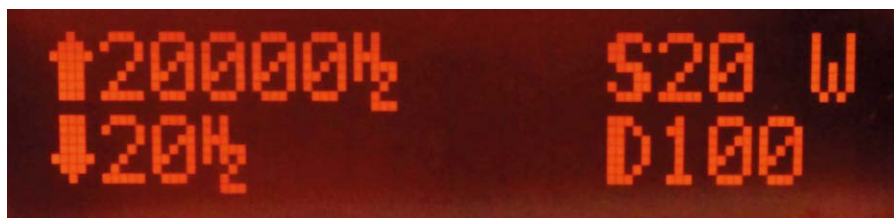
Układ scalony syntezeru DDS typu AD9850, którego schemat blokowy pokazano

na **rysunku 5**, jest powszechnie stosowany m.in. w urządzeniach radiokomunikacyjnych. Swoją popularność zawdzięcza on głównie zastosowaniu w dwóch łatwo dostępnych modułach generatorów, pokazanych na fot. 1 i 2. Układ ten działa w oparciu o zasadę odtwarzania wyliczanych „w locie” próbek sygnału, generowanego za pomocą 10-bitowego przetwornika C/A, taktowanego ze stałą częstotliwością, wytwarzaną przez stabilizowany termicznie generator kwarcowy OCOXO. Układ scalony AD9850 może pracować z napięciem zasilania V_{dd} z zakresu 3,3...5 V. Maksymalna częstotliwość taktowania F_s oraz moc strat P_{tot} wynoszą wtedy 155 mW przy 110 MHz oraz 380 mW przy 125 MHz (wyczuwa się lekkie grzanie się pracującego układu). Deklarowana przez producenta wartość parametru SFDR oznaczającego stosunek amplitudy użytecznego sygnału wyjściowego do najsilniejszego sygnału zakłócającego (miara dokładności odwzorowania sygnału przez przetwornik DAC), przy częstotliwości generowanego sygnału sinusoidalnego równej F_c=40 MHz, jest lepsza od 50 dB, co można uznać za wartość zadowalającą w większości zastosowań radioamatorskich. Trzeba tu jednak wyraźnie podkreślić, że przy tak małym stosunku częstotliwości generowanej F_c=40 MHz do częstotliwości próbkowania F_s=125 MHz równym 0,32 próbkowanie odbywa się zbyt rzadko, aby jakość odwzorowania sygnału w dziedzinie czasu była wystarczająca dla większości zastosowań. W praktyce, wykorzystując tylko filtry dolno-przepustowe LC, zaimplementowane w opisywanych modułach DDS, jesteśmy w stanie uzyskać przebiegi sinusoidalne i prostokątne o jakości niebudzącej zastrzeżeń tylko w zakresie do kilkunastu MHz. Przy większych wymaganiach na czystość widmową generowanego dla przebiegu sinusoidalnego warto zastosować dodatkowe filtry dolno- lub pasmowoprzepustowe.

Częstotliwość wyjściową F_{out} określa wzór $F_{out} = (\Delta Phase \times F_{clk}) / (2^{32})$, w którym $\Delta Phase$ jest wartością 32-bitowego słowa, o które zwiększana jest wartość akumulatora syntezeru w każdym takcie zegara, a F_{clk} jest wejściową częstotliwością referencyjną, taktującą układ (125 MHz). Krok fazy sygnału $\Delta Phase$ jest w każdym cyklu zegara taktującego dodawany do zawartości 32-bitowego akumulatora, z którego 10 najstarszych bitów jest podawanych na wejście tablicy LUT, odwzorowującej sygnał sinusoidalny, a następnie na wejście przetwornika cyfrowo-analogowego DAC. Na wyjściu przetwornika DAC w modułach generatorów zaimplementowano eliptyczne filtry dolno- i pasmowoprzepustowe LC 7. rzędu, o paśmie przenoszenia ok. 40 MHz, które eliminują pasożytnicze harmoniczne, pochodzące z próbkowania sygnału wyjściowego



Fotografia 3. Przyrząd pracujący w trybie generatora



Fotografia 4. Przyrząd pracujący w trybie wobulatora

Wykaz elementów:

Rezystory: (0,25W/5%)

- R1: 510 Ω
- R2: 82 Ω
- R3: 51 Ω
- R4: 68 Ω
- R5: 10k Ω
- R6: 15k Ω
- R7, R10, R13: 150 Ω
- R8: 10 Ω
- R9: 240 Ω
- R11: 15 Ω
- R12: 33 Ω
- R14, R20: 2,2 kΩ
- R15: 1 kΩ
- R17...R19: 10 kΩ
- R21: 22 Ω
- R22, R23: 22 kΩ
- PR1, PR2: 10 kΩ/A (liniowy, w obudowie RM-065)
- PR3: 1 kΩ/A (liniowy, obrotowy, przykręcany do panelu)

Kondensatory:

- C1: 47 μF/16 V
- C2, C4, C5: 470 nF/50 V
- C3, C6, C12: 100 μF/16 V
- C7: 470 μF/16 V
- C8, C10, C13, C14, C19, C22, C24, C36, C37, C38, C41: 100 nF/50 V
- C9: 100 pF/50 V
- C11: 150 pF
- C15, C20, C21: 10 μF/10 V
- C16, C34, C42, C43: 10 nF/50 V
- C17: 47 pF/50 V
- C18: 330 pF/50 V
- C23: 10 μF/16 V
- C25, C35: 68 nF/50 V
- C26: 150 nF/50 V
- C32, C33: 1 nF/50 V
- C39, C40: 22 pF/50 V

