

Generator funkcyjny DDS

AVT-5124

Generatory DDS coraz częściej pojawiają się w ofertach sprzętu profesjonalnego, coraz częściej też są budowane samodzielnie przez amatorów. Jedną z takich konstrukcji przedstawiamy w niniejszym artykule.

Rekomendacje:

generator znajdzie zastosowanie nie tylko na stanowisku elektronika zajmującego się układami analogowymi, jest stosunkowo łatwy w montażu i ma niezłe parametry.



Prezentowane urządzenie zostało zbudowane w oparciu o nowoczesny układ scalony firmy Analog Devices z syntezą DDS. W strukturze tego układu znajduje się 10-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy i z taką właśnie rozdzielczością generowane są przebiegi: sinusoidalny i trójkątny. Częstotliwość może być zadawana z dokładnością 0,1 Hz, a parametry napięciowe przebiegu (amplituda i offset) z dokładnością do 100 mV. Wszystkie niezbędne do obsługi generatora informacje są umieszczone na wyświetlaczu graficznym (128x64 punkty). Wprowadzanie parametrów generowanego przebiegu jest możliwe dzięki 16-przyciskowej klawiaturze i może odbywać się w kilku trybach, które użytkownik wybiera stosownie do potrzeb.

Opis układu

Schemat elektryczny generatora funkcyjnego przedstawiono na **rys. 1**. Najważniejszym jego elementem jest układ AD9833 (IC1) – programowany generator sygnału sinusoidalnego, trójkątnego lub prostokątnego z bezpośrednią syntezą cyfrową. Częstotliwość

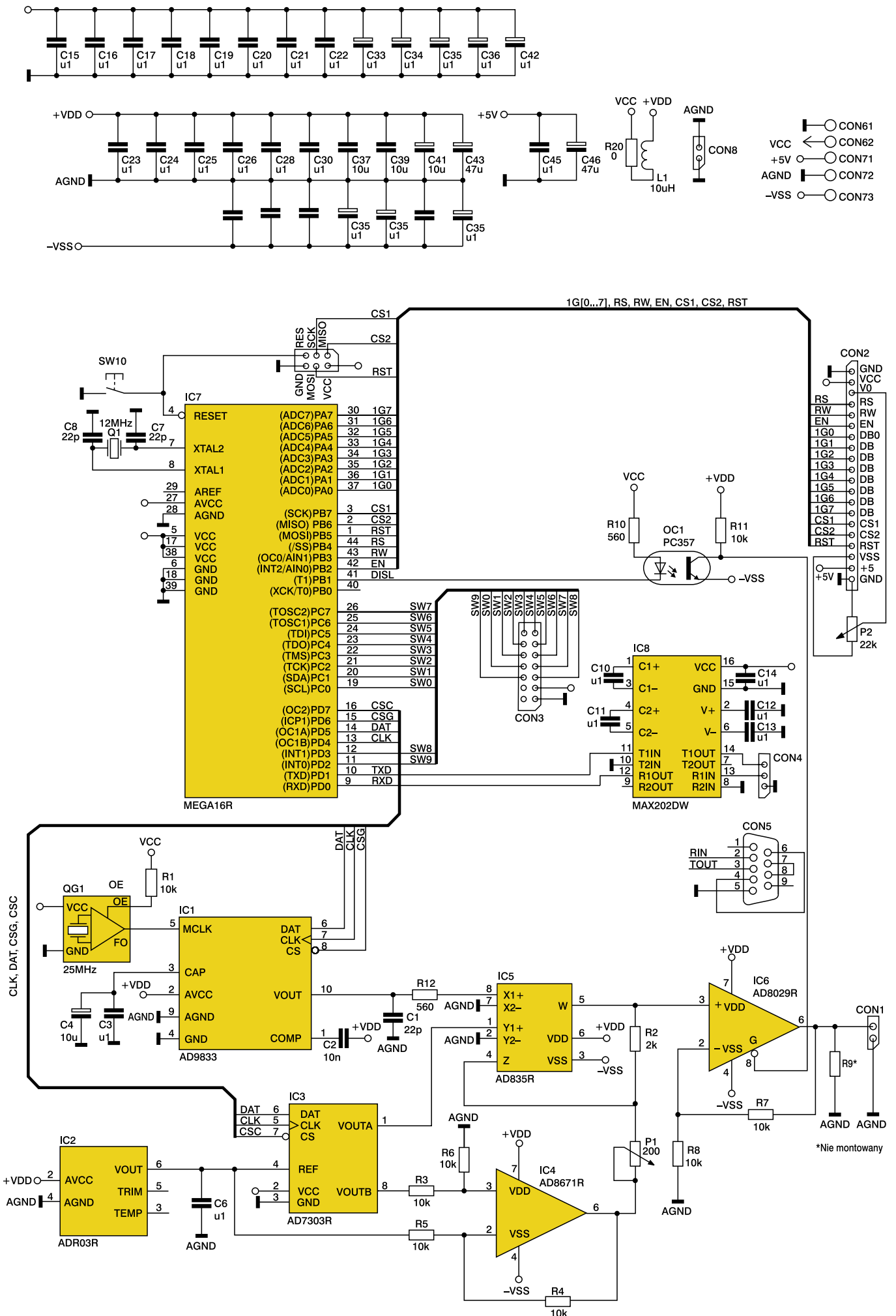
wzorcowa z generatora kwarcowego jest podawana na wejście MCLK, natomiast częstotliwość f przebiegu generowanego na wyjściu V_{OUT} układu jest z nią skorelowana według zależności:

$$f = \text{FREQ} \times 2^{28} / f_{MCLK}$$

gdzie FREQ jest wartością zapisaną w 28-bitowym rejestrze, za pomocą którego użytkownik może definiować częstotliwość. Teoretycznie, według danych katalogowych, przy częstotliwości wzorcowej 25 MHz można uzyskać przebiegi o częstotliwościach z zakresu 0,1 Hz do 12,5 MHz. W praktyce okazuje się jednak, że przy wyższych częstotliwościach w generowanych przebiegach (sinus i trójkąt) pojawiają się coraz silniejsze zniekształcenia. Uzyskanie niezniekształconych sygnałów przy tych częstotliwościach wymagałoby zastosowania filtra dolnoprzepustowego. Taki filtr nie gwarantowałby uzyskania poprawnego kształtu przebiegu trójkątnego, a przy przebiegu prostokątnym musiałby być wyłączany. Opisane zniekształcenia są pomijalnie małe przy częstotliwościach poniżej 1 MHz i do tej wartości

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytko o wymiarach: 93x87 mm
- Zasilanie: 2x5 V lub pojedyncze 5 V z przetwornicą DC/DC
- Zakres generowanych częstotliwości: 0,1 Hz...1,0 MHz
- Kształt generowanego przebiegu: sinus, trójkąt, prostokąt
- Rozdzielczość DAC: 10 bitów
- Amplituda: 0,2...2,0 V (sinus, trójkąt), 0,2...5,0 V (prostokąt)
- Offset: $\pm 2,5$ V



Rys. 1. Schemat elektryczny generatora

programowo ograniczone zostało pasmo generatora.

Kształt generowanego przebiegu określa zawartość rejestru kontrolnego. Przebieg sinusoidalny jest generowany w przetworniku analogowo-cyfrowym na podstawie tabeli wartości zapisanych w pamięci ROM układu. Jeżeli na wejście przetwornika zamiast danych z pamięci ROM są wpisywane dane adresowe tabeli, wówczas generuje on przebieg trójkątny. Natomiast przez przełączenie na wyjście układu zawartości MSB danych adresowych DAC, pozwala generować przebieg prostokątny.

Amplituda sygnału generowanego w przetworniku analogowo-cyfrowym, a więc przebiegu sinusoidalnego i trójkątnego, wynosi $0,6\text{ V p-p}$, sygnał prostokątny ma natomiast amplitudę odpowiadającą napięciom poziomów logicznych przy danym napięciu zasilania.

Wpisywanie żądanych wartości do rejestrów jest możliwe dzięki 3-przewodowemu interfejsowi, kompatybilnemu z SPI (linie CSG, CLK i DAT). Dane są wpisywane do pamięci przy opadającym zboczach sygnału CLK.

Przebieg generowany na wyjściu V_{OUT} jest doprowadzony na wejście X układu mnożącego IC5. AD835 realizuje funkcję:

$$W = XY + Z$$

W projekcie zastosowano, zalecaną przez producenta, podstawową aplikację tego układu scalonego. Należy zauważyć, że wykorzystany układ mnożący charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami: niskim poziomem szumów i szerokim pasmem przeniesienia (250 MHz). Napięcia doprowadzane na wejścia Y i Z umożliwiają regulację amplitudy i offsetu generowanego przebiegu.

Pod pojęciem „regulacja amplitudy” należy rozumieć nie tylko możliwość zmiany wzmocnienia IC5, tak aby amplituda sygnału wyjściowego była równa wartości wybranej przez użytkownika, ale również jako dopasowanie wzmocnienia do kształtu sygnału. Jak wspomniano wcześniej, amplituda przebiegu prostokątnego na wyjściu AD9833 jest inna niż przebiegu sinusoidalnego i trójkątnego. Zatem po zmianie kształtu sygnału, przy tej samej zadanej amplitudzie, wzmocnienie IC5 musi zostać odpowiednio skorygowane.