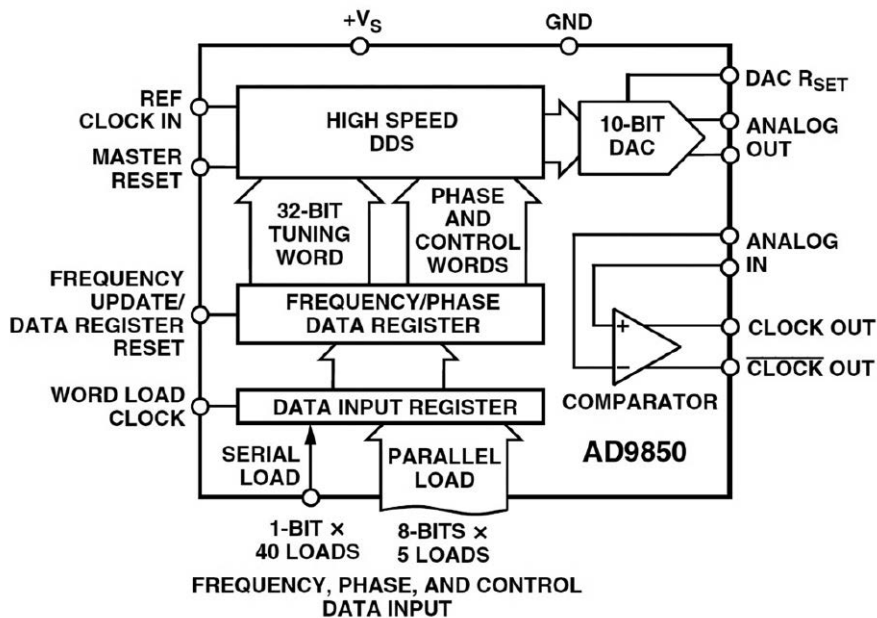
Półprzewodniki:

- D1, D2: BAT85 (DO-35)
- Q1: 2N3904 (TO-92)
- Q2: 2N3906 (TO-92)

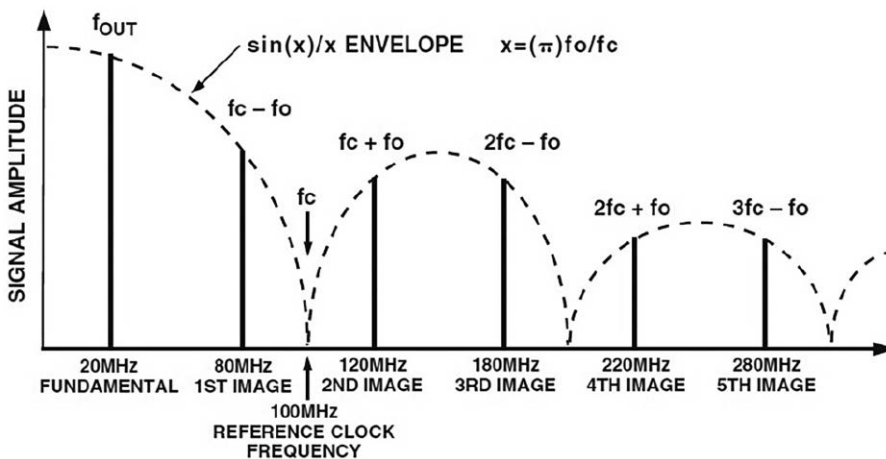
- Q3: BC141-16 lub 2N2219A (TO-39)
- U1: LM7809 (TO-220)
- U2: LM7805 (TO-220)
- U3: 74HC00 (DIP-14)
- U4: LM358 (DIP-8)
- U5*: moduł DDS z AD9850, typu „A” lub
- U6* moduł DDS z AD9850, typu „B”
- U10: ATmega8A-PU (DIP-28)

Inne:

- U11: wyświetlacz LCD 16×2, zgodny z HD44780
- L1, L6: 10 μH (osiowy)
- L2, L5: 4,7 μH (osiowy)
- L3: 2,2 μH (osiowy)
- L4: 3,3 μH (osiowy)
- X1: 16 MHz rezonator kwarcowy (HC49, niska)
- SW1: enkoder obrotowy mechaniczny z przyciskiem (20...24 imp./obr.)
- P1: złącze śrubowe ARK2/5 mm
- P5+P11: złącze „goldpin” (wtyk/gniazdo) kątowe, męskie, 5 pinów
- P6+P10: złącze „goldpin” (wtyk/gniazdo) kątowe, męskie, 6 pinów
- P7+P9: złącze „goldpin” (wtyk/gniazdo) kątowe, męskie, 7 pinów
- P2, P3, P4: gniazda BNC 50 Ω (mocowane do panelu) + złącza „goldpin” męskie 2 piny
- Listwy „goldpin” żeńskie (50 pinów, 2 szt.) do wykonania gniazd do podłączenia U5/ U6 i U11
- Podstawki pod układy scalone: U3, U4, U10
- Radiatory do obudów TO-220, małe, 2 szt.
- Włącznik zasilania 12 V/0,5 A
- Gniazdo zasilania np. 5,5/2,1 mm,
- Obudowa KM-60 lub podobna
- Gałki na PR3 i SW1 (stosownie do wymiarów i rozmieszczenia elementów)
- Śruby, nakrętki i podkładki M3 oraz M2,5 (wg opisu w tekście)
- Srebrzanka o średnicy 0,5 mm – ok. 0,5 m