Napięcia podawane na wejścia Y i Z są ustalane w bloku składającym

się z IC2, IC3 i IC4. Podstawowym elementem tego bloku jest podwójny, 8-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy AD7303 (IC3). Układ zawiera dwa identyczne przetworniki DAC. Wartość napięcia na wyjściu każdego z nich jest opisana wzorem:

$$V_{\text{OUT}} = 2xV_{\text{REF}}x(N/256)$$

w którym N oznacza dziesiętną reprezentację zawartości rejestru odpowiedniego przetwornika, a V_{REF} wartość napięcia odniesienia. Układ AD7303 ma wbudowane źródło napięcia odniesienia o wartości $V_{\text{CC}}/2$, ale istnieje możliwość wykorzystania źródła zewnętrznego. Wyboru dokonuje się programowo poprzez odpowiednie skonfigurowanie bitów kontrolnych w rejestrze układu. W projekcie generatora do DAC podłączono zewnętrzne, dokładniejsze od wbudowanego, źródło napięcia odniesienia (IC2) o wartości 2,5 V, zatem na wyjściach przetworników można wygenerować napięcia od 0 do 5 V.

Podobnie jak AD9833, również układ AD7303 został wyposażony w interfejs szeregowy SPI. Linie CLK i DAT są wspólne dla obu układów scalonych, natomiast linie wyboru układu są oczywiście osobne – dla przetwornika jest to CSC. Dane są wpisywane do pamięci przy narastającym zboczach sygnału CLK.

Przetwornik A podłączono bezpośrednio do wejścia Y układu mnożącego i jest wykorzystywany do regulowania amplitudy sygnału. Natomiast część układu odpowiedzialna za regulację offsetu jest nieco bardziej skomplikowana. Sygnał z przetwornika B (0...5 V) jest doprowadzony do wejścia nieodwracającego wzmacniacza operacyjnego IC4. Wejście odwracające jest natomiast podłączone do źródła napięcia odniesienia 2,5 V IC2 (ADR03). Wzmacniacz operacyjny AD8671 (IC4) jest skonfigurowany jako wzmacniacz odejmujący o wzmocnieniu jeden. Na jego wyjściu można uzyskać sygnał o wartości od $-2,5\text{ V}$ do $2,5\text{ V}$. Sygnał ten jest doprowadzony do wejścia Z układu mnożącego IC5.

Ostatnim elementem analogowej części generatora funkcyjnego jest IC6. Pracuje on jako wzmacniacz nieodwracający o wzmocnieniu dwa. Zastosowanie wtórnika napięciowego, pełniącego wyłącznie rolę bufora nie było możliwe, ponieważ zakres napięć wyjściowych układu mnożącego AD835 wynosi $\pm 2,5\text{ V}$. Nie pozwalałoby to na użycie generatora jako źródła sygnału o poziomach TTL, a taka możli-

wość była jednym z głównych założeń konstrukcyjnych. Dalszą konsekwencją tego założenia, przy zasilaniu układu napięciami $\pm 5\text{ V}$, jest ograniczenie polegające na tym, że IC6 musi być wzmacniaczem typu *Rail-to-Rail*. Ponadto, w projekcie generatora, układ scalony IC6 spełnia jeszcze jedną funkcję. Zastosowany wzmacniacz AD8029 ma wejście DISABLE. Podanie na nie napięcia, bliskiego ujemnemu napięciu zasilania, powoduje wyłączenie wzmacniacza i zablokowanie wyjścia. Transoptor OC1 pozwala na wysterowanie wejścia DISABLE z portu mikrokontrolera.

Cyfrowa część układu generatora funkcyjnego składa się z mikrokontrolera IC7, wyświetlacza graficznego i klawiatury. Mikrokontroler interpretuje polecenia wydawane przez użytkownika z klawiatury, wysyła je do generatora i przetwornika DAC oraz steruje transpotrem.

Program obsługi zajmuje 87% dostępnej w ATmega16 pamięci. Dzięki pełnej zgodności rozkładu wyprowadzeń mikrokontrolerów ATmega16 i ATmega32, nie będzie problemem, jeżeli zajdzie potrzeba znacznego rozbudowania programu – wystarczy po prostu wymienić mikrokontroler.

W generatorze przewidziano zastosowanie wyświetlacza graficznego ze sterownikiem KS0108, który nie ma wbudowanego generatora znaków. Skutkiem tego pewną część pamięci programu w mikrokontrolerze zajmują definicje wyświetlanych liter, cyfr i symboli. Dzięki temu w łatwy sposób możliwe jest używanie tekstu z literami o różnej wysokości i kształcie. Dla wyróżnienia najważniejszej informacji prezentowanej na wyświetlaczu – częstotliwości generowanego przebiegu – jest ona wyświetlona fontem o znacznie większej wysokości niż pozostałe parametry. Modelowy układ wyposażono w podświetlany, żółto-zielony wyświetlacz typu LCD-A-12864K-202 Y/G (seria HY-12864K) o rozdzielczości 128x64 punkty. Wyświetlacz ma wbudowany generator napięcia ujemnego, więc jedynym wymaganym zewnętrznym elementem jest potencjometr P2 do regulacji kontrastu. Żółto-zielone wyświetlacze w normalnych warunkach nie wymagają podświetlania. Nie mniej jednak w złączu zasilania wyprowadzono dodatkowy zacisk dla LED-ów podświetlacza. Będzie ono potrzebne, jeśli zostanie użyty wyświetlacz niebiesko-biały (LCD-H-12864K-801

W/B) względnie biało-niebieski (LCD-A-12864A01-GHW B/W) tej samej serii, które mają identyczny interfejs.

Drugim elementem generatora funkcyjnego służącym do interakcji z użytkownikiem jest klawiatura. Aby zapewnić jak największy komfort obsługi generatora, zastosowano 16-przyciskową klawiaturę matrycową. Jej schemat przedstawiono na rys. 2. Pomimo iż wydaje się, że szesnaście klawiszy jest liczbą wystarczającą, w projekcie przewidziano możliwość rozbudowy tej części urządzenia. Na złączu CON3 wyprowadzone są również piny 2 i 3 portu D, dzięki temu w procedurach obsługi klawiatury możliwe będzie wykorzystanie przezwrań mikrokontrolera.

Na schemacie generatora, do pinów sprzętowego UART mikrokontrolera, przyłączony jest interfejs RS232 – układ MAX202 (IC8). W założeniach do projektu nie przewidywano jednak użycia tego interfejsu. Oprogramowanie nie zawiera procedur jego obsługi. IC8 został uwzględniony w projekcie obwodu drukowanego tylko po to, by ułatwić ewentualną rozbudowę.

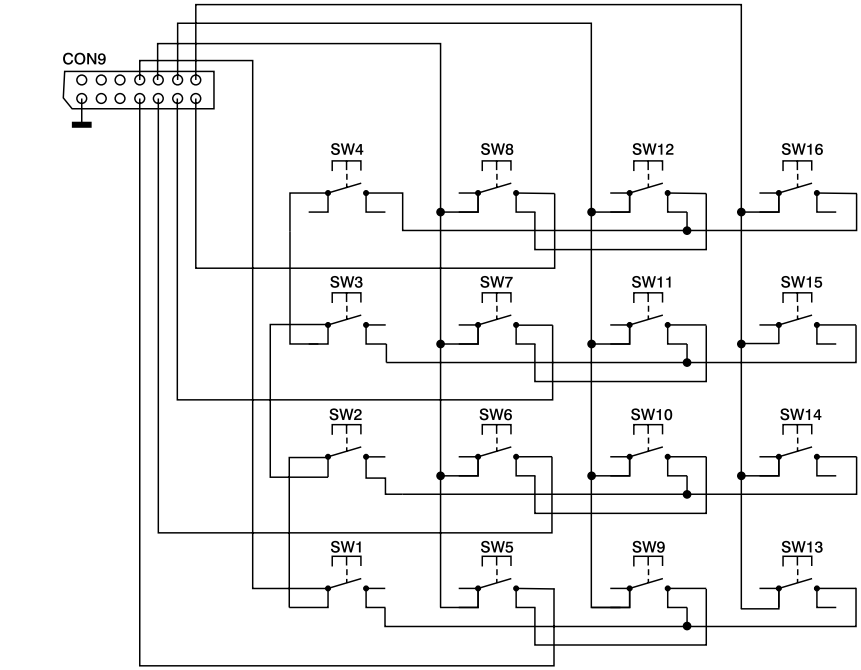
Montaż i uruchomienie

Widok płytek generatora i klawiatury przedstawiono na rys. 3 i 4. Zaprojektowano dwustronne obwody drukowane z metalizacją otworów. Najtrudniejszym etapem montażu będzie wlotowanie układu AD9833 o rastrze 0,5 mm. Pozostałe układy scalone, z wyjątkiem mikrokontrolera, dostępne są w obudowach SOIC.