Rysunek 5. Schemat blokowy układu AD9850 (na podstawie karty katalogowej)



Rysunek 6. Rozkład widmowy sygnału dla $F_s=F_{clk}=100$ MHz i $F_c=F_{out}=20$ MHz (na podstawie karty katalogowej)

impulsami prostokątnymi. Warto zwrócić uwagę na fakt, że wraz ze wzrostem częstotliwości wyjściowej generatora DDS spada poziom podstawowego sygnału sinusoidalnego, a wzrasta poziom zakłóceń harmonicznnych. Rysunek 6, także zaczerpnięty z noty katalogowej układu AD9850, pokazuje rozkład widmowy sygnału dla przykładowego przypadku syntezy z częstotliwością próbkowania $F_s=F_{clk}=100$ MHz i podstawową częstotliwością wyjściową $F_c=F_{out}=20$ MHz. Jak widać, widmo to jest objęte obwiednią wg funkcji $\text{sinc}(x)=\sin(x)/x$ i – oprócz podstawowej harmonicznnej F_{out} – zawiera także m.in. pasożytniczy sygnał o częstotliwości $F_s-F_c=80$ MHz (efekt tzw. aliasingu). Z wykresu widać jasno to, że poziom tego sygnału pasożytniczego jest tym większy, im większy jest stosunek częstotliwości $F_c/F_s=F_{out}/F_{clk}$.

Odfiltrowany dolnoprzepustowo sygnał sinusoidalny jest podawany także na wejście wbudowanego w układ AD9850 komparatora, na którego wyjściu uzyskiwany jest sygnał prostokątny. W wykorzystywanych

w projekcie modułach generatorów na jedno z wejść komparatora podawany jest stały sygnał referencyjny z potencjometru montażowego. Od jego wartości zależy współczynnik wypełnienia impulsów w sygnale prostokątnym.

Programowanie układu AD9850 może odbywać się metodą szeregową lub równoległą. Przy zastosowaniu szybszej metody równoległej aktywnie wykorzystywane są piny D0...D7 (programowanie odbywa się przez przekazanie do układu AD9850 pięciu 8-bitowych słów sterujących), natomiast przy programowaniu szeregowym do przekazania tych danych (40 bitów) wykorzystywane są tylko wejścia: W_CLK , FQ_UD , $DATA$ oraz $RESET$. Przy zastosowaniu układu jako zwykłego generatora wolno przestrzeganego w zupełności wystarczy powolniejszy transfer szeregowy, wymagający mniejszej ilości połączeń (programowanie równoległe z natury będzie około 8-krotnie szybsze, co może być przydatne, gdy układ DDS chcielibyśmy wykorzystać np. jako element modemu FSK czy PSK).

Budowa generatora

Schemat ideowy generatora pokazano na rysunkach 7 i 8. Rysunek 7 prezentuje część sterującą układu, umieszczoną na dwuwarstwowej płytce drukowanej, zamocowanej do przedniego panelu przyrządu. Znajdują się na niej m.in.: mikrokontroler ATmega8A (U10), alfanumeryczny wyświetlacz LCD 16x2 (U11), mechaniczny enkoder obrotowy (SW1) z przyciskiem, przeznaczony do parametryzacji przyrządu oraz potencjometr obrotowy PR3, wyprowadzony na złącze P11, którym jest ustalany poziom wyjściowego sygnału sinusoidalnego. Rezystor R21 ogranicza prąd podświetlenia wyświetlacza LCD i należy dobrać go zależnie od typu zastosowanego modułu LCD. Kondensator C41 filtruje napięcie zasilania U11, a potencjometr PR2 jest przeznaczony do regulacji kontrastu wyświetlacza. Kondensatory C36, C37, C38 oraz dławik L6 filtrują zasilanie części cyfrowej i analogowej (przetwornika A/C) mikrokontrolera U10. Na port P9 wyprowadzono odfiltrowany wstępnie przez elementy R20 i C35 piłokształtny sygnał PWM z pinu 16 układu U10 przeznaczony do odchylenia „X” w oscyloskopie (dla pracy przyrządu jako wobulator), a także sygnał kluczujący wyjście sygnału cyfrowego (pin 24) oraz wejście przetwornika ADC0 (pin 23), przeznaczonego do pomiaru poziomu wyjściowego sygnału sinusoidalnego. Enkoder obrotowy z przyciskiem, zasilany przez rezystory R17, R18 i R19, podaje sygnały wyjściowe, filtrowane przez kondensatory: C32, C33 i C34 wraz z rezystorami R22 i R23, których wyjścia dodatkowo zablokowano do masy pojemnościami C42 i C43. Z kolei sterowanie modułu DDS zostało wyprowadzone na port P10 (piny 25...28 układu U10), skąd jest dalej kierowane do modułu generującego, zlokalizowanego na głównej płycie przyrządu.