Jak wspomniano wcześniej, wlotowanie układu IC8 i złączy interfejsu szeregowego nie jest konieczne. Ostatnim etapem budowy generatora powinno być wlotowanie elementów do montażu przewlekane. W czasie montażu nie trzeba stosować żadnych trików, nie powinno się tylko zapomnieć o czterech kondensatorach SMD, które jako jedyne powinny być wlotowane od spodu płytki.

Potencjometr P1 pozwala na korektę wzmacnienia IC5 w zakresie 5% wartości. W większości przypadków, licząc się z możliwością wystąpienia niewielkich niedokładności, może być zastąpiony rezystorem stałym 100 Ω.

Wymiary płytki generatora są nieco większe od wymiarów wyświetlacza – dodano niewielkie marginesy od dołu i od góry, które

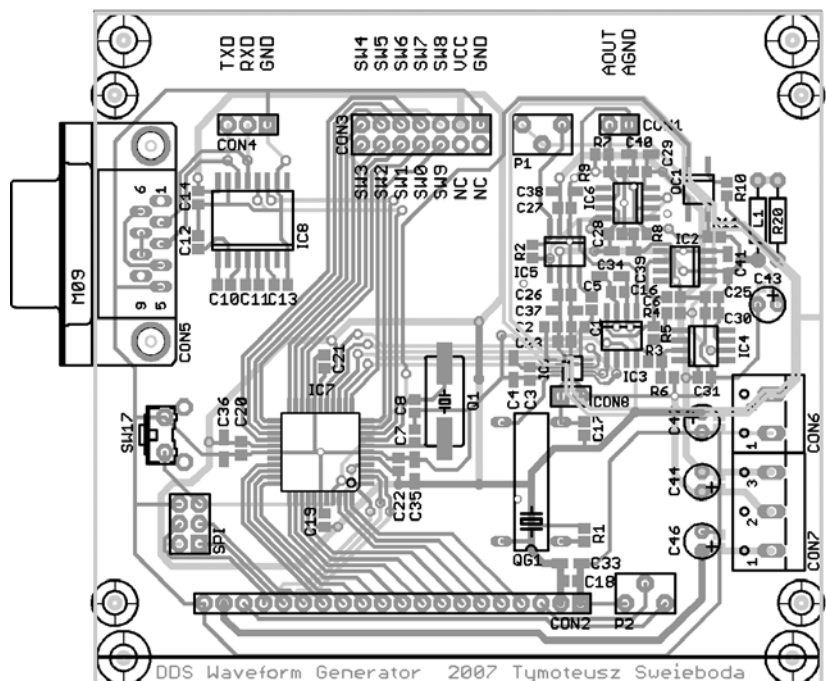


Rys. 2. Schemat elektryczny klawiatury

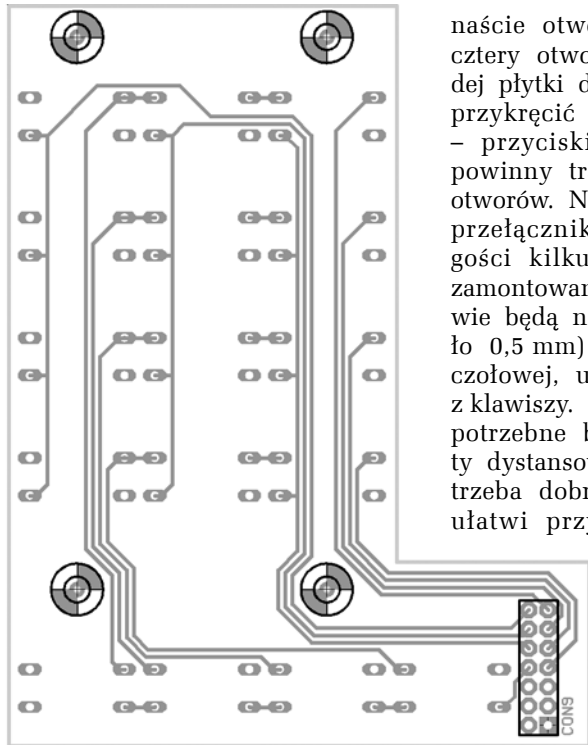
pozwalają na przykręcenie układu do obudowy za pomocą czterech popularnych elementów dystansowych z gwintem M3. Wyświetlacz został przykręcony do płytki drukowanej drugim zestawem tulejek dystansowych M2,5. Użycie tych, dość trudnych do zdobycia elementów zostało narzucone średnicą otworów montażowych wyświetlacza, które są umieszczone tak blisko krawędzi, że nie jest możliwe rozwiercenie ich do większej średnicy. Te elementy dystansowe

powinny mieć długość 15 mm, aby dało się zbudować „kanapkę” pozwalającą na łatwy demontaż wyświetlacza. Proponowana wysokość tulejek dystansowych nie jest przypadkowa, taki odstęp między płytką, a wyświetlaczem umożliwia zmieszczenie wszystkich złączy (przede wszystkim ARK i gniazda D-SUB).

Czas na wątek kulinarny, czyli przepis na kanapkę. W płytkę generatora należy wlotować 20-pinowe złącze z żeńskimi goldpinami, wło-



Rys. 3. Schemat montażowy płytki generatora



Rys. 4. Schemat montażowy płytki klawiatury

żyć w nie żeńskie gniazdo do złącza kołkowych, a do wyświetlacza włutować męskie złącze kołkowe. Łączna wysokość wlotowanych elementów powinna wynosić dokładnie 15 mm. Ponieważ wyświetlacz jest umieszczony w niewielkiej odległości od laminatu z obwodem drukowanym, wejścia, wyjścia i interfejs SPI wyposażono w kątowe złącza kołkowe umożliwiające łatwe podłączanie przewodów. Jako klawisz *Reset* został użyty kątowny mikroprzełącznik.

Montaż płytki klawiatury jest zdecydowanie łatwiejszy niż płytki generatora. Poza tym przy budowie tego elementu generatora można pozwolić sobie na całkowitą swobodę i zachowując oczywiście zgodność ze schematem ideowym, stworzyć klawiaturę lepiej dostosowaną do własnych preferencji. Nie mniej jednak, w proponowanym rozwiązaniu złącze kołkowe 2x7 pinów (najlepiej kątowe) trzeba włutować na odwrotnej stronie płytki niż mikroprzełączniki, tak aby nie przeszkadzało w przykręceniu jej do obudowy. Generator i klawiaturę trzeba połączyć 14-przewodową taśmą z zaciśniętymi żeńskimi złączami kołkowymi.

Obudowę należy przygotować wycinając w niej prostokątny otwór na wyświetlacz oraz wierząc szes-

naście otworów na przyciski i po cztery otwory montażowe dla każdej płytki drukowanej. Płytki trzeba przykręcić od wewnątrz obudowy – przyciski na płytce klawiatury powinny trafić do przygotowanych otworów. Należy zastosować mikroprzełączniki z przyciskami o długości kilku milimetrów, które po zamontowaniu klawiatury w obudowie będą nieco wystawały (na około 0,5 mm) nad płaszczyznę płyty czołowej, umożliwiając korzystanie z klawiszy. Do montażu obu płytek potrzebne będą po cztery elementy dystansowe M3, których długość trzeba dobrać. Obsługę klawiatury ułatwi przygotowany wzór opisu

klawiszy (rys. patrz wkładka PCB), który należy wydrukować na papierze lub folii samoprzylepnej i nakleić na obudowę. Ponadto w obudowie należy wykonać otwór na gniazdo BNC. Do

gniazda BNC trzeba przylutować przewód koncentryczny zakończony żeńskim, 2-pinowym złączem kołkowym umożliwiającym podłączenie do złącza na płytce drukowanej generatora.

Kilku zdań wyjaśnienia wymaga sposób zasilania generatora. Część cyfrowa układu jest zasilana pojedynczym napięciem 5 V, a część analogowa symetrycznym ± 5 V. Obwód dodatniego napięcia zasilania części analogowej pobiera prąd z obwodu zasilania części cyfrowej i jest podłączony do niego poprzez filtr składający się z elementów L1 i R20 (w egzemplarzu modelowym zamiast R20 włutowano zworę), natomiast ujemne napięcie zasilające część analogową powinno być doprowadzone z oddzielnego zasilacza. Zgodnie z zaleceniami, zawartymi przez producenta w karcie katalogowej AD9833, masa części cyfrowej i analogowej powinna łączyć się w jednym punkcie, możliwie blisko tego układu scalonego (CON8 – zwora). Z tego właśnie powodu, część zasilacza dostarczającego ujemne napięcie do części analogowej układu powinna być całkowicie niezależna (odseparowana galwanicznie) od części wytwarzającej napięcie dodatnie (rys. 5).

Zastosowane rozwiązanie obwodu zasilania ma pewną zaletę,

mianowicie umożliwia wykorzystanie przetwornicy DC/DC 5 V/5 V do wygenerowania ujemnego napięcia zasilającego (rys. 6). Dzięki temu cały układ generatora może być zasilany pojedynczym napięciem 5 V. Użycie przetwornicy DC/DC, która jest potencjalnym źródłem silnych zakłóceń, wiąże się z ryzykiem pogorszenia jakości sygnału na wyjściu generatora. Wydaje się jednak, że nowoczesne przetwornice, o niskim poziomie szumów (szumy rzędu 6 mV p-p, a nawet mniej), przeznaczone do zastosowań w aparaturze pomiarowej i układach audio, pozwalają ryzyko to zminimalizować.