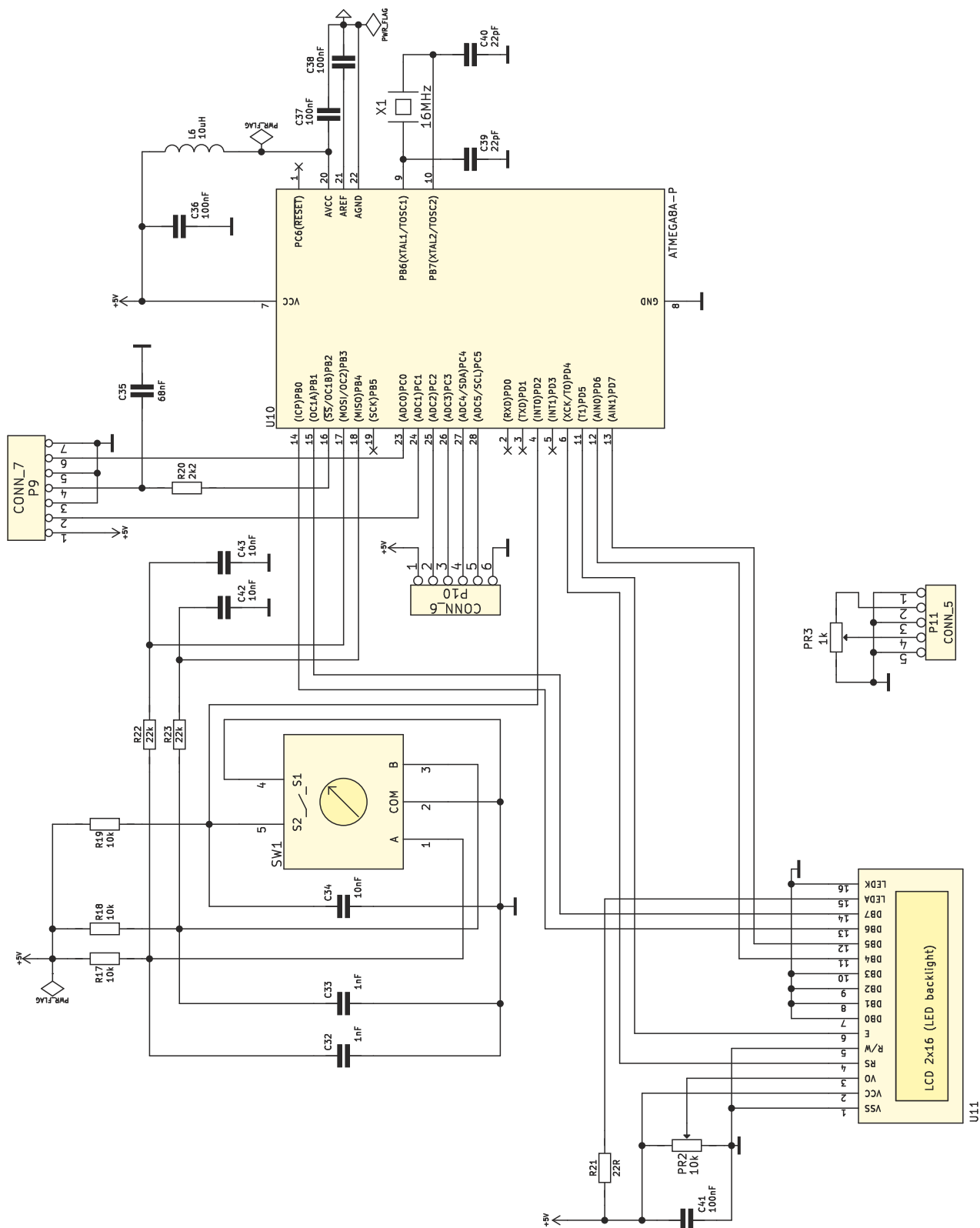
Pokazany na rysunku 8 układ stanowi zasadniczą (wykonawczą) część przyrządu i został umieszczony na dwuwarstwowej płytce drukowanej, zlokalizowanej poziomo i połączonej z panelową płytką kontrolno-sterującą za pomocą kątowych złączy typu „goldpin”. W tej części układu znajduje się

blok zasilania całego urządzenia z portem P1, stabilizatorami scalonymi: U1 (LM7809) i U2 (LM7805) oraz kondensatorami filtrującymi: C1...C6. Zasilanie +9 V jest przeznaczone dla analogowej części urządzenia: wzmacniacza filtru dla piłokształtnego sygnału odchylenia „X” oraz wzmacniacza wyjściowego dla sygnału sinusoidalnego.

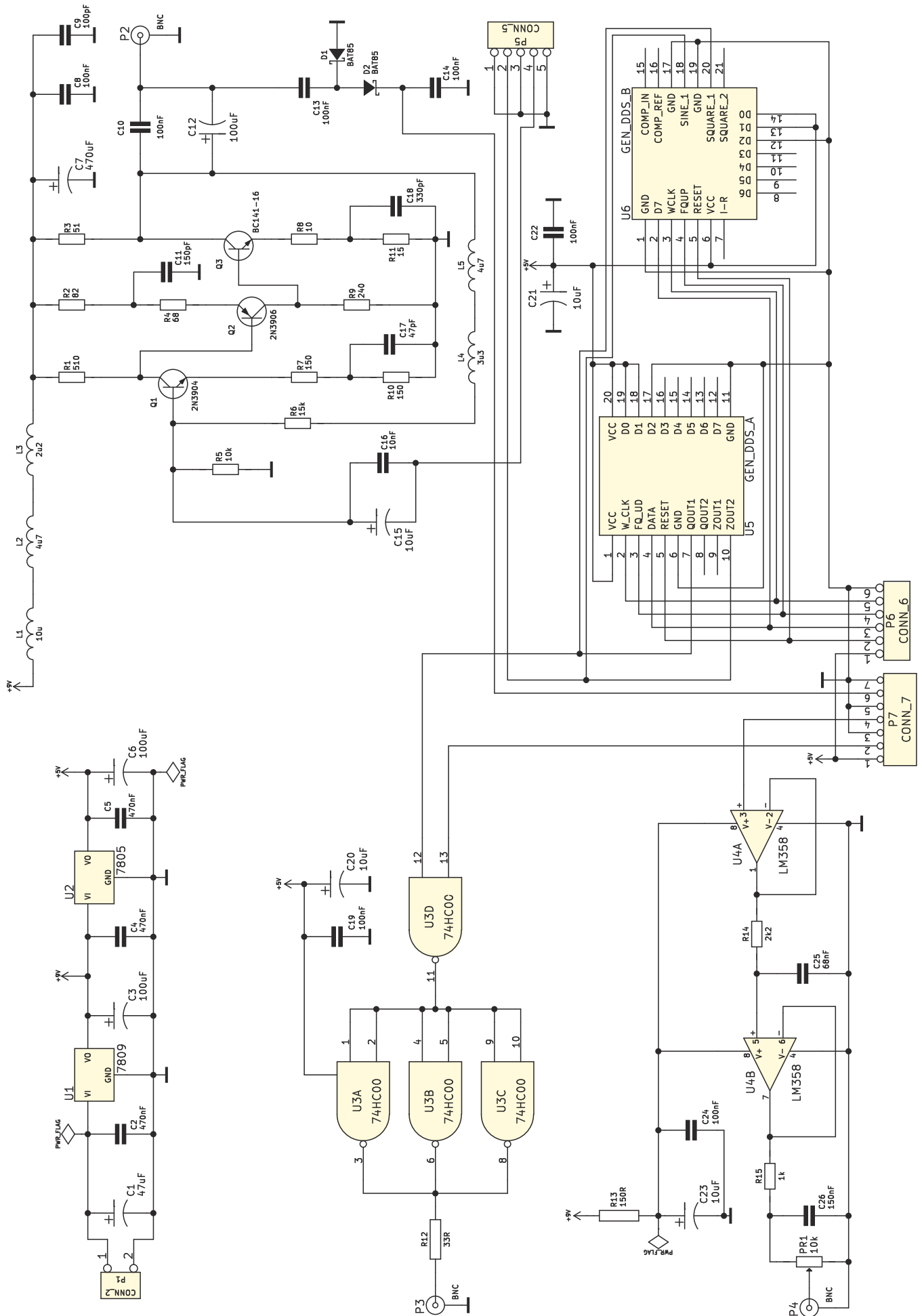
Wzmacniacz filtru dla sygnału odchylenia został oparty na podwójnym

wzmacniaczu operacyjnym U4A i U4B (LM358), zasilany poprzez rezystor R13 oraz kondensatory C23 i C24. Oba wzmacniacze operacyjne pracują w topologii wtórników napięciowych, zapewniających prawidłową realizację trójstopniowego filtra RC z elementami: R20-C35 (na omówionej powyżej panelowej płytce sterowania urządzeniem) oraz R14-C25 i R15-C36. Regulację napięcia wyjściowego, w zakresie 0...5 V, można

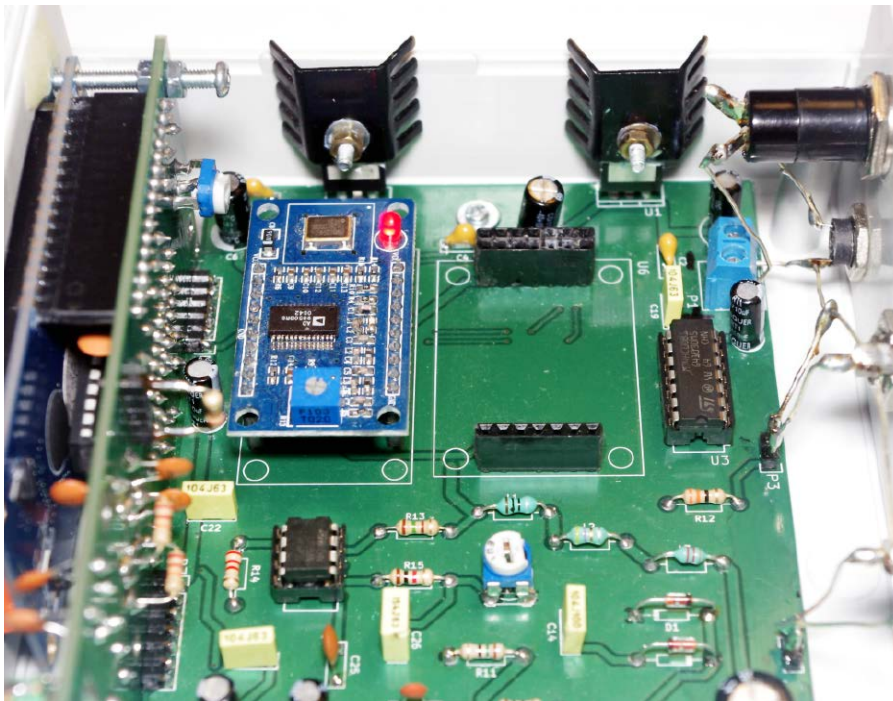
przeprowadzić za pomocą potencjometru montażowego PR1 w celu wstępnego dostosowania go do czułości wejścia „X” wykorzystywanego oscyloskopu. Sygnał ten jest wyprowadzony na port P4 (gniazdo BNC). Wygenerowany sygnał sinusoidalny, regulowany i przekazywany poprzez potencjometr PR3, po dwukrotnym przejściu przez parę portów: P5-P11, trafia do wzmacniacza szerokopasmowego z tranzystorami: Q1...