Obsługa generatora

Klawiatura generatora jest podzielona na dwie części: cztery przyciski funkcyjne i 12-przyciskową klawiaturę numeryczną. Zrozumienie sposobu obsługi urządzenia może ułatwić zaproponowany wzór opisu klawiszy z rys. 5. Po załączeniu zasilania wyświetlane jest logo, a następnie ekran roboczy, na którym znajdują się następujące informacje: ustawiona częstotliwość, amplituda (p-p), offset, kształt przebiegu i ikona informująca o stanie wyjścia (aktywne/nieaktywne). Poza tym, w ostatnim wierszu jest wyświetlana informacja o aktualnym trybie pracy generatora. Domyślne wartości nastaw ładowane po zerowaniu to: częstotliwość 1 Hz, amplituda 1000 mV, offset 0 mV, wyjście jest nieaktywne, a generator znajduje się w trybie bezpośredniego wprowadzania częstotliwości.

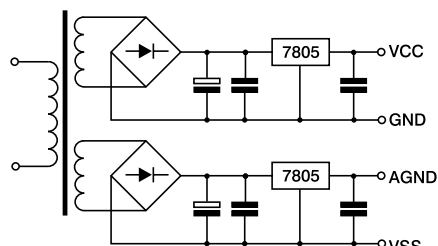
Tryb bezpośredniego wprowadzania częstotliwości (*Direct Value Input*) pozwala na wprowadzanie wartości częstotliwości bezpośrednio z klawiatury numerycznej. Po wpisaniu liczby składającej się z maksymalnie siedmiu znaków (cyfry 0...9 i punkt dziesiętny), klawiszem *kHz/MHz* można w pętli wybrać mnożnik 10^0 („ ”), 10^3 („k”) lub 10^6 („M”). Wprowadzoną wartość należy zatwierdzić klawiszem *Enter* (↵), co jest sygnalizowane wyświetleniem jednostki „Hz”. Wpisanie więcej niż siedmiu znaków powoduje wyczyszczenie ekranu, umożliwiając ponowne wprowadzenie wybranej wartości. Zatwierdzenie wartości mniejszej niż 0,1 Hz i większej niż 1,0 MHz powoduje,

że generator wpisuje do rejestru odpowiednio najmniejszą lub największą akceptowaną przez urządzenie częstotliwość (czyli właśnie 0,1 Hz lub 1,0 MHz).

Naciskając klawisz *INPUT MODE* można przełączać się w pętli między opisanym, a dwoma kolejnymi trybami wprowadzania wartości: góra/dół z predefiniowanym krokiem i góra/dół z krokiem definiowanym przez użytkownika. Po zmianie trybu przyciskiem *INPUT MODE* ustawiona częstotliwość jest wyświetlana w hercach, z dokładnością do 1 Hz.

W trybie góra/dół z predefiniowanym krokiem (*Predef Step Up/Down*) możliwe jest inkrementowanie lub dekrementowanie ustawionej wartości częstotliwości o z góry określony krok. Naciśnięcie jednego z sześciu przycisków górnej połowy klawiatury numerycznej *UP* inkrementuje, a jednego z sześciu przycisków dolnej połowy *DOWN* dekrementuje aktualną wartość częstotliwości. Wybór jednego z sześciu klawiszy, z sekcji *UP* lub *DOWN*, leżącego na przecięciu jednej z kolumn „1”, „10” lub „100” z wierszem „Hz” lub „kHz”, determinuje wartość kroku.

Tryb góra/dół z definiowanym krokiem (*Defined Step Up/Down*) umożliwia użytkownikowi zdefiniowanie wartości kroku, jednakowego do inkrementacji i dekrementacji. Po wybraniu tego trybu, najpierw trzeba wprowadzić wartość kroku (*Set Step Value*) w taki sam sposób, jak częstotliwość w trybie bezpośredniego wprowadzania i zatwierdzić ją przyciskiem \leftarrow . Generator potwierdza wartość wprowadzonego kroku napisem „Chosen Step” i wyświetleniem symbolu „Hz” i po chwili powraca do wyświetlania aktualnie nastawionej wartości częstotliwości. Od tego momentu, naciśnięcie jednego z sześciu przycisków górnej połowy klawiatury numerycznej *UP* powoduje inkrementację częstotli-



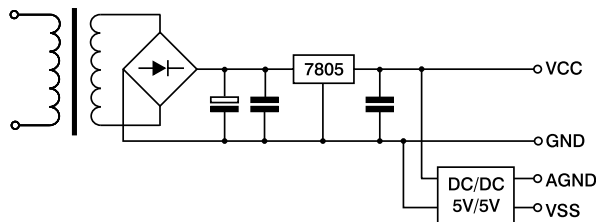
Rys. 5. Schemat podwójnego zasilacza

wości o wybrany krok, a jednego z przycisków dolnej połowy *DOWN* dekrementację wartości.

Naciśnięcie przycisku zmiany trybu wprowadzania częstotliwości *INPUT MODE* w każdym z trzech trybów, w dowolnym momencie, powoduje wybór następnego, w pętli.

Przycisk *FRQ/SHAPE* przełącza generator między trybami wprowadzania częstotliwości, a trybem definiowania kształtu przebiegu.

W trybie definiowania kształtu przebiegu (*Define Shape*) użytkownik może zmieniać amplitudę, offset i kształt sygnału dostępnego na wyjściu generatora. Przyciski w pierwszej kolumnie klawiatury numerycznej *Ampl* pozwalają na zmianę amplitudy sygnału, w drugiej kolumnie *Offs* – offsetu, a w trzeciej *Shape* – kształtu. Klawisze górnej połowy klawiatury *UP* inkrementują wartość modyfikowanego parametru, a dolnej *DOWN* – dekrementują. Klawisze pierwszego i czwartego wiersza *Fast* zmieniają wartość parametru o 500 mV, a drugiego i trzeciego *Slow* o 100 mV. Wyjątkiem są klawisze modyfikujące kształt przebiegu – obydwa klawisze *UP* przełączają kształt prze-



Rys. 6. Schemat pojedynczego zasilacza z przetwornicą DC/DC

biegu w sekwencji: sinus \rightarrow trójkąt \rightarrow prostokąt, a klawisze *DOWN* w przeciwnej kolejności. W trybie definiowania kształtu przebiegu klawisze *INPUT MODE* i \leftarrow służą do szybkiego wyboru predefiniowanych kształtów sygnału, odpowiednio: *SINUS* (sinusoida, amplituda 1000 mV, offset 0 mV) i *TTL* (prostokąt, amplituda 5000 mV, offset 2500 mV).

Klawisz *DIS/ENA* służy do blokowania lub odblokowywania wyjścia, bez względu na aktualnie wybrany tryb. Niezależnie od tego czy wyjście jest aktywne, czy nie, działanie wszystkich trybów wprowadzania częstotliwości i definiowania kształtu jest takie samo. Stan wyjścia generatora jest sygnalizowany na wyświetlaczu odpowiednim symbolem.

Tymoteusz Świeboda
gleitmo@vp.pl

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

- R1, R3...R8, R11: 10 kΩ (0805)
- R2: 2 kΩ (0805)
- R10, R12: 560 Ω (0805)
- R20: zwora
- R9: nie montowany
- P1: potencjometr 200 Ω
- P2: potencjometr montażowy 22 kΩ

Kondensatory

- C1, C7, C8: 22 pF/63 V (0805)
- C2: 10 nF/63 V (0805)
- C3, C5, C6, C10...C32, C45: 100 nF/63 V (0805)
- C4, C33...C41: 10 μF/10 V tantal (3216)
- C42...C44, C46: 47 μF/10 V

Półprzewodniki

- IC1: AD9833
- IC2: ADR03R (SOIC8)
- IC3: AD7303R (SOIC8)
- IC4: AD8671R (SOIC8) lub podobny
- IC5: AD835R (SOIC8)
- IC6: AD8029R (SOIC8)

- IC7: ATmega16 (TQFP44)
- IC8: MAX202DW (SOICW18)
- OC1: PC357 (SOIC4) lub podobny

Inne

- DISPLAY: wyświetlacz graficzny 128x64
- Q1: rezonator kwarcowy 12 MHz SMD
- QG1: generator 25 MHz
- L1: 10 μH
- SPI złącze kołkowe kątowe 2-rzędowe 2x3 pin
- CON1: złącze kołkowe kątowe 2 pin
- CON2: listwa goldpin F oraz gniazdo do złącz kołkowych 20 pin
- CON3: złącze kołkowe kątowe 2-rzędowe 2x7 pin
- CON4: złącze kołkowe kątowe 3 pin
- CON5: D-SUB9M do druku
- CON6: ARK2
- CON7: ARK3
- CON8: zwora
- SW1...SW16: mikroprzełączniki klawiatury TACT 12x12 mm
- SW17: mikroprzełącznik kątowy