Rysunek 7. Schemat ideowy części sterującej generatora DDS



Rysunek 8. Schemat ideowy płyty głównej generatora DDS



Fotografia 9. Płyta główna z zamontowanym modułem DDS w wersji „A” (fot. 1)

Q3. Ma on rezystancję wyjściową zbliżoną do 50Ω i wzmocnienie 12 dB w 3-decybelowym paśmie 40 MHz. Został zaprojektowany z zastosowaniem popularnych tranzystorów (2N3904, 2N3906 i BC141-16) poprzez optymalizację wzmocnienia i pasma przenoszenia każdego ze stopni w taki sposób, by finalne pasmo przenoszenia całego układu odpowiadało oczekiwanym założeniom.

Dławiki L1...L3 z kondensatorami C7...C9 niwelują zakłócenia impulsowe w torze zasilania wzmacniacza oraz ograniczają ich przenikanie do głównego toru zasilania urządzenia. Zastosowanie szeregowo aż trzech dławików o różnych wartościach indukcyjności miało na celu wyeliminowanie selektywnego przenikania zaburzeń w.c.z. z uwagi na pojemności pasożytnicze dławików. Stałoprądowy punkt pracy bloku wzmacniającego jest ustalany przez globalną pętlę ujemnego sprzężenia zwrotnego z elementami: L4, L5 i R6.

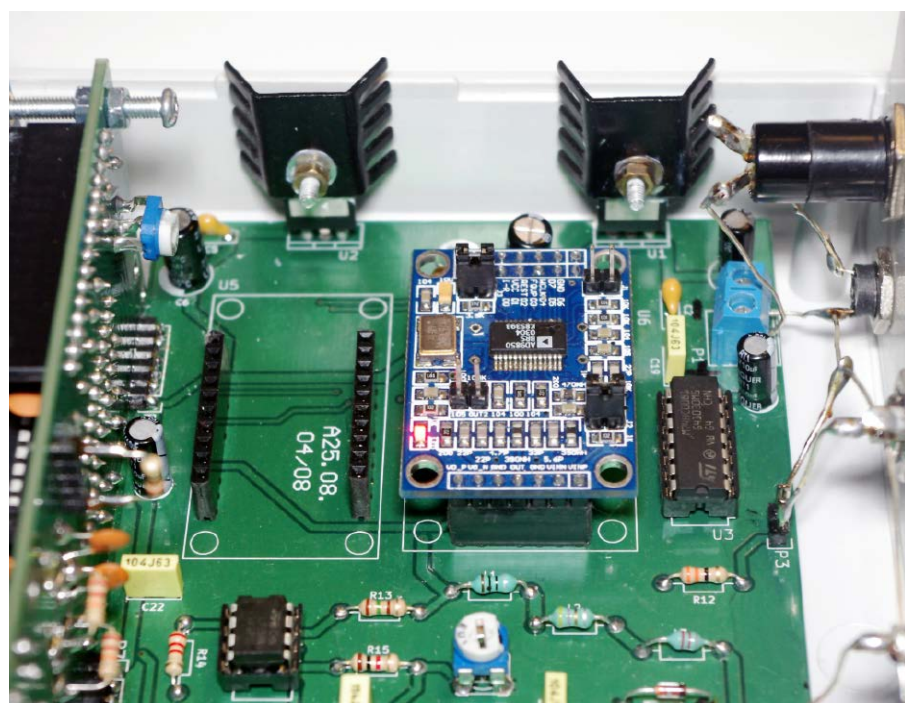
Podobnie jak w obwodzie zasilania wzmacniacza, dławiki L4 i L5 eliminują efekt ich niedoskonałości (działania selektywnego), jednak ich głównym zadaniem jest osłabienie globalnego ujemnego sprzężenia zwrotnego wzmacniacza dla wyższych częstotliwości, dla których wzmocnienie tranzystorów Q1...Q3 jest mniejsze. Z kolei kondensatory C11, C17 i C18 dzielą dla składowej zmiennej rezystancje R7...R10, R2...R4 oraz R8...R11 w stopniu pozwalającym skompensować spadek wzmocnienia poszczególnych stopni tranzystorowych. Należy tu podkreślić, że spadek poziomu sygnału sinusoidalnego, wychodzącego z generatora DDS, wraz ze wzrostem częstotliwości,

nie jest kompensowany w kształcie transmitancji wzmacniacza, ponieważ towarzyszyłoby mu pogorszenie stosunku poziomów: sygnału podstawowego do zakłóceń harmonicznnych, obecnych w sygnale generowanym przez przetwornik C/A w układzie AD9850.

Sygnał sinusoidalny, podawany z modułu DDS do wzmacniacza przez separujące pojemności C15 i C16, trafia na wyjście urządzenia przez port P2 (gniazdo BNC), do którego dołączony jest także detektor szczytowy z podwajaczem napięcia na elementach: D1, D2, C13 i C14. Zadaniem tego detektora jest wytworzenie napięcia stałego,

które z kilkuprocentową dokładnością pozwoli dokonać pomiaru i prezentacji poziomu sygnału wyjściowego sinusoidalnego. Odbywa się to w przetworniku analogowo-cyfrowym w mikrokontrolerze U10 (port ADC0, zlokalizowany na pinie 23). Z kolei wygenerowany sygnał cyfrowy (prostokątny) jest wyprowadzany z urządzenia przez bufor na bramkach NAND U3A...U3D (74HC00) i rezystor dopasowujący impedancję R12 na port BNC P3. Układ U3 jest zasilany napięciem +5 V, zablokowany do masy dla zaburzeń impulsowych kondensatorami C19 i C20. Ten bufor jestysterowany przez pin 12 i kluczowany (włączany i wyłączany) przez pin 13, dołączony przez port P7 do sygnału sterującego z mikrokontrolera U10 (pin 24). Możliwość wyłączania działania bufora wyjściowego została podyktowana potrzebą redukcji zaburzeń impulsowych w wypadku, gdy chcemy pracować wyłącznie z sygnałem sinusoidalnym. Ostatnie nieomówione dotychczas bloki to serce całego przyrządu, czyli moduły DDS: U5 i U6 z kośćmi AD9850, taktowanymi stabilizowanymi termicznie rezonatorami OCOXO. Na głównej płycie drukowanej przyrządu zlokalizowane zostały gniazda dla dwóch alternatywnie stosowanych modułów (fotografia 9, fotografia 10), jednak w praktyce należy użyć tylko jednego z nich. Linie wejściowe (programujące: W_CLK, FQ_UD, DATA oraz RESET) i wyjściowe (analogowy sinus oraz cyfrowy prostokąt) zostały zatem połączone bez ryzyka uszkodzenia urządzenia.

Adam Sobczyk, SQ5RWW
sq5rww@gmail.com
<http://sq5rww.pl>



Fotografia 10. Płyta główna z zamontowanym modułem DDS w wersji „B” (fot. 2)



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.

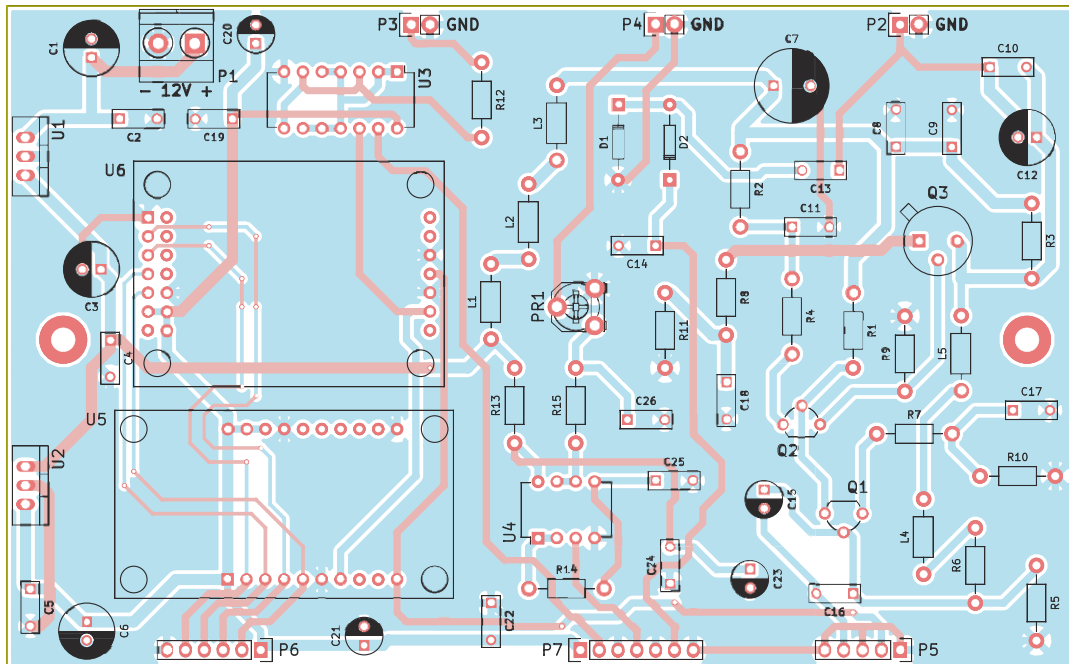
Pewną trudnością może okazać się przygotowanie wsuwek dla modułów DDS, które wykonujemy z przyciętych na odpowiednią długość odcinków żeńskich listew „gold-pin”. Dla modułu U5 wystarczą listwy jednorzędowe, a dla modułu U6 jedną z wsuwek

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

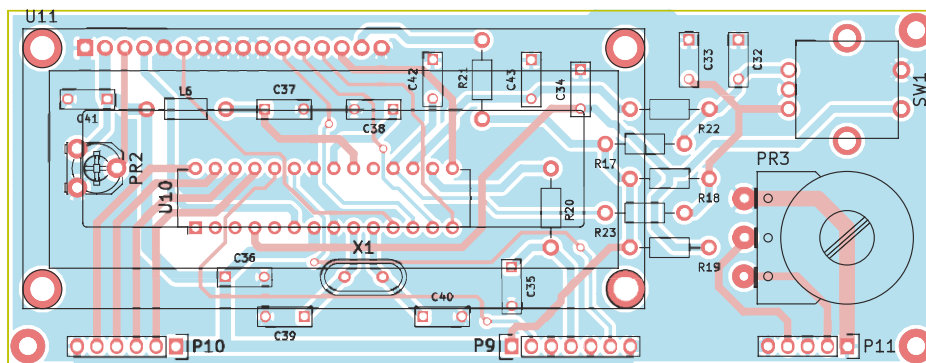
montowanej do przedniego panelu urządzenia. 16-pi-nową złączkę-gniazdo dla ekranu LCD (U11) należy przyciąć z odpowiedniego odcinka żeńskiej listwy „goldpin”. Z kolei wyprowadzenia do montażu potencjometru regulacyjnego poziomu sygnału sinusoidalnego PR3 wykonujemy z pięciu segmentów odcinka męskiej 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 wluwano odcinek listwy „goldpin”.



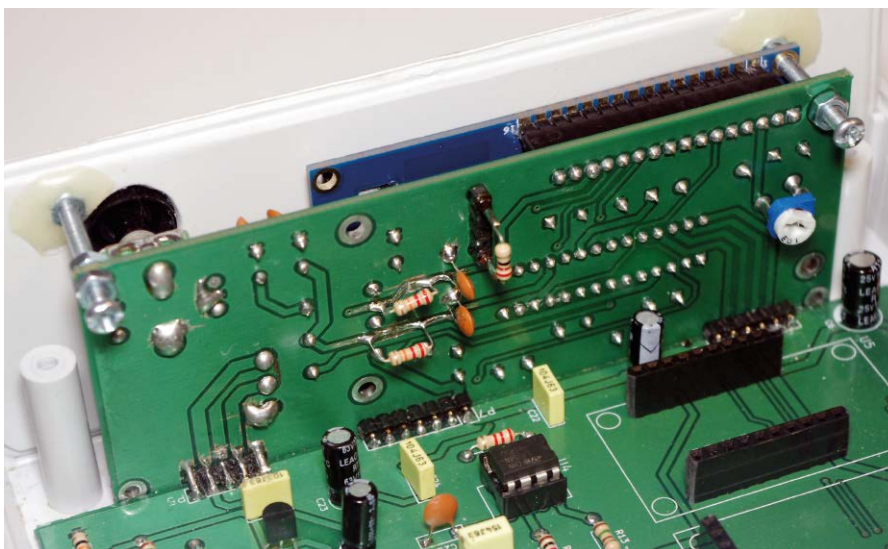
Rysunek 11. Schemat montażowy płyty głównej

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 listw do głównej PCB zalutowujemy je od spodu, pilnując, by montaż został wykonany starannie pod kątem prostym do płytki.

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”



Rysunek 12. Schemat montażowy panelu sterującego



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: 1...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 wypełnienia (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 B płytka drukowana (lub płytki) oraz komplet elementów wymieniony w załączniku pdf.
AVT xxxx C to nic innego jak zmontowany zestaw B, czyli elementy wmontowane 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, 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 uzziemieniu 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.

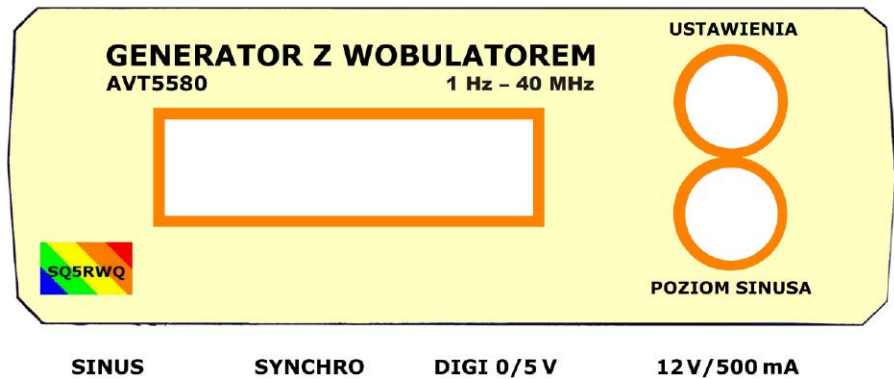
Trwale zamocowane w obudowie urządzenie należy połączyć elektrycznie z wyprowadzeniami sygnałów na gniazdach BNC oraz włącznikiem i gniazdem zasilania +12 V. Z uwagi na brak zagrożenia zwarć wewnątrz zamkniętej obudowy, opisane połączenia można wykonać np. za pomocą srebrzanki o średnicy 0,5 mm.

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* (poziomy 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

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

iterador 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 dolno-przepustowe 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* syntezy.

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 trzy-cyfrowe 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 selekcjonują 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 naciśnięcie 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

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 SQ5FGB 